



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROYECTO INTEGRADOR PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE GRADO
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA
PARA LA ENSEÑANZA DE LA SELECCIÓN DE
PARÁMETROS DE LA PLANTA TRANSMISORA DE
TELEVISIÓN DIGITAL EN LA NORMA ISDB-Tb”**

Alumno: Fried Maximiliano

Director: Ing. Carlos Liendo

Co - Director: Ing. Nestor Pisciotta

Córdoba, República Argentina
Marzo de 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROYECTO INTEGRADOR PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE GRADO
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA
PARA LA ENSEÑANZA DE LA SELECCIÓN DE
PARÁMETROS DE LA PLANTA TRANSMISORA DE
TELEVISIÓN DIGITAL EN LA NORMA ISDB-Tb”**

Alumno: Fried Maximiliano

Director: Ing. Carlos Liendo

Co - Director: Ing. Nestor Pisciotta

Córdoba, República Argentina
Marzo de 2018

1. Tribunal Evaluador



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
Escuela de Ingeniería Electrónica

El Tribunal Evaluador reunido en éste acto y luego de haber aprobado la Solicitud de Aprobación de Tema y efectuado las distintas instancias de correcciones del Informe del Proyecto Integrador para la obtención del Título de Grado “Ingeniero Electrónico” y cumpliendo con el Reglamento correspondiente, declaran el Informe Final del estudiante: **Fried Maximiliano** como “aceptado sin correcciones” y la defensa oral Aprobada. Por lo tanto, luego de haber tenido en cuenta los aspectos de evaluación que indica el Reglamento, el Proyecto Integrador se considera Aprobado.

Firma y aclaración del Tribunal Evaluador

Fecha:

2. Dedicatoria

Este trabajo esta dedicado a mis padres por su confianza y apoyo incondicional, a mis hermanos por su gran compañía, a Mariam por todo su amor, y a mis amigos y compañeros por estar siempre que los necesite.

3. Agradecimientos

Principal agradecimiento a la Universidad Nacional de Córdoba y sus profesores por enseñarme cada día lo necesario para convertirme en profesional. Agradecer especialmente a mis compañeros que desde el primer día al último siempre estuvieron con su apoyo. Al director de el Proyecto Integrador Ing. Liendo Carlos Guillermo y el co-director Ing. Pisciotta Néstor, por acompañarme y guiarme a lo largo de todo el trabajo.

4. Resumen

En el presente proyecto “Desarrollo de una Herramienta Educativa para la Enseñanza de la Selección de Parámetros de la Planta Transmisora de Televisión Digital en la Norma ISDB-Tb” se explica primeramente los conceptos teóricos: Modulación Digital del Sistema, Flujo de Transporte TS MPEG-2, Multiplexor, Remultiplexor y Redes de Frecuencia Única (SFN).

Posteriormente se presenta la plataforma “Angular”. La cual se utiliza para el desarrollo de la aplicación, siguiendo la estructura de la versión 1.0 de la “Calculadora ISDB-Tb”. Se determinan nuevas funcionalidades y se lleva a cabo la implementación de la misma.

Por último, se corrobora que los datos recopilados al realizar distintas pruebas coincidan con los resultados esperados.

5. Área Temática y Asignaturas

Áreas Temáticas:

- Comunicaciones.
- Informática.

Asignaturas:

- Sistemas de radiocomunicaciones.
- Sistemas de comunicaciones telefónicas.
- Teoría de las comunicaciones.
- Informática avanzada.

6. Palabras Claves

Transmisión ISDB-Tb, Televisión Digital Terrestre, Red de frecuencia Única.

7. Abstract

In the present project “ Development of an Educational Tool for Teaching the Selection of Parameters of the Digital Television Transmission Plant in the ISDB-Tb Standard ”, the theoretical concepts are explained first: Digital Modulation of the System, TS MPEG-2 Transport Flow , Multiplexer, Remultiplexer and Single Frequency Networks (SFN).

Afterwards, the platform “ Angular ” is presented, which is used for the development of the application, following the structure of version 1.0 of the “ Calculator ISDB-Tb ”. New functionalities are determined and the implementation is carried out.

Finally, it is corroborated that the data collected when performing different tests coincide with the expected results.

8. Key Words

Transmission ISDB-Tb, Digital Terrestrial Television, Single Frequency Network (SFN).

Índice de tablas

1.	Asignación de PID. Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Tabla].	10
2.	Valores normalizados de I para cada Modo. Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Tabla].	14
3.	Opciones de configuración Encoder Setup	31
4.	Opciones de configuración Output Setup	31
5.	Opciones de configuración Local IP Setup	31
6.	Ubicación geográfica de las estaciones	62
7.	System Variant	62

Índice de figuras

1.	Diagrama de portadoras ortogonales y tiempo de símbolos.	4
2.	Diagrama funcional de una estación de TV digital ISDB-Tb.	5
3.	Segmentación del canal de 6 MHz.	7
4.	Organización de los segmentos en tres capas jerárquicas.	8
5.	Etapas de procesamiento del flujo elemental ES.	8
6.	Segmentación de los paquetes PES.	9
7.	Secciones, paquetes PES y paquetes TS.	10
8.	Remultiplexor ISDB-Tb y flujo de transporte BTS.	11
9.	Estructura de los paquetes TSP, flujo BTS.	12
10.	Bloques de la etapa de modulación.	13
11.	Concepto de intervalo de guarda. Descripción del estándar ISDB-Tb.	16
12.	Modulador I-Q analógico. Copyright 2013.	16
13.	Concepto de assignment.	17
14.	Concepto de allotment, asado en el entorno geográfico de las redes SFN.	18
15.	Señales recibidas por receptores fijos en una red SFN.	19
16.	Intervalo de guarda en redes SFN.	20
17.	Retardos en la cadena de transmisión.	21
18.	Ajuste de la compensación estática de retardo, desde el MCT.	22
19.	Red SFN con compensación dinámica de retardo.	23
20.	Referencia de tiempo de sincronización.	23
21.	Compensación dinámica del retardo ajustada en base al STS.	24
22.	Diferencia de tiempo entre dos señales que llegan a un punto.	25
23.	Medición de la amplitud y tiempos de llegada de los ecos.	25
24.	Retardos a introducir en una zona servida por varios transmisores sincronizados.	26
25.	Esquema Laboratorio	28
26.	Encoder Z3-MVE-20	29
27.	Pantalla de configuración Encoder	30
28.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Resumen	34
29.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Globales	35
30.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Segmentos	36
31.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista ReMUX y Cuadro OFDM	37
32.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Capa A	38
33.	Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Multi-trayecto	39
34.	Linear ISMUX-004 Software Interface	39
35.	Linear ISMUX-004 - SFN	40
36.	Linear ISMUX-004 - Input ASI	41
37.	Linear ISMUX-004 - Input Tables	42
38.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Ingreso	45
39.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Inicio	46
40.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo ASI - DVB	47
41.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo TS MPEG-2	48
42.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo ASI - DVB	48
43.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Selector de Codificadores	49
44.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración Codificador	49
45.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración Salida	50
46.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración IP Local	50
47.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Selector Multiplexor	51
48.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor ASI	51
49.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor Tablas	52
50.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Parámetros Variables	52
51.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor - Resultados: Parámetros Generales (I)	53
52.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Parámetros Generales (II)	53
53.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Cuadro Multiplex	54
54.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Capa A, B y C	54
55.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Modulador	55
56.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Selector	56

57.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Retardo (I)	57
58.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Ventana de sincronización	57
59.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Cuadros en la Ventana de Sincronización	58
60.	Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Créditos	59
61.	Proyección red SFN - Configuración de System Variant en el Remultiplexor	63
62.	Proyección red SFN - Primera estimación de cobertura de la red	63
63.	Proyección red SFN - Software Aldena	64
64.	Proyección red SFN - Primera estimación de cobertura de la red	64
65.	Proyección red SFN - Ventana de Sincronización I	65
66.	Proyección red SFN - Retardo aplicado a TX 4	66
67.	Proyección red SFN - Ventana de Sincronización II	67
68.	Proyección red SFN - Estimación de cobertura de la red con RX2	67
69.	Proyección red SFN - Ventana de Sincronización de RX 2	68

Índice

1. Tribunal Evaluador	I
2. Dedicatoria	II
3. Agradecimientos	III
4. Resumen	IV
5. Área Temática y Asignaturas	IV
6. Palabras Claves	IV
7. Abstract	v
8. Key Words	v
9. Capítulo 1 - Introducción	1
9.1. Motivación	1
9.2. Antecedentes y Formulación del Problema	1
9.3. Objetivos y Metodología	2
9.4. Orientación al Lector	2
10. Capítulo 2 - Marco Teórico	3
10.1. Introducción	3
10.1.1. TV Digital Terrestre	3
10.1.2. Normas de TV Digital Terrestre	3
10.2. Sistema ISDB-Tb	4
10.2.1. Estación de TV Digital ISDB-Tb	5
10.2.2. Ancho de banda de segmentos	7
10.2.3. Modos de transmisión	7
10.2.4. Transmisión jerárquica	8
10.3. Codificador y Multiplexor	8
10.3.1. Paquetes PES	9
10.3.2. Paquetes TS	9
10.3.3. Identificador de paquete (PID)	10
10.3.4. Tablas	10
10.4. Remultiplexor	11
10.4.1. Composición de paquetes TSP y flujo BTS	12
10.5. Modulador	13
10.5.1. Entrelazado de bits	14
10.5.2. Ajuste de retardo	14
10.5.3. Combinador jerárquico	14
10.5.4. Entrelazado de tiempo	14
10.5.5. Entrelazado de frecuencias	15
10.5.6. Cuadro OFDM	15
10.5.7. Inserción intervalo de guarda	16
10.5.8. Modulador I-Q	16
10.6. Redes de Frecuencia Única - SFN	17
10.6.1. Assignment	17
10.6.2. Allotment	18
10.6.3. System Variant	18
10.6.4. Redes SFN y su ahorro espectral	19
10.6.5. Trayectos múltiples en receptores fijos y móviles	19
10.6.6. Intervalo de guarda	20
10.6.7. Retardos de tiempo	21
10.6.8. Compensación estática de retardo	21
10.6.9. Compensación dinámica de retardo	23

10.6.10	Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda	25
10.6.11	Ganancia de red	27
11.	Capítulo 3 - Marco Metodológico	28
11.1.	Laboratorio de Ensayo de Aplicaciones Interactivas	28
11.1.1.	Codificadores	29
11.1.2.	Datacaster GDC	32
11.1.3.	Amplificador de radiofrecuencia	32
11.1.4.	Decodificadores	33
11.2.	Calculadora ISDB-Tb V1.0	34
11.2.1.	Resumen	34
11.2.2.	Globales	35
11.2.3.	Segmentos	36
11.2.4.	ReMUX y Cuadro OFDM	37
11.2.5.	Capa A, B y C	38
11.2.6.	Multi-trayecto	39
11.3.	Linear Digital Multiplexer	39
11.3.1.	SFN	40
11.3.2.	Input	41
12.	Capítulo 4 - Implementación “Calculadora ISDB-Tb Versión 2.0”	43
12.1.	Análisis de Requisitos	43
12.2.	Arquitectura	44
12.3.	Diseño	44
12.3.1.	Página Inicial	45
12.3.2.	Menú Principal	45
12.3.3.	Codificador A/V	49
12.3.4.	Multiplexor	51
12.3.5.	Remultiplexor	52
12.3.6.	Modulador	55
12.3.7.	Red de Frecuencia Única	55
12.3.8.	Créditos	59
12.4.	Programación	60
12.5.	Pruebas	60
12.6.	Documentación	60
12.6.1.	Compatibilidad	60
12.6.2.	Acceso	60
12.6.3.	Guía del usuario	60
12.7.	Ejemplo del uso de la “Calculadora ISDB-Tb Versión 2.0”	62
12.7.1.	Ubicación geográfica de las estaciones	62
12.7.2.	Configuración del sistema de transmisión (System Variant)	62
12.7.3.	Primera estimación de cobertura de la red	63
13.	Conclusión	69
14.	Bibliografía	70
15.	Referencias	71
16.	Anexo I	72
16.1.	Parámetros Generales	72
16.2.	Cuadro Multiplex	74
16.3.	Capas A, B y C	75
17.	Anexos del Proyecto Integrador	76

9. Capítulo 1 - Introducción

9.1. Motivación

Se estima que para el año 2019 sucederá lo que se denomina “Apagón Analógico”, el cual tiene como principal característica que todas las plantas transmisoras de televisión abierta pasen de utilizar tecnología analógica a digital.

La era digital ya domina cada etapa, desde la grabación, transmisión, recepción y reproducción de la televisión.

Hasta el momento se ha realizado un avance importante en lo que se relaciona a la utilización de estas tecnologías digitales. En Argentina en el año 2010 se decretó de interés público la Plataforma Nacional de Televisión Digital y desde entonces distintas empresas privadas y Universidades han incorporado transmisores digitales.

Uno de los avances que más se destaca de la televisión digital es el uso de redes de frecuencia única que posibilita armar una red, es decir un área de cobertura ampliada, utilizando una única frecuencia logrando un importante ahorro del espectro.

Teniendo en cuenta los cambios que se avecinan, se remarca la importancia que tiene comprender la norma ISDB-Tb y cómo se programa una planta transmisora.

9.2. Antecedentes y Formulación del Problema

Los principales aspectos teóricos se obtienen de la norma que se encuentra en los tres anexos de la Resolución 7/2013, dispuesta por el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre (SATVD-T). Como también del libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales” cuyos autores son Ing. Néstor Oscar Pisciotta , Ing. Carlos Guillermo Liendo e Ing. Roberto Carlos Lauro.

El libro viene acompañado por una herramienta de software, la cual tiene su acceso desde un archivo ejecutable. Esta es fundamental para configurar, predecir y comprender de antemano las características principales de la transmisión y verificar el correcto funcionamiento de la misma.

En ella principalmente se permite el manejo de ciertos parámetros referidos a la etapa de modulación y la posibilidad de observar los distintos resultados para cada Modo en particular. También dispone de la posibilidad de determinar si los retardos afectan o no a la transmisión utilizando como parámetros de entrada las distancias por camino directo y camino reflejado.

La calculadora en su versión inicial demostró que es de gran ayuda y funciona como una herramienta muy eficaz para acompañar el aprendizaje de estos conceptos.

Luego de trabajar con la misma y configurar los equipos surgió la idea de realizar algunos cambios ampliando su funcionalidad hacia otras etapas que involucran la transmisión de televisión digital terrestre.

Al referirnos a una versión ampliada estamos haciendo hincapié en el agregado de mejoras pero también en respetar el modelo de calculadora que se utilizó en la versión inicial permitiendo así una fácil adaptación para los usuarios de la versión anterior.

9.3. Objetivos y Metodología

Se plantearon como objetivos particulares la incorporación de la programación de los parámetros del codificador, multiplexor y remultiplexor. Como así también la incorporación de la selección de parámetros correspondientes a Redes de Frecuencia Única, integrando el sistema Google Map para estimar los retardos en base a la ubicación de los transmisores y diseñando una funcionalidad que permita al alumno tomar los conceptos básicos de éste tipo de redes.

Además de las incorporaciones anteriores se plantea la revisión, corrección y el re-diseño de los resultados de las operaciones de cálculo teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas en el Libro.

Por último se establece que el desarrollo de la calculadora se realizará utilizando un Framework para Web de uso actual, que permita ejecutar la Calculadora desde un acceso a Internet utilizando un navegador convencional. Presentando una interfaz intuitiva en donde el usuario se encuentre en una primera pantalla con una imagen de los distintos módulos correspondientes a cada etapa de la transmisión y pueda acceder a cada uno de ellos de manera individual.

9.4. Orientación al Lector

El presente trabajo se estructura en diferentes capítulos, partiendo de un marco teórico en el cual se desarrollan los conceptos principales referidos a la Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb y la estructura de los equipos que integran el sistema. Siguiendo con el marco metodológico en donde se presentan las herramientas utilizadas y la manera en la que se llevo a cabo la ejecución de la aplicación educativa. Finalmente se realiza un análisis del funcionamiento de la misma y se plasman los resultados obtenidos siguiendo el lineamiento de los objetivos planteados.

10. Capítulo 2 - Marco Teórico

10.1. Introducción

En éste Capítulo se abordarán los conceptos teóricos que permitirán entender el funcionamiento del sistema y que tienen incidencia directa en el desarrollo de la versión 2.0 de la Calculadora ISDB-Tb. El desarrollo teórico no pretende ser exhaustivo, debiendo el lector recurrir al Libro para un estudio detallado.

10.1.1. TV Digital Terrestre

La TV Digital Terrestre incluye a todos los servicios de difusión que luego de digitalizar la información, la transmiten por medio de ondas hertzianas, es decir, aquellas que se transmiten a través de la atmósfera haciendo uso del espectro radioeléctrico, en donde predomina el uso de la banda de Ultra Alta Frecuencia, mas conocido por sus siglas en ingles UHF (Ultra High Frequency). Optando por un ancho de banda por canal de 6, 7 u 8 MHz de acuerdo a cada país y sus normas.

Ventajas:

A continuación se presentan las ventajas que tiene la TV Digital comparada con la TV Analógica.

- Ahorro del espectro radioeléctrico.
- Mejor calidad de audio y video permitiendo contenidos en alta definición (HD).
- Posibilita la multiprogramación.
- Otorga servicios a dispositivos móviles (teléfonos, GPS, tablet, etc).
- Permite la implementación de Redes de Frecuencia Única (SFN).
- Establece la integración de nuevos servicios relacionados con la interactividad del usuario.

10.1.2. Normas de TV Digital Terrestre

La revolución digital a llevado a que a lo largo de todos estos años se hayan desarrollado distintos estándares de televisión digital terrestre alrededor de todo el mundo. En Europa se estableció un consorcio el cual fue responsable del proyecto denominado Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T). Por otro lado, en los Estados Unidos, se formo un Comité de Sistemas de Televisión Avanzada para la creación de un estándar de televisión digital al cual se le dio el mismo nombre, ATSC. En China se aprobó otro estándar para televisión digital conocido como Difusión de Multimedia Digital Terrestre (DMB-T). Mientras que en Japón la Asociación de Empresas e Industrias de Radio llevo a cabo el desarrollo la tecnología denominada Integrated Service for Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T). En Sudamérica, Brasil realizo un acuerdo con Japón para implantar ISDB-T Internacional, el cual incluía modificar la norma japonesa incorporando compresión MPEG-4, dando origen al ISDB-Tb. Luego de este acuerdo Brasil se introdujo completamente en la TVD-T e implementando el Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre (SBTVD-T). En la República Argentina a través del Decreto Presidencial N° 1148 del 31 de Agosto del año 2009 (publicado en el Boletín Oficial N° 31.727 el 1 de Septiembre de 2009), se creo el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre (SATVD-T) adoptando oficialmente el estándar ISDB-Tb y sus normas, las cuales se encuentran en los tres anexos de la Resolución 7/2013, siendo este el principal foco de estudio de este proyecto.

10.2. Sistema ISDB-Tb

El sistema ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial) ha sido diseñado para ofrecer una alta calidad de transmisión en receptores fijos como también en receptores móviles. El sistema ofrece la posibilidad de eliminar o reducir los efectos negativos que tienen los ecos multicamino, generados cuando la señal rebota en algún obstáculo que se encuentra en su camino.

El sistema aplica lo que se denomina como multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Esta técnica distribuye los datos en un gran número de portadoras espaciadas entre sí en distintas frecuencias precisas. De esta manera se logra que portadoras adyacentes tengan su espectro en zonas de cero de las otras portadoras, logrando así que las portadoras sean mutuamente ortogonales. Esto además es importante para lograr una eficiente operación en redes de frecuencia única (SFN).

Cada portadora será modulada con un número de bits que dependerá del tipo de modulación empleado: 2 bits para QPSK y DQPSK, 4 bits para 16-QAM y 6 bits para 64-QAM. Se define a un grupo de portadoras transmitidas dentro de un mismo intervalo de tiempo $T_S = T_U + T_G$ como “Símbolo OFDM”, y a su vez una sucesión de F símbolos se denomina “Cuadro OFDM”:

- T_S : Tiempo del símbolo.
- T_U : Tiempo útil del símbolo.
- T_G : Intervalo de guarda.

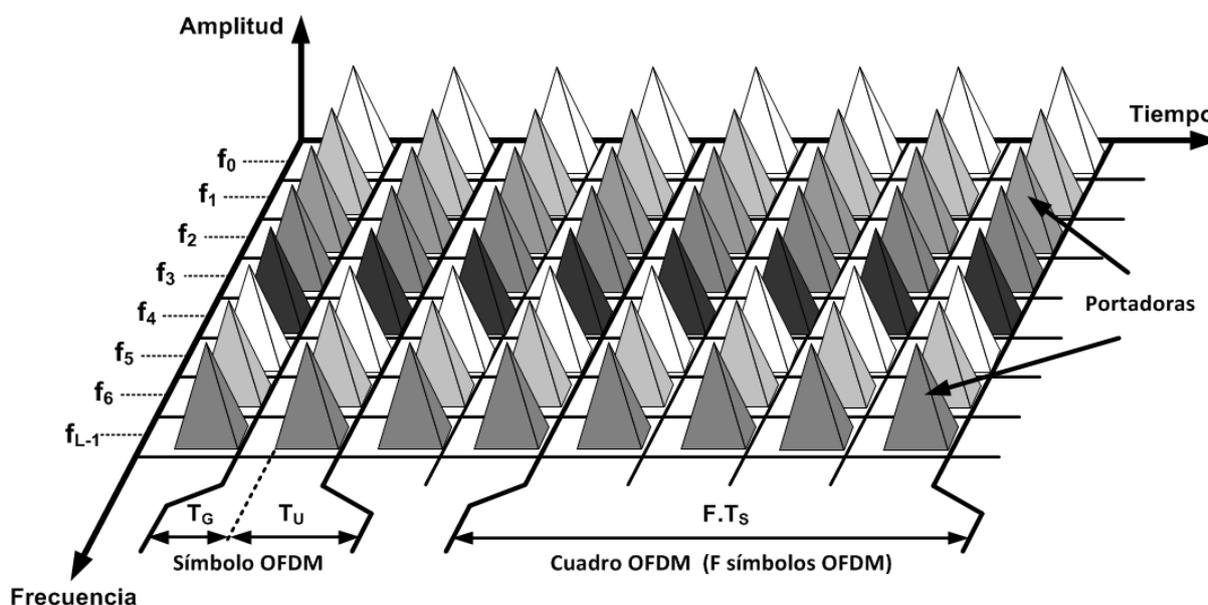


Figura 1: Diagrama de portadoras ortogonales y tiempo de símbolos. ¹

En un sistema OFDM el número de portadoras puede ser muy elevado, pero debido a que el ancho de banda que se le asigna a cada portadora es pequeño, la velocidad de símbolo se reduce considerablemente, y de esta manera se produce un aumento en el tiempo para transmitir cada símbolo. Esto es fundamental, ya que de esta forma el sistema presenta más tolerancia frente a las interferencias multicamino. El otro punto clave para hacer el sistema más tolerante, es el uso de un intervalo de guarda.

Como se dijo anteriormente una de las ventajas de la digitalización de la televisión es la posibilidad de otorgar servicios a dispositivos móviles. Esto es factible debido a una de las principales características del sistema ISDB-Tb, la recepción en banda angosta, también denominada parcial, en donde solo se utiliza una parte de la anchura de banda del canal. Ese tipo de recepción implica la división del canal en porciones, las cuales son denominadas segmentos por la norma ISDB-Tb. Se tienen 13 segmentos, de los cuales 12 se pueden utilizar para transmitir las señales a aparatos fijos y un segmento para transmitir la señal para aparatos móviles.

¹ Pisciotta, N., Liendo, C. & Lauro R. (2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

Existe una amplia variedad de parámetros de transmisión para elegir. El esquema de modulación de la portadora, la tasa de codificación de la corrección de errores, y longitud de entrelazado en tiempo. Estos parámetros de transmisión se pueden ajustar individualmente para cada grupo segmento.

ISDB-Tb ofrece transmisiones jerárquicas de hasta tres capas (Capas A, B y C). Esto quiere decir que los parámetros de transmisión pueden ser diferentes en cada una de estas capas.

El sistema OFDM tiene tres modos de transmisión (Modos 1, 2, y 3) configurables, y tiene cuatro opciones de longitud de intervalo de guarda para permitir mejor funcionamiento de una red de frecuencia única (SFN).

10.2.1. Estación de TV Digital ISDB-Tb

En la siguiente figura se muestra un diagrama funcional de una estación ISDB-Tb, en el mismo se presentan dos grandes bloques: Estudios y Planta Transmisora. Este diagrama abarca desde la etapa de grabación hasta la señal transmitida por antena.

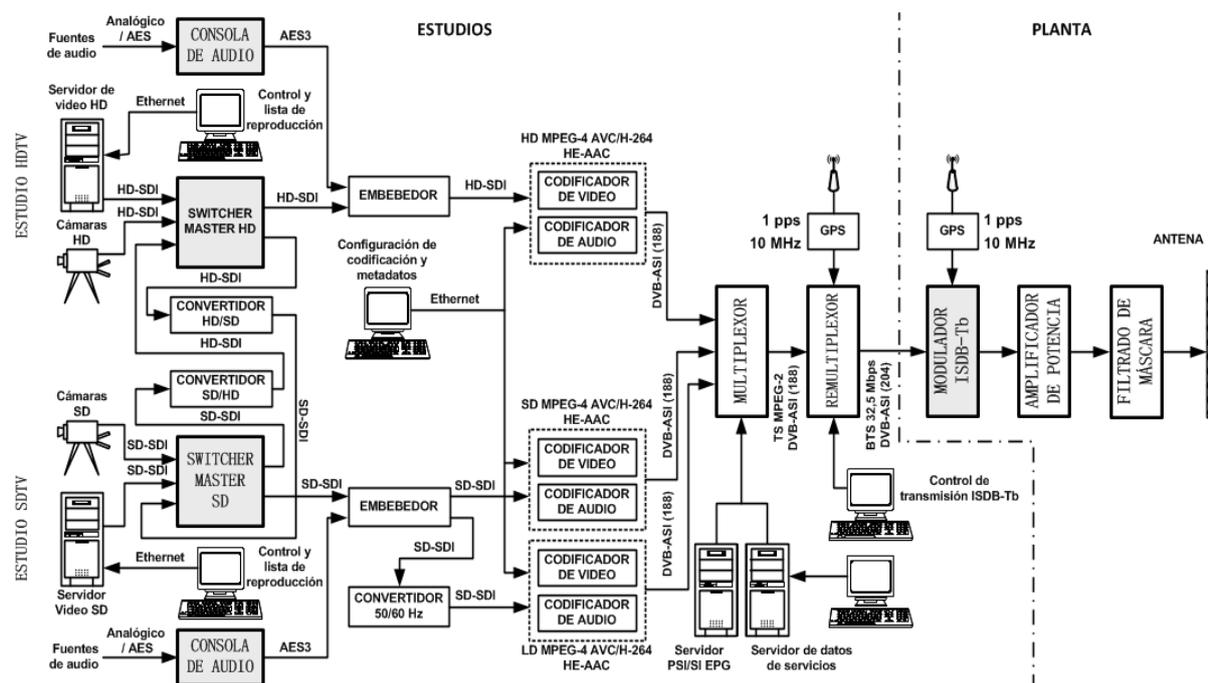


Figura 2: Diagrama funcional de una estación de TV digital ISDB-Tb²

Estudio

La figura anterior presenta la emisión de tres servicios digitales: una programación en alta definición HDTV (High Definition Television), una señal en definición estándar SDTV (Standard Definition Television) y el servicio one-seg de baja resolución LDTV (Low Definition Television). La estación hace uso de la "multiprogramación", lo cual es posible únicamente en Televisión Digital, ya que los sistemas analógicos transmiten un programa a la vez.

A la salida de la consola y del switcher master, el audio es embebido en el video, formando de esta manera un flujo único de datos en serie. Ya que la tasa de datos proveniente de los estudios de grabación es demasiado elevada lo que se realiza es una reducción de la misma codificando el audio y video de manera independiente. El encargado de aplicar al audio y al video los esquemas de compresión normalizados es el codificador. Logrando así reducir considerablemente la tasa de datos y con esto una mejora del ancho de banda disponible.

Para el video se utiliza la compresión MPEG-4 AVC/H-264 y para el audio la codificación HE-AAC. Por lo tanto, varios contenidos digitales, como audio, texto, imágenes fijas, y otros los datos pueden ser empaquetados y transmitidos simultáneamente. La tasa de datos del video HD es de 1.45 Gbps y luego de la compresión se reduce a valores próximos a los 13 Mbps. Para el video SD, la tasa de entrada es de

² Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R. (2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

270 Mbps y la salida comprimida es de 3 Mbps y para el video LD la tasa de datos va desde los 270 Mbps a 450 Kbps. Las interfaces que se utilizan son denominadas SD-SDI y HD-SDI (Serial Digital Interface), utilizando cable coaxial de 75Ω y conectores BNC. Los codificadores utilizan a su salida una interfaz DVB-ASI, la cual entrega un flujo binario organizado en paquetes de 188 bytes de longitud, denominado flujo TS MPEG-2 (capa de transporte del modelo MPEG-2).

Para la correcta transmisión de la información es necesario combinar todos los datos en un flujo único, es por eso que las salidas de los compresores se combinan en el multiplexor.

La salida del multiplexor esta conectada a la entrada del remultiplexor, cabe destacar que en este ejemplo ambos equipos se presentan de manera individual, pero existen casos en donde ambos se encuentran integrados en una misma unidad.

El remultiplexor realiza un procesamiento de paquetes TS, el cual es específico del sistema ISDB-Tb. En él se incorpora información de señalización y control, la cual es fundamental para establecer la programación de los parámetros de transmisión del modulador. El flujo que entrega el remultiplexor a su salida se denomina BTS (Broadcast Transport Stream), y tiene como característica principal una tasa de datos constante de 32.5 Mbps independiente de las tasas de las señales que se transportan. Esto se consigue incorporando paquetes nulos, lo que produce una compensación de las diferentes velocidades de las señales multiplexadas. Estos paquetes nulos se descartan a la entrada del modulador ISDB-Tb, por lo que no se transmiten. En esta etapa, existe la posibilidad de incorporar al flujo BTS un código detector-corrector de errores, con el objetivo de proteger los datos en el tramo de enlace que va desde los estudios hasta el modulador.

La utilización del flujo BTS posibilita un vínculo único entre estudios y planta, logrando así transportar múltiples señales (programas) y la información necesaria para realizar la sincronización de la red SFN (retardo de red, ajustes de offset), utilizando fibra óptica, cable coaxial o STL de microondas. Operando con un flujo único de datos que transporta la señal multiprograma con los paquetes de datos organizados en capas jerárquicas.

En la figura anterior puede verse tanto en el remultiplexor como en el modulador un receptor de posicionamiento global (GPS), el cual se utiliza para sincronizar a través de una señal los tiempos y frecuencias de redes de frecuencia única SFN.

Cada planta transmisora que recibe la programación cuenta con un modulador ISDB-Tb, amplificador de potencia de RF, filtro de máscara y antena, para lograr la distribución a distintas zonas pobladas específicas.

10.2.2. Ancho de banda de segmentos

Para Argentina y países de la región 2 de la UIT, la norma establece que el ancho de banda del canal debe ser de 6 MHz, pero además define el ancho de banda del segmento con un valor de 6 MHz/14. Esto se debe a que en realidad existen 14 segmentos de los cuales 13 son utilizables y uno se emplea para las bandas de guarda inferior y superior del canal.

De los 13 segmentos restantes, existe la posibilidad de destinar uno al servicio móvil one-seg en caso de ser necesario, mientras que los demás se destinan para la televisión, quedando a disposición de la calidad del servicio que se desea transmitir ya sea televisión digital SD o HD.

En la siguiente figura se presenta la segmentación del canal radioeléctrico con el segmento central destinado al servicio one-seg:

$$BW_{13S} = 13 \cdot 428,57 \text{ kHz} = 5,571 \text{ MHz} \quad (1)$$

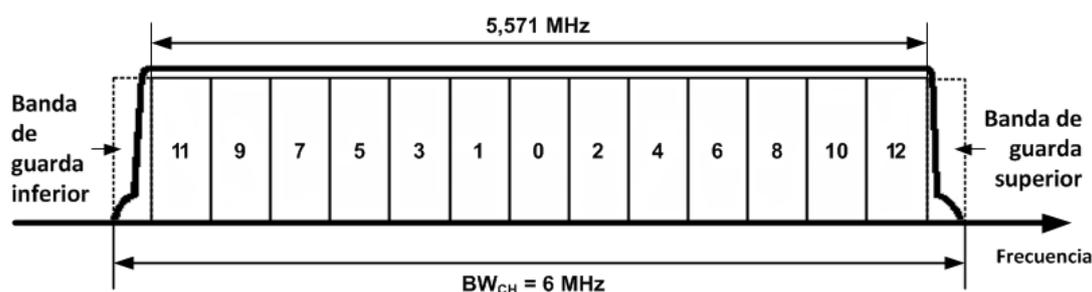


Figura 3: Segmentación del canal de 6 MHz. ³

10.2.3. Modos de transmisión

El sistema ISDB-Tb tiene como principal característica la posibilidad de disponer de tres Modos de operación. Esto trae aparejado una gran flexibilidad de adaptación del mismo de acuerdo a las distancias necesarias para hacer que nuestra red SFN funcione correctamente.

En la recepción móvil ocurre el fenómeno que se denomina como "Efecto Doppler", el cual produce el aparente cambio de la frecuencia de onda percibida por un receptor debido al movimiento del mismo, respecto del foco emisor. Esto genera una degradación de la señal recibida.

La utilización de tres Modos de transmisión permite elegir entre tres opciones de separación de portadora. Esto garantiza la recepción parcial, la cual se ve afectada por el efecto Doppler.

La norma establece que estos valores de separación de frecuencia deben ser aproximadamente 4 kHz, 2 kHz o 1 kHz respectivamente para los Modos 1, 2 y 3.

El Modo 3 facilita la operación de las SFN y asegura el funcionamiento frente a grandes diferencias de tiempos de retardos.

El Modo 1 posee una mayor separación entre portadoras, por lo que se vuelve más robusto frente a las interferencias por efecto Doppler y es por esto que resulta más adecuado para el servicio móvil.

El Modo 2 se puede considerar un punto intermedio entre los Modos 1 y 3, por lo que sería más apropiado utilizarlo para el caso de una red de SFN que brinda servicio móvil.

³Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.2.4. Transmision jerárquica

Una de las características distintivas del sistema ISDB-Tb es la posibilidad de organizar la información a transmitir en tres capas jerárquicas diferentes, A, B y C.

Esto permite la asignación de uno o mas segmentos a cada capa, dependiendo de los requerimientos de la capacidad de transporte y la robustez del servicio que se quiere ofrecer. El radiodifusor tiene la posibilidad de configurar libremente el número de segmentos y el conjunto de parámetros de codificación para cada capa jerárquica.

El radiodifusor no se ve obligado en ningún momento a utilizar las tres capas jerárquicas y tampoco la provisión del servicio de recepción parcial(one-seg). En el caso de utilizar la recepción parcial el único segmento que se asigna a la capa A es el central.

Es importante destacar que la transmisión en capas jerárquicas no significa que cada capa deba transportar un programa diferente, esto queda a juicio del radiodifusor, contando con la posibilidad por ejemplo, asociar cada capa a la calidad de imagen de distintas señales transmitidas.

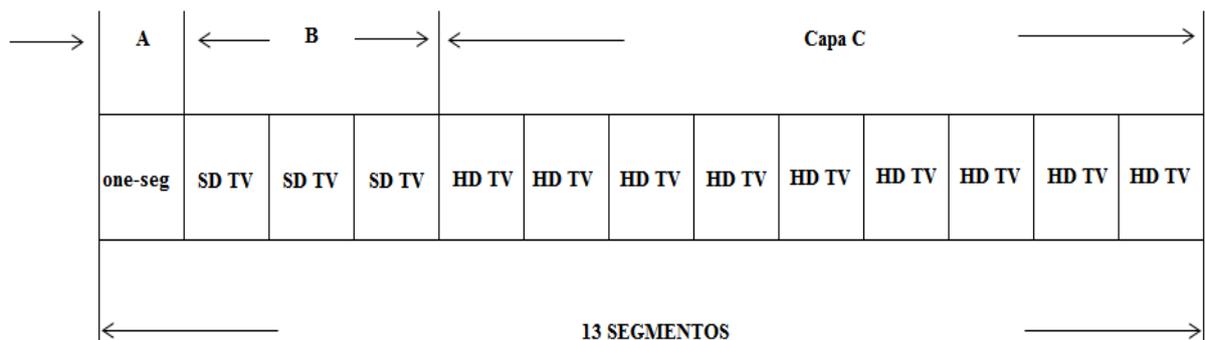


Figura 4: Organización de los segmentos en tres capas jerárquicas.

10.3. Codificador y Multiplexor

Los equipos de grabación que se encuentran en los estudios de TV, entregan señales a grandes tasas, por lo que es necesario codificar y empaquetar estas señales en bloques que contengan una cantidad pequeña de bits. Estos bloques conforman un flujo en serie el cual se denomina TS (Transport Stream). Existe la posibilidad de contar con mas de una fuente de grabación o estudio, es por eso que se utiliza un multiplexor que combina todos los TS de los programas, entregando a la salida un único flujo llamado TS MPEG-2.

En la siguiente figura se puede observar las diferentes etapas de procesamiento de la señal, desde los equipos de generación, hasta la multiplexacion de programas y la conformación del flujo TS.

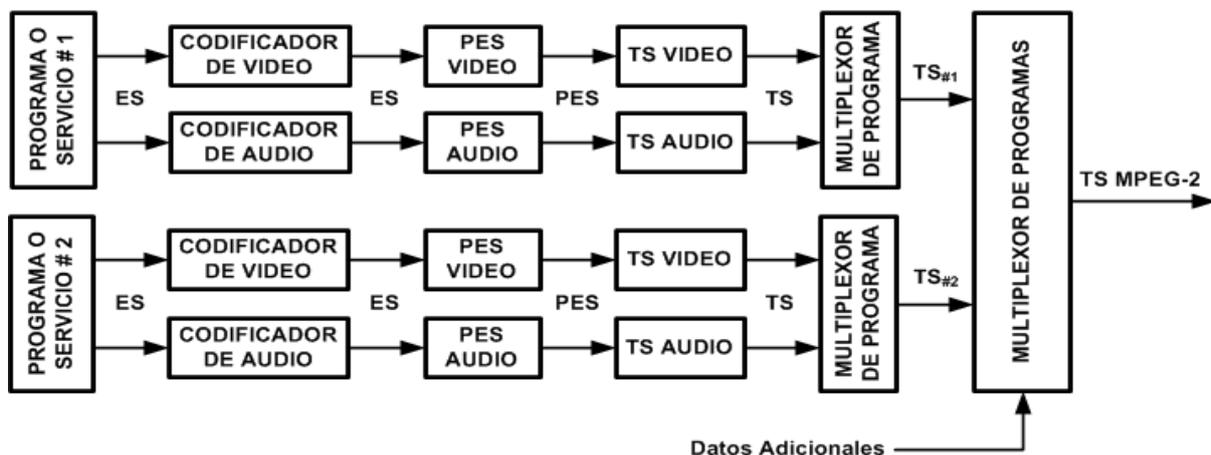


Figura 5: Etapas de procesamiento del flujo elemental ES. ⁴

La transmisión de los ES (Elementary Stream) no se puede realizar en forma directa, esto surge debido a que no es posible multiplexar los datos de un mismo servicio o de otros servicios, y además, por que el tipo de flujo que se conforma hace imposible la incorporación de datos para la corrección de errores. Es por esta razón que primeramente se fraccionan los flujos ES en paquetes mas extensos y de longitud variable tanto de audio, video y datos. A este tipo de paquetes se lo nombra PES (Packetized Elementary Stream).

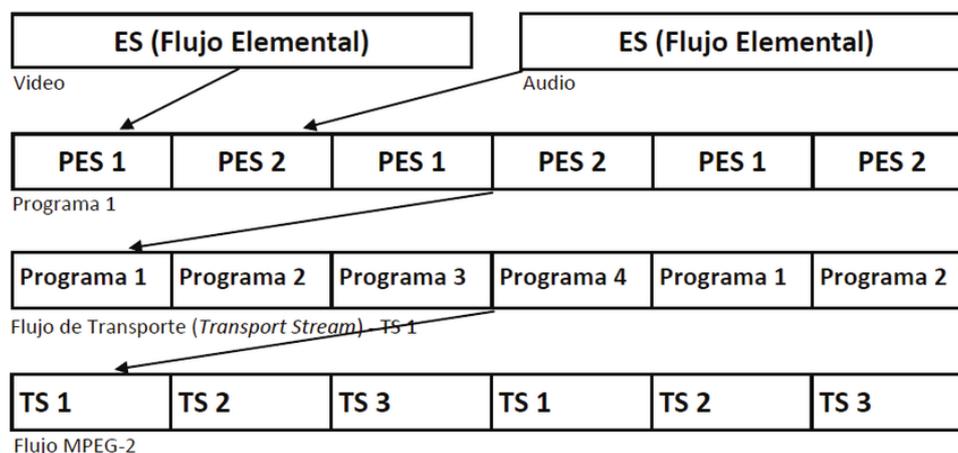


Figura 6: Segmentación de los paquetes PES. ⁵

10.3.1. Paquetes PES

Los paquetes PES contienen información de los ES y son de tamaño variable, con una longitud de 64 Kbytes de carga útil y 6 bytes de cabecera. El encabezado contiene la información necesaria para la identificación del paquete, la longitud total, el tipo de contenido que se transporta (video, audio o datos), la sincronización entre el video y el audio y la secuencia correspondiente al ES de origen. La información de los paquetes PES es fundamental para el receptor, ya que a partir de esta es que se realizan los procesos de demultiplexación y decodificación.

Ahora bien, debido a que es muy importante proteger los paquetes de posibles errores que se puedan producir durante la transmisión y frente a la necesidad de combinar paquetes de varios programas para formar un flujo binario único, resulta mas beneficioso fragmentar los paquetes PES en unidades de menor tamaño y longitud fija, denominados paquetes TS.

10.3.2. Paquetes TS

El flujo TS transporta paquetes de video, audio y datos, como así también otro tipo de información como las etiquetas de identificación de programa PID (Packet Identifier) que permiten la demultiplexación de los mismos a la hora de su recepción. Los paquetes TS tiene una longitud de 188 bytes, en donde 4 corresponden al encabezado y 184 a la carga útil.

El encabezado tiene como funciones principales señalar el comienzo de cada paquete e identificar cual es el tipo de contenido que se esta transportando en la carga útil. El valor del primer byte de la cabecera siempre corresponde a 47_H .

Por otro lado la carga útil puede estar contenida por la siguiente información:

- Porciones de paquetes PES de audio o video y tablas del sistema.
- Referencia de sincronización PCR.
- Paquetes nulos.

⁴Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

⁵Pozo, M. Moncayo, T. Bernal, I.& Mejia, D. (2015). Desarrollo de un analizador de flujos únicos de paquetes de Transporte TS conformado de acuerdo a la norma de TV Digital ISDB-Tb. [Figura]. Recuperado de <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen35/tomo1/DesarrollodeunAnalizadordeFlujos.pdf>

10.3.3. Identificador de paquete (PID)

Los PID son muy importantes a la hora de la configuración de la transmisión, ya que los mismos se utilizan para identificar el tipo de dato que transporta cada paquete TS. Este parámetro tienen una prolongación máxima de 13 bits, por lo que otorga la posibilidad de realizar 8192 identificaciones distintas. En la siguiente tabla se presentan algunas asignaciones de valores PID:

Valores PID			Cantidad de valores	Asignación
Hex	Decimal	Binario		
0000 _H	0	0 0000 0000 0000	1	Tabla PAT
0001 _H	1	0 0000 0000 0001	1	Tabla CAT
0002 _H a 000F _H	2-15	0 0000 0000 0010 0 0000 0000 1111	14	Reservado
0010 _H	16	0 0000 0001 0000	1	Tabla NIT
0011 _H a 1FFE _H	17-8190	0 0000 0001 0001 1 1111 1111 1110	8174	Otras tablas y datos de programas
1FFF _H	8191	1 1111 1111 1111	1	Nulos

Tabla 1: Asignación de PID. Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Tabla].

Se observa que los 17 primeros se encuentran reservados por la norma para ciertas tablas y para necesidades particulares del sistema. El último valor 1FFF_H (8191) está reservado para identificar a los paquetes nulos. Las 8174 combinaciones que sobran son utilizadas para la identificación de los servicios y las tablas, en donde el valor 1FC8_H (8136) se utiliza para identificar la tabla PMT del servicio móvil.

La secuencia de paquetes contiene los servicios (video, audio, datos) y la información necesaria para transmitir los mismos (tablas de datos). A esto se denomina Banda Base Digital, y es lo que se quiere transmitir al receptor.

Una vez realizada la demodulación del flujo se realiza la sincronización del mismo, en donde el decodificador detecta una sucesión de cinco bytes de sincronismo consecutivos válidos, reconociendo el byte 47_H, el encabezado es interpretado e inmediatamente se busca el PID para poder dirigir los datos.

Hay que tener en cuenta que existe la posibilidad de enviar paquetes duplicados con el mismo PID, pero más adelante en la etapa de multiplexación se tiene la opción de reorganizar la asignación de los PID para evitar conflicto con otros servicios.

10.3.4. Tablas

Las tablas son esquemas cuya función es la de transmitir cierta información que tiene como destino el receptor. Esta información puede ser la composición del flujo TS, datos de programación, interactividad y de la estación transmisora. Estas tablas se transmiten dentro de los paquetes TS, pero a partir de un formato específico el cual se denomina "secciones", a diferencia del audio, video y datos para los cuales se utilizan los paquetes PES.

Audio ES	Video ES	Data (stream)	Data (file)	SI	PSI	Information for scramble
			Data (Carrousel)			
PES			Section			
TS						

Figura 7: Secciones, paquetes PES y paquetes TS.

A través del identificador PID en el encabezado de cada paquete TS, el receptor reconoce la presencia

de una sección y su correspondiente tabla. Existen casos en donde se requieren mas de un paquete TS para transmitir una tabla, para lograr esto cada paquete debe tener el mismo PID, de modo que el receptor pueda reconocerlos y separarlos del flujo TS para su posterior reconstrucción y almacenamiento. La norma define los valores de PID de cada tabla.

La norma presenta las especificaciones del multiplexor, que es el responsable de recolectar la información correspondiente a los parámetros de modulación, y recibir las diferentes señales del codificador para luego realizar la composición del flujo TS-MPEG, pudiendo en este bloque realizar una reasignación de los valores de los PID en caso de que exista alguna duplicación.

Seguido de esto, es en el bloque de remultiplexación donde se definen las asignaciones de los paquetes a las distintas capas, de acuerdo a los PID asignados, teniendo en cuenta la configuración establecida y la posibilidad de requerir recepción parcial.

10.4. Remultiplexor

El flujo de transporte TS del estándar MPEG-2 no es compatible para transmisión en capas jerárquicas y tampoco para recepción en banda angosta. Es por eso que es de suma importancia lograr la adaptación del flujo TS MPEG-2 con el objetivo de posibilitar su funcionamiento. La etapa en donde se realiza esta adaptación es en el remultiplexor, el cual se encarga de combinar los paquetes de 188 bytes TS del flujo multiplexado para entregar un flujo binario único remultiplexado llamado BTS (Broadcast Transport Stream). La señal BTS es la que se distribuye a todos los Moduladores de la Red y contiene:

- La distribución de las capas jerárquicas.
- El control de los retardos de tiempo de cada modulador.
- Información necesaria para el armado del cuadro múltiplex.

De forma resumida el remultiplexor realiza lo siguiente:

- Forma nuevos paquetes de 204 bytes agregando 16 bytes a los paquetes TS, llamados TSP.
- Posiciona los paquetes TSP para lograr la transmisión jerárquica y recepción parcial.
- Produce el agregado de TSP nulos con el objetivo de entregar a la salida un flujo constante BTS de 32.5079 Mbps.

En la próxima ilustración se visualiza con mayor amplitud el remultiplexor y la conformación del flujo de transporte BTS.

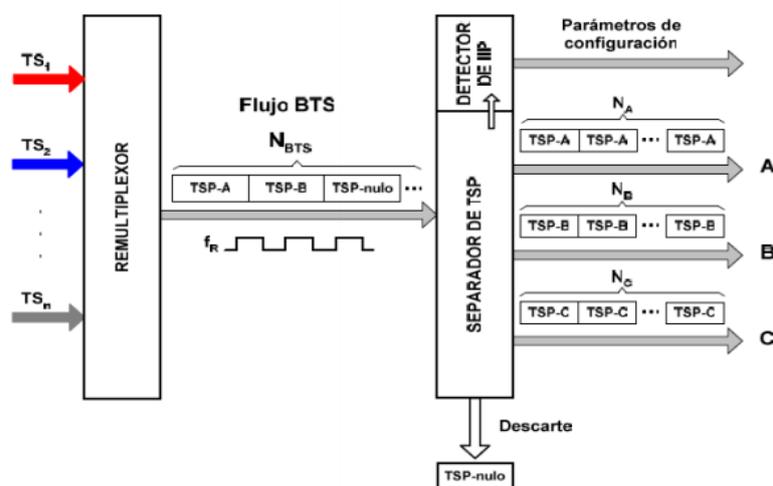


Figura 8: Remultiplexor ISDB-Tb y flujo de transporte BTS. ⁶

Lo primero que se realiza es la extracción de los PID de cada TS con el objetivo de identificar los programas para poder así asignarlos a cada capa jerárquica. En el caso de que exista más de un programa multiplexado, una vez extraídos los PID se deberá demultiplexar el flujo para poder así separar los paquetes TS y lograr almacenarlos en buffers de grupo, teniendo en cuenta el esquema de asignación de programas correspondiente a cada capa. A partir de este punto los paquetes TSP son enviados a los multiplexores de capa a través del bus de datos, siendo este el momento en donde se asignan a cada una de las capas jerárquicas. Luego de la multiplexación de capa los paquetes TSP son ingresan a los buffers de capa, en donde cada uno esperara su turno para ingresar al multiplexor BTS. Se destaca la importancia de este bloque ya que es el encargado de :

- Generar los paquetes TSP nulos requeridos.
- Ordenar el flujo de salida de paquetes TSP.

La cantidad de TSP nulos y el ordenamiento que los paquetes tendrán a la salida depende principalmente de la configuración adoptada para el sistema de transmisión, es decir: Modo, intervalo de guarda, cantidad de capas jerárquicas y segmentos por capa, esquema de modulación y codificación interna en cada una de las capas.

10.4.1. Composición de paquetes TSP y flujo BTS

En la siguiente figura se ilustra cómo el el flujo BTS esta conformado por los paquetes TSP.

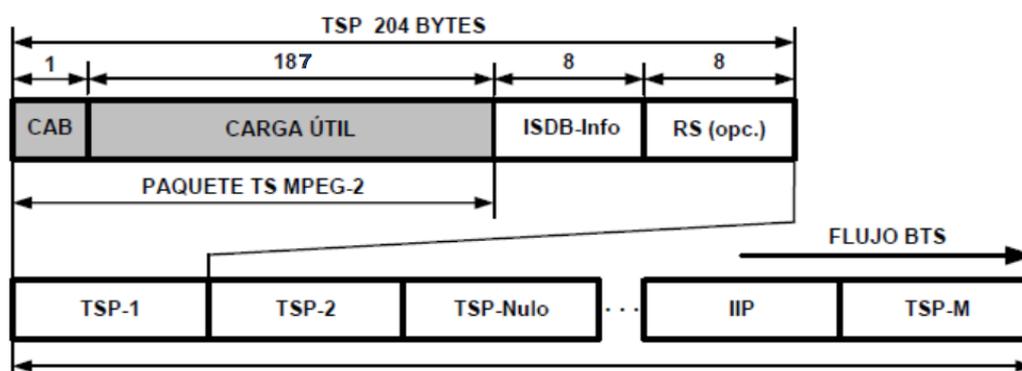


Figura 9: Estructura de los paquetes TSP, flujo BTS. ⁷

Seguido de los 187 bytes de carga útil, aparecen 8 bytes correspondientes a ISDB Info son utilizados para transmitir:

- El contador TSP.
- La señalización del TSP cabecera.
- El indicador de la capa jerárquica.

Luego siguen 8 bytes opcionales que tienen como destino la posible incorporación de un bloque de paridad, con el objetivo de realizar correcciones de hasta 4 bytes erróneos en cada TSP del flujo BTS.

El estándar a su vez define un TSP especial el cual se denomina IIP (ISDB Information Packet). Este paquete IIP contiene los parámetros de configuración de la red SFN y esta incluido en cada cuadro multiplex. A su vez cada IIP tiene:

⁶Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

⁷Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

- MCCI(Modulation Control Configuration Information)
 - Modo.
 - Intervalo de guarda.
 - Control de sincronización del TMCC.
 - Tipo de multiplexacion empleada.
 - TMCC(Transmission and Multiplexing Configuration Control), que transporta señales de control necesarias para el receptor:
 - Esquema de modulación.
 - Relación de codificación K_f .
 - Profundidad del entrelazado de tiempo.
 - Cantidad de segmentos que integran cada capa.

- NSI(Network Synchronization Information), información para la sincronización SFN:
 - Referencia de tiempo se sincronización (STS).
 - Tiempo máximo de retardo.
 - Código de identificación de cada uno de los transmisores de red.
 - Parámetros de configuración de retardos para cada transmisor.

Finalizando con el bloque de remultiplexación, y empezando la etapa de modulación con lo primero que nos encontramos es con el divisor jerárquico el cual a partir de la información obtenida del campo ISDB-Info, este procesa el flujo BTS y asigna cada paquete TSP a la capa que corresponda, descartando los paquetes nulos. Luego de hacer la lectura del campo ISDB-Info, este se descarta junto con el código RS opcional, dando lugar a un nuevo código RS con una extensión de 16 bytes. Todo esto se realiza con el objetivo de mantener la máxima eficiencia posible en la tasa de transmisión de datos.

10.5. Modulador

La etapa de modulación esta integrada por distintos bloques los cuales se explicaran detalladamente a continuación:

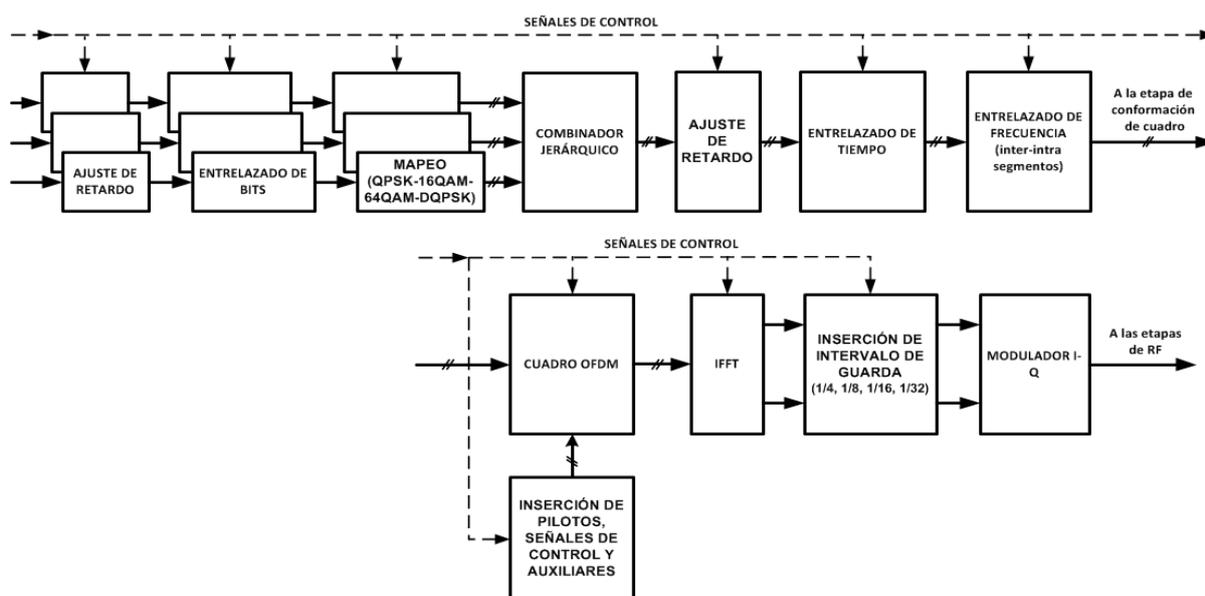


Figura 10: Bloques de la etapa de modulación. ⁸

⁸Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.5.1. Entrelazado de bits

De acuerdo al esquema de modulación que se utilice, es que se define la cantidad de líneas necesarias a la salida del divisor de bits, esto quiere decir que si se utiliza una modulación QPSK o DQPSK se necesitarán 2, en el caso de utilizar 16-QAM serán 4 y para 64-QAM habrá 6 líneas.

La norma establece que la salida mapeada debe ser una secuencia binaria, en los ejes I y Q de las constelaciones.

10.5.2. Ajuste de retardo

Debido a que cada capa tiene su propia configuración, es decir, cada una puede tener asignada distintos esquemas de modulación, número de segmentos N_{Sc} y relación de codificación convolucional, es que aparecen distintos tiempos de procesamiento de las señales una vez que se realiza el entrelazado de bits. Es por esta razón que surge la necesidad de realizar un nuevo ajuste de retardo. Es muy importante que todos los retardos sean múltiplos enteros de la duración de un símbolo OFDM.

10.5.3. Combinador jerárquico

Luego de que los bits de datos codificados hayan sido mapeados en pares ordenados complejos I-Q, estos deben ser transformados en símbolos. Cuando decimos símbolos, nos referimos a pares ordenados complejos I-Q. El combinador jerárquico es el encargado de realizar este ordenamiento asignando símbolos a los segmentos en función de la configuración de cada capa, procurando un ordenamiento ascendente por capas jerárquicas (A, B y C) y por segmento (0, 1, 2, ..., 12), dando lugar así a un símbolo OFDM.

De acuerdo a los esquemas de modulación (sincrónica o diferencial) y de la utilización o no de la recepción parcial, se tienen las siguientes consideraciones al momento de realizar la asignación y el ordenamiento de los segmentos:

- En el caso de utilizar recepción parcial, el segmento 0 se destina para este servicio, conformando así la capa A. Si no se utiliza, el segmento 0 será el primero de la capa A cuando esta tenga más de un segmento.
- El siguiente grupo de segmentos conforman la capa B y esta tiene prioridad sobre la capa C cuando se emplea modulación diferencial. En el caso de no haber modulación diferencial no existe diferencias de prioridades entre las capas B y C.
- Los segmentos restantes conforman la capa C, ocupados solo por la capa con modulación sincrónica, en el caso de existir una capa con modulación diferencial.

Los símbolos I-Q que se almacenan en una memoria de acceso aleatorio (RAM) y son leídos a una tasa igual a la frecuencia de muestreo IFFT (f_{IFFT}), por lo que a la salida del combinador jerárquico tendremos un único flujo de símbolos I-Q correspondiente a los tres flujos binarios de cada capa.

10.5.4. Entrelazado de tiempo

Lo que se busca al realizar este tipo de entrelazado es mediante la dispersión en el tiempo de los símbolos de datos lograr aumentar la robustez del sistema frente al desvanecimiento en la recepción móvil y disminuir las interferencias provocadas por el ruido impulsivo. Esta herramienta actúa frente a los impulsos y cambios de nivel de la señal. En el sistema ISDB-Tb el entrelazado de tiempo que se aplica es de tipo convolucional, buscando minimizar los retardos de tiempo y la cantidad de memoria necesaria.

Es importante en este punto destacar los distintos valores normalizados para la profundidad del entrelazado "I" de acuerdo al Modo que se este empleando:

	Modo 1	Modo 2	Modo 3
I	0	0	0
	4	2	1
	8	4	2
	16	8	4

Tabla 2: Valores normalizados de I para cada Modo. Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Tabla].

10.5.5. Entrelazado de frecuencias

Siguiendo con la premisa de generar un sistema lo mas robusto posible, ISDB-Tb aplica ademas un entrelazamiento de frecuencias, el cual actúa frente a las interferencias sobre las portadoras y contra los efectos de las trayectorias múltiples.

Este tipo de entrelazado funciona distribuyendo los símbolos sobre frecuencias no adyacentes, eliminando de esta forma la consecutividad en esta dimensión. Existe dos técnicas de entrelazado de símbolos:

- Entre segmentos (ínter-segmentos): El cual se aplica a todos los segmentos excepto si existe el servicio one seg, en cuyo caso este tipo de entrelazado no se aplica al segmento 0. Es importante destacar que el entrelazado de símbolos ínter-segmentos se debe realizar entre segmentos que empleen el mismo tipo de modulación.
- Dentro del segmento (intra-segmentos): Este se aplica de manera independiente a cada uno de los segmentos(incluyendo el segmento 0) y consiste en dos operaciones:
 - * Rotación de símbolos (Siendo nula para el segmento 0).
 - * Aleatorización de símbolos.

10.5.6. Cuadro OFDM

Luego de que se completen tanto el entrelazado en tiempo y frecuencia de los símbolos de datos, se debe conformar el cuadro OFDM, este es el que se trasmite al receptor, añadiendo los símbolos correspondientes a las siguientes señales:

- Pilotos Dispersos (SP).
- Pilotos Continuos (CP).
- Canal de Control de Configuración de Transmision y Multiplexación (TMCC).
- Canales Auxiliares (AC1 y AC2).

Los símbolos de datos llegan a la etapa de conformación de cuadro OFDM con un ordenamiento secuencial y ascendente, el cual se realizo en el combinador jerárquico, es por esta razón que para realizar la incorporación de las señales auxiliares se debe seguir con un procedimiento determinado:

- Primero, se deben asignar los símbolos de datos a las portadoras que ocuparan definitivamente en el espectro de frecuencias transmitido.
- Segundo, se deben intercalar los símbolos de los pilotos SP, TMCC y AC1 , rompiendo así la continuidad de los símbolos de datos.

10.5.7. Inserción intervalo de guarda

Luego de calcular la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT), el siguiente paso es realizar la inserción del intervalo de guarda a la señal OFDM que se encuentra en el dominio del tiempo discreto. El intervalo de guarda puede tomar uno de los siguientes valores: $1/4 T_U$, $1/8 T_U$, $1/16 T_U$, $1/32 T_U$. En la siguiente ilustración se visualiza el concepto de intervalo de guarda, es importante destacar que el intervalo que se coloca al comienzo de cada símbolo OFDM, esta formado por el tramo final de éste y tiene una longitud $T_G = \Delta T_u$.

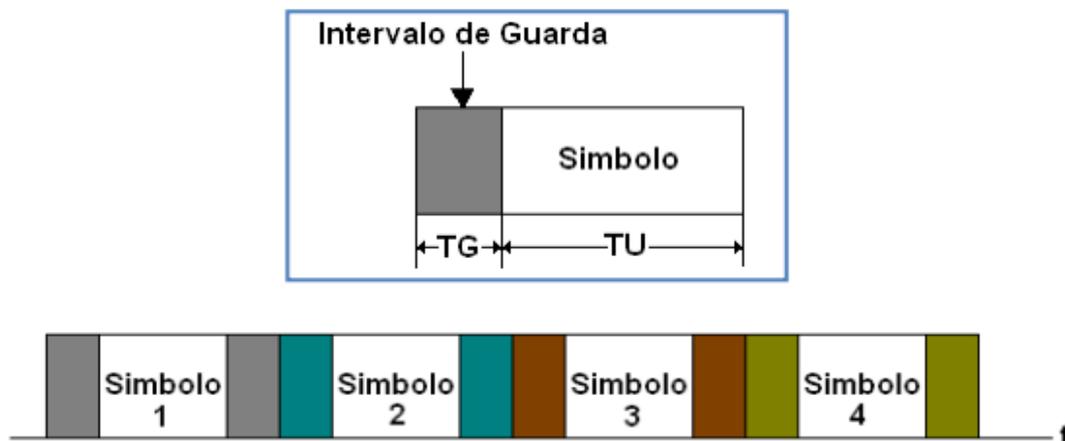


Figura 11: Concepto de intervalo de guarda. Descripción del estándar ISDB-Tb. ⁹

10.5.8. Modulador I-Q

Una vez que se almacenaron en las memorias RAM toda la sucesión de muestras complejas (parte real e imaginaria) en el dominio del tiempo, es necesario generar el símbolo OFDM combinando las dos secuencias en un modulador I-Q para obtener de esta forma una señal de RF real en el dominio del tiempo.

La estructura de un modulador I-Q analógico se presenta en la siguiente imagen:

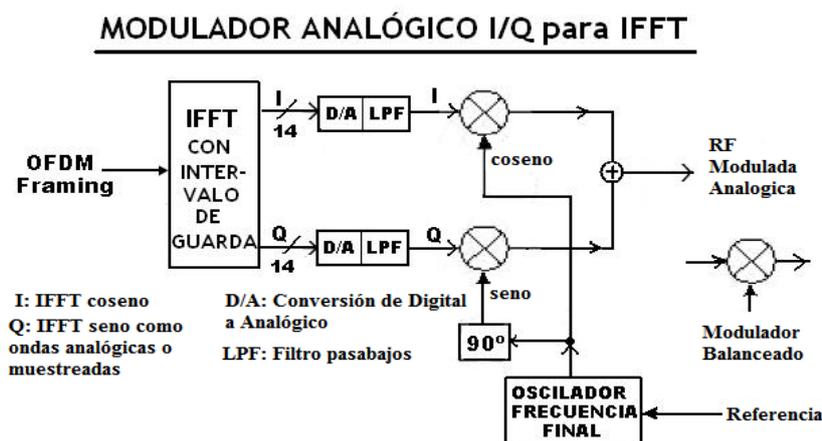


Figura 12: Modulador I-Q analógico. Copyright 2013. ¹⁰

Debido a la periodicidad de las señales entregadas por la IFFT, se deben colocar filtros *antialiasing* luego de la conversión D/A de la señal y antes de que la misma ingrese al modulador I-Q, con el objetivo de lograr la reconstrucción de la señal analógica.

⁹Pisciotta, N. (2010). Sistema ISDB-Tb (Primera Parte). [Figura]. Recopilado de <http://www.ubp.edu.ar/wp-content/uploads/2013/12/392010MI-Sistema-ISDB-Tb-Primera-Parte.pdf>

¹⁰Recuperado de: <https://www.tdtlatinoamerica.com.ar/forotdt/foro-general-f160/isdb-t-y-tv-digital-temas-tecnicos-ampliables-t59.html>

Luego del filtrado, el modulador I-Q se encarga de realizar la mezcla en cuadratura de las señales. Es decir, traslada las señales de banda base desde el valor de CC (cero Hertz) hasta una frecuencia intermedia FI, cuyo valor esta estandarizado, obteniendo así finalmente una señal real $s(t)$ en RF.

10.6. Redes de Frecuencia Única - SFN

El avance mas importante que propone el estándar ISDB-Tb es sin duda el concepto de las redes de frecuencia única SFN (Signal Frequency Network). El cual consiste en una red de transmisores que emiten una señal de información idéntica y de manera simultanea a la misma frecuencia. La utilización de este tipo de redes produce un mejor provecho del espectro en las bandas de televisión a comparación de las redes de frecuencia múltiples MFN (Multiple Frequency Network) que se utilizaban en televisión analógica.

Este progreso tecnológico trajo aparejado la aparición de nuevos conceptos propuestos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

10.6.1. Assignment

La siguiente figura ilustra este concepto, donde cada transmisor es un assignment y TX2 es utilizado para cubrir lugares a los cuales la señal del transmisor principal no llega.

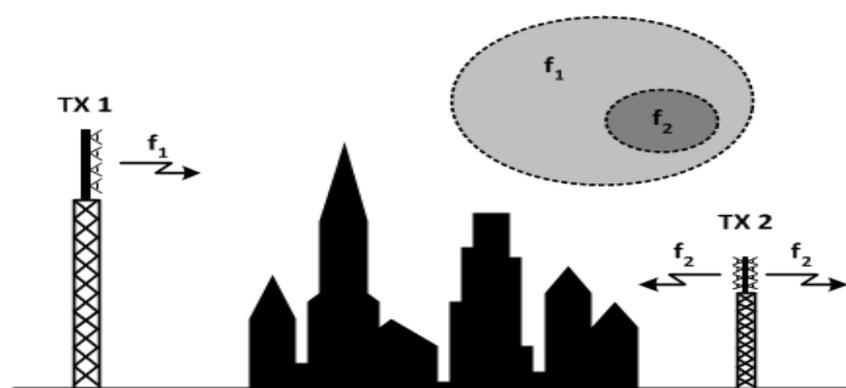


Figura 13: Concepto de assignment¹¹

Al determinar un assignment, el organismo de gestión del espectro define ciertas características de transmisión como la potencia, frecuencia, ganancia y directividad de la antena.

Este concepto esta relacionado con la TV analógica, donde en sus comienzos cada difusor proponía la ubicación para su planta y los parámetros de transmisión de manera independiente. Pero mas adelante se estableció un sistema de planificación técnica para mayor regulación.

¹¹ Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.6.2. Allotment

Con la llegada de la TV digital, y la posibilidad de implementar redes SFN, surgió la necesidad de definir un nuevo concepto para describir los entornos geográficos en los que operan varios transmisores en una misma frecuencia. A partir de la definición del allotment y del importante ahorro del espectro que generan las redes SFN, se produce un cambio en las condiciones de planificación.

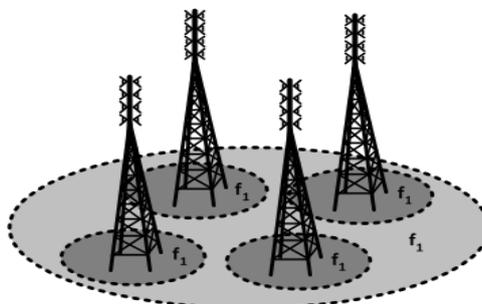


Figura 14: Concepto de allotment, asado en el entorno geográfico de las redes SFN.¹²

10.6.3. System Variant

Este termino se utiliza para definir a todos los parámetros de configuración del sistema, es decir, todas las posibles combinaciones de Modo (1, 2, y 3), intervalo de guarda (1/4, 1/8, 1/16 y 1/32), esquema de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM, 64-QAM) y la relación de codificación convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8). La determinación del juego de parámetros es fundamental para la robustez del sistema y la tasa de transmisión. Es por esto, que debe ser conformado de acuerdo a las condiciones del área y la cantidad de población donde se ofrecerá el servicio.

Existen ciertas consideraciones que se deben tener en cuenta para realizar la correcta configuración del sistema de transmisión y la elección del System Variant, estas son:

- La variación del intervalo de guarda no influye en la relación C/N , manteniendo fijos los demás parámetros.
- La variación del intervalo de guarda influye sobre el valor de la tasa de transmisión de datos, manteniendo fijos los demás parámetros que la definen.
- La variación de la codificación convolucional K_I modifica el valor del C/N necesario y la tasa de transmisión. Cuando menor es su valor, mas robusta se hace la transmisión, pero disminuye la tasa de datos.
- A mayor cantidad de bits por símbolo que se definen de acuerdo al esquema de modulación, mayor es la tasa de transmisión, pero el sistema se hace menos robusto, siendo necesaria una mayor relación C/N .

¹²Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.6.4. Redes SFN y su ahorro espectral

La red de transmisión multifrecuencia MFN, la cual esta formada por transmisores con señales independientes trabaja con varias frecuencias, mientras que en la red SFN, todos los transmisores se modulan de forma síncrona con la misma señal y emiten en la misma frecuencia. Además las redes SFN tienen disponible canales adyacentes y co-canales, mientras que las redes MFN no cuentan con esta ventaja.

Como se estableció anteriormente, la operación de múltiples transmisores en una única frecuencia en áreas de coberturas superpuestas, produce un importante ahorro del espectro, pero para que esto sea posible se deben cumplir ciertas condiciones:

- Operar en la misma frecuencia.
- Transmitir la misma programación.
- Transmitir la misma información de manera sincronizada, es decir definir un único System Variant.
- Los “ecos”, que en SFN hace referencia a todas las señales que llegan a la antena, además de la señal directa, deben hacerlo dentro del intervalo de guarda con el cual se configuro la red.

10.6.5. Trayectos múltiples en receptores fijos y móviles

Teniendo en cuenta un receptor fijo “casa” el cual recibe las señales 1 de TX1, 2 de TX2 y una reflexión o “eco” 3 proveniente de TX1. Si se logra que las tres señales lleguen dentro del intervalo de guarda, se podrá hacer utilidad de todas ellas. Es común que las antenas receptoras se encuentren orientadas hacia el transmisor mas cercano. Como en el caso de la figura la misma se encuentra orientada hacia TX2, es probable que las señales provenientes del transmisor TX1 y el eco lleguen atenuadas. Hay que tener en cuenta que una señal directa puede transformarse en eco, si el receptor cambia de posición.

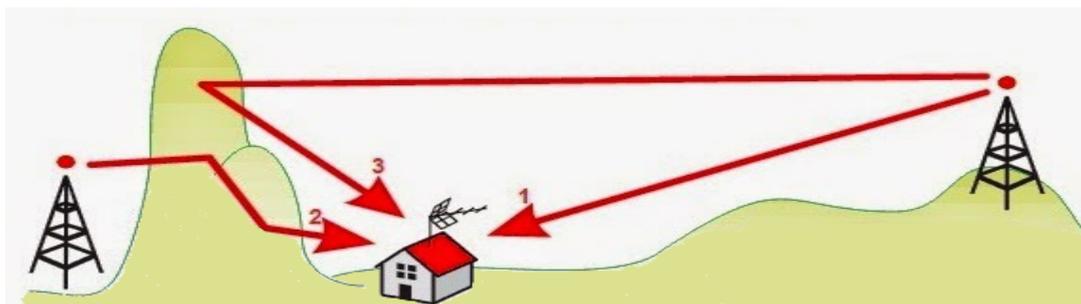


Figura 15: Señales recibidas por receptores fijos en una red SFN.

Para el caso de un receptor móvil el cual recibe señales de una red SFN, se suman problemas adicionales causados por efecto Doppler y reflexiones variables en obstáculos naturales y construidos por el hombre, con un comportamiento cambiante a medida que el receptor móvil se desplaza.

10.6.6. Intervalo de guarda

La siguiente figura presenta una situación en donde al receptor le llegan dos señales de la misma red originadas en TX1 y TX2. Debido a que la señal de TX1 llega antes que la de TX2, el receptor se sincroniza con la primera, abriendo así la ventana FFT al comienzo del tiempo útil del símbolo para demodular la señal.

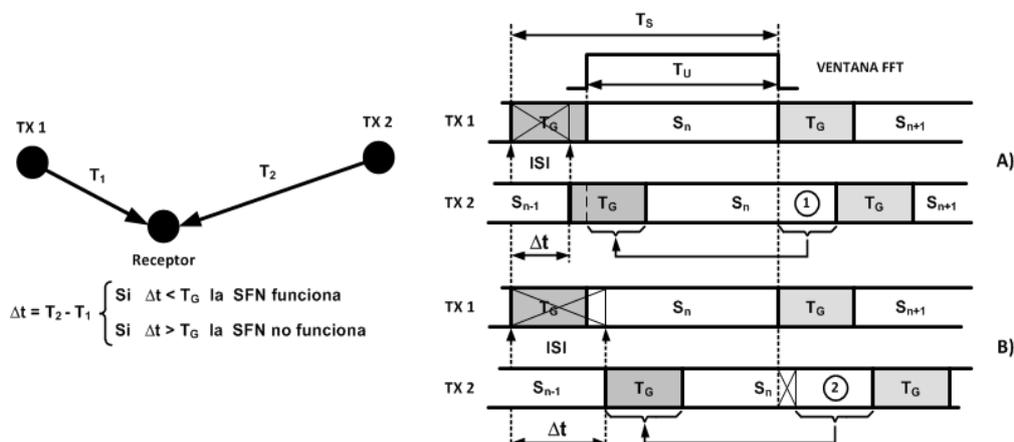


Figura 16: Intervalo de guarda en redes SFN. ¹³

Analizando el caso A) al ser el retardo Δt menor que T_G la interferencia ISI se produce dentro del intervalo de guarda de la señal TX1. Esta interferencia afecta solo la información redundante del símbolo S_n , que cae fuera de la ventana.

En lo que respecta al eco, el retardo Δt deja fuera de la ventana a la parte final ① del símbolo S_n , pero esto no genera problemas ya que la misma se encuentra replicada en el intervalo de guarda del eco. Es por esta razón que ambas señales aportan a la ventana y cuando se realice el calculo de la transformada, los espectros resultantes de cada señal tendrán mismo modulo, pero diferente valor de fase. Esta diferencia provoca un giro en el diagrama de constelación que se deberá compensar para lograr minimizar los errores antes de que se comience con el desmapeo de los símbolos.

En el caso B) el retardo Δt es mayor que T_G y la ISI cae fuera de la parte final del intervalo de guarda. Es evidente que además de afectar a la información redundante del símbolo S_n , se perjudicaran también las primeras muestras de este símbolo que se encuentran dentro de la ventana y que no se repiten en ninguna otra parte de la señal TX1.

Para el eco de este caso puede verse que la parte final ② del símbolo S_n queda fuera de la ventana, pero no es un inconveniente ya que estas muestras se encuentran replicadas en el intervalo de guarda. Lo que si genera problemas son las muestras que anteceden a la parte ② y que no se encuentran replicadas en ningún lugar de este eco. Esto produce que la ventana FFT contenga muestras del símbolo S_n y S_{n-1} , generando a la salida del procesador FFT la información correspondiente a la composición espectral de dos símbolos, con errores que no admiten compensación, impidiendo el correcto funcionamiento de la red SFN y con la posibilidad de que la señal sea destruida si el nivel del eco supera el limite de protección por interferencia cocanal.

¹³Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.6.7. Retardos de tiempo

A continuación se ilustra un sistema de transmisión completo, que va desde los estudios hasta la salida del transmisor hacia la antena, vinculados a través de un enlace estudio-planta transmisora (STL).

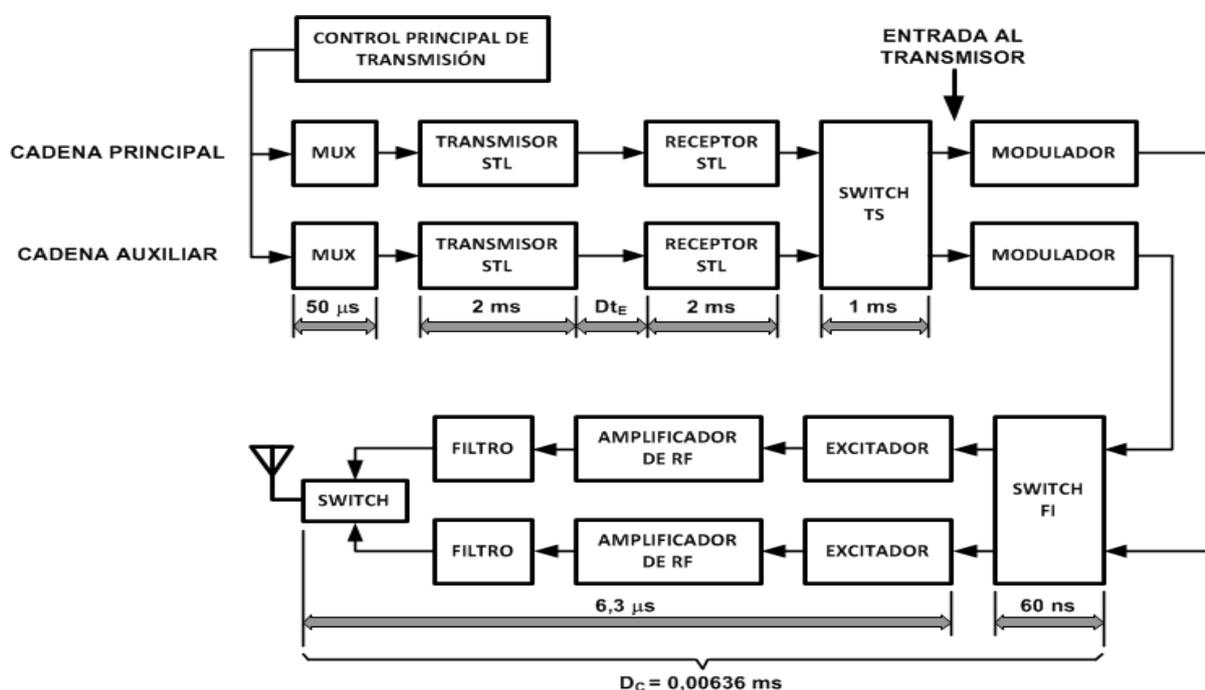


Figura 17: Retardos en la cadena de transmisión. ¹⁴

Con el objetivo de asegurar la máxima confiabilidad del servicio la totalidad de la cadena se duplica, los bloques “switch” se encargan de conmutar las etapas duplicadas. Los retardos que se muestran suelen aparecer en la mayoría de las instalaciones. El valor Dt_E es muy significativo y para enlaces satelitales puede superar los 500 ms.

Lo que se busca es que los transmisores de una red SFN estén sincronizados y así se transmitan los mismos bits en el mismo instante de tiempo y en la misma frecuencia. Debido a que cada transmisor se encuentra ubicado en distintas zonas geográficas, que la señal no se procesa por el mismo hardware y que no se envía por los mismos enlaces de la cabecera la condición de sincronización no se cumplirá, a no ser que se tomen algunas previsiones.

Lo que se realiza en estos casos es agregar a cada transmisor de la red un retardo de tiempo, el cual produce que todos los transmisores logren irradiar la misma señal de manera sincrónica. Existen dos formas de lograr esta compensación las cuales se explican en el apartado siguiente.

10.6.8. Compensación estática de retardo

Este tipo de compensación no posee GPS para la sincronización del sistema por lo que se debe programar manualmente el valor de retardo y se puede realizar desde dos lugares distintos:

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

¹⁴Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

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

La figura 47 muestra una red SFN compuesta por la Estación Principal, la Estación 2 y la Estación 3. Se observa que a medida que el flujo de datos BTS pasa por cada estación, el mismo se va retrasando en orden sucesivo.

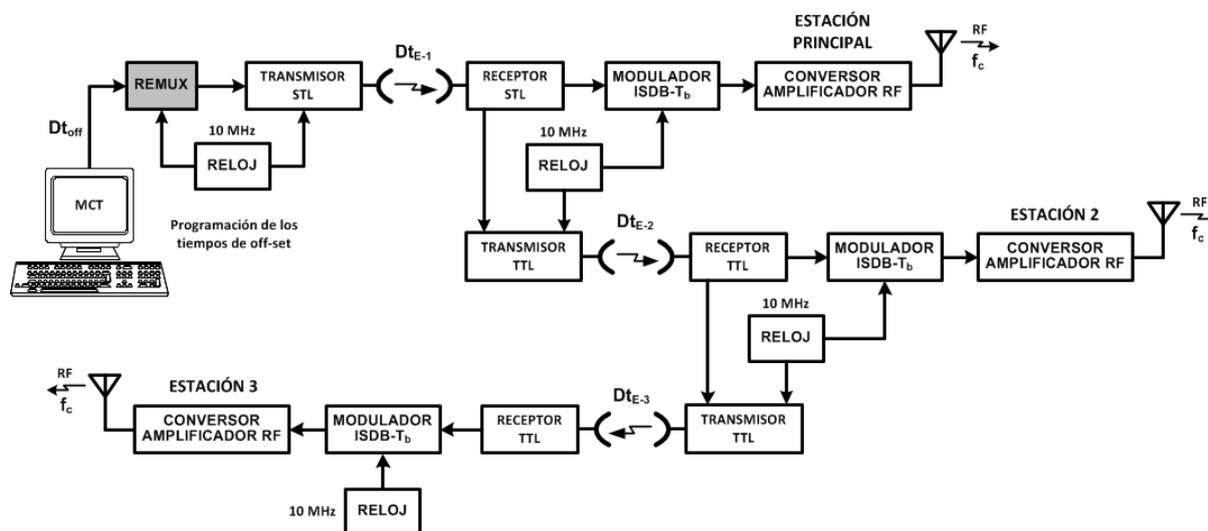


Figura 18: Ajuste de la compensación estática de retardo, desde el MCT.¹⁵

Para que el ingeniero pueda programar los valores de retardos adicionales desde la computadora MCT, es necesario que conozca de antemano la cadena de retardos de la estación.

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

La diferencia que tiene este procedimiento respecto del anterior, es que se necesita menos hardware en el MCT, pero requiere la presencia de un técnico de campo en cada sitio para realizar el ajuste.

¹⁵Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

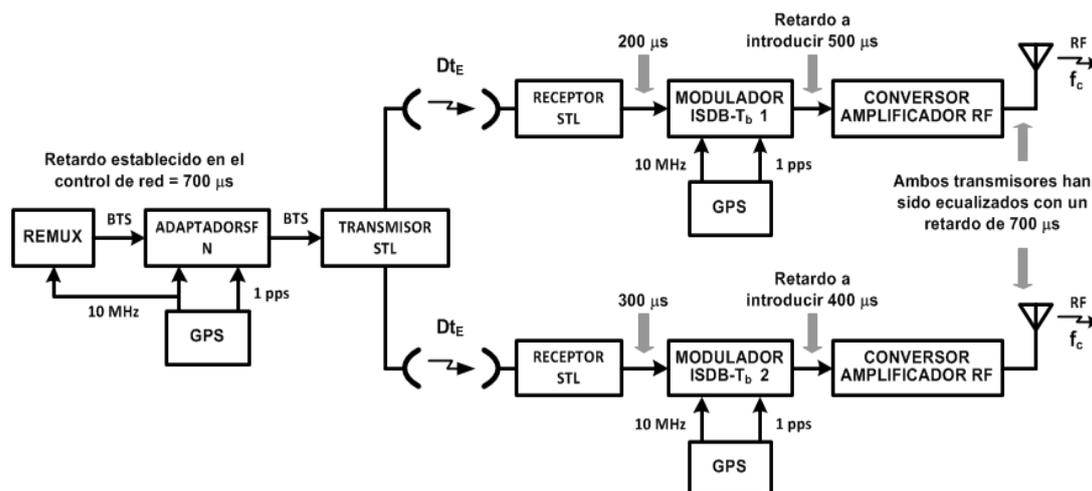


Figura 21: Compensación dinámica del retardo ajustada en base al STS. ¹⁸

En base al STS el Modulador ISDB-Tb 1 determina que su retardo es de $200\mu s$ y dado que recibe desde el control de los estudios, el dato con el valor de retardo máximo de la red $Dt_{max} = 700\mu s$ puede determinar el valor de ajuste de retardo que debe insertar:

$$Dt_{max} [seg] = STS + Dt_E + Dt_{mod} \tag{2}$$

$$Dt_{mod} = Dt_{max} - (STS + Dt_E) \tag{3}$$

$$Dt_{mod} = 700\mu s + 200\mu s = 500\mu s \tag{4}$$

Ahora, teniendo en cuenta el retardo que se produce durante el procesamiento de la señal OFDM de cada modulador de la red (Dt_{proc}):

$$Dt_{calc} [\mu s] = Dt_{mod} - Dt_{proc} \tag{5}$$

Finalmente en el Modulador ISDB-Tb 2 se realiza el mismo procedimiento, obteniendo un valor de ajuste de $400\mu s$. Quedando así todos los transmisores de la red sincronizados y cumpliendo una de las condiciones mas importantes del sistema “transmitir los mismos bits de manera sincronizada”.

Es muy importante dejar en claro que este tipo de compensación garantiza que todos los transmisores emitan al mismo tiempo pero, falta compensar las diferencias de retardo de los transmisores en relacional al receptor, ya que esta variable de distancia no se puede prever para hacer un auto ajuste. Esta compensación si la debe realizar el Ingeniero de forma manual configurando el valor de Offset de cada transmisor con el objetivo de que los receptores de prueba reciban las señales dentro del intervalo de guarda.

¹⁸Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.6.10. Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda

La figura 51 presenta dos ciudades las cuales reciben la programación desde dos transmisores de una red SFN.

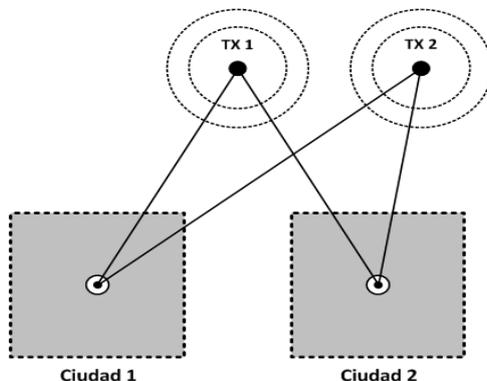


Figura 22: Diferencia de tiempo entre dos señales que llegan a un punto. ¹⁹

Si la diferencia entre las distancias recorridas por las señal emitidas por TX1 y TX2 es menor que la distancia que recorre la señal en un tiempo igual al intervalo de guarda, entonces la Ciudad 2 se encuentra dentro del intervalo de guarda de ambos transmisores y la existen interferencias.

Suponiendo que para la Ciudad 1 la diferencia de trayectos de las señales equivalente en tiempo escapa al intervalo de guarda, entonces los transmisores se interferirán y no se lograra la recepción de la programación de la red en esta área.

Para reducir la diferencia de trayectos y lograr que las señales queden dentro del intervalo de guarda es necesario aplicar nuevos retardos consiguiendo así el “desplazamiento electromagnético del del transmisor TX2 hacia el TX1.

Para poder analizar estos aspecto se suele ubicar instrumentos de medición en algún punto de recepción dentro de la red SFN. El instrumento presenta las mediciones de los ecos, en donde el tiempo de llegada esta presente en el eje de abscisas, mientras que sus respectivos niveles se encuentran en las ordenadas. Un ejemplo se presenta a continuación:

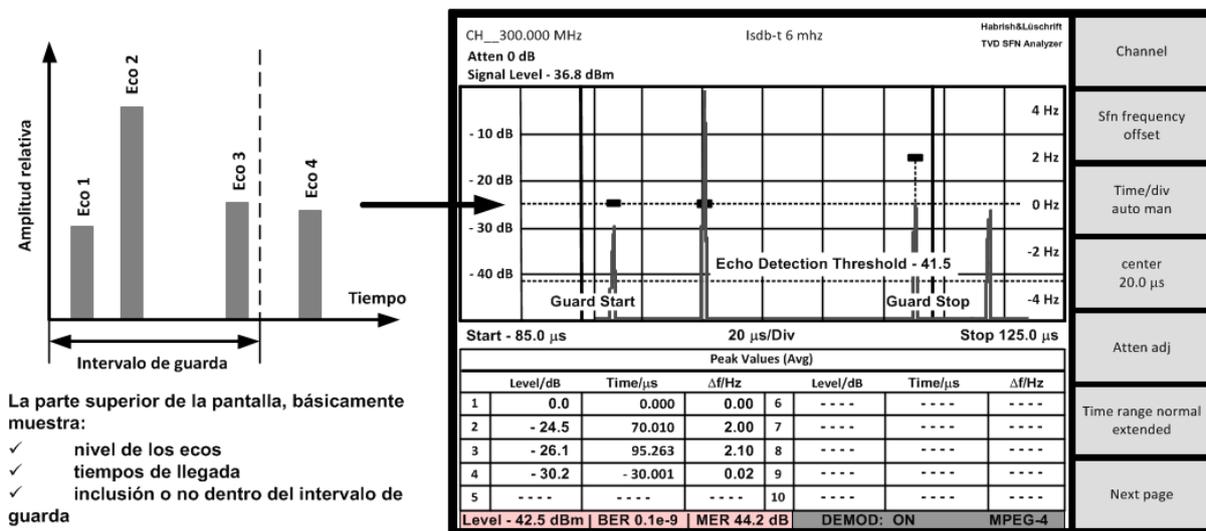


Figura 23: Medición de la amplitud y tiempos de llegada de los ecos. ²⁰

Siguiendo con la situación planteada al principio el instrumento se ubica en la Ciudad 1 siendo el eco 1 proveniente del transmisor TX1 y el eco 3 correspondiente a TX2. Se observa con facilidad que el primer eco llega dentro del intervalo de guarda mientras que el segundo queda afuera.

¹⁹Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

²⁰Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

Existe una forma de hacer ambos ecos caigan dentro del intervalo de guarda y es desplazando electromagnéticamente el transmisor, es decir, insertando un retraso en TX1 o un “adelanto” de la misma magnitud en TX2.

Una forma de visualizar este concepto es ubicando un receptor RX en el centro de un círculo cuyo radio d_{max} corresponde a la distancia recorrida por la señal durante el intervalo de guarda.

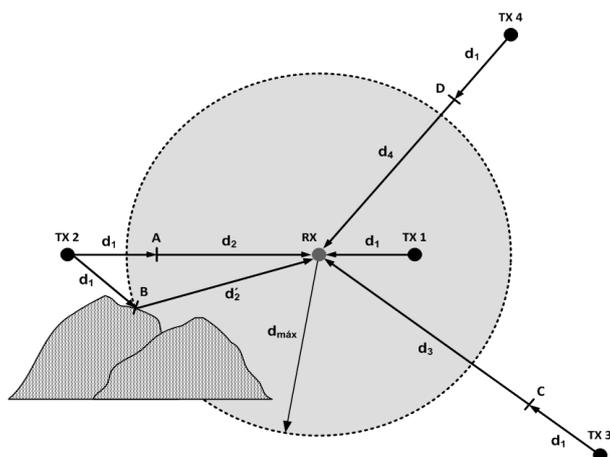


Figura 24: Retardos a introducir en una zona servida por varios transmisores sincronizados. ²¹

Si siguiendo con la premisa planteada anteriormente se supondrá que el proceso de sincronización comienza con la llegada de la señal proveniente de TX1 al receptor RX, dado que es la que recorre la menor distancia d_1 en un tiempo t_1 . El comienzo de la sincronización hace referencia al inicio del intervalo de guarda, y es en este mismo instante en el que las señales emitidas por TX2, TX3 Y TX4 también habrán completado la misma distancia que la proveniente de TX1 llegando a los puntos A, B, C y D en el instante t_1 .

La figura permite apreciar los siguientes aspectos:

- No existirá interferencia entre TX1 y TX2 ya que la emisión de TX2 aun debe recorrer las distancias d_2 y d'_2 , las cuales son menores o iguales a d_{max} y se encuentran dentro del intervalo de guarda.
- Por otro lado las señales de TX3 y TX4 producirán interferencias en la red, debido a que las distancias d_3 y d_4 que les faltan recorrer a partir del instante t_1 son mayores que el límite del intervalo de guarda d_{max} .

Para solucionar este problema lo que se hace es adelantar la emisión de los transmisores, realizando un desplazamiento temporal por reducción de sus retardos totales, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$d_{dif} - d_{despl} \leq d_{max} \tag{6}$$

$$Dt_{calc} \cdot c \geq d_{dif} - d_{max} \tag{7}$$

$$Dt_{calc} \geq \frac{d_{dif} - d_{max}}{c} \tag{8}$$

$$Dt_{calc} [\mu s] \geq \frac{d_{dif} - d_{max}}{0,3[\frac{km}{\mu s}]} \tag{9}$$

Donde:

- d_{dif} : es la distancia diferencial en km
- c : es la velocidad de la luz

²¹Pisciotta, N. , Liendo, C. & Lauro R.(2013) Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. [Figura].

10.6.11. Ganancia de red

En SFN existen áreas cubiertas por varios transmisores que forman parte de la red. En dichas áreas donde se produce el solapamiento de las zonas de coberturas las potencias recibidas se suman y dan como resultado una intensidad de campo mayor dando lugar a la “ganancia de red” la cual puede lograr hasta 9 db de ganancia.

La ganancia de red permite que los transmisores principales trabajen con potencias mas bajas debido a la distribución homogénea de la intensidad de campo de la red, lo que se suele denominar como potencias distribuidas.

En el caso de la recepción portátil, si se tiene en cuenta un único transmisor, el mismo presentara variaciones estadísticas en su intensidad de campo. Estas variaciones se pueden disminuir de manera significativa si existen varios transmisores ubicados en distintos lugares (diversidad de espacio), de forma que cuando la señal de alguno de ellos se vea afectado por el desvanecimiento, los restante se encarguen de mantener un buen nivel de señal en el receptor.

11. Capítulo 3 - Marco Metodológico

En las siguientes secciones se desarrollara el proceso que se llevo a cabo para realizar la nueva versión de la Calculadora ISDB-Tb. Se comenzara con una introducción al Laboratorio de Ensayo de Aplicaciones Interactivas con el que se realizaron distintas pruebas, haciendo uso de los equipos que se describieron en el marco teórico. Luego se presentara la versión 1.0 de la Calculadora ISDB-Tb, sus funciones y que se puede realizar con ella. También se describe el software “Digital Multiplexer” de Hitachi-Linear.

A continuación se determinan los requisitos principales para la versión 2.0 de la Calculadora ISDB-Tb, se diseña y programa la misma y luego se realizan pruebas para corroborar su funcionamiento y finalmente redactar la documentación necesaria para los usuarios.

11.1. Laboratorio de Ensayo de Aplicaciones Interactivas

La cátedra de Sistemas de Radiocomunicaciones dispone de un “Laboratorio de Ensayo de Aplicaciones Interactivas” el cual esta compuesto por los equipos necesarios para la realización de pruebas de transmisiones digitales según la norma ISDB-Tb. Durante la cursada de la “ Practica Profesional Supervisada” se llevaron a cabo distintas transmisiones, entendiendo a través de las mismas el funcionamiento de los equipos y la forma en cada uno se debe configurar.

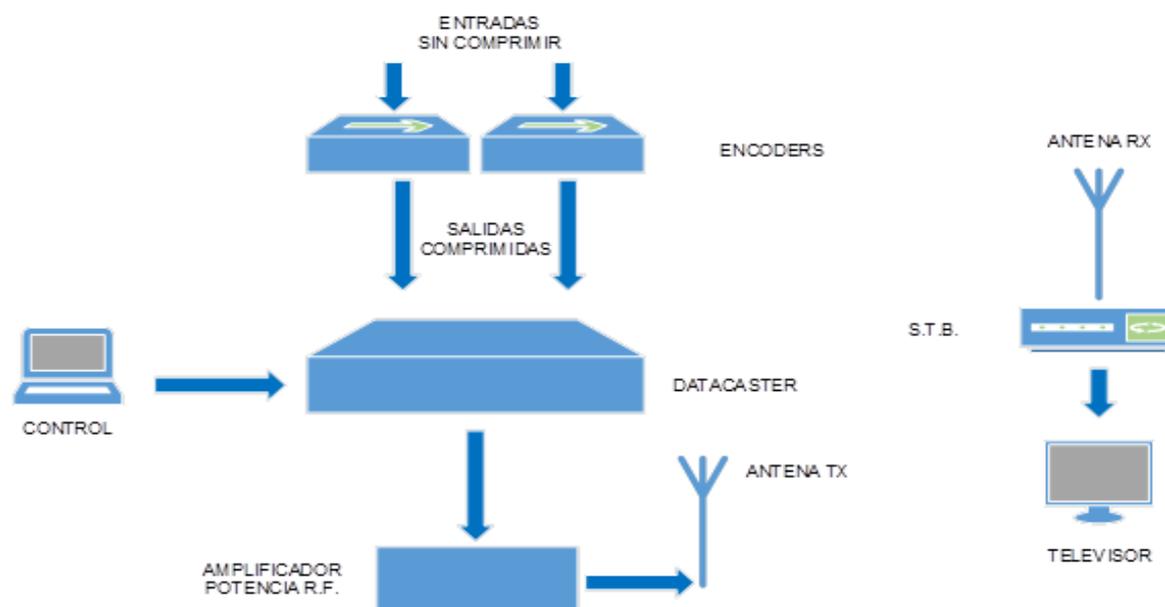


Figura 25: Esquema Laboratorio

Los equipos que componen el laboratorio son:

- Un módulo codificador (Encoder) dual, el cual permite comprimir la señal de entrada a los valores necesarios para el funcionamiento del sistema. Cada módulo funciona de manera independiente por lo que se podrán procesar por ejemplo una señal HD y otra SD o HD y LD, etc. El equipo dispone de entradas y salidas independientes, se pueden elegir entradas digitales en formato SDI, analógicas o digitales almacenadas en memoria SD. Las salidas son en formato comprimido con conexión DVB-ASI en un flujo de transportes de paquetes de 188 byte.
- La salida de los codificadores se encamina a la entrada del equipo modulador, transmisor y administrador de aplicaciones llamado Datacaster. Este dispone de tres entradas DVB-ASI para conectar hasta tres señales comprimidas. El Datacaster se puede programar para procesar cualquier combinación de señales a transmitir. En el Datacaster se realiza la modulación digital y dispone de una salida de radiofrecuencia en la frecuencia del canal que se desea emitir.
- La salida de radiofrecuencia del Datacaster se encamina a la etapa amplificadora de potencia, que amplifica la señal para suministrar potencia a la antena transmisora.

- El Laboratorio se completa con diversos modelos de receptores/decodificadores, denominados Set Top Box (STB), televisor con decodificador incluido y antena de recepción. Se dispone de teléfono móvil con sintonizador digital y sintonizador Dongle para utilizar en PC.

11.1.1. Codificadores

La función principal del Encoder es disminuir el bitrate de las señales de video y audio y cambiar el formato del flujo de datos. El equipo dispone de diversas entradas: analógicas de video y audio compuesto, analógicas de video por componentes, SDI/ASI, HDMI/DVI, VGA y Ethernet. Dispone también de varias salidas: ASI/SDI y Ethernet. Las señales de entrada sin compresión en formato SD-SDI o HD-SDI ingresan con bitrate elevados, de 270 Mbps y 1,45 Gbps, en ambos casos los bitrate son excesivos para poder transmitirlos por la planta digital, por esa razón se deben comprimir o quitarles información a fin de que el flujo de datos resultante tenga un bitrate manejable. Además se requiere pasar a un formato de flujo empaquetado a los fines de poder multiplexar diversas señales. Cada paquete tiene 188 bytes y una secuencia de paquetes conforma el flujo denominado MPEG-2 TS, que en definitiva es lo que se quiere transmitir para hacerle llegar al receptor.

El Encoder utiliza avanzados algoritmos de compresión, que se pueden seleccionar entre MPEG-2 y MPEG-4 (H.264), éste último es el utilizado en la norma ISDB-Tb.

El modelo con el cual se trabajó fue el “Encoder Z3-MVE-20”. El mismo dispone de dos codificadores, que funcionan de manera totalmente independiente, permitiendo la configuración de cada uno a través de su servidor web.



Figura 26: Encoder Z3-MVE-20

Cada encoder presenta las siguientes características para la codificación de video:

- Interfaces:
 - x 1 entrada HD-SDI.
 - x 1 entrada Component.
 - x 1 entrada Composite.
 - x 1 entrada HDMI.

- x 1 entrada RGB.
- x 1 salida ASI.
- x 1 puerto Ethernet.
- Codecs de video:
 - H.264 y MPEG-2.
- Definición estándar:
 - ISDB-Tb y DVB-H.
- Formatos de salida:
 - MPEG-2 TS, RTP y MPEG-2 sobre RTP.

Y para la codificación de audio:

- Interfaces:
 - Jacks Analógicos, HDMI integrado, Audio SDI incorporado.
- Codecs de audio:
 - AAC-LC ADTS, AAC-LC LATM, PCM y AC-3 Passthrough.

Conociendo el IP correspondiente a cada encoder es posible configurar los parámetros de cada uno de acuerdo a las condiciones de transmisión con las que se este trabajando. Al acceder al servidor web a través del puerto Ethernet nos encontramos con la siguiente pantalla:



Z3-MVE-20 Encoder

Firmware version 1.04.19 UPDATE

device name: MVE-20

set name set pass logout

Operating Mode: Encoder ▼

<h3 style="text-align: center;">Encoder Setup</h3> <p>Video Source HDMI ▼</p> <p>Audio Source Channels 1+2 ▼</p> <p>Audio Codec AAC-LC ADTS ▼</p> <p>Audio Bit Rate 128 kbits ▼</p> <p>Video Resolution WQVGA (320x180) ▼</p> <p>Rate Control CBR ▼</p> <p>Video Bit Rate 5000k</p> <p>Video Profile High ▼</p> <p>Gop Size 30 Frames ▼</p> <p>Video burst size 150ms ▼</p> <p>Video Codec H.264 ▼</p> <p>Frame Decimation None ▼</p>	<h3 style="text-align: center;">Output Setup</h3> <p>Output Interface Ethernet(VBR) ▼</p> <p>Output Format MPEG-2 TS ▼</p> <p>Dest IP Address 192.168.0.100</p> <p>Dest Port 8888</p> <p>TS Bitrate 9000k</p> <p>PID Audio,Video,PCR 310 311 311</p> <h3 style="text-align: center;">Local IP Setup</h3> <p>Local IP Address 192.168.0.56</p> <p>Local Netmask 255.255.255.0</p> <p>Default Gateway 192.168.0.1</p>
---	--

Figura 27: Pantalla de configuración Encoder

Seleccionando el modo de operación “Encoder” se nos presentan tres tipos de parámetros para configurar. Los referidos al encoder mismo, a la salida y al IP local. Las distintas opciones de configuración se presentan en la siguientes tablas:

Encoder Setup	
Video Source	SDI, HDMI, Component, Composite
Audio Source	Analog Jacks, Channnels 1+2, Channnels 3+4, Channnels 5+6, Channnels 7+8
Audio Codec	AAC-LC ADTS, AAC-LC LATM, PMC, AC-3 Passthru, None
Audio Bit Rate	64 Kbps, 96 Kbps, 128 Kbps, 192 Kbps
Video Resolution	Follow Input, 1080i (1920x1080), 1080p (1920x1080), 3/4 1080i (1440x1080), 720p (1280x720), 4/5 720p (1024x720), 16:9 PAL (1024x576), D1 NTSC (720x480), D1 PAL (720x576), 4-CIF (704x576), VGA (640X480), 640X360, 2-CIF (352x576), 2-SIF (352x480), CIF (352x288), SIF (352x240), QVGA(320x240), WQVGA(320x180)
Rate Control	CBR, VBR
Video Bit Rate	Personalizado
Video Profile	Baseline, Main, High
Gop Size	15 Frames, 30 Frames, 60 Frames, 120 Frames, 240 Frames
Video Burst Size	150ms, 200ms, 300ms, 400ms, 500ms, 600ms, 800ms, 1000ms, 1200ms, 1400ms, 1600ms, 1800ms, 200ms
Video Code	H.264, MPEG-2
Frame Decimation	None, 1/2, 1/3, 1/4

Tabla 3: Opciones de configuración Encoder Setup

Output Setup	
Output Interface	Ethernet, ASI, ASI + Ethernet
Output Format	RTP, MPEG-2 TS
Dest IP Address	192.168.X.XX
Dest Port	8888
PID Audio, Video, PCR	Personalizado

Tabla 4: Opciones de configuración Output Setup

Local IP Setup	
Local IP Address	192.168.X.XX
Local Netmask	255.255.0.0
Default Gateway	192.168.0.1

Tabla 5: Opciones de configuración Local IP Setup

11.1.2. Datacaster GDC

El GDC Datacaster es un equipo encargado de la generación y manipulación de los streams de datos en la TV Digital. Además contiene un Modulador multinorma, que recibe los paquetes del Broadcast Transport Stream (BTS) y los modula según las especificaciones de la norma seleccionada, que para el caso del Laboratorio será ISDB-Tb y tiene una salida en radiofrecuencia en la frecuencia de transmisión. Se trata de un servidor de datos que posee como salida una señal codificada de acuerdo al standard ISDB-Tb a través de distintos tipos de interfaces seleccionables ASI, Ethernet y RF.

Las partes específicas son:

- a) Dectek DTA-2160 Entradas SDI, que permiten ingresar las señales comprimidas en formas DVB-ASI, en flujo de Transporte MPEG-2 TS de 188 byte por paquete. También es posible ingresar desde la conexión Ethernet o de Red.
- b) Dectek DTA - 2111 Modulador multinorma, que recibe los paquetes del Broadcast Transport Stream (BTS) y los modula según las especificaciones de la norma seleccionada, que para el caso del Laboratorio será ISDB-Tb y tiene una salida en radiofrecuencia en la frecuencia de transmisión. Las frecuencias posibles de salida respetan el corrimiento especificado en la norma para el centro de banda de emisión, de 0,1428571 Mhz.

Para operar, el equipo GDC cuenta con una interface WEB a través de la cual se puede acceder a la totalidad de sus funcionalidades. El caso de uso más general es establecer las fuentes de entradas audiovisuales y escoger la salida deseada. Además de esto, se puede ingresar la programación asociada a cada canal (EPG), subtítulos (closed caption) y actualizaciones de firmware (OAD).

11.1.3. Amplificador de radiofrecuencia

La salida de Radiofrecuencia del GDC tiene un bajo nivel y no es suficiente para llegar a las antenas de los receptores de prueba, por lo tanto se requiere amplificarla a niveles que permitan su transmisión mediante una antena adecuada. El amplificador suministra 1 Watt de potencia a una antena tipo Yagui de 1 elemento que se conecta mediante un cable coaxial RG-6 de bajas pérdidas, en los canales que van del 35 al 50. La antena transmisora es del tipo direccional para concentrar la energía en una dirección y con esto aumentar el nivel de potencia y controlar fácilmente el área de emisión.

11.1.4. Decodificadores

La señal recibida por la antena se amplifica y se convierte de la frecuencia del canal sintonizado a un valor de frecuencia central de 44 Mhz (FI Frecuencia Intermedia), luego la señal pasa por un demodulador ortogonal de donde se separan los sincronismos y se sincronizan los símbolos OFDM y la ventana FFT, en función del modo y de la longitud del intervalo de guarda. Debido a las múltiples señales que habitualmente llegan a la antena receptora (multi-trayecto) todas en distinto momento, la sincronización de la ventana FFT se hace muy importante para el funcionamiento del receptor. Luego de los sincronismos y la detección de cuadros OFDM se decodifica el TMCC que contiene todo lo necesario para las operaciones de demodulación de portadoras, jerarquías, desentrelazado y corrección de errores. Se demodulan las portadoras según los esquemas correspondientes, se hace el des-entrelazado de frecuencia y de tiempo, se hace el de-mapeo según sea QPSK, 16QAM ó 64QAM y se extrae la cadena de bits. Según la información que llegue del TMCC los bits se dividen en niveles jerárquicos, cada etapa jerárquica ejecuta las operaciones de des-entrelazado de bits y des-punzonado. La cadena de bits se somete al decodificador Viterbi que recupera los bits originales sin errores. Luego, nuevamente por cada capa, los bits agrupados en bytes se someten al des-entrelazado y posterior re ordenamiento de bits para obtener el flujo original TS, que se somete a una última etapa de decodificación RS. En éste punto se ha recuperado el flujo TS estructurado en paquetes de 188 bytes. Este flujo contiene las distintas programaciones o servicios y los datos de tablas y las sincronizaciones necesarias para la decodificación (PCR). Luego el flujo TS se procesa en el demultiplexor MPEG, de donde se obtiene el reloj del sistema recuperado de los datos PCR que envía la estación para el servicio que se quiere sintonizar. Se recupera la tabla NIT del servicio y las tablas PAT y PMT, se obtienen las direcciones de los paquetes de video y audio que corresponden al servicio sintonizado y se entregan éstos paquetes al decodificador, éste los convertirá en paquetes PES y luego en ES para hacer la decodificación y obtener el video y audio digital original. La decodificación se realiza por separado en video y audio, ambos se convierten de digital a analógico para suministrar las correspondientes salidas analógicas, el video antes se codifica en alguna de las normas analógicas. También se provee una salida digital HDMI. Del demultiplexor también se obtiene la tabla EIT que transporta los datos de la Grilla Electrónica de Programación (EPG) y la tabla DSM-CC, ésta constituye el canal de datos y se utiliza para transmitir las aplicaciones interactivas que quedarán en el STB. Las aplicaciones se cargan sobre el middleware GINGA y de ésta forma se logra que la electrónica del STB pueda interpretar los códigos de las aplicaciones.

11.2. Calculadora ISDB-Tb V1.0

El libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales”. (2013) Ing. Néstor Oscar Pisciotta , Ing. Carlos Guillermo Liendo e Ing. Roberto Carlos Lauro. , viene acompañado por la versión 1.0 de la Calculadora ISDB-Tb la cual fue diseñada por el Ing. Nicolás Liendo antes del lanzamiento oficial del libro. La manera en que se realiza la distribución de la aplicación es a través de un archivo ejecutable.

El principal funcionamiento de la misma es obtener distintos resultados que ayuden a estimar el funcionamiento de la red a partir de la configuración de distintos parámetros. A continuación se presentan las distintas vistas que contiene la calculadora:

11.2.1. Resumen

Parámetros Variables		Resultados		
		Resumen	Globales	Segmentos
Modo:	MODO 1			
Intervalo de Guarda:	1/4			
One-Seg:	Desactivado			
Capa A	Capa B	Capa C		
Nº de Segmentos [Ns]	0	0	0	
Esquema de Modulación	QPSK	QPSK	QPSK	
Codificación convolucional [Kl]	1/2	1/2	1/2	
La suma de los segmentos asignados debe ser 13				
		Resumen	MODO 1	MODO 2
		Ancho de banda del canal: BW CH [Mhz]	6	6
		Intervalo de guarda:	1/4	1/4
		Intervalo de guarda: T _G [useg]	63	126
		TSP Totales transmitidos:	0	0
		TSP Nulos transmitidos:	1280	2560
		Payload total transmitido A+B+C: [Mbps]	0	0
		Capa A		
		Modulación:	QPSK	QPSK
		Codificación interna:	1/2	1/2
		Segmentos asignados:	0	0
		Payload total Capa A: [Mbps]	0	0
		Capa B		
		Modulación:	QPSK	QPSK
		Codificación interna:	1/2	1/2
		Segmentos asignados:	0	0
		Payload total Capa A: [Mbps]	0	0
		Capa C		
		Modulación:	QPSK	QPSK
		Codificación interna:	1/2	1/2
		Segmentos asignados:	0	0
		Payload total Capa A: [Mbps]	0	0

Figura 28: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Resumen

Al abrir el archivo ejecutable la primera vista con la que se encuentra el usuario presenta del lado izquierdo los parámetros variables o system variant, los cuales pueden ser modificados de acuerdo a la situación en la que se este trabajando:

- Modo.
- Intervalo de guarda.
- One-Seg.
- N^o de segmentos por capa.
- Esquema de modulación por capa.
- Codificación convolucional por capa.

Estos parámetros variables van a generar los resultados que se presentan del lado derecho de la pantalla divididos en 8 solapas, cada solapa presenta distintos resultados para cada Modo de operación, remarcando el Modo en el que se esta trabajando.

La primera solapa presenta un “resumen” de resultados generales para las 3 capas indicando:

- Ancho de banda del canal.
- Intervalo de guarda en fracción y en micro-segundos.

- TSP totales transmitidos.
- TSP nulos transmitidos.
- Payload total transmitido A+B+C.

A su vez se dividen tres secciones para presentar valores para cada capa en particular(A, B y C):

- Modulación.
- Codificación interna.
- Segmentos asignados.
- Payload total para cada Capa.

Como primer comportamiento se tiene que si el usuario no asigna los 13 segmentos disponibles no se podrá acceder a las solapas restantes y aparecerá un cartel en rojo indicando que “La suma de los segmentos asignados debe ser 13”.

11.2.2. Globales

Suponiendo que se utiliza servicio móvil (one-seg) por lo que se asigna el primer segmento a la capa A y asignando los restantes segmentos a la capa B, podemos acceder a la siguiente solapa de resultados “globales” :

The screenshot shows the 'Calculadora ISDB-Tb' application window. The 'Resultados' tab is active, displaying a table of parameters for three modes. The 'Parámetros Variables' section on the left shows settings for 'Modo 1', 'Intervalo de Guarda: 1/4', 'One-Seg: Activado', and 'Capa A: 1, Capa B: 12, Capa C: 0' segments. The 'Resultados' table includes parameters like channel bandwidth, number of segments, total carriers, and OFDM parameters for each mode.

	MODO 1	MODO 2	MODO 3
Anchura de banda del canal: BW _{CH} [Mhz]	6	6	6
Numero de segmentos: N _s [Segm]	13	13	13
Numero total de portadoras: L [Port]	1405	2809	5617
Denominación según el n° de portadoras:	2K	4K	8K
N° de portadoras por segmento: L _s [Port]	108	216	432
Anchura de banda en el canal: BW _T [Mhz]	5,575396825	5,573412698	5,572420635
Anchura de banda del segmento: BW _s [Khz]	428,5714286	428,5714286	428,5714286
Separación entre portadoras Δf [Khz]	3,968253968	1,984126984	0,992063492
Tiempo útil de símbolo: T _u [useg]	252	504	1008
Intervalo de guarda: T _G [useg]	63	126	252
Tiempo de símbolo: T _s [useg]	315	630	1260
Frecuencia de símbolo: f _s [Hz]	3174,60317460317	1587,30158730159	793,650793650794
N° de símbolos OFDM por cuadro: F [Simb]	204	204	204
Tiempo de cuadro: T _F [ms]	64,26	128,52	257,04
Frecuencia de cuadro: f _F [Hz]	15,5617802676626	7,78089013383131	3,89044506691565
Muestras por símbolo OFDM: S [bins]	2048	4096	8192
Frecuencia de muestreo IFFT: f _{IFFT} [Mhz]	8,12698412698413	8,12698412698413	8,12698412698413
Periodo de muestreo IFFT: T _m [useg]	0,123046875	0,123046875	0,123046875
Total de pulsos por símbolo OFDM: N _{pulsos} [-]	2560	5120	10240

Figura 29: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Globales

Aquí se presentan distintos resultados generales para cada Modo:

- Ancho de banda del canal.
- Numero de segmentos.
- Numero total de portadoras.
- Denominación según el n° de portadoras.
- N° de portadoras por segmento.
- Anchura de banda del canal.

- Anchura de banda del segmento.
- Separación entre portadoras.
- Tiempo útil del símbolo.
- Intervalo de guarda.
- Tiempo de símbolo.
- Frecuencia de símbolo.
- N° de símbolos OFDM por cuadro.
- Tiempo de cuadro.
- Frecuencia de cuadro.
- Muestras por símbolo OFDM.
- Frecuencia de muestreo IFFT.
- Periodo de muestreo IFFT.
- Total de pulsos por símbolo OFDM.

Haciendo una comparación con la primer solapa “resumen” se observa repetición de algunos resultados, cuestión que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el diseño de la Versión 2.0.

11.2.3. Segmentos

La siguiente solapa de resultados lleva el nombre de “segmentos”:

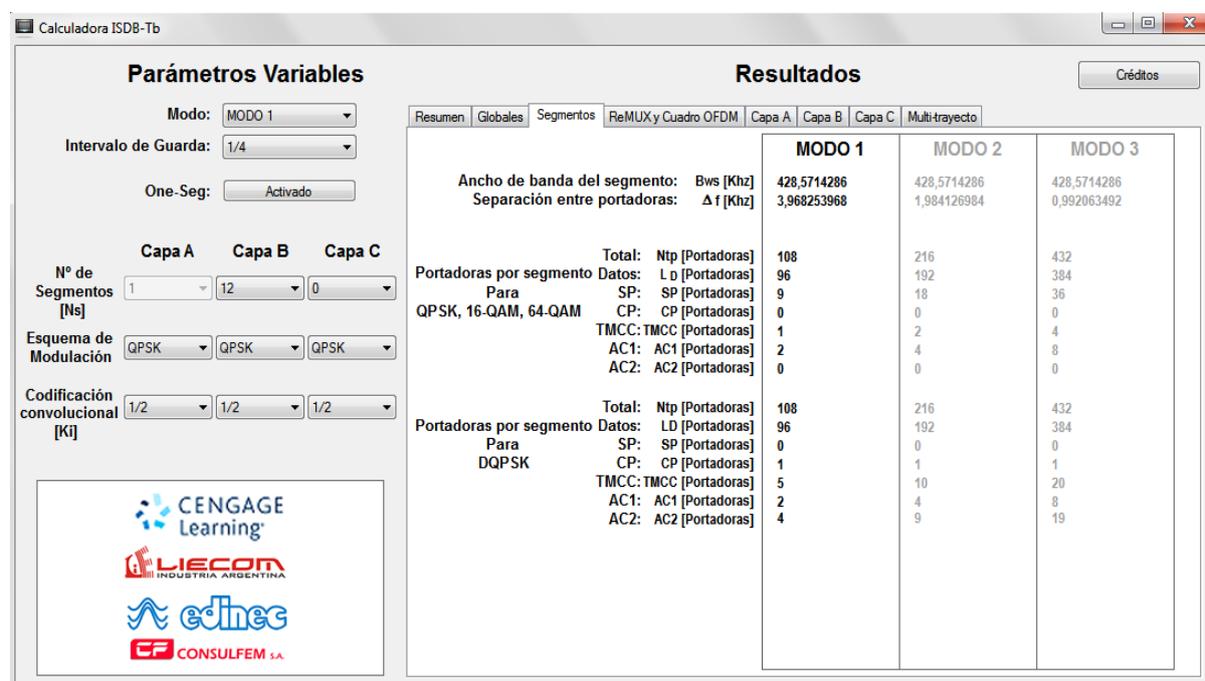


Figura 30: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Segmentos

Lleva este nombre ya que en la misma se presentan la cantidad de portadoras por segmento correspondientes a los pilotos, señales de control y auxiliares, de acuerdo al Modo, como también de acuerdo al esquema de modulación.

- N° total de portadoras.

- Datos.
- Pilotos Dispersos (SP).
- Pilotos Continuos (CP).
- Canal de Control de Configuración de Transmision y Multiplexación (TMCC).
- Canales Auxiliares (AC1) y(AC2).

Este grupo de resultados tiene como característica principal que se mantiene constante con cualquier variación de los parámetros variables, esto quiere decir que los resultados son independientes de la configuración empleada, por lo que no tienen relación directa con los parámetros elegidos por el usuario.

11.2.4. ReMUX y Cuadro OFDM

La siguiente solapa se denomina “ReMUX y Cuadro OFDM”:

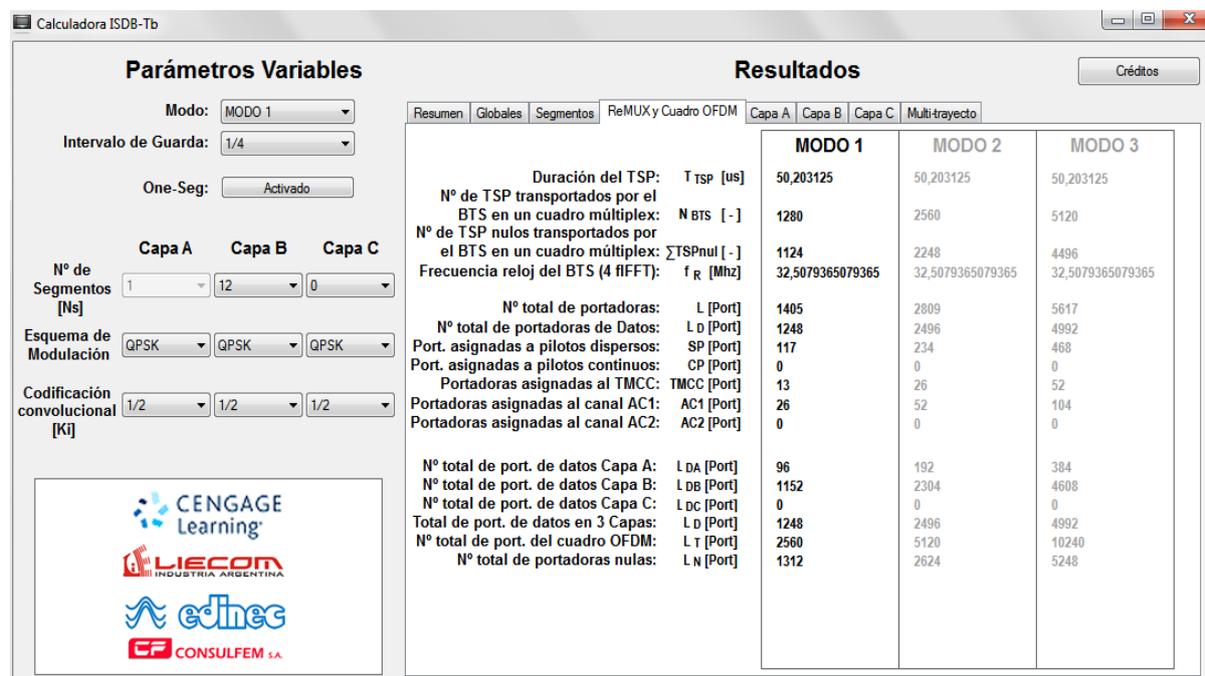


Figura 31: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista ReMUX y Cuadro OFDM

En ella se presentan resultados relacionados a la etapa de remultiplexación y flujo TSP para cada Modo de trabajo:

- Duración del TSP.
- Nº de TSP transportados por el BTS en un cuadro multiplex.
- Nº de TSP nulos transportados por el BTS en un cuadro multiplex.
- Frecuencia de reloj del BTS.

Como también las cantidades de portadoras totales de pilotos, señales de control, auxiliares y datos. De nuevo aparecen muchos resultados que no están relacionados con los parámetros configurados por el usuario, lo que genera una perdida de relación con la programación de la calculadora.

11.2.5. Capa A, B y C

Cada capa esta representada por una solapa (Capa A, Capa B y Capa C). Como las solapas anteriores los resultados para cada capa se presentan para los tres Modos de trabajo. Se muestra a continuación los resultados correspondientes a la Capa A:

Parámetros Variables

Modo: MODO 1
Intervalo de Guarda: 1/4
One-Seg: Activado

Capa A: N° de Segmentos [Ns] = 1, Esquema de Modulación = QPSK, Codificación convolucional [Kl] = 1/2
Capa B: N° de Segmentos [Ns] = 12, Esquema de Modulación = QPSK, Codificación convolucional [Kl] = 1/2
Capa C: N° de Segmentos [Ns] = 0, Esquema de Modulación = QPSK, Codificación convolucional [Kl] = 1/2

Resultados

	MODO 1	MODO 2	MODO 3
Número de bits por portadora: bp [-]	2	2	2
Tasa binaria neta por segmento: Rs [bps]	609523,809523809	609523,809523811	609523,80952381
Tasa binaria neta por segmento: Rs [Mbps]	0,609523809523809	0,60952380952381	0,60952380952381
Relación de codificación externa: Ko [-]	188/204	188/204	188/204
Capacidad máxima del segmento: R máx [bps]	280,859010270775	280,859010270776	280,859010270775
Capacidad máxima del segmento: R máx [Mbps]	0,280859010270775	0,280859010270776	0,280859010270775
N° TSP por segmento por cuadro: N [-]	12	24	48
Tasa binaria neta de la Capa A: RA [Mbps]	0,280859010270775	0,280859010270776	0,280859010270775
Total de TSP para la Capa A: Ns x N [TSPs]	12	24	48

Figura 32: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Capa A

En la misma se muestran los valores correspondientes a:

- Numero de bits por portadoras (b_P).
- Tasa binaria neta por segmento (R_S) en bps como en Mbps.
- Relación de codificación externa (K_O).
- Capacidad máxima del segmento (R_{max}) en bps como en Mbps.
- N° TSP por segmento por cuadro (N).
- Tasa binaria neta de la capa A (R_A).
- Total de TSP para la capa A ($N_s \times N$).

De nuevo se encuentran tanto resultados repetidos como resultados independientes de la configuración de parámetros variables.

11.2.6. Multi-trayecto

La ultima solapa presenta ademas de resultados, la posibilidad de ingresar las distancias tanto por “camino directo” como por “camino reflejado” entre un transmisor TX y un receptor RX.

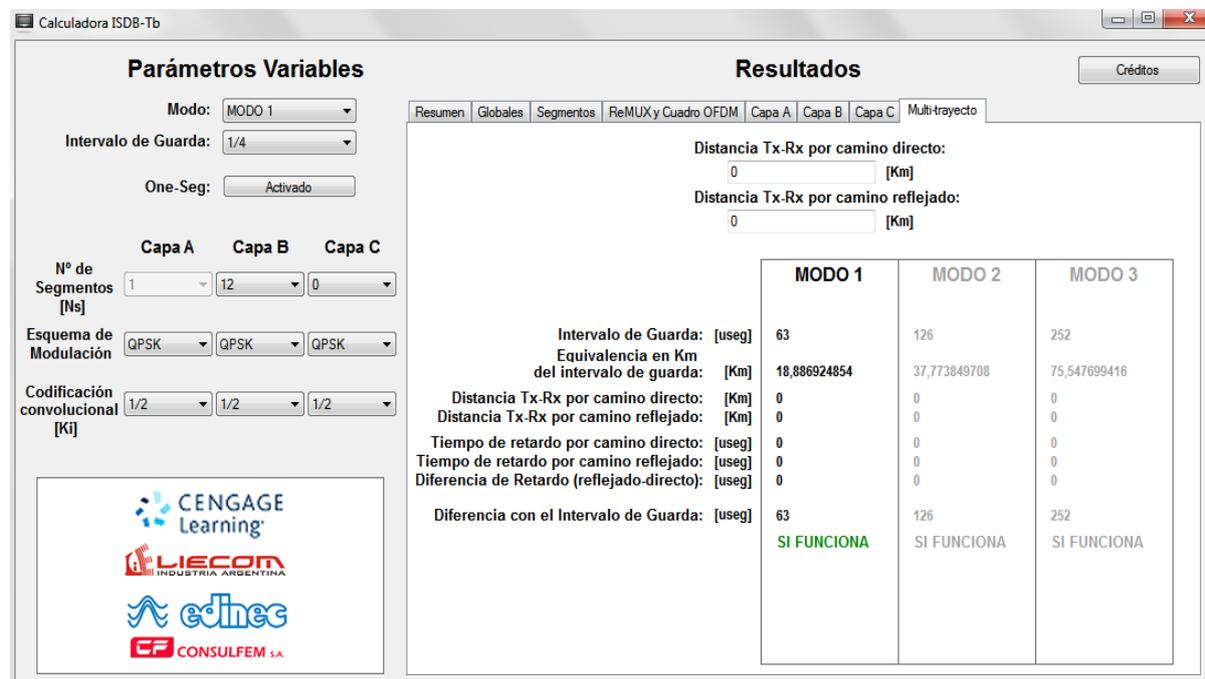


Figura 33: Calculadora ISDB-Tb V1.0 Vista Multi-trayecto

Con estos valores la calculadora es capaz de obtener los tiempos de retardo, y comparar la diferencia de trayectos con el intervalo de guarda según los tres Modos y así determinar si la red funciona o sera necesario realizar algunas modificaciones en la configuración empleada.

11.3. Linear Digital Multiplexer

Otra herramienta de gran utilidad para el estudio de la norma ISDB-Tb y la estimación de redes de frecuencia única (SFN) es el software que acompaña al “Multiplexor Digital ISMUX-004” de la empresa Brasileira “Hitachi-Linear”.

De manera similar a la “Calculadora ISD-Tb Versión 1.0” la información se divide en distintas solapas las cuales se muestran a continuación:



Figura 34: Linear ISMUX-004 Software Interface

La solapa “Alarms” se utiliza para monitorear las señales a través de distintas alarmas.

“System” contiene información referida al Firmware y parámetros para la configuración del IPv4 que permiten el acceso al dispositivo Multiplexor a través de Ethernet.

En “SFN” se tiene la posibilidad de habilitar la red de frecuencia única y generar la información necesaria para el control de cada equipo transmisor que pertenece a la red.

“Input” presenta las 8 entradas ASI, como también un generador de tablas necesarias para el sistema.

Finalmente la solapa “TMCC” se utiliza para configurar los principales parámetros del sistema, de la misma forma que se hace en los Parámetros Variables de la “Calculadora ISDB-Tb Versión 1.0”.

Haciendo hincapié en las solapas “SFN” e “Input”.

11.3.1. SFN

Como se menciona anteriormente en esta solapa se configuran los equipos transmisores que forman parte de la red de frecuencia única.

Digital Multiplexer

Alarms System **SFN** Input TMCC

SFN Settings

Enable SFN

Static Parameters

Maximun Delay: (x100 ns) 3000000

Stations Parameters					
#	Equipment ID	Time-Offset (x100 ns)	Polarity	Dynamic-Static	Enable
01	01	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
02	02	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
03	03	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
04	04	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
05	05	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
06	06	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
07	07	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
08	08	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
09	09	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>
10	10	0	POSITIVE	DYNAMIC	<input type="checkbox"/>

Figura 35: Linear ISMUX-004 - SFN

Se cuenta con un checkbox (caja de comprobación) para habilitar la red SFN.

Luego se tiene una entrada de datos para los parámetros estáticos “Static Parameters” en donde se debe ingresar un valor para el retardo de red (Dt_{max}) el cual se establece que debe ser ingresado en módulos de 100 nano segundos. Una de las condiciones que impone el software para este valor es que debe ser siempre mayor a 2999999 ns = 2,99 ms.

Seguido se presenta una tabla para configurar los parámetros de estación “Station Parameters”. Aquí se tiene la posibilidad de configurar para cada modulador que pertenezca a la red los siguientes parámetros:

- ID del equipo: Es el nombre que identificara al dispositivo modulador.
- Tiempo Offset: Es el tiempo de retardo que se aplica al equipo, y que de acuerdo a la norma debe ser entre 0 y 1 segundos.
- Polaridad: Se define el tipo de polaridad que se aplicara, pudiendo ser de tipo “Positivo” o “Negativo”.
- Estático / Dinámico: Se define el tipo de compensación de retardo, “Estático” o “Dinámico”.
- Habilitación: Se tiene un checkbox por equipo para habilitar el retardo aplicado.

Es importante destacar que una polaridad de tipo “Positivo” genera un desplazamiento del equipo alejándolo del receptor, es decir un “atraso” del mismo. En cambio seleccionando una polaridad de tipo “Negativo” se obtiene el efecto contrario, adelantando el equipo al receptor, es decir produciendo un “adelanto” del mismo.

La compensación de tipo “Dinámica” permite utilizar las polaridades positivas o negativas, mientras que la compensación “Estática” únicamente permite la polaridad positiva .

11.3.2. Input

En esta solapa las 8 entradas ASI se presentan en distintas tablas de manera individual en donde cada una permite la configuración para cada servicio que se este transmitiendo:

#	PID In	Layer Out	PID Out	Enable <input type="checkbox"/>
01		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
02		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
03		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
04		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
05		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
06		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
07		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
08		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
09		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
10		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
11		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
12		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
13		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
14		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
15		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>
16		Layer A ▼		<input type="checkbox"/>

Figura 36: Linear ISMUX-004 - Input ASI

- PID In: Es donde se especifica el PID de entrada
- Layer Out: Se selecciona la capa en donde la información sera transmitida (Capa A, Capa B o Capa C).
- PID Out: Permite el remapeo de los PID, evitando de esta forma que distintos servicios tengan mismo PID de salida.
- Habilitación: Se tiene un checkbox por servicio para habilitar los mismos.

Ademas de las 8 entradas ASI se tiene una sección para establecer los PID de salida y las capas para cada una de las tablas necesarias:

Digital Multiplexer

Alarms System SFN Input TMCC

TABLE ASI 1 ASI 2 ASI 3 ASI 4 ASI 5 ASI 6 ASI 7 ASI 8 TABLES

#	Table	PID	Layer	Enable <input type="checkbox"/>
01	PAT	0	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
02	CAT	1	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
03	NIT	16	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
04	SDT	17	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
05	BIT	36	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
06	PMT1seg	8136	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
07	PMT2	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
08	PMT3	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
09	PMT4	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
10	PMT5	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
11	PMT6	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
12	PMT7	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
13	PMT8	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
14	PMT9	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
15	PMT10	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>
16	PMT11	<input type="text"/>	Layer A ▼	<input type="checkbox"/>

Figura 37: Linear ISMUX-004 - Input Tables

Como se presenta en la figura anterior existen tablas cuyos PID ya vienen especificados por la norma y por lo tanto no se pueden modificar. Las tablas restantes permiten la elección del PID de salida. Como en el caso de las entradas ASI, para todas las tablas se puede seleccionar la capa, como también decidir la habilitación de la misma o no.

12. Capítulo 4 - Implementación “Calculadora ISDB-Tb Versión 2.0”

12.1. Análisis de Requisitos

Luego de estudiar la norma ISDB-Tb, experimentar con el “Encoder Z3-MVE-20”, hacer uso de la primera versión de la “Calculadora ISDB-Tb” y de el software que acompaña al “Multiplexor Digital ISMUX-004”, surge la necesidad de implementar una herramienta la cual integre todos los conceptos y funcionalidades anteriores.

El objetivo principal de esta herramienta es acompañar el aprendizaje de los conceptos relacionados con la norma ISDB-Tb y la transmisión de televisión digital terrestre.

En conjunto con el Director del Proyecto Integrado Ing. Liendo, Carlos Guillermo y el Co-Director Ing. Pisciotta, Nestor, se realizo un análisis de la primera versión de la “Calculadora ISDB-Tb” y se llevo a cabo la definición de los siguientes requisitos para la versión 2.0:

1. Incorporar a la Calculadora la programación del codificador, multiplexor y remultiplexor. Proponiendo una interfaz intuitiva y demostrativa del funcionamiento de cada módulo.
2. Incorporar la selección de parámetros correspondientes a Redes de Frecuencia Única, integrando el sistema Google Map para estimar los retardos de tiempo en base a la ubicación de los transmisores y diseñando una funcionalidad que permita al alumno tomar los conceptos básicos de éste tipo de redes.
3. Revisar, corregir y rediseñar los resultados de las operaciones de cálculo teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas en el Libro.
4. Desarrollar la Calculadora utilizando un Framework para Web de uso actual, que permita ejecutar la Calculadora desde un acceso a Internet utilizando un navegador convencional.

A continuación se analizaran cada uno de ellos:

1. La incorporación a la Calculadora de la programación del codificador, multiplexor y remultiplexor se propone de la siguiente manera:
 - Para el caso del codificador esto sera una simulación del acceso a la configuración del mismo a través de su servidor IP (Figura 27).
 - Para el caso del multiplexor lo que se presentara sera la solapa “Input” del “Multiplexor Digital ISMUX-004” (Figuras 36 y 37).
 - Para el caso del remultiplexor se utilizara el diseño de la primera versión de la “Calculadora ISDB-Tb” (Figuras 28 a 32).
 - Se diseñara la forma para presentar los moduladores que tenga el sistema y la posibilidad de configurar algunos aspectos de los mismos.
2. La incorporación a la Calculadora de la selección de parámetros correspondientes a Redes de Frecuencia Única se llevara a cabo integrando distintos elementos.
 - Se presentaran los retardos de la misma manera que lo hace el “Multiplexor Digital ISMUX-004” (Figura 35).
 - Haciendo uso de la interfaz de programación de aplicaciones (API) de Google Maps[®] se incorporara un Mapa con la posibilidad de ubicar distintos transmisores, receptores y obstáculos representados por marcadores.
 - Los resultados de las mediciones de tiempos de llegada de los ecos de acuerdo a la posición de los marcadores y los retardos aplicados se presentaran en un gráfico el cual sera una simulación del instrumento presentado en Capítulo 4, apartado 4.3.5. .
3. Teniendo en cuenta que la primera versión de la “Calculadora ISDB-Tb” fue desarrollada antes del lanzamiento oficial del libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales” y que como se vio en el “Marco Metodológico ” algunos resultados se muestran repetidos es necesario revisar y corregir los mismos para reducir las incongruencias de la calculadora.

4. Para el desarrollo de la Calculadora se utilizara el Framework Angular 2[®], el cual es un framework para aplicaciones web de código abierto, fundado por Google[®], que se utiliza para crear y mantener aplicaciones web de una sola página.

12.2. Arquitectura

Angular 2[®] utiliza como patrón de arquitectura de software el denominado “Modelo - Vista - Controlador (MVC)”. La principal característica de este tipo de arquitectura es que separa la lógica de la aplicación de la lógica de la vista en una aplicación.

- **MODELO:** Representa la estructura de datos de una aplicación de software.
- **VISTA:** Es el cuerpo de código que representa la interfaz del usuario, es decir, todo aquello que el usuario puede ver en la pantalla e interactuar. Una aplicación normalmente tiene múltiples vistas, cada una representa alguna parte del modelo.
- **CONTROLADOR:** Recibe las órdenes del usuario y se encarga de solicitar los datos al modelo y de comunicárselos a la vista.

El principal beneficio que presenta la utilización de dicho patrón es que se tiene la posibilidad de añadir o modificar con relativa facilidad algún aspecto de la aplicación ya que el patrón MVC aplica el principio de separación de preocupaciones dividiendo una aplicación en distintas partes, cada una tratando una preocupación diferente.

Otra de las ventajas es facilitar el testeado de la aplicación a medida que se va desarrollando evitando sorpresas de última hora y pudiendo encontrar los fallos con más rapidez.

Existen varias razones para usar MVC pero la más común es que permite que la aplicación sea mucho más organizada y esté bien estructurada. Esto le da la posibilidad al programador de realizar un mantenimiento de la aplicación de manera ordenada. Por esto último, los usuarios se benefician del patrón ya que la aplicación será menos propensa a tener bugs e incluso si estos surgen se podría solventar rápidamente.

Este patrón permite construir aplicaciones robustas que a pesar de tener que dar un esfuerzo extra al principio, puede ahorrar muchas horas a largo plazo.

Antes de realizar la aplicación se estudiaron los 3 lenguajes de programación necesarios para este patrón de arquitectura:

- **Javascript:** El cual sirve se utiliza para desarrollar la lógica del software y dar las ordenes de ejecución.
- **HTML:** Se utiliza para implementar la interfaz del usuario y definir las características visuales.
- **CCS:** Determina el estilo visual de la interfaz del usuario.

Para poder utilizar este Framework, se debe contar además con un entorno de desarrollo integrado conocido por sus siglas en inglés (IDE - Integrated Development Environment). El entorno que se selecciono para el desarrollo de este trabajo fue “Visual Studio Code ” producido por Microsoft[®]. El mismo es un software gratuito, el cual cuenta con un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador.

12.3. Diseño

Para el diseño de la aplicación se utilizó un conjunto de herramientas de código abierto denominado Bootstrap desarrollado por Twitter[®]. El mismo permite dar forma a un sitio web mediante librerías CSS que incluyen tipografías, botones, cuadros, menús y otros elementos. La principal ventaja de Bootstrap es que permite crear interfaces de usuario limpias y adaptables a todo tipo de dispositivos y pantallas, sea cual sea su tamaño.

El desarrollo de la aplicación se realizó utilizando el modelo “SB Admin Bootstrap 4”²², el cual presenta una estructura de programa intuitiva para el programador. La misma se encuentra en un repositorio de descarga libre. La librería que se selecciono para el desarrollo de la calculadora es la oficial de Bootstrap v4.0²³.

²²<https://github.com/start-angular/SB-Admin-BS4-Angular-4>

²³<https://getbootstrap.com/>

12.3.1. Pagina Inicial

La pagina inicial presenta una foto de la portada del libro “Transmision de Television Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. (2013) Pisciotta, N. , Liendo, C.& Lauro R.”, con una nota de los Autores y el botón de acceso a la aplicacion.

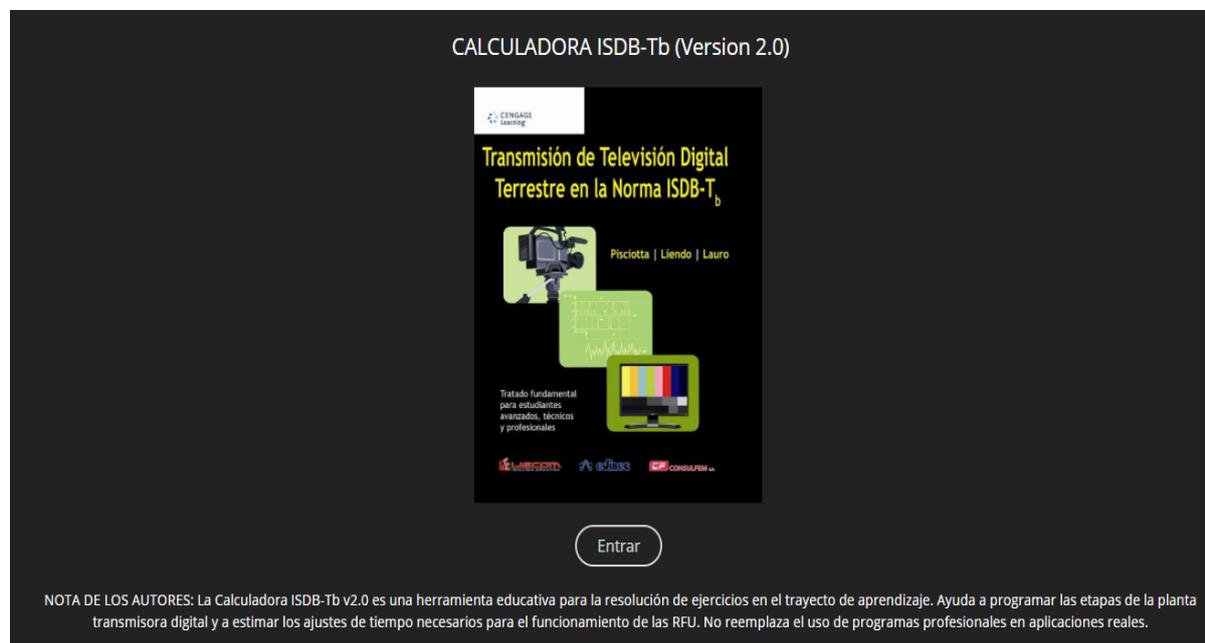


Figura 38: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Ingreso

12.3.2. Menú Principal

Siguiendo con la estructura de diseño de la versión 1.0 de la “Calculadora ISDB-Tb” se decide utilizar un menú el cual presente cada etapa de la transmisión en forma de links, permitiendo visualizar la información de cada etapa de manera ordenada e individual.

El menú deberá tener los siguientes accesos:

- Inicio.
- Codificador A/V.
- Multiplexor.
- Remultiplexor.
- Modulador.
- Red de Frecuencia Única.
- Créditos.

Haciendo uso de la librería oficial de Bootstrap V4.0 encontramos que para lograr este tipo de menú lo que se utilizan son barras de navegación. Bootstrap tiene disponible barras de navegación responsivas, lo que permite adaptar el tamaño de la barra a la pantalla.²⁴

El menú se colocó de manera vertical al lado derecho de la pantalla con el nombre de cada solapa a la que se quiere acceder. Además se situó una barra superior con el título “Calculadora ISDB-Tb”.

El inicio debe ser lo primero que debe visualizar el usuario. El mismo presenta un diagrama de la planta transmisora, el cual se estructura según un ejemplo de red SFN de tres servicios, tres encoders, y hasta cuatro transmisores, dos receptores de prueba y un obstáculo para estudiar las señales reflejadas.

²⁴<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/navbar/>

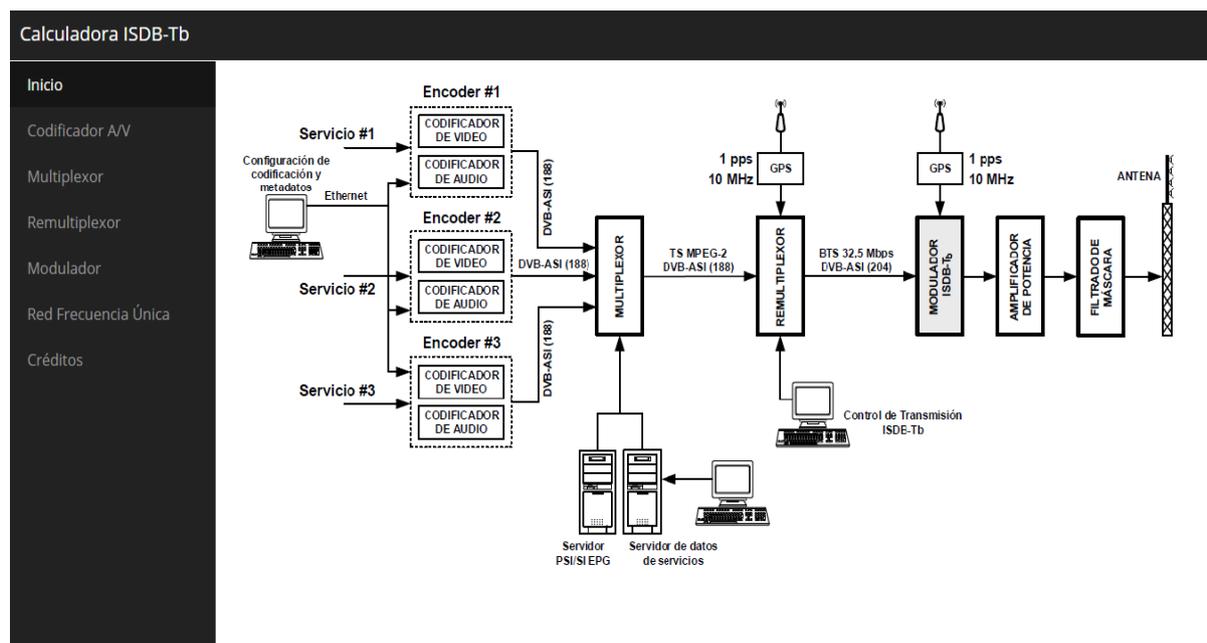


Figura 39: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Inicio

Este diagrama le permite al usuario acceder a cada etapa haciendo click sobre cada bloque correspondiente. El acceso es el mismo que se puede hacer utilizando el menú lateral, pero lo que se busca con este diagrama es que se tenga presente en que etapa se esta trabajando de toda la cadena de transmisión.

- Encoders 1, 2 y 3: Los 3 bloques permiten acceder a la configuración de cada Encoder de manera individual.
- Multiplexor: Este bloque permite el acceso a la sección del Multiplexor.
- Remultiplexor: Este bloque permite el acceso a la sección del Remultiplexor.
- Modulador ISDB-Tb: Este bloque permite el acceso a la sección del Modulador.

La otra funcionalidad de este diagrama es que otorga la posibilidad de acceder a cada flujo específico en determinados puntos de la cadena de transmisión. Al hacer click sobre una flecha determinada se presenta un cuadro con información específica del flujo seleccionado. El bloque de información aparece por encima del diagrama principal.

Para que el usuario pueda visualizarla de forma ordenada la información y así comprender con mayor facilidad los resultados que se le muestran se determina la siguiente estructura que se utiliza en toda la aplicación:

Haciendo uso de la librería se opta por ordenar la información en tablas²⁵, las mismas contenidas en bloques de cartas²⁶ que permiten mantener los resultados agrupados en distintas secciones.

- Flujo DVB-ASI (188): Las 3 flechas permiten el acceso a la información de cada flujo correspondiente a cada codificador de manera individual. Mostrando el bit rate correspondiente a cada servicio, como también la asignación de los PID y el intervalo de PCR que se realizó en la etapa de codificación.

FLUJO ASI 1

Este flujo binario corresponde a la salida del Encoder 1. Esta organizado en paquetes de 188 bytes. Contienen video y audio comprimidos en MPEG-4 AVC/H-264 y HE-ACC respectivamente.

PID Audio	PID Video	PID PCR	Intervalo de PCR [ms]	TS Bitrate [Mbps]
0	0	0	0	0

Figura 40: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo ASI - DVB

- Flujo TS MPEG-2: Esta flecha permite el acceso a la información del flujo de salida del Multiplexor. Mostrando el bitrate del mismo, como también información específica de cada servicio que se configuró en el codificador correspondiente. También muestra las tablas habilitadas que se configuran en el Multiplexor.

²⁵<https://getbootstrap.com/docs/4.0/content/tables/>

²⁶<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/card/>

FLUJO TS MPEG-2

En el multiplexor se combinan las salidas de los 3 encoders con datos adicionales en forma de tablas con información necesaria para la transmisión. La tasa binaria del flujo TS MPEG-2 es igual a la sumatoria de la tasa binaria de las tres entradas DVB-ASI.

TS Bitrate [Mbps]	0
-------------------	---

Servicio 1

PID Audio	PID Video	PID PCR	Intervalo de PCR [ms]
0	0	0	0

Servicio 2

PID Audio	PID Video	PID PCR	Intervalo de PCR [ms]
0	0	0	0

Servicio 3

PID Audio	PID Video	PID PCR	Intervalo de PCR [ms]
0	0	0	0

Tablas

	PAT	CAT	NIT	SDT	BIT	PMT1	PMT2	PMT3
PID	0	1	16	17	36	0	0	0
Layer	Layer A							

Figura 41: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo TS MPEG-2

- Flujo BTS: Se visualiza la información correspondiente a la señal de salida del remultiplexor, en donde se observan el total de TSPs por Capa, como así también la cantidad de paquetes nulos.

FLUJO BTS

Este flujo posee una tasa binaria constante de 32,5 Mbps, lo cual se logra agregando una determinada cantidad de paquetes nulos. A los paquetes TS se le agregan 16 bytes los cuales corresponden: 8 bytes al campo "ISDB-Info" y 8 bytes para incorporar un bloque de paridad Reed Solomon (opcional) para la corrección de bytes erróneos en cada TSP del flujo BTS.

	Capa A	Capa B	Capa C
Total de TSP	156	156	156
Nº de TSP nulos transportados por el BTS en un cuadro múltiplex	1279 + 1 Paquete IIP		

Figura 42: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Flujo ASI - DVB

12.3.3. Codificador A/V

Se tienen tres codificadores, uno para cada servicio. El acceso a cada codificador se realiza de manera individual a través de un grupo de botones²⁷, el cual se obtiene de la librería de Bootstrap.



Figura 43: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Selector de Codificadores

Luego haciendo uso de bloques de carta se divide la información en 3 secciones para cada codificador siguiendo el modelo del “Encoder Z3-MVE-20” (Configuración propia del encoder, configuración de salida y configuración de IP Local) de la misma forma que se muestra en la Figura 62:

Encoder Setup 1	
Video Source	SDI ▾
Audio Source	Analog Jacks ▾
Audio Codec	AAC-LC ADTS ▾
Audio Bit Rate	64 Kbps ▾
Video Resolution	Follow Input ▾
Rate Control	CBR ▾
Video Bit Rate [Mbps]	0
Video Profile	Baseline ▾
Gop Size	15 Frames ▾
Video burst size	150ms ▾
Video Codec	H.264 ▾
Frame Decimation	None ▾

Figura 44: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración Codificador

²⁷<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/button-group/>

Output Setup 1	
Output Interface	Ethernet(VBR) ▾
Output Format	RTP ▾
Dest IP Address	0.0.0.0
Dest Port	0
TS Bitrate [Mbps]	0
ASI PCR Interval [ms]	0
PID Audio	0
PID Video	0
PID PCR	0

Figura 45: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración Salida

Local IP Setup 1	
Local IP Address	0.0.0.0
Local Netmask	0.0.0.0
Default Gateway	0.0.0.0

Figura 46: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Configuración IP Local

La información se ordena dentro de tablas y haciendo uso de la librería de Bootstrap se agregan listas desplegadas²⁸ y cuadros de ingreso de texto²⁹ para realizar la configuración específica de cada codificador utilizando la información de las tablas 12, 13 y 14.

²⁸<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/dropdowns/>

²⁹<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/input-group/>

12.3.4. Multiplexor

Esta sección sigue el diseño propuesto por Linear en la plantilla “Input” del “Multiplexor Digital ISMUX-004” el cual se presentó en las figuras 71 y 72 del Marco Metodológico.

Al contar con tres fuentes de generación de contenidos televisivos distintas se tendrán tres entradas ASI como también una sección para las tablas. Para que el usuario acceda a cada sección se utilizaran solapas ³⁰ las cuales vienen incluidas en la librería con la que se esta trabajando.



Figura 47: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Selector Multiplexor

Cada solapa “ASI” ASI otorga la posibilidad de asignar los PID de entrada, seleccionar la capa (A, B o C), realizar el remapeo de los PID de salida y habilitar cada servicio que se quiera transmitir:

#	PID In	Layer Out	PID Out	Enable
1	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
2	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
3	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
4	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
5	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
6	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
7	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
8	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
9	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable
10	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/> Enable

Figura 48: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor ASI

La solapa “Tables” presenta los PID de las tablas mas importantes con sus PID fijos tal cual se vio en el Marco Teórico mientras que las tablas PMT poseen PID configurables. Al igual que en la solapa ASI se permite la selección de la capa en la que se va a transmitir y la habilitación de cada tabla de manera individual:

³⁰<https://getbootstrap.com/docs/4.0/components/navs>

#	Table	PID	Layer	Enable
1	PAT	0	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
2	CAT	1	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
3	NIT	16	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
4	SDT	17	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
5	BIT	36	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
6	PMT1	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
7	PMT2	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable
8	PMT3	<input type="text" value="0"/>	Layer A ▾	<input type="checkbox"/> Enable

Figura 49: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor Tablas

12.3.5. Remultiplexor

La sección del Remultiplexor toma el diseño de la versión 1.0 de la “Calculadora ISDB-Tb”. Cuenta con una selección de parámetros variables (System Variant) y un área en donde se reflejan los resultados.

En conjunto con el Director del Proyecto Integrado Ing. Liendo, Carlos Guillermo y el Co-Director Ing. Pisciotta, Nestor, se reviso la primera versión de la Calculadora y se tomaron las siguientes consideraciones para el nuevo diseño:

- Respecto a los parámetros variables, se mantendrá la misma estructura con todas las configuraciones de la primera versión, agregando la selección del “Entrelazado de Tiempo (I)” según la tabla 8 del Marco Teórico:

Parametros Variables

Modo : MODO 3 ▾ Intervalo de Guarda : 1/4 ▾

One-Seg: Desactivado

	Capa A	Capa B	Capa C
Nº de Segmentos [N _s]:	13 ▾	0 ▾	0 ▾
Esquema de Modulacion:	QPSK ▾	QPSK ▾	QPSK ▾
Codificacion Convolutcional [K _i]	1/2 ▾	1/2 ▾	1/2 ▾
Entrelazado de tiempo [I]	0 ▾	0 ▾	0 ▾

Figura 50: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Parámetros Variables

- Respecto a los resultados se mantienen las tres columnas que muestran los resultados según el modo, remarcando el modo seleccionado en los parámetros variables.

- Las solapas “Resumen” y “Globales” se combinan en una sola bajo el nombre “Parámetros Generales” quedando de la siguiente forma:

Parametros Generales			
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Ancho de banda efectivo : BW_{CH} [Mhz]	5.5754	5.5734	5.5724
Payload total A+B+C: [Mbps]	3.650	3.650	3.650
Numero total de portadoras: L [Port]	1405	2809	5617
Nº de portadoras por segmento: L_s [Port]	108	216	432
Anchura de banda del segmento: BW_s [Khz]	428.57	428.57	428.57
Separacion entre portadoras: Δf [Khz]	3.968	1.984	0.992
Tiempo util de simbolo: T_u [useg]	252.00	504.00	1008.00

Figura 51: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Multiplexor - Resultados: Parámetros Generales (I)

Intervalo de guarda: T_G [useg]	63	126	252
Tiempo de simbolo: T_s [useg]	315.00	630.00	1260.00
Frecuencia de simbolo: f_s [Hz]	3174.59	1587.30	793.65
Nº de simbolos OFDM por cuadro: F [Simb]	204	204	204
Tiempo de cuadro: T_F [ms]	64.26	128.52	257.04
Frecuencia de cuadro: F_f [Hz]:	15.56	7.78	3.89
Muestras por simbolo OFDM: S[bins]	2048	4096	8192
Frecuencia de muestreo IFFT: f_{IFFT} [Mhz]	8.1269841	8.1269841	8.1269841
Periodo de muestreo IFFT: T_m [useg]	0.123	0.123	0.123
Total de pulsos por simbolo OFDM: N_{pulsos}	2560	5120	10240

Figura 52: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Parámetros Generales (II)

- La solapa “ReMUX y cuadro OFDM” se renombra como “Cuadro Multiplex”, eliminando la información relacionada con las portadoras de datos, pilotos y auxiliares ya que estos resultados no dependen de la configuración de los parámetros variables.

Parámetros Generales	Cuadro Multiplex	Capa A	Capa B	Capa C
	Modo 1	Modo 2	Modo 3	
Duración del TSP: T_{TSP} [us]	50.203135	50.203135	50.203135	
Nº de TSP transportados por el BTS en un cuadro múltiplex: N_{BTS}	1280	2560	5120	
Nº de TSP nulos transportados por el BTS en un cuadro múltiplex: ΣTSP_{nul}	1123	2247	4495	
	Paquete IIP: 1	Paquete IIP: 1	Paquete IIP: 1	
Frecuencia reloj del BTS (4 flFFT): f_R [Mhz]	32.5079	32.5079	32.5079	

Figura 53: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Cuadro Multiplex

- Las solapas “Capa A”, “Capa B” y “Capa C” se mantiene en la version 2 de la calculadora, pero eliminando resultados repetidos y dejando únicamente los mas relevantes.

Parametros Generales	Cuadro Multiplex	Capa A	Capa B	Capa C
	Modo 1	Modo 2	Modo 3	
Numero de bits por portadora: b_p	6	6	6	
Nº TSP por segmento por cuadro: N	36	72	144	
Tasa binaria neta de la Capa A: R_A [Mbps]	10.953	10.953	10.953	
Total de TSP para la Capa A: $N_s \times N$ [TSP _s]	468	936	1872	

Figura 54: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Remultiplexor - Resultados: Capa A, B y C

12.3.6. Modulador

La sección del Modulador cuenta con la posibilidad de configurar los cuatro moduladores relacionados con cada transmisor.

Para cada modulador se determina un identificador ID, como así también dos tipos de retardos los cuales se referencian a lo visto en el marco teórico en la parte de retardos estáticos de redes SFN, los cuales se denominan “retardo BTS” y “retardo de transmisión”. También existe la posibilidad de determinar desde donde se realizara la configuración de los moduladores (desde el remultiplexor o desde cada modulador) quedando para esta versión únicamente la posibilidad de configurar desde “BTS (remux)”.

Modulador 1	Modulador 2	Modulador 3	Modulador 4
ID	<input type="text" value="Ingrese ID Modulador 1"/>		
Retardo BTS: Dt_{E1} (x100ns)	<input type="text" value="0"/>		
Retardo de Transmisor: Dt_{TX1} (x100ns)	<input type="text" value="0"/>		
Sumatoria de retardos: $Dt_{TX1} + Dt_{E1}$ (x100ns)	0		
Configuracion	<input type="text" value="BTS"/>		

Figura 55: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Modulador

12.3.7. Red de Frecuencia Única

La sección de la Red de Frecuencia Única posee un mapa de Google Maps sobre el cual se pueden posicionar marcadores los cuales representan la conformación de la red.

- La primera solapa de configuración es la denominada “Selector”, en ella se dispone de:
 - 4 Transmisores: TX1, TX2, TX3 y TX4.
 - 2 Receptores: RX1 y RX2.
 - 1 Obstáculo: El cual genera una señal reflejada.

Cada uno de ellos puede ser habilitado de manera individual. Se pueden posicionar arrastrando los mismos sobre el mapa, o ingresando la latitud y longitud requerida. Además existe la posibilidad de fijar los marcadores para evitar algún corrimiento de los mismos de manera involuntaria.

A su vez en el mapa, cada marcador presenta un cuadro de información, en donde se pueden determinar los nombres, las coordenadas, el retardo de red y offset que se aplica a cada uno.

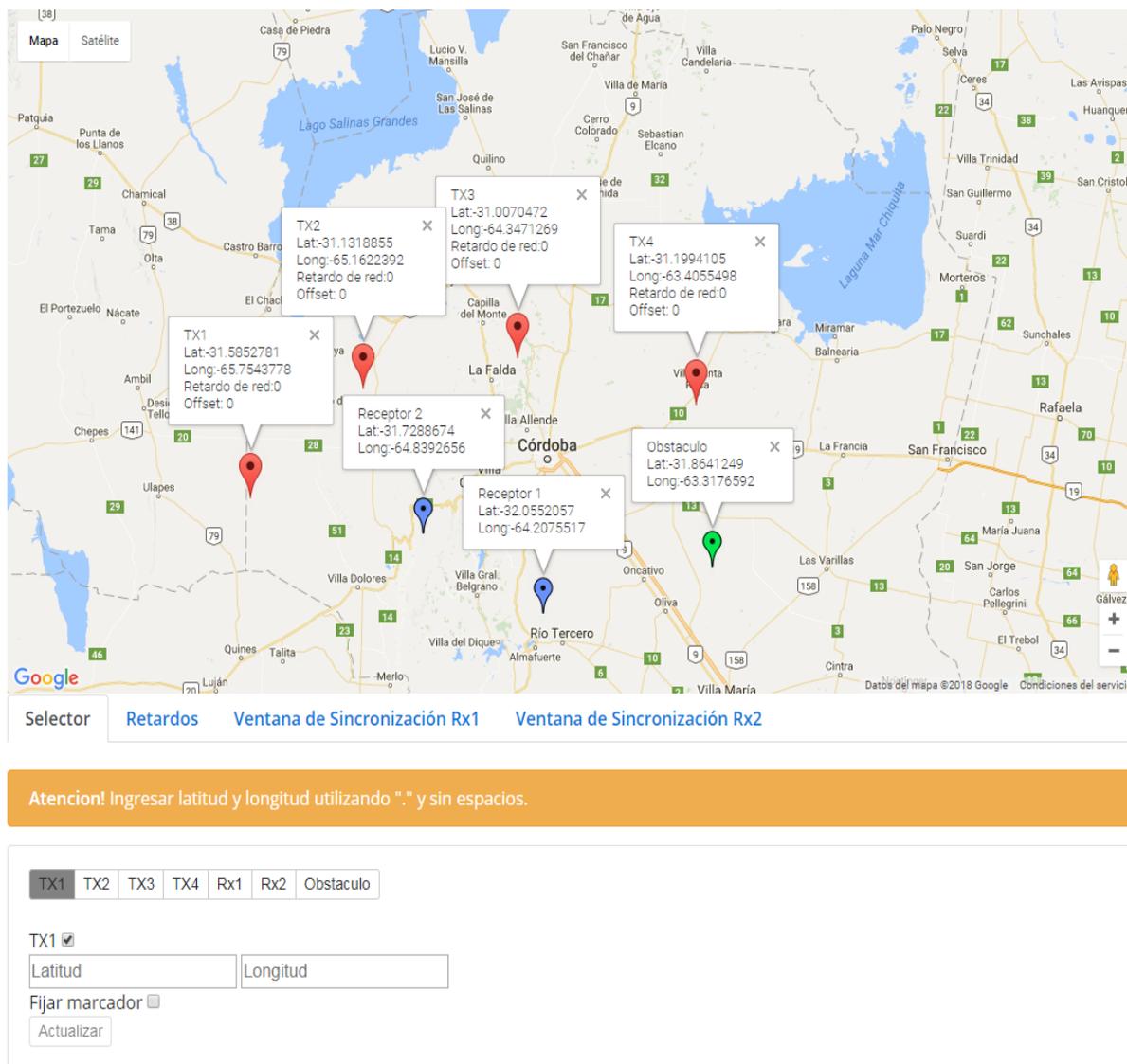


Figura 56: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Selector

- El diseño de la solapa “Retardos” es similar al presentado en la pestaña SFN del “Multiplexor Digital ISMUX-004” (Figura 35).

En ella se tiene la posibilidad de aplicar un retardo general para toda la red, como también retardos individuales para cada transmisor en particular.

El retardo adicional de cada modulador puede ser de tipo “dinámico”, con un offset de “Atraso” o “Adelanto”.

Para entender un poco mas el funcionamiento de los retardos, mas adelante se realizara un ejercicio a modo de ejemplo.

[Selector](#) [Retardos](#) [Ventana de Sincronización Rx1](#) [Ventana de Sincronización Rx2](#)

Atencion! Luego de realizar las modificaciones recuerda APLICAR LOS CAMBIOS!

Habilitar SFN

Retardos	
Retardo de Red: Dt_{max} (x100ns)	0

Retardo adicional					
#	Equipment ID	Time-Offset: Dt_{off} (x100ns)	Offset	Modo	Enable
TX1	Ingrese ID Modulador 1	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX2	Ingrese ID Modulador 2	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX3	Ingrese ID Modulador 3	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX4	Ingrese ID Modulador 4	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>

Figura 57: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Retardo (I)

Luego de configuración la red de frecuencia única se podrán observar los resultados en la denominada “Ventana de sincronización”, existiendo una para cada receptor RX1 y RX2.

De acuerdo con lo visto en el marco teórico (Figura 23), se presenta en forma de gráfico la medición de los tiempos de llegada de los ecos a cada receptor y el valor del intervalo de guarda de modo que se pueda visualizar la inclusión o no dentro del intervalo de guarda por parte de los ecos.

El eje horizontal muestra la diferencia de tiempo entre cada Transmisor y el primero en llegar al receptor, mientras que el eje vertical muestra la inversa de la distancia entre cada transmisor y el receptor, de modo que cuanto mas cerca este un transmisor del receptor, mas grande sera este valor.

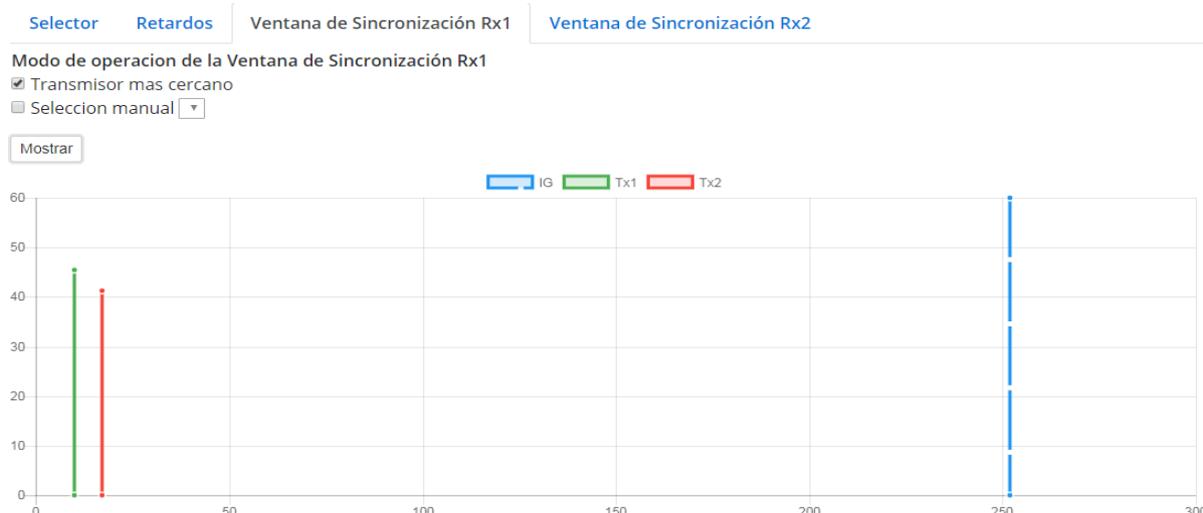


Figura 58: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Ventana de sincronización

La ventana de sincronización ofrece dos modos de operación:

- Transmisor mas cercano: En donde el calculo de la ventana se ejecuta tomando como referencia para los cálculos el transmisor mas cercano al receptor correspondiente.
- Selección manual: La referencia para los cálculos se puede determinar de forma manual, eligiendo el transmisor que se desee como referencia para los cálculos.

Por ultimo, se tienen dos cuadros los cuales muestran valores necesarios para realizar cálculos y estimar el funcionamiento de la red. Estos son:

- Distancia entre cada Transmisor y el receptor.
- Diferencia de tiempo entre cada transmisor y el primero en llegar al receptor.

Distancia entre cada Transmisor y el Rx1				
	TX1	TX2	TX3	TX4
Camino Directo				
Camino Reflejado				

Diferencia de tiempo entre cada Transmisor y el primero en llegar				
	TX1	TX2	TX3	TX4
Camino Directo [μ s]				
Camino Reflejado [μ s]				

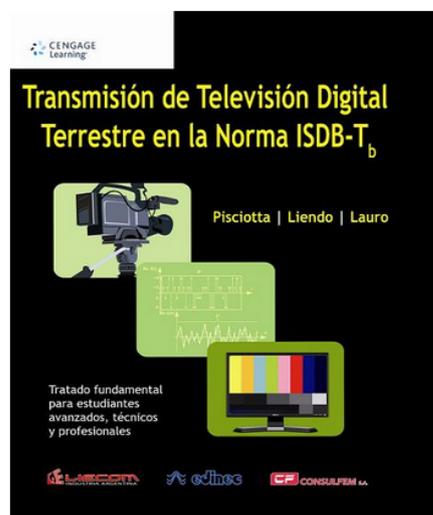
Figura 59: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Cuadros en la Ventana de Sincronización

12.3.8. Créditos

Por ultimo se presentan los créditos de la misma forma que en la primera versión de la calculadora.

Calculadora ISDB-Tb V2.0

Complemento del Libro



Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb -
Tratado fundamental para Estudiantes Avanzados, Técnicos y Profesionales

Autores:

Ing. Néstor Oscar Pisciotta
Ing. Carlos Guillermo Liendo
Ing. Roberto Carlos Lauro

Desarrollo del software:

Versión 2.0: Maximiliano Fried
Versión 1.0: Ing. Nicolás Liendo

Consultas:

clientes.conosur@cengage.com

Editorial Cengage Learning



<http://www.cengage.com>
ISBN: 978-987-1954-08-7

Empresas auspiciantes:

 **LIECOM**
INDUSTRIA ARGENTINA
<http://www.liecom.com>

 **edinec**
<http://www.edinec.com.ar>

 **CONSULFEM S.A.**
<http://www.consulfem.com>

Agradecimiento a las empresas:

VIDEOSWITCH
<http://www.videoswitch.tv>

HITACHI-LINEAR
<http://www.hitachi-linear.com.br>

Figura 60: Calculadora ISDB-TB v2.0 - Red de Frecuencia Única - Créditos

12.4. Programación

El código completo del proyecto se encuentra alojado en un repositorio virtual de libre acceso para su modificación y re utilización. El mismo se puede acceder a través del siguiente link:

- <https://github.com/calculadoraisdbt/Calculadora-ISDB-Tb-2018>

12.5. Pruebas

Para verificar el funcionamiento de la calculadora y detectar posibles errores se les solicito a un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Córdoba y a otro grupo de la Universidad Blas Pascal, que utilicen la aplicación mediante un ejemplo practico.

12.6. Documentación

A continuación se presenta una “guía” que permite comprender al usuario el funcionamiento de la calculadora y la forma en que se debe recorrer la misma para lograr una optima utilización.

12.6.1. Compatibilidad

- Se debe contar con un ordenador conectado a Internet.
- Para acceder a la aplicación se requiere de un navegador actualizado: Firefox, Google Chrome, Internet Explorer.

12.6.2. Acceso

La aplicación se encuentra alojada en un hosting gratuito que ofrece Google, se puede acceder a través del siguiente link:

- <http://test-calculadora.firebaseio.com>

12.6.3. Guía del usuario

- INICIO

La primera pantalla muestra un diagrama en bloques de la estación de transmisión en donde cada bloque es un hipervínculo. Los bloques que permiten esta funcionalidad son: Encoder (#1, #2 y #3), Multiplexor, Remultiplexor y Modulador ISDB-Tb.

El acceso que se hace a través de los bloques es el mismo que se realiza en el menú de la barra lateral.

Ademas de los bloques, las flechas también son hipervínculos que permite visualizar información relacionada con el flujo correspondiente. Las flechas que permiten esta funcionalidad son: DVB-ASI, TS MPEG-2 y BTS.

- CODIFICADOR A/V

Aquí se realiza la configuración de los 3 codificadores de manera individual. Una vez seleccionados los valores deseados y luego de completar los campos, los cambios se guardan de manera automática.

- MULTIPLEXOR

El multiplexor cuenta con la posibilidad de remapear los PID para cada entrada ASI de manera individual, como así también la asignación de los PID para las tablas. Hay que tener en cuenta que luego de realizar los cambios se deben aplicar mediante el botón que se encuentra disponible para cada entrada ASI y tablas.

- REMULTIPLEXOR

En el remultiplexor se configuran los parámetros variables y se presentan ciertos resultados.

Es importante destacar que para poder visualizar los resultados es necesario asignar la totalidad de los 13 segmentos a cada capa.

■ MODULADOR

Se tienen para configurar 4 moduladores, los cuales están relacionados con los 4 transmisores de la Red de Frecuencia Única.

El retardo de BTS y el de Transmisión serán tenidos en cuenta únicamente en los cálculos cuando en la red de frecuencia única exista algún transmisor con un retardo adicional en modo “Static”.

■ RED DE FRECUENCIA ÚNICA

En esta sección se trabaja con un mapa de google maps. En la pestaña “Selector” se habilitan los transmisores (TX1, TX2, TX3 y TX4), receptores (RX1 y RX2) y el obstáculo para que aparezcan en el mapa y sean tenidos en cuenta a la hora del calculo. El posicionamiento de los mismos se puede realizar de forma manual, es decir arrastrando los marcadores sobre el mapa, o ingresando la latitud y longitud correspondiente. Además se tiene la opción de estancar los marcadores, para evitar que los mismos se corran de su posición exacta.

En la pestaña “Retardos” se tiene la posibilidad de aplicar un retardo adicional para cada transmisor. El modo del retardo puede ser Dinámico, con la posibilidad de realizar un adelanto o un atraso en este modo, o puede ser Estático, con la posibilidad únicamente de realizar un atraso.

Es importante destacar en este punto que si se opta por el modo estático, en el offset se deben considerar los retardos BTS y de Transmisión que se aplican en el modulador.

Una vez realizada toda la configuración es necesario presionar el botón y aplicar los cambios para que la misma quede guardada.

La visualización de los resultados se realiza de acuerdo a cada receptor RX1 y RX2 en la “Ventana de sincronización” correspondiente.

Para que los resultados aparezcan en el gráfico es necesario presionar el botón “mostrar”. Además se cuenta con dos cuadros: Uno presenta las distancias entre el cada transmisor y el receptor con el que se esta trabajando, mientras que el otro muestra los valores que se presentan en el gráfico, resaltando en rojo aquellos valores que caen fuera del intervalo de guarda configurado en el remultiplexor.

12.7. Ejemplo del uso de la “Calculadora ISDB-Tb Versión 2.0”

Con el fin de corroborar el funcionamiento de la Calculadora se realiza el diseño de una red SFN partiendo del enunciado planteado en el libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales”.

En el desarrollo del libro se utiliza el software “Aldena” el cual permite estimar el área de cobertura según varios algoritmos de calculo de propagación y muestra las zonas de interferencia que luego se corregirán con el offset de los transmisores. La calculadora no aporte nivel de área de cobertura, pero si permite determinar los retardos.

La red cubre parte de las provincias de Mendoza y San Luis, en la República Argentina, a lo largo de la Ruta Nacional N° 7 entre las Ciudades de Mendoza y Villa Mercedes.

Los pasos a seguir para llevar a cabo la proyección de la red serán los siguientes:

- Ubicación geográfica de las estaciones.
- Configuración del sistema de transmisión (System Variant).
- Primera estimación de cobertura de la red.
- Ajuste de retardos.
- Verificación final de la cobertura obtenida.

12.7.1. Ubicación geográfica de las estaciones

Teniendo en cuenta distintos factores como:

- Centros urbanos a cubrir con el servicio.
- Perfiles del terreno.
- Existencia de alimentación eléctrica y caminos transitables.

Se ubican los transmisores en las siguientes posiciones:

TX	Locación	Longitud	Latitud
1	Cerro Arco	-68.9347222	-32.8352778
2	Mendoza Ctro.	-68.8394444	-32.8913889
3	La Paz	-67.5549999	-33.4627778
4	Las Catitas	-68.0549999	-33.2844444

Tabla 6: Ubicación geográfica de las estaciones

12.7.2. Configuración del sistema de transmisión (System Variant)

El sistema de transmisión se configura de la siguiente manera:

Modo de operación:	Modo 3
Intervalo de guarda:	$1/4 = 252\mu s$
Esquema de modulación:	16-QAM
Codificación convolucional:	2/3
Capa A:	13 segmentos

Tabla 7: System Variant

En la calculadora esta configuración se realiza en el “Remultiplexor”:

Parámetros Variables

Modo: **MODO 3** Intervalo de Guarda: **1/4**

One-Seg: **Desactivado**

	Capa A	Capa B	Capa C
Nº de Segmentos [N _s]:	13	0	0
Esquema de Modulación:	16-QAM	16-QAM	QPSK
Codificación Convolutional [K _i]	2/3	1/2	5/6
Entrelazado de tiempo [I]	0	0	0

Figura 61: Proyección red SFN - Configuración de System Variant en el Remultiplexor

12.7.3. Primera estimación de cobertura de la red

Para identificar los transmisores la calculadora permite etiquetar los mismos desde el “Modulador”, se utiliza la misma numeración que en el ejemplo del libro para evitar confusiones. Utilizando las coordenadas de la tabla 6:

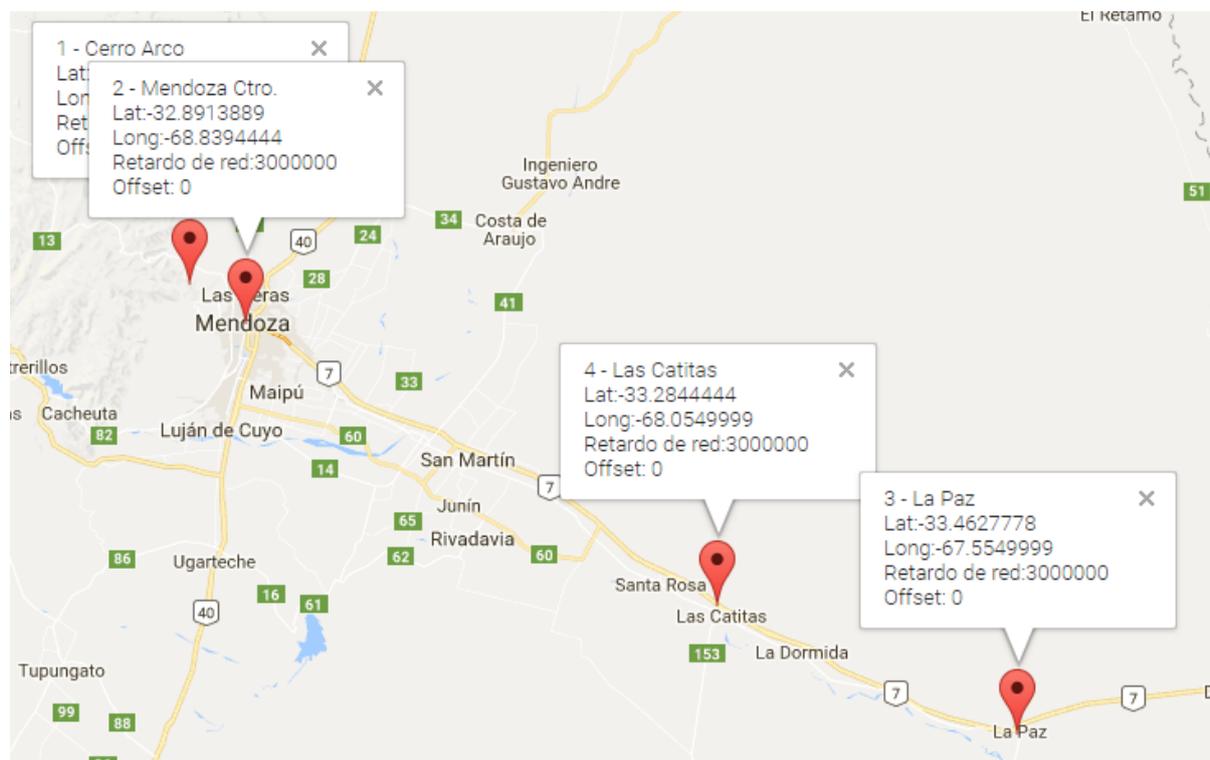


Figura 62: Proyección red SFN - Primera estimación de cobertura de la red

Dado que el calculo completo de la red SFN es muy extenso con el fin de corroborar el funcionamiento de la calculadora se procede a realizar el ajuste de retardo entre las dos primeras estaciones, es decir Cerro Arco (TX 1) y Las Catitas (TX 4).

Con el objetivo de incrementar la tasa binaria de transmisión de datos y evitando comprometer la robustez del sistema se decide reducir el intervalo de guarda a 1/8.

En la siguiente figura el software “Aldena” presenta la autointerferencia que se produce debido a la emisión de TX 1 fuera del intervalo de guarda de TX 4:

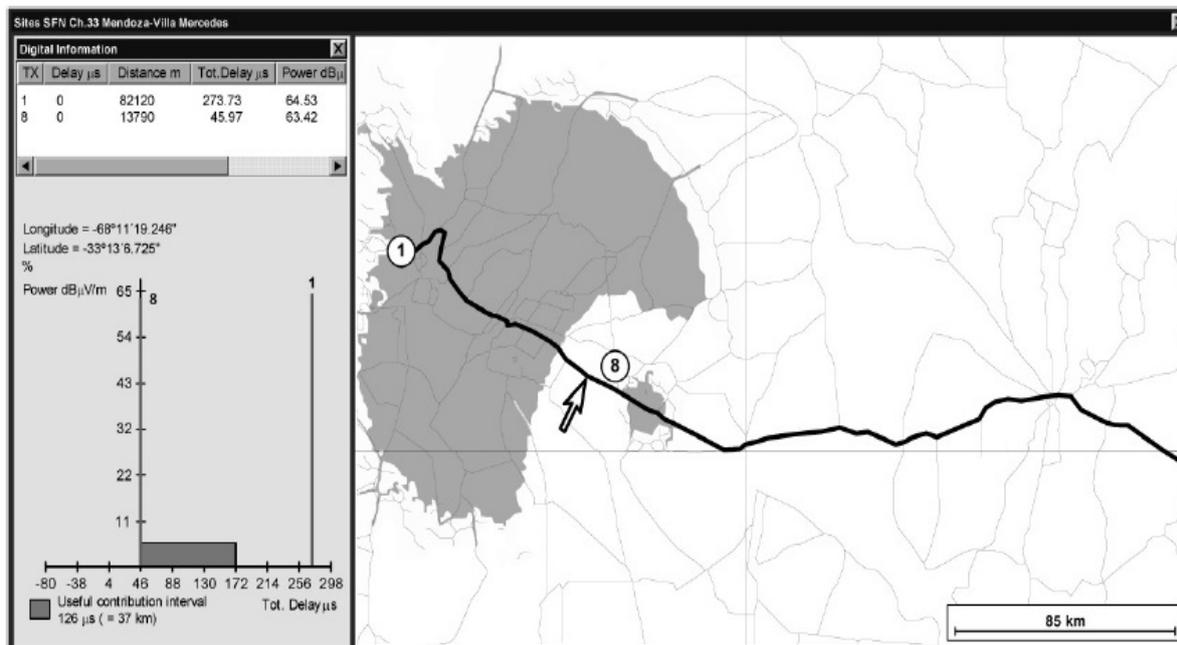


Figura 63: Proyección red SFN - Software Aldena

Hay que tener en cuenta que el eje de abscisas en el cuadro izquierdo de la figura, presenta los tiempos de retardo de los distintos ecos que arriban a ese punto. En la ventana de sincronización que veremos mas adelante el eje horizontal presenta la diferencia de tiempo entre cada Transmisor y el primero en llegar a la zona de recepción deseada.

En la calculadora se configura la ubicación del receptor RX 1 para las pruebas según el libro. El mismo se encuentra a 82km de TX1 y a 13km de TX4:

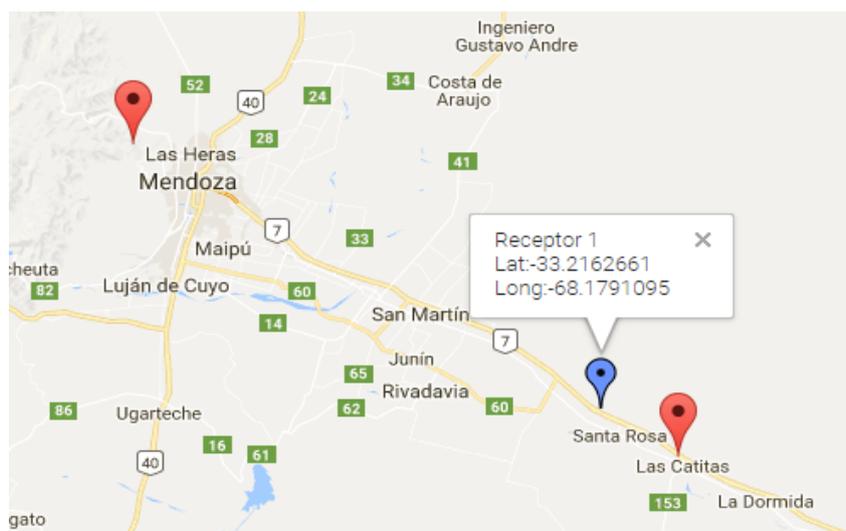


Figura 64: Proyección red SFN - Primera estimación de cobertura de la red

En una primera instancia utilizando la ventana de sincronización se verifica como TX1 cae fuera del intervalo de guarda de TX4:

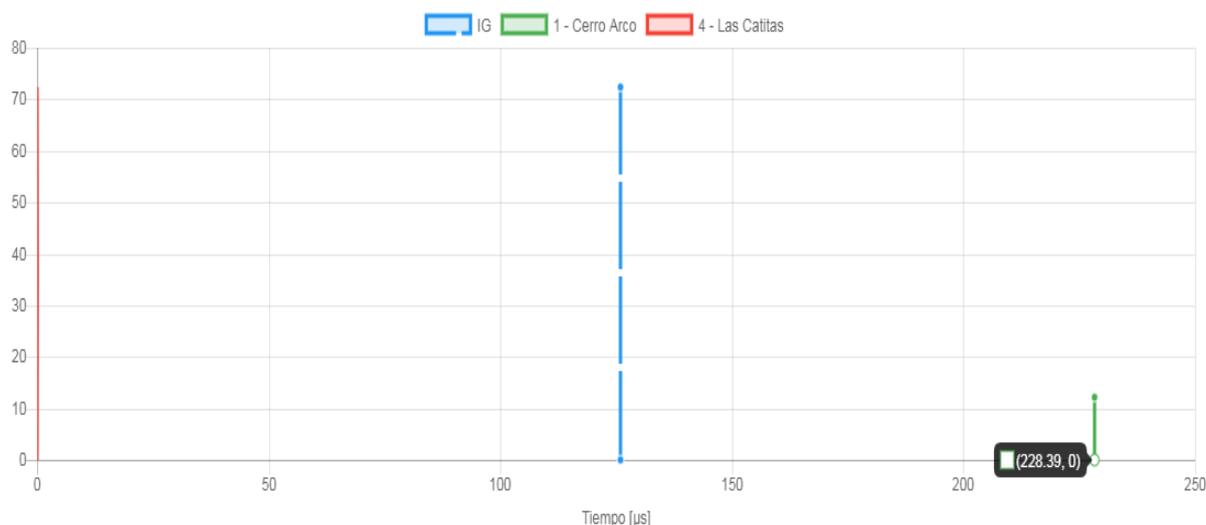


Figura 65: Proyección red SFN - Ventana de Sincronización I

La forma en que se calcula la ventana de sincronización tiene en cuenta el transmisor más cercano al punto de recepción, es decir, la diferencia de tiempo entre cada transmisor y el primero en llegar, en nuestro caso TX8.

Entonces, para TX1:

$$\Delta TX1 = \frac{82290m - 13820m}{299792458 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta TX1 = 228,39\mu s$$

Y para TX4:

$$\Delta TX4 = \frac{13820m - 13820m}{299792458 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta TX4 = 0$$

Primero hay que asegurarse que todos los transmisores emitan la señal al mismo tiempo, para esto se aplica un retardo de red, general para todos los transmisores, el valor del mismo es de 300ms. Ahora para lograr que la emisión del TX 4 llegue mas tarde a la zona de recepción interfereida es necesario aplicar un retardo a TX4, es decir “alejarse” a TX4 del punto de recepción. Sabemos que el intervalo de guarda esta situado en los $126\mu s$ y observando la ventana de sincronización vemos que la señal de TX 1 llega alrededor de los $228\mu s$. Por lo tanto como mínimo debemos aplicar a TX 4 un retardo mínimo de “ $103\mu s$ ”. Siguiendo con el ejemplo del libro se utiliza un retardo de “ $200\mu s$ ” Esto se realiza en la solapa de retardos en la red SFN de la calculadora:

Retardos	
Retardo de Red: $D_{t_{max}}$ (x100ns)	3000000

Retardo adicional					
#	Equipment ID	Time-Offset: $D_{t_{off}}$ (x100ns)	Offset	Modo	Enable
TX1	Ingrese ID Modulador 1	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX2	Ingrese ID Modulador 2	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX3	Ingrese ID Modulador 3	0	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input type="checkbox"/>
TX4	Ingrese ID Modulador 4	2000	Atraso (+) ▾	Dinámico ▾	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 66: Proyección red SFN - Retardo aplicado a TX 4

La nueva posición de TX4 respecto del punto de recepción será:

$$200 \times 10^{-6} * 299792458 \frac{m}{s} = 59,96km$$

Luego:

$$D_{tx8-rx1} = 13,82km + 59,96km = 73,78km$$

En donde sigue estando más cerca del punto de recepción, por lo que la diferencia de tiempo entre cada transmisor se calcula teniendo como referencia a TX4:

Obteniendo para TX1:

$$\Delta TX1 = \frac{82290m - 73780m}{299792458 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta TX1 = 28,39\mu s$$

Y se observa en la ventana de sincronización como se elimina la auto interferencia y se logra que TX1 se posiciona dentro del intervalo de guarda:

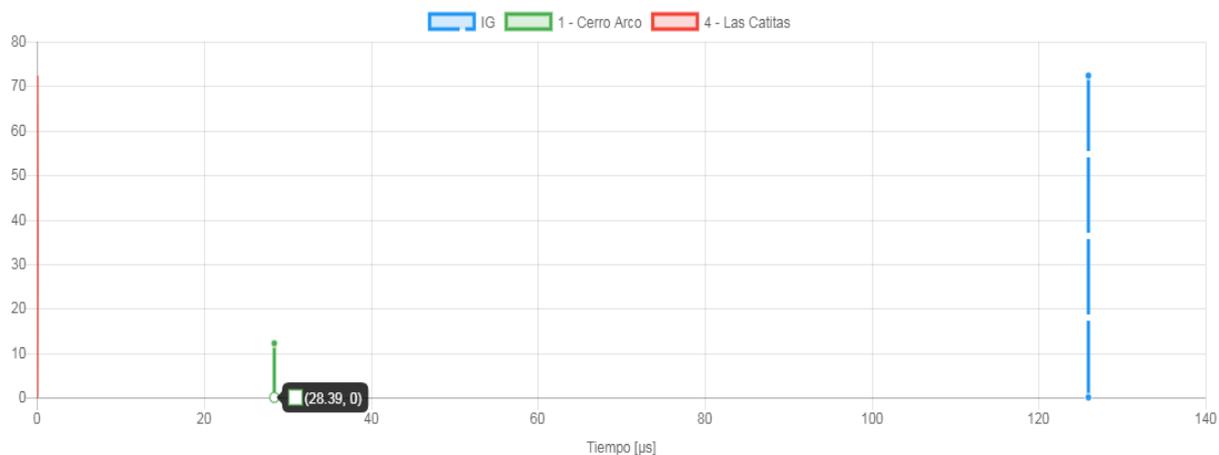


Figura 67: Proyección red SFN - Ventana de Sincronización II

Ahora, haciendo uso de RX2 podemos verificar otros puntos del área en cuestión:

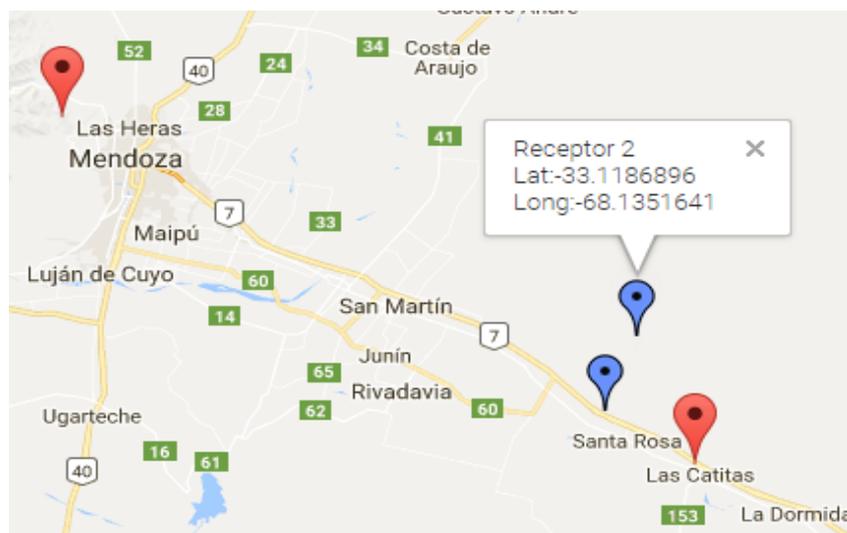


Figura 68: Proyección red SFN - Estimación de cobertura de la red con RX2

Verificando en la ventana de sincronización vemos que en este punto también se elimina la auto interferencia:

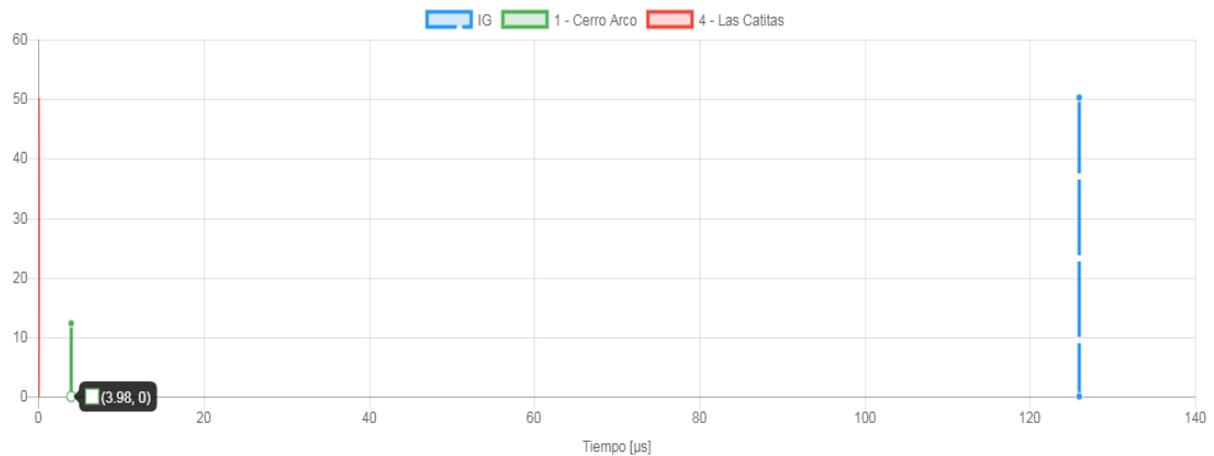


Figura 69: Proyección red SFN - Ventana de Sincronización de RX 2

Como se puede ver la calculadora nos deja estimar los retardos para eliminar la autointerferencia de distintos puntos que se quieran estudiar, demostrando así ser una herramienta de gran ayuda para la estimación de el funcionamiento de una red de frecuencia única.

13. Conclusión

La presente tesis tuvo como objetivo principal la implementación de la versión ampliada de la Calculadora ISDB-Tb asociada al Libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales”. El mismo se pudo llevar a cabo en la forma que se lo propuso desde un principio. Logrando incorporar a la Versión 1.0 de la calculadora los módulos de codificador, multiplexor, remultiplexor y Red de Frecuencia Única. Además, se migro la aplicación desde un archivo ejecutable hacia una pagina web con la posibilidad de acceder a la misma a través de cualquier navegador convencional.

Una de las herramientas mas importantes en esta nueva versión es la posibilidad de estimar los retardos del sistema utilizando Google Maps y reflejando los resultados en la “Ventana de sincronización”, pudiendo de esta manera visualizar los resultados de manera gráfica.

Una vez finalizado el desarrollo de la aplicación, se realizaron distintas pruebas. Comparando con ejemplos concretos de redes de transmisión y entregando la calculadora a distintos grupos de alumnos tanto de la Universidad Nacional de Córdoba como de la Universidad Blas Pascal para que experimentaran con la misma. Los resultados obtenidos fueron positivos y reflejaron el comportamiento esperado por parte de la calculadora. Demostrando así que la misma es una herramienta efectiva para la capacitación y el aprendizaje de la norma ISDB-Tb y redes SFN.

Como posibles mejoras se plantea la posibilidad de incluir la cobertura en Radio Frecuencias, como también conceptos de propagación. También se podría desarrollar una aplicación la cual pueda tener acceso directo desde cualquier dispositivo móvil, sin necesidad de utilizar un navegador web.

14. Bibliografía

- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios Secretaria de Comunicaciones. (2013). Resolución 7-2013 norma ISDB-Tb Argentina. Argentina
- Pisciotta, N., Liendo, C., & Lauro R.. (2013). Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Argentina: CENGAGE Learning.
- Desarrollo de un analizador de paquetes de transporte TS conformados de acuerdo a la norma ISDB-Tb. (2013). Pozo, M. Moncayo, T. Bernal, I. Mejia, D. Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Información (DETRI) Quito, Ecuador.
- Asociación Brasileira de Normas Técnicas. (2007). ABNT NBR 15603-2 Televisión digital terrestre — Multiplexación y servicios de información (SI) Parte 2: Estructura de datos y definiciones de la información básica de SI. Brasil: ABNT.

15. Referencias

- Z3 Technology. (November 2, 2011). Z3-MVE-20 Dual Channel HD H.264 Encoder User's Manual. Versión 1.0.4, de Z3 Technology [web:http://www.ctc-g.co.jp/~ctcsp/products/z3/doc/Z3_MVE_20_Manual_1.0.4.pdf](http://www.ctc-g.co.jp/~ctcsp/products/z3/doc/Z3_MVE_20_Manual_1.0.4.pdf)
- Digital Stream . (). Manual de Referencia. GDC DATACASTER, de Stream S.A.
- Angular CLI Documentation. <https://github.com/angular/angular-cli/wiki>
- Bootstrap Documentation. <https://getbootstrap.com/docs/4.0/getting-started/introduction/>

16. Anexo I

En este anexo se incluyen las ecuaciones utilizadas para calcular los resultados que se presentan en la sección de “Remultiplexor” en la “Calculadora ISDB-Tb Versión 2.0”.

16.1. Parámetros Generales

Ancho de banda efectivo:

$$BW_{CH} = 13 \cdot BW_S \quad (10)$$

- BW_S : Anchura de banda del segmento

Payload total A+B+C:

$$R_A = K_O \cdot K_I \cdot \frac{b_P \cdot N_{SA} \cdot L_D}{T_S} + R_B = K_O \cdot K_I \cdot \frac{b_P \cdot N_{SB} \cdot L_D}{T_S} + R_C = K_O \cdot K_I \cdot \frac{b_P \cdot N_{SC} \cdot L_D}{T_S} \quad (11)$$

Numero total de portadoras:

$$L = L_S \cdot N_s + 1 \quad (12)$$

Número de portadoras activas por segmento:

$$L_s = \frac{BW_S}{\Delta f} \quad (13)$$

Anchura de banda del segmento:

$$BW_S = \frac{BW_{CH}}{N_s} = \frac{6MHz}{14} \quad (14)$$

- N_s : Cantidad de segmentos
- BW_{CH} : Ancho de banda del canal

Separación entre portadoras:

$$\Delta f = \frac{BW_S}{L_S} \quad (15)$$

- BW_S : Anchura de banda del segmento
- L_S : Cantidad de portadoras por segmento

Tiempo útil del símbolo:

$$T_U = \frac{1}{\Delta f} \quad (16)$$

Tiempo del símbolo:

$$T_S = T_U + T_G \quad (17)$$

- T_U : Tiempo útil del símbolo
- T_G : Intervalo de guarda

Frecuencia de símbolo:

$$F_S = \frac{1}{T_S} \quad (18)$$

- T_S : Tiempo de símbolo

Tiempo de cuadro:

$$T_F = F \cdot T_S \quad (19)$$

- F : Número de símbolos OFDM por cuadro
- T_S : Tiempo de símbolo

Frecuencia de cuadro:

$$F_f = \frac{1}{T_F} \quad (20)$$

- T_F : Tiempo de cuadro

Frecuencia de muestreo IFFT: f_{IFFT} [Mhz]

$$F_{IFFT} = \frac{L}{T_U} \quad (21)$$

- T_U : Tiempo útil del símbolo
- L: Número total de portadoras

Periodo de muestreo IFFT:

$$T_m = \frac{1}{F_{IFFT}} \quad (22)$$

- F_{IFFT} : Frecuencia de muestreo IFFT

16.2. Cuadro Multiplex

Número de TSP transportados por el BTS en un cuadro múltiplex:

$$N_{BTS} = \frac{2^{p-1}}{1 + \Delta} \quad (23)$$

- Δ : Relación de guarda

Número de TSP nulos transportados por el BTS en un cuadro múltiplex:

$$\sum TSP_{NULOS} = N_{BTS} - (N_A \cdot j + N_B \cdot q + N_C \cdot r) \quad (24)$$

- N_{BTS} : Número de TSP transportados por el BTS en un cuadro múltiplex
- N_x : Paquetes TSP por segmento y por cuadro ($x = A, B$ o C)
- (j, q, r) : Cantidad de segmentos por Capa A, Capa B y Capa C respectivamente

Frecuencia del reloj de BTS:

$$f_R = 4 \cdot F_{IFFT} \quad (25)$$

- F_{IFFT} : Frecuencia de muestreo IFFT

16.3. Capas A, B y C

Número TSP por segmento por cuadro:

$$N = \frac{K_I \cdot b_P \cdot L_D}{8} \quad (26)$$

- K_I : Codificación Convolutional
- b_P : Número de bits por portadora, depende del esquema de modulación (2, 4 o 6)
- L_D : Número de portadoras de datos

Tasa de transmisión para cada capa, tasa binaria neta de la capa (Payload capa A):

$$R_A = K_O \cdot K_I \cdot \frac{b_P \cdot N_{SA} \cdot L_D}{T_S} \quad (27)$$

(28)

- N_{SA} : Segmentos por capa
- K_O : Relación de codificación externa
- K_I : Codificación Convolutional
- T_S : Tiempo de símbolo
- b_P : Cantidad de bits transmitidos por portadora
- L_D : Número de portadoras de datos por segmento

Total de TSP para la Capa A:

$$Total - TSP = N, 13 \quad (29)$$

- N : Número TSP por segmento por cuadro

17. Anexos del Proyecto Integrador



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

AREA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRONICA

C.C. 755 - Correo Central - 5000 - CÓRDOBA

Tel. Directo (0351) 33-4147 int 110

Conmutador: 433-4141 y 33-4152 - Interno 10

Sr. Director de la Escuela de Ingeniería Electrónica

Ing.: Pablo Recabarren

Me dirijo a Ud. a fin de solicitar la **aprobación del tema del Proyecto Integrador (PI)** que propongo a continuación:

TEMA

Nombre del Proyecto: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE LA PLANTA TRANSMISORA DE TELEVISIÓN EN LA NORMA ISDB-Tb.

Descripción: Anexo 1.

Desarrollo del prototipo: Tipo Software.

Director de PI

Nombre: Ing. Carlos Guillermo Liendo.

Cargo: Profesor Adjunto de las cátedras Sistemas de Radiocomunicaciones y Proyecto Integrador en la FCEfyN de la UNC, Carrera Ingeniería Electrónica.

Dirección Personal o Laboral:

TE: 3515647222

eMail: carlosliendo@unc.edu.ar

Firma del Director:

Co-Director de PI

Nombre: Ing. Néstor Oscar Pisciotta

Cargo: Profesor Titular de la cátedra Televisión y Procesamiento de Imágenes de la Universidad Blas Pascal, Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones.

Dirección Personal o Laboral: Donato Alvarez 380

TE: (+54) 351 4144444 Ext. 3420

eMail: npisciotta@ubp.edu.ar

Firma del Co-Director:

Datos del Estudiante

Nombre y Apellido: Fried Maximiliano

Matrícula: 36.428.774

Materias que faltan aprobar:

Dirección: Paraguay 545

Localidad: Córdoba

Provincia: Córdoba

e-mail: maxi_fried@hotmail.com

Teléfono: 02964-15402023

Firma:.....

Objetivo: Realizar una herramienta educativa intuitiva y funcional que sirva para acompañar el aprendizaje de los conceptos relacionados con la norma ISDB-Tb y la transmisión de televisión digital terrestre, teniendo en cuenta el gran impacto en un futuro cercano de esta tecnología cuando se desarrolle el apagón analógico en el 2019.

Antecedentes de Proyectos similares: No.

Duración y Fases de las tareas previstas: Anexo 2.

Metodología

Lugar previsto de realización Laboratorio de Radio Frecuencias Y Microondas (LARFYM).

Requerimiento de Instrumental y equipos: Laboratorio de ensayos de transmisiones digitales y aplicaciones interactivas.

Inversión estimativa prevista por el alumno: \$0.

Apoyo Económico externo a la Facultad: No.

Referencias Bibliográficas o de Software:

Pisciotta, N., Liendo., & Lauro R. (2013). Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Argentina: CENGAGE Learning.

Asociación Brasileira de Normas Técnicas. (2007). ABNT NBR 15603-2 Televisión digital terrestre | Multiplexacion y servicios de información (SI) Parte 2: Estructura de datos y Definiciones de la información básica de SI. Brasil: ABNT.

Recibido Cátedra PI

.....
Firma

Córdoba, / / .

Anexo 1

TÍTULO DEL PROYECTO INTEGRADOR:

“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE LA PLANTA TRANSMISORA DE TELEVISIÓN EN LA NORMA ISDB-Tb”

DIRECTOR: Ing. Carlos Guillermo Liendo. carlosliendo@unc.edu.ar

Tel 3515647222

Profesor Adjunto de las cátedras Sistemas de Radiocomunicaciones y Proyecto Integrador en la FCEFyN de la UNC, Carrera Ingeniería Electrónica.

Co-DIRECTOR: Ing. Néstor Oscar Pisciotta. npisciotta@ubp.edu.ar

Tel (+54) 351 4144444 Ext. 3420

Profesor Titular de la cátedra Televisión y Procesamiento de Imágenes de la Universidad Blas Pascal, Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones.

Objetivo General

Desarrollo de la versión ampliada de la Calculadora ISDB-Tb asociada al Libro “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb. Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales”, en cuanto a los módulos que completan su funcionalidad y con una interfaz de acceso intuitivo.

Objetivos Particulares

- 1) Estudiar el funcionamiento de la planta transmisora y la norma ISDB-Tb asociando los temas al desarrollo de la Calculadora.
- 2) Incorporar a la Calculadora la programación del codificador, multiplexor y remultiplexor. Proponiendo una interfaz intuitiva y demostrativa del funcionamiento de cada módulo.
- 3) Incorporar la selección de parámetros correspondientes a Redes de Frecuencia Única, integrando el sistema Google Map para estimar los retardos en base a la ubicación de los transmisores y diseñando una funcionalidad que permita al alumno tomar los conceptos básicos de éste tipo de redes.
- 4) Revisar, corregir y rediseñar los resultados de las operaciones de cálculo teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas en el Libro.
- 5) Desarrollar la Calculadora utilizando un Framework para Web de uso actual, que permita ejecutar la Calculadora desde un acceso a Internet utilizando un navegador convencional.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
Escuela de Ingeniería Electrónica

Quien suscribe el Profesor Liendo Carlos Guillermo, en su carácter de Director del Proyecto Integrador del Estudiante Fried Maximiliano, denominado: “DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE LA PLANTA TRANSMISORA DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA NORMA ISDB-Tb” considera que el desarrollo del trabajo se ha completado según lo especificado en la Solicitud de Aprobación de Tema y se encuentra en condiciones de tramitar su defensa.

A los efectos de quién corresponda, en fecha

Firma y aclaración del Director