

«“<Updated upstream                      <Updated upstream              <Up-  
dated upstream              <Updated upstream    =====> Stashed changes  
<Updated upstream                      =====> Stashed changes

»'»'



»'»'UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
»'»'FACULTAD DE INGENIERÍA



# »'»'Implementación de un transmisor de ISDB-T abierto bajo el paradigma de Radio Definida por Software

»'»' »'»'MEMORIA DE PROYECTO PRESENTADA A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA POR

»'»'Javier Hernández, Santiago Castro

»'»'EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS REQUERIMIENTOS  
»'»'PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
»'»'INGENIERO ELECTRICISTA.

»'»'TUTOR

»'»'Dr. Federico La Rocca..... Universidad de la República  
»'»'M.Sc. Pablo Flores Guridi..... Universidad de la República

»'»'TRIBUNAL

»'»'»'»'Dr. Alicia Fernández..... Universidad de la República  
»'»'»'»'Dr. Víctor González-Barbone..... Universidad de la República  
»'»'»'»'Dr. Rafael Sotelo..... Universidad de la República

»'»'Montevideo  
»'»'miércoles 26 septiembre, 2018

»'''*Implementación de un transmisor de ISDB-T abierto bajo el paradigma de Radio Definida por Software*, Javier Hernández, Santiago Castro.

Esta tesis fue preparada en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X usando la clase iietesis (v1.1).

Contiene un total de 45 páginas.

Compilada el miércoles 26 septiembre, 2018.

<http://iie.fing.edu.uy/>

»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

»'»'»Sean los orientales tan ilustrados como valientes.

»'»JOSÉ GERVASIO ARTIGAS

»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »''Agradecimientos

»''Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur non neque tempor nunc fringilla tincidunt a a tortor. Phasellus leo turpis, commodo aliquam vehicula a, auctor in magna. Nulla non venenatis neque. Sed sit amet turpis metus, vel accumsan ligula. Suspendisse malesuada lacus sed tellus mollis a posuere mi porttitor. Nunc venenatis ante sit amet metus euismod iaculis. Phasellus accumsan lacinia eros, nec tempor lacus malesuada a. Suspendisse leo justo, pulvinar vitae molestie sit amet, ullamcorper ut mauris. Proin sed est ipsum.

»''Nulla leo ligula, porttitor eu dapibus non, porta sit amet enim. Ut eros nibh, fringilla ultrices rhoncus ut, luctus ut nibh. Nam id urna ac ligula fermentum rutrum. Sed eu cursus lacus. Donec pretium fermentum augue, eu interdum ipsum faucibus a. Praesent feugiat elit ligula. Sed ac augue luctus ligula aliquet scelerisque commodo nec justo. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Vivamus eget sem ac sapien elementum suscipit. Ut odio tellus, accumsan sit amet condimentum vehicula, vestibulum quis dui. Quisque posuere semper massa quis cursus. Aliquam gravida tellus eget lorem congue dapibus. Duis id quam eu arcu porta commodo vel at nunc. Nulla in venenatis lorem. Donec congue vehicula bibendum.

»''Vestibulum pulvinar lorem a velit bibendum porttitor sagittis nisl tempus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Fusce ut mi sit amet metus ultrices feugiat ut nec lorem. Nunc felis lorem, consectetur ut eleifend et, vestibulum id purus. Praesent nec augue quis neque sodales commodo nec ac urna. Sed a nibh ac odio sodales pulvinar. Pellentesque ut odio orci. Nam dictum hendrerit felis at ullamcorper. Integer eget sapien libero, in congue tortor. Nullam blandit vestibulum aliquet. Nullam vulputate sapien quis nisl molestie vulputate. Aliquam elementum eros quis ante ultrices ultricies. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec porttitor sodales aliquam. Ut sit amet risus justo. Integer eu iaculis orci.

»''Sed lectus tellus, porttitor in viverra sed, viverra nec nunc. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Fusce gravida eleifend nisi, sit amet pulvinar ligula gravida id. Vivamus est massa, viverra sit amet ornare non, consectetur sit amet elit. Nam sapien lectus, pharetra sit amet imperdiet ultrices, iaculis eget enim. Curabitur in felis et lectus malesuada pellentesque vestibulum ac dolor. Vivamus quis nulla tortor. Sed adipiscing fringilla leo, sit amet sodales felis volutpat id. Proin vitae arcu libero. Suspendisse sit amet est tellus. Aliquam sit amet metus ut arcu placerat feugiat. Nulla eget magna id

odio facilisis blandit. Nam porta ultricies est, sed bibendum mauris volutpat ac. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas vel lorem lorem. Donec et purus a tellus lacinia fringilla a non lectus.

»”Sed pretium porttitor fermentum. Vivamus semper lobortis dictum. In interdum, libero id iaculis laoreet, sapien diam tristique lorem, sit amet aliquam sapien sem ac tortor. Phasellus tincidunt tempor condimentum. Aenean luctus, erat non fermentum rhoncus, quam odio gravida massa, sed scelerisque tellus elit ut massa. Suspendisse vel posuere ipsum. Vestibulum dolor leo, ornare quis faucibus non, consequat ut purus. Maecenas at massa turpis, vitae pretium metus. Mauris mollis dolor turpis, semper dignissim tellus. Sed vel ligula eu turpis accumsan vehicula id in nisl. Pellentesque sit amet mi lorem. Suspendisse potenti. Proin bibendum luctus accumsan. Mauris urna elit, lacinia sit amet adipiscing feugiat, vestibulum sed mauris.



»”*A Fulano y Mengano.*

»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »''Resumen

»''Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur non neque tempor nunc fringilla tincidunt a a tortor. Phasellus leo turpis, commodo aliquam vehicula a, auctor in magna. Nulla non venenatis neque. Sed sit amet turpis metus, vel accumsan ligula. Suspendisse malesuada lacus sed tellus mollis a posuere mi porttitor. Nunc venenatis ante sit amet metus euismod iaculis. Phasellus accumsan lacinia eros, nec tempor lacus malesuada a. Suspendisse leo justo, pulvinar vitae molestie sit amet, ullamcorper ut mauris. Proin sed est ipsum.

»''Nulla leo ligula, porttitor eu dapibus non, porta sit amet enim. Ut eros nibh, fringilla ultrices rhoncus ut, luctus ut nibh. Nam id urna ac ligula fermentum rutrum. Sed eu cursus lacus. Donec pretium fermentum augue, eu interdum ipsum faucibus a. Praesent feugiat elit ligula. Sed ac augue luctus ligula aliquet scelerisque commodo nec justo. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Vivamus eget sem ac sapien elementum suscipit. Ut odio tellus, accumsan sit amet condimentum vehicula, vestibulum quis dui. Quisque posuere semper massa quis cursus. Aliquam gravida tellus eget lorem congue dapibus. Duis id quam eu arcu porta commodo vel at nunc. Nulla in venenatis lorem. Donec congue vehicula bibendum.

»''Vestibulum pulvinar lorem a velit bibendum porttitor sagittis nisl tempus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Fusce ut mi sit amet metus ultrices feugiat ut nec lorem. Nunc felis lorem, consectetur ut eleifend et, vestibulum id purus. Praesent nec augue quis neque sodales commodo nec ac urna. Sed a nibh ac odio sodales pulvinar. Pellentesque ut odio orci. Nam dictum hendrerit felis at ullamcorper. Integer eget sapien libero, in congue tortor. Nullam blandit vestibulum aliquet. Nullam vulputate sapien quis nisl molestie vulputate. Aliquam elementum eros quis ante ultrices ultricies. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec porttitor sodales aliquam. Ut sit amet risus justo. Integer eu iaculis orci.

»''Sed lectus tellus, porttitor in viverra sed, viverra nec nunc. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Fusce gravida eleifend nisi, sit amet pulvinar ligula gravida id. Vivamus est massa, viverra sit amet ornare non, consectetur sit amet elit. Nam sapien lectus, pharetra sit amet imperdiet ultrices, iaculis eget enim. Curabitur in felis et lectus malesuada pellentesque vestibulum ac dolor. Vivamus quis nulla tortor. Sed adipiscing fringilla leo, sit amet sodales felis volutpat id. Proin vitae arcu libero. Suspendisse sit amet est tellus. Aliquam sit amet metus ut arcu placerat feugiat. Nulla eget magna id

odio facilisis blandit. Nam porta ultricies est, sed bibendum mauris volutpat ac. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas vel lorem lorem. Donec et purus a tellus lacinia fringilla a non lectus.

»”Sed pretium porttitor fermentum. Vivamus semper lobortis dictum. In interdum, libero id iaculis laoreet, sapien diam tristique lorem, sit amet aliquam sapien sem ac tortor. Phasellus tincidunt tempor condimentum. Aenean luctus, erat non fermentum rhoncus, quam odio gravida massa, sed scelerisque tellus elit ut massa. Suspendisse vel posuere ipsum. Vestibulum dolor leo, ornare quis faucibus non, consequat ut purus. Maecenas at massa turpis, vitae pretium metus. Mauris mollis dolor turpis, semper dignissim tellus. Sed vel ligula eu turpis accumsan vehicula id in nisl. Pellentesque sit amet mi lorem. Suspendisse potenti. Proin bibendum luctus accumsan. Mauris urna elit, lacinia sit amet adipiscing feugiat, vestibulum sed mauris.

# »''Prefacio

»''Algo que decir antes de empezar con el contenido?

»''El autor

»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

# »'''Tabla de contenidos

<b>A</b> gradecimientos	III
<b>R</b> esumen	VII
<b>P</b> refacio	IX
<b>1.</b> '''Introducción	1
<b>2.</b> '''Fundamento Teórico	5
2.1. Modelado del canal . . . . .	6
2.1.1. Canales Continuos . . . . .	6
2.1.2. Canales Discretos . . . . .	6
2.1.3. Las no idealidades del Canal . . . . .	6
2.2. Estrategias para mitigar los efectos del canal . . . . .	6
2.2.1. Códigos de detección y corrección de errores . . . . .	6
2.2.2. Códigos Cíclicos . . . . .	7
2.3. Modulación OFDM . . . . .	8
2.4. MPEG y sus Estandares . . . . .	9
2.4.1. MPEG-2 Transport Stream . . . . .	10
2.4.2. Tablas PMT . . . . .	10
»'''<Updated upstream	
2.4.3. Tablas PAT . . . . .	10
2.4.4. Paquetes Nulos . . . . .	10
<b>3.</b> '''El Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T	11
3.1. BTS como fuente de datos . . . . .	12
3.2. Robustecimiento frente a las no idealidades del canal . . . . .	13
3.3. Las portadoras y la modulación . . . . .	14
3.4. Formación de los frames OFDM . . . . .	15
3.5. La puesta en el aire de la señal . . . . .	15
<b>4.</b> '''Radio definida por Software	17
4.1. GNU Radio . . . . .	17
4.2. Hardware . . . . .	17
4.2.1. Alcance del transmisor . . . . .	17
4.2.2. Antenas de laboratorio . . . . .	17

## Tabla de contenidos

4.3. gr-isdbt . . . . .	17
<b>5. Un transmisor ISDBT implementado en GNU Radio</b>	<b>19</b>
5.1. Generalidades del Transmisor . . . . .	19
5.2. El flujo de datos en GNU Radio . . . . .	19
5.3. Obtencion de los TSP por capa . . . . .	19
5.4. Codificaciones de Canal . . . . .	19
5.5. La modulacion . . . . .	19
5.6. El uso de los entrelazamientos . . . . .	19
5.7. Formacion de cuadros OFDM . . . . .	19
5.7.1. Las portadoras piloto . . . . .	19
5.7.2. Las portadoras activas . . . . .	19
5.8. El prefijo ciclico . . . . .	19
5.9. La transmision desde USRP . . . . .	19
<b>6. Evaluacion del sistema</b>	<b>21</b>
6.1. Pruebas sobre gr-isdbt . . . . .	21
6.2. Pruebas sobre televisores comerciales . . . . .	21
<b>7. Conclusiones y trabajo a futuro</b>	<b>23</b>
<b>A. Algo que agregar</b>	<b>25</b>
<b>Referencias</b>	<b>27</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>28</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>30</b>
» »=====	
2.4.3. Tablas PAT . . . . .	11
2.4.4. Paquetes Nulos . . . . .	11
<b>3. El Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T</b>	<b>13</b>
3.1. BTS como fuente de datos . . . . .	13
3.2. Robustecimiento frente a las no idealidades del canal . . . . .	13
3.3. Las portadoras y la modulacion . . . . .	13
3.4. Formacion de los frames OFDM . . . . .	13
3.5. La puesta en el aire de la señal . . . . .	13
<b>4. Radio definida por Software</b>	<b>15</b>
4.1. GNU Radio . . . . .	15
4.2. Hardware . . . . .	15
4.2.1. Alcance del transmisor . . . . .	15
4.2.2. Antenas de laboratorio . . . . .	15
4.3. gr-isdbt . . . . .	15



<b>5. Un transmisor ISDBT implementado en GNU Radio</b>	<b>17</b>
5.1. Generalidades del Transmisor . . . . .	17
5.2. El flujo de datos en GNU Radio . . . . .	17
5.3. Obtencion de los TSP por capa . . . . .	17
5.4. Modificaciones de Canal . . . . .	17
5.5. La modulacion . . . . .	17
5.6. El uso de los entrelazamientos . . . . .	17
5.7. Formacion de cuadros OFDM . . . . .	17
5.7.1. Las portadoras piloto . . . . .	17
5.7.2. Las portadoras activas . . . . .	17
5.8. El prefijo ciclico . . . . .	17
5.9. La transmision desde USRP . . . . .	17
<b>6. Evaluacion del sistema</b>	<b>19</b>
6.1. Pruebas sobre gr-isdbt . . . . .	19
6.2. Pruebas sobre televisores comerciales . . . . .	19
<b>7. Conclusiones y trabajo a futuro</b>	<b>21</b>
<b>A. Algo que agregar</b>	<b>23</b>
<b>Referencias</b>	<b>25</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>26</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>28</b>
»»»Stashed changes	

»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

# »'Capítulo 1

## »'Introducción

»'En Mayo de 2001, la ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) [1] presentó la primera versión de su estandar para la transmisión de televisión digital. Coloquialmente denominada "Norma Japonesa de Televisión Digital", académicamente ISDB-T, por sus siglas en ingles provenientes de *Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial*, la norma sintetiza un conjunto de requerimientos técnicos para la utilización eficiente del espectro radioeléctrico para la transmisión de datos multimedia, con la colaboración y el aval de todos los actores de la industria.

»'Esta norma basa muchos de sus conceptos en la norma DVB-T, publicada por primera vez en el año 1997 por la organización europea DVB (Digital Video Broadcasting). La posterioridad de ISDB-T con respecto a esta, permitió que se robustecieran algunos de los aspectos mas criticados de la norma europea, resultando en un estandar mas robusto para la transmisión.

»'Actualmente, existen en el mundo cuatro grandes estandares comerciales. Ademas de ISDB-T y DVB-T, están la norma china DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) y la norma norteamericana de la ATSC (Advanced Television Systems Comitee). La elección de que norma adoptar por parte de los gobiernos nacionales, radica exclusivamente en decisiones políticas, que escapan a los objetivos de este documento.

»'En Uruguay, al igual que en gran parte de Latinoamérica, se adopto en 2011 una versión de ISDB-T denominada ISDB-T International, la cual es a grandes rasgos idéntica a la primera, salvo por algunos cambios menores como el cambio en la codificación de fuente (pasa del estandar MPEG-2 a MPEG-4) y la elección de otro estandar de interactividad (se cambia de BML a Ginga)

»'Luego de la adopción del estandar, se fijo para el año 2015 como fecha limite para el denominado "apagón analógico", fecha en la cual se dejaría de transmitir televisión por vías analógicas, pasando exclusivamente a medios digitales, liberando los espectros asignados para los canales de TV abierta para otros fines.

»'Durante la implementación del marco legal de la nueva norma de televisión digital, se entregaron 22 licencias para transmisión de contenidos bajo la norma ISDB-T International (En mas, ISDB-T por simplicidad). Al día de hoy, tres años después de la fecha limite para el apagón, solo algunos de los actores del rubro están

## Capítulo 1. Introducción

brindando el servicio de forma adecuada y llama la atención la baja participación del sector comercial en la transformación analógico-digital.

»”Relevamos la situación de las estaciones de transmisión de televisión digital a lo largo del país, y hemos encontrado que la cobertura abarca solo una parcialidad del territorio nacional, existiendo incluso departamentos del interior del país que aun no tienen cobertura en su totalidad.

»”La situación de los consumidores del servicio, también dista de la ideal, pues, la televisión analógica sigue siendo la mayor puerta de acceso al medio. La Encuesta Continua de Hogares del Instituto Nacional de Estadística [3], cuyos indicadores son una muestra representativa de la situación de todos los hogares del país, dió a conocer que en el año 2017 solamente el 47 % de los hogares encuestados tienen recepción de TV digital abierta. Tanto es así, que el mencionado apagón analógico, fue pospuesto por tiempo indeterminado. El alto costo del recambio de equipamiento, y posturas sobre la democratización del acceso a la información para personas de bajos recursos, fundamentan estas decisiones.

»”Es en ese contexto nacional que la Facultad de Ingeniería, quien luego de la adopción legal de la norma se puso como objetivo la apropiación tecnológica de la norma, nos encomendó el desarrollo de un transmisor de televisión digital, basado en SDR (Radio Definida por Software) y de código abierto.

»”Nuestro proyecto complementa el trabajo iniciado por Pablo Flores, María Simon y Federico Larroca, quienes en 2016 publicaron *gr-isdbt* [6], un receptor de televisión digital, también de código abierto y bajo el paradigma de SDR. Ambos trabajos en conjunto, permiten visualizar y ayudan a comprender el funcionamiento del sistema de transmisión digital de televisión de punta a punta, teniendo acceso completo a todo lo que sucede dentro del mismo, en cualquier punto de la cadena de transmisión.

»”Además, genera la posibilidad de recrear una planta de transmisión de televisión a muy bajo costo, permitiendo su reproducción tanto en el hogar por entusiastas, en el aula por docentes o en la industria, por técnicos, lo cual puede colaborar con el mejoramiento de la calidad del servicio actual. A su vez, puede servir incluso como ejemplo para algunos de los cursos de la Facultad, generalmente catalogados por el estudiantado como muy teóricos y con poco alcance práctico.

»”Implementar un transmisor de televisión digital, no es una tarea sencilla. El primer problema a enfrentar es el acceso a la información técnica. Existe poca documentación generada en el país, para cumplir con las condiciones técnicas de un sistema complejo y que, además, ya lleva 7 años de vigencia como oficial. La norma presentada por la ARIB deja varias zonas grises, asume por conocidos conceptos clave, y no se explora mas de lo necesario en cuestiones de fondo.

»”También existen fuertes limitaciones económicas para hacerse con software o hardware comercial que resuelvan incluso algunas de las funcionalidades mas básicas que exige la norma.

»”Esta tesis intenta suplir esa carencia, en principio complementando el trabajo iniciado por el grupo ARTES con el receptor *gr-isdbt*. Se desarrolló a lo largo de este proyecto, un transmisor de televisión digital que cumple con las condiciones establecidas en la norma, y cuyas señales son decodificables por los televisores

comerciales homologados por el LATU.

»”Contar con el trabajo presentado en *gr-isdbt* fue de una ayuda mayúscula, ya que basarse en el paradigma de código abierto ayudo a comprender, sintetizar y testear los conceptos teóricos vertidos en la norma, lo que fue fundamental para la comprensión de las funcionalidades que sería necesario implementar para poder transmitir.

»”Para este grupo de trabajo, es importante destacar lo valioso de la existencia de proyectos de código abierto, incontables veces encontramos en la comunidad puntos de vista, ideas y hasta algoritmos para resolver los problemas encontrados en el camino. Es por eso que esperamos poder contribuir con ella, poniendo a disposición de cualquier persona el transmisor *gr-isdbt-tx*, para que continúen con el trabajo de aprendizaje y la optimización del mismo por técnicos y estudiantes, seguramente con un mejor panorama del rubro, que el que tuvimos al implementar este proyecto.

»”Esperamos también, mediante el desarrollo de este documento, poder contribuir con la comunidad nacional de técnicos que trabajan en el rubro, y que no cuentan con documentación técnica generada por y para la norma nacional, con los problemas y las particularidades que la transmisión tiene en nuestro país y no tener que abstraer de trabajos de terceros, que resolvieron problemas similares en contextos diferentes. Entendemos que en este proyecto, los conceptos desarrollados por la norma se sintetizan en ordenes básicas al procesador, y al ser de código abierto y gratuito, se democratiza el acceso a una información a la que hoy por hoy solo se accede por medio de hardware y software propietario con licencias de costos elevados.

»”Para esta documentación, que acompaña el código presentado para el transmisor, definimos seis capítulos en los que se explica el desarrollo del mismo. En el capítulo 2 presentamos algunos de los conceptos fundamentales de telecomunicaciones sobre los que se construye la norma. El capítulo 3 realiza un breve pasaje por los puntos clave del sistema transmisor ISDB-T, los cuales son necesarios para comprender algunos de los bloques que conforman el sistema. Para profundizar mas en los mencionados conceptos, invitamos al lector a revisar la tesis de maestría de Pablo Flores, que pueden encontrar en [6]. El capítulo 4 se detiene particularmente en el concepto de radio definida por software y presenta en detalle una implementación del mismo, en particular aquel sobre el cual se desarrolló el transmisor, que es GNURadio. Luego en el capítulo 5 analizamos punto por punto el código generado para implementar el transmisor, explicando en cada paso los conceptos del capítulo 2 y 3 que se necesita aplicar en cada bloque, y como se extrapolaron a C++, lenguaje en el que se escribió cada uno de los bloques de procesamiento. Mas adelante, en el capítulo 6 mostramos el desempeño del transmisor como un todo, realizando las evaluaciones practicas del mismo en función de los objetivos de este proyecto y se comentan los resultados obtenidos. Para terminar, en el capítulo 7, presentamos las conclusiones del proyecto en particular y planteamos algunos desafíos que seria interesante afrontar en un futuro.









»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »'Capítulo 2

### »'Fundamento Teórico

»'Entendemos al proyecto gr-isdbt-tx como un complemento al trabajo de maestría presentado por Pablo Flores, por lo que nos parece reiterativo explicar en sumo detalle algunos de los fundamentos de telecomunicaciones sobre los que se construye la norma ISDB-T. Los mismos ya fueron explicados con gran claridad y nivel de detalle en la documentación de aquel proyecto. Quizás algunos de los lectores encuentren insuficiente el desarrollo de este algunos de los conceptos incluidos en este capítulo, a ellos los invitamos a complementar la lectura de esta documentación, con la tesis de Pablo.

»'Es posible también, que entre los lectores se encuentren técnicos vinculados al área de sistemas y programación. Encontraran ellos, seguramente, mayor interés y profundidad de conceptos en los capítulos 4 y 5, donde detallamos el uso de GNU Radio como plataforma de SDR, y la estructura funcional de nuestro transmisor, así como los desafíos de programación a los que nos enfrentamos implementando cada uno de sus bloques.

»'Intentando contemplar el interés de todos los lectores, es que les presentamos en este capítulo un repaso sobre algunos de los conceptos que entendemos clave para comprender por que son necesarios algunos de los bloques del transmisor.

»'Comenzaremos explicando aquí como se modela el canal inalámbrico para trabajar, que problemas se enfrenta uno cuando debe diseñar un sistema de transmisión por aire y como mitigar algunos de los efectos que el canal tendrá sobre nuestra señal. Repasaremos algunos de los mas utilizados códigos de detección y corrección de errores. Luego vendrá una corta explicación sobre los sistemas OFDM, su surgimiento teórico y practico, para dar un marco de surgimiento de algunas de las funcionalidades de ISDB-T. Para terminar, explicaremos de que forma se encapsulan los datos a transmitir, para eso, repasamos algunos conceptos definidos en las normas MPEG, orientados hacia la transmisión de televisión, que ayudaran a modelar la fuente de datos del sistema.

## »'2.1. Modelado del canal

### »'2.1.1. Canales Continuos

### »'2.1.2. Canales Discretos

### »'2.1.3. Las no idealidades del Canal

## »'2.2. Estrategias para mitigar los efectos del canal

### »'2.2.1. Códigos de detección y corrección de errores

»'La comunicación entre emisor y receptor puede modelarse mediante el proceso de la Figura 2.1. La situación es la siguiente, una fuente emisora envía mensajes  $m$  (palabras fuente) al receptor a través de un canal de comunicación. El mensaje debe ser traducido a algún mensaje que el canal esté capacitado para enviar, estos mensajes se conocen como palabras código.

»'Al otro lado del canal llega un mensaje codificado  $c'$ , el cual seguramente sea erróneo, pues en todo proceso real de comunicación existe ruido e imperfecciones en los canales. El mensaje es decodificado en una palabra  $m'$ , y generalmente  $m' \neq m$ .

»'Se desea que el receptor sea capaz de darse cuenta si el mensaje  $m'$  es realmente lo que se transmitió del otro lado, y más aún, poder corregirlo.

»'La Teoría de Códigos es un campo de la matemática aplicada que busca resolver los problemas de las etapas de codificación-decodificación y corrección, y que presenta su propia complejidad.

»'La transmisión inalámbrica de una señal la expone a diversas fuentes de ruido, con lo cual los tipos de errores generados pueden ser muy variados. Por ejemplo los errores en ráfaga, en los que un conjunto de bits consecutivos se ven alterados, son muy comunes en las comunicaciones inalámbricas. También podría suceder que el canal radioeléctrico presente distorsión en algunas portadoras en particular.

»'El estándar ISDB-T hace uso de distintas técnicas modernas para la protección de los datos en transmisión. De hecho para proteger los datos en los ejemplos mencionados el estándar utiliza la *dispersión de energía* y el *entrelazamiento frecuencial*. Para la comprensión del estándar y el desarrollo de *gr-isdbt-tx*, es importante conocer el funcionamiento de estas técnicas. Profundizar en estos temas escapa los objetivos de este trabajo, por lo cual los detalles técnicos se pueden encontrar en las bibliografías mencionadas.

»'Para asegurarse que el receptor pueda llevar a cabo satisfactoriamente la demodulación y decodificación en una transmisión jerárquica, en la cual se utilizan múltiples parámetros de transmisión, se utiliza una señal denominada Transmission and Multiplexing Configuration Control (TMCC).

»'Como se verá en el Capítulo XX, la TMCC junto con otras señales piloto y las señales correspondientes a la transmisión de los datos útiles, conforman el cuadro OFDM.

## 2.2. Estrategias para mitigar los efectos del canal

»'Al tratarse de una señal que contiene información crítica sobre la transmisión se la debe proteger fuertemente frente a los distintos tipos de errores que podría sufrir durante su transmisión.

»'En particular ISDB-T establece que para la TMCC se debe utilizar el código acortado (200,118) del *difference-set cyclic code* (273,191) como código corrector de errores.

### »'2.2.2. Códigos Cíclicos

»'El conjunto  $GF(2) \triangleq \{0, 1\}$ , con las operaciones de suma  $+$  y producto  $\times$  usuales módulo 2, cumple con la propiedad de que cualquier elemento de  $GF(2)$  distinto de cero tiene inverso. Esta propiedad se cumple trivialmente en este conjunto y es la condición necesaria para que  $GF(2)$  sea un *Campo de Galois*. Es común encontrar que a este campo también se lo llame *campo binario* y se lo denote como  $\mathbb{F}_2$ . Las operaciones de suma y producto definidas en  $GF(2)$  son asociativas, conmutativas y distributivas, y llevan elementos de  $GF(2)$  en elementos de  $GF(2)$ . Por esto  $GF(2)$  también es un *anillo*. El conjunto de todos los polinomios con coeficientes en  $GF(2)$  con las operaciones usuales de suma y producto forman un *anillo de polinomios* en  $GF(2)$  y se denota como  $GF(2)[x]$ . Por ejemplo  $g(x) = x^3 + x + 1$  es un elemento de  $GF(2)[x]$ .

»'Sea  $\mathbf{c} = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in GF(2)^n$ , con  $GF(2)$  tal como se describió anteriormente. Un código  $\mathcal{C}$  de bloque  $(n, k)$  se dice que es un *código cíclico* si para cada vector  $\mathbf{c} = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in \mathcal{C}$  cualquier rotación circular a la derecha de  $\mathbf{c}$  también pertenece a  $\mathcal{C}$ , es decir  $(c_{n-1}, c_0, c_1, \dots, c_{n-2}) \in \mathcal{C}$ . Los códigos de bloque se caracterizan por codificar mensajes de longitud fija  $k$  en *codewords* de longitud fija  $n$ , con lo cual el tamaño del mensaje original se incrementa en  $n - k$ . Cada *codeword* del código  $\mathcal{C}$  puede ser representada en una forma polinomial de la siguiente manera:

»'»

$$c(x) = \sum_{i=0}^{n-1} c_i x^i \quad (2.1)$$

»'A continuación se enumera una serie de propiedades de los códigos cíclicos, en [4] se puede encontrar una demostración detallada de cada una de ellas.

- Un código cíclico es un código lineal de bloque
- Cada *codeword* se corresponde con un polinomio
- Los polinomios del código forman un *ideal* en  $GF(2)[x]/(x^n - 1)$
- Para un código cíclico existe un generador  $g(x)$  que es divisor de  $x^n - 1$  y que puede generar todos las *codewords*  $c(x) = m(x)g(x)$

»'Se puede probar que esto implica la existencia de una *matriz de chequeo de paridad*  $\mathbb{H} \in \mathcal{M}_{(n-k) \times n}$  tal que para toda *codeword*  $\mathbf{c}$  de  $\mathcal{C}$  se cumple  $\mathbf{c}\mathbb{H}^T = \mathbf{0}$ .

»'El proceso de codificación se realiza de la siguiente manera, primero se construye el polinomio  $x^{n-k}m(x)$  de grado  $n$ . Luego se divide entre el polinomio

## Capítulo 2. Fundamento Teórico

generador  $g(x)$  y el resto de esa división es el polinomio de paridad  $d(x)$  que se le agregará al mensaje:

»''

$$x^{n-k}m(x) - q(x)g(x) = d(x) \quad (2.2)$$

»''La *codeword* se forma de la siguiente manera:

»''

$$c(x) = x^{n-k}m(x) - d(x) = q(x)g(x) \quad (2.3)$$

»''Como se trata de un múltiplo de  $g(x)$ , entonces efectivamente es una *codeword* válida. La representación vectorial de la *codeword* queda de la siguiente manera:

»''

$$\mathbf{c} = (-d_0, -d_1, \dots, -d_{n-k-1}, m_0, m_1, \dots, m_{k-1}) \quad (2.4)$$

»''En una situación en la que se recibe una palabra  $\mathbf{r}$  cuyo mensaje es  $\mathbf{m}$  y sus bits de paridad son  $\mathbf{d}$ , el procedimiento para detectar si hubo error es codificar el mensaje  $\mathbf{m}$  que se recibió con el mismo codificador utilizado por el transmisor (ambas partes deben conocer el polinomio generador), y luego comparar el  $\mathbf{d}'$  obtenido con el  $\mathbf{d}$  recibido. Si ambos difieren entonces hubo error. Por ejemplo, para un código cíclico (7, 4) con polinomio generador  $g(x) = x^3 + x + 1$  se desea codificar el mensaje 1001. Los mensajes codificados tendrán  $n - k = 7 - 4 = 3$  bits de paridad. El mensaje en su forma polinomial queda  $m(x) = 1 + x^3$ . Los bits de paridad se obtienen calculando el resto de la división  $x^{(7-4)}m(x)/g(x)$ , los coeficientes de ese resto serán los bits de la paridad buscada. Operando se llega a que la paridad es 011 y el mensaje codificado queda 0111001.

### »''2.3. Modulación OFDM

»''En 1966, Chang presenta un método para lograr la multiplexión de canales de datos a través de un medio de frecuencia acotada, en [2], que elimina los efectos de interferencia intersimbólica e intercanal. Implicó un cambio importante en la teoría de telecomunicaciones de la época, pues hasta entonces, los resultados existentes tomaban como funciones modulantes ortogonales, señales limitadas en el tiempo, lo que implica grandes anchos de banda en frecuencia, y en los canales de banda acotada implementados en la práctica se traducían en interferencias producto de los recortes en banda.

»''En el paper, Chang postula la idea de una nueva clase de funciones modulantes acotadas en frecuencia, que además, permite modular de manera independiente amplitud y frecuencia. En ese momento se sentaban las bases de la modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).

»''Uno de los mayores problemas de los sistemas FDM, era la incapacidad para escalar en cantidad de canales. La complejidad y el costo de construir los osciladores para la cantidad de portadoras necesarias, mantenían la brecha entre la teoría y la práctica.

## 2.4. MPEG y sus Estándares

»"La solución a estos problemas, llega cuando se logra programar computadoras capaces de procesar grandes cantidades de datos, mediante la implementación del algoritmo de "Fast Fourier Transform".

»"Weinstein y Ebert, resolvieron en [7] el problema de la escalabilidad de los sistemas FDM, mediante la conjugación de los mencionados avances tecnológicos, discretizando las señales a transmitir, y modulándolas por computadora, en lugar de usar los bancos de osciladores.

»"Una señal multitonal, puede ser vista como la transformada de Fourier de un tren de pulsos, y la demodulación coherente a su vez puede entenderse como la aplicación en tiempo continuo de una transformada inversa de Fourier. Entonces, probaron que muestreando la señal de origen, y mediante la implementación de un modem sobre una computadora que ejecute el algoritmo de la transformada rápida de Fourier, se pueden obtener aproximaciones suficientemente cercanas a los de la señal original.

»"En principio el resultado es válido para un sistema FDM con  $N$  canales simultáneos, con portadoras separadas en frecuencia en distancias suficientemente cercanas, como para aproximar la respuesta al impulso del canal, como si fuese de módulo constante sobre cada uno de los  $N$  canales.

»"Pero falta un paso más, pues la hipótesis del comportamiento del canal constante, se aleja bastante de la realidad. Plantearon entonces un canal, de respuesta al impulso lineal en frecuencia.

»"En estas condiciones, y atendiendo además que la señal discreta a transmitir solo "vive" en el ancho de banda de transmisión ( $N \cdot \Delta f$ ), consideraron a la señal a transmitir como una transformada de Fourier enventanada. Desarrollando estas ideas lograron probar que, si la ventana es plana en las frecuencias de interés, y se agregan "guardas" de seguridad a ambos lados de las portadoras activas, de modo que las colas del enventanado caigan de forma continua, (alejando el enventanado de la idealidad de las ventanas rectangulares) se logran condiciones para reducir la distorsión generada por la respuesta al impulso del canal, a efectos transitorios de dispersión rápida, y la señal en recepción sigue convergiendo a la señal transmitida.

## »"2.4. MPEG y sus Estándares

»"El Moving Picture Experts Group (MPEG) [5] es un grupo de trabajo conformado por expertos internacionales, formado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en conjunto con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), con el objetivo de desarrollar estándares para la codificación, compresión y transmisión de audio y video.

»"Uno de los estándares publicados por el MPEG, es MPEG-4. Consta de métodos para la compresión digital de contenidos audiovisuales, y abarca la difusión de los mismos a través de una amplia gama de tecnologías, desde el streaming de datos a través de la web, codificación de voz y video para telefonía y videoconferencias, comercialización de discos compactos (CD) y hasta formatos para la transmisión de Televisión.

## Capítulo 2. Fundamento Teórico

»"Es en este ultimo punto donde se vincula con ISDB-T Internacional, puesto que para la codificación de fuente en la norma, fue seleccionado el Estandar MPEG-4 Parte 10 "Advanced Video Coding", también denominado H.264.

»"Para garantizar que los receptores de televisión digital ISDB-T, también sean compatibles con los transmisores tanto de ISDB-T como de ISDB-T Internacional, se encapsulan los videos codificados en H.264 dentro de un formato denominado "Transport Stream" que se define en la norma MPEG-2 Parte 1 – Sistemas.

»"En el transmisor gr-isdbt-tx, tomamos como fuente de datos un archivo codificado como Transport Stream, para garantizar esta compatibilidad.

### »"2.4.1. MPEG 2 Transport Stream

»"Un Transport Stream (TS) es un contenedor de datos en el que se encapsulan en conjunto uno o mas PES (Paquetized Elementary Streams), junto con códigos de corrección de errores y flags de sincronismo. La combinación de esta información, permite mantener la continuidad de la decodificación incluso cuando cuando el canal se degrada fuertemente.

»"Un Paquetized Elementary Stream (PES), es una especificación de MPEG 2 para el transporte de flujos elementales, generalmente las salidas del codificadores de audio y video. En ISDB-T, los Elementary Streams generalmente contienen video, audios en mas de un idioma, archivos de subtítulo, grillas de programación y tablas de información de transmisión.

»"Al comienzo de la cadena de transmisión, en ISDB-T, se multiplexan varios TS, para crear un único TS sobre el cual se va a trabajar. El mismo sera sometido luego a varias capas de codificaciones de canal, para robustecerlo aun mas frente a las perdidas. Este proceso se discutirá luego en el capítulo 3.

»"La estructura de un Transport Stream es la siguiente: (Imagen)

»"Los datos de los elementary streams se recortan en secciones de 188 bytes, este tamaño tan chico, permite que se realice un entrelazamiento con otros ES con muy baja latencia, y con una mayor resistencia ante las perdidas.

### »"2.4.2. Tablas PMT

»"Dentro de los Transport Streams se define el concepto de Programas. Cada programa esta definido en una tabla denominada PMT (Program Map Table), que viaja multiplexada en el TS de transmisión, identificada por un PID único. Los Elementary Streams asociados con el programa en cuestión, tienen sus PIDs listados en la PMT. En general, se asocia cada canal con un programa, aunque también podrían utilizarse programas para (completar)

»"Cuando un receptor decide reproducir un canal en particular, lo que tiene que hacer es decodificar los payloads contenidos en los TS cuyos PIDs están en la tabla PMT

»"Ademas de la tabla PMT, existen otros tipos de tablas en MPEG-2. Para el alcance de este documento, nos interesa detallar solo dos mas. La Program Association Table (PAT), contiene una lista con todos los programas

### »'2.4.3. Tablas PAT

»'La Program Association Table (PAT), es una tabla que contiene una lista de todos los programas disponibles en el TS. Esta formada por valores de 16 bits denominados Program Number, asociados cada uno de ellos con un PID correspondiente a su tabla PMT dentro del stream.

»'De modo que, el receptor que se conecta al stream en cualquier momento de la transmisión, pueda hallar el programa de interés y sintonizarlo, es que se identifican a todos los paquetes del Transport Stream con un identificador único, o PID. Las tablas PAT siempre van contenidas en paquetes de PID 0x0000.

»'Habiendo identificado la PAT por su PID bien conocido, el receptor selecciona un programa de la lista y guarda el PID de su tabla PMT. Luego filtrando todos los paquetes cuyo identificador difiera del identificador del programa elegido, se hace con toda la información de decodificación del programa contenida en la PMT, y luego podrá discriminar entre todos los paquetes del TS, los del contenido audiovisual que le son de interés para decodificarlo.

### »'2.4.4. Paquetes Nulos

»'Resulta vital para un esquema de transmisión de televisión mantener el bitrate constante, pero puede ocurrir que falten datos para contemplar esa tasa. Es por eso que se definen los paquetes nulos. Un multiplexor completa con los paquetes necesarios para mantener la tasa constante.

»'Para diferenciar los datos validos de los paquetes de relleno, al igual que lo que sucede con la tabla PAT, es que se usa para identificar los paquetes nulos un PID bien conocido, que en este caso es el 0x1FFF.









»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »'»Capítulo 3

# »'»El Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T

»'»El esquema de transmisión del estándar ISDB-T que se presenta en la Figura ?? puede ser caracterizado en cuatro grandes etapas que serán presentadas en este capítulo: el flujo de transporte BTS (*Broadcast Transport Stream*), la etapa de robustecimiento de la señal, la formación de los Cuadros OFDM con sus señales piloto y la puesta en el aire de la señal.

»'»Cada una de esas etapas tiene a su vez varias subetapas, o bloques fundamentales, que se enfocan en resolver los distintos problemas discutidos que surgen al transmitir una señal inalámbrica. Esto dá como resultado una variedad de parámetros de operación presentados en la Tabla ?? que permitirán por ejemplo, la transmisión jerárquica en distintas capas, cada una con su propia configuración; o enfocarse en robustecer la transmisión frente al *multipath* o al efecto Doppler.

»'»A nivel de la distribución en el espectro, el estándar utiliza 6 MHz de ancho de banda de canal distribuido en 14 segmentos de los cuales sólo 13 son utilizados para enviar datos, el restante se utiliza como guarda a ambos lados del canal. También se incluye un piloto continuo que se trata de una portadora modulada en BPSK ubicada a continuación del Segmento 12.

»'»Tener un esquema de transmisión jerárquica permite asignar a cada capa jerárquica la cantidad de segmentos que uno quiera. El estándar de la ARIB denomina a estas capas como A, B y C, y es posible tener configuraciones con solamente 2 capas presentes tal como la de la Figura ?? en la que la capa A corresponde al segmento 0 y el resto de los segmentos forman la capa B.

»'»En los comienzos de la televisión digital en el Uruguay los operadores que prestaban servicios de televisión digital debían transmitir su señal en calidad HD, en SD y *oneseg*, es decir en tres capas jerárquicas. Esto era así porque se entendía que en el mercado circulaba una gran cantidad de receptores que no eran capaces de procesar la calidad HD. Posteriormente esa directiva fué suprimida y al día de hoy los operadores no están obligados a transmitir en SD.

»'»El sistema puede operar en tres *modos de transmisión* diferentes que se caracterizan por la cantidad de portadoras utilizadas, siempre en el mismo ancho de banda de 6 MHz. Las portadoras utilizadas son  $2^{10+modo}$  donde el modo puede

## Capítulo 3. El Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T

ser 1, 2 o 3.

»'»Se define la frecuencia de muestreo de la IFFT como  $f_{IFFT} \triangleq \frac{512}{63\mu s} \approx 8,127MHz$ , que a su vez coincide con el número de portadoras utilizadas sobre el tiempo de símbolo activo  $T_s$ . Por lo tanto la utilización de un número mayor de portadoras implica utilizar símbolos más largos para respetar la relación de la  $f_{IFFT}$ ; aumentar el tiempo de símbolo activo implica reducir el ancho de banda ocupado por cada portadora.

»'»Cada segmento a su vez está conformado por dos tipos de señales portadoras. Las primeras son las correspondientes a los datos, y las otras son las denominadas *portadoras piloto* que cumplen se utilizan para la estimación del canal y transmisión de parámetros de control e información del sistema. De manera general, los segmentos tienen  $96 \times 2^{modo-1}$  portadoras de datos  $12 \times 2^{modo-1}$  portadoras piloto dependiendo del modo de transmisión. En la Tabla ?? se evalúan estos parámetros para los distintos modos de transmisión.

»'»\*\*\*\*\* Prefijo cíclico (Considerar lo que se hablo en el CAP 2 para no ser reiterativos)\*\*\*\*\*.

### »'»3.1. BTS como fuente de datos

»'»El estándar ISDB-T admite la posibilidad de tomar hasta tres *Transport Streams* (TS) MPEG-4. A estos flujos se les debe agregar la información necesaria para la transmisión en capas jerárquicas. El bloque TS Remux es el que se encarga de multiplexar los tres flujos de transporte y a cada TSP agregarle 16 bytes de información. Una vez que se agregan estos datos los paquetes de cada capa son multiplexados según un patrón de ordenamiento que es único para cada configuración del sistema, en [4] se explica este patrón y se presenta un algoritmo para recuperarlo en recepción. El transmisor implementado en este trabajo toma como flujo de entrada un BTS ya conformado, y con la información jerárquica de los TSP es que logra procesar cada capa por separada. De ahí en adelante las capas son entrelazadas y moduladas cada una de acuerdo a su propia configuración.

### »'»3.2. Robustecimiento frente a las no idealidades del canal

»'»Como primer medida para proteger los datos del BTS se aplica un código Reed-Solomon (204, 188). El proceso de codificación consiste en sustituir los últimos 16 bytes de los TSP por una paridad que permite corregir hasta 8 bytes de error en el paquete.

»'»Este bloque remueve la información jerárquica agregada por el TS Remux con lo cual una vez que los TSP son codificados por el Reed-Solomon en principio ya no es posible distinguir a qué capa pertenece cada paquete, es decir que al llegar al bloque de división jerárquica ya no se cuenta con esa información. Una estrategia para sortear este problema, y de hecho la que se implementa en *gr-*

### 3.3. Las portadoras y la modulacion

*isdbt-tx*, consiste en separar primero los paquetes correspondientes a cada capa jerárquica y luego codificar los paquetes. Una vez encaminados los paquetes se puede prescindir de la información jerárquica. El diagrama de bloques presentado en la Figura ?? corresponde al esquema original de la ARIB en la que se define el estándar ISDB-T, mientras que la Figura ?? se encuentra la implementación utilizada en *gr-isdbt-tx*.

»”Para evitar los problemas de sincronismo que podría ocasionar una señal con muchos ceros o unos consecutivos, se utiliza un *dispersor de energía* que se encarga de generar un flujo pseudoaleatorio. Este proceso se define de manera tal que resulta ser totalmente invertible y por lo tanto aplicando el mismo proceso en recepción se obtiene la secuencia original.

»”Los canales inalámbricos son propensos a una multiplicidad de fuentes de error. Un tipo de errores muy comunes en estos canales son los *errores en ráfaga* provocando que una secuencia consecutiva de bits se corrompan. El impacto de estos tipos de errores crece con la velocidad de transmisión; a mayor velocidad de transmisión un mismo error afecta a una mayor cantidad de bits. Resulta necesario lograr algún tipo de inmunidad ante estos errores, es por ello que en muchos sistemas, y en particular en ISDB-T, se suelen concatenar códigos correctores de errores. David Forney en su trabajo *Concatenated Codes* [5] estudia el compromiso que existe en la utilización de sucesivos códigos concatenados, y en especial la performance que pueden llegar a alcanzar los códigos Reed-Solomon concatenados. El estándar ISDB-T utiliza este enfoque a través de la implementación de un código Reed-Solomon como *outer code* y un código convolucional como *inner code*. Como medida adicional para contrarrestar los efectos del canal se utiliza el *entrelazamiento de bits* que esencialmente consiste en introducir retardos variables en los bits que se transmiten.

»”Al transmitir en múltiples portadoras ortogonales se corre el riesgo de atravesar canales selectivos en frecuencia y por lo tanto que ciertas portadoras se vean continuamente afectadas. Para mitigar esto una estrategia puede ser rotar de portadora los contenidos que se transmiten, es decir hacer un *entrelazamiento frecuencial*. Con esto se logra que ante un canal selectivo, ya lo sea por sus características propias o por interferencias de señales espurias fuera de banda, las portadoras que son afectadas no resulte en una pérdida de bloques de información irreuperables.

### »”3.3. Las portadoras y la modulacion

»”DATOS Scattered Pilot TMCC AC Piloto Continuo

## Capítulo 3. El Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T

### »'''3.4. Formación de los frames OFDM

### »'''3.5. La puesta en el aire de la señal

»'''?Equipos USRP, Antenas, ganancias, potencia, SNR necesario (??por esto es que no logramos recibir aun???)?









## »''Capítulo 4

## »''Radio definida por Software

»''Acá hay que hablar en genérico qué es el paradigma para después hablar de hardware (las opciones que hay y cuáles usaron, dando sus especificaciones) y software (GNU Radio y gr-isdbt). - Implementación del transmisor Tratar de hablar de las cosas que más trabajo les dió y qué lecciones les quedaron. Si la explicación teórica ya está en un capítulo anterior, no ser repetitivos, me explico? O sea, que sea más de implementación.

### »''4.1. GNU Radio

### »''4.2. Hardware

#### »''4.2.1. Alcance del transmisor

#### »''4.2.2. Antenas de laboratorio

### »''4.3. gr-isdbt







»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.



## »'»Capítulo 5

### »'»Un transmisor ISDBT implementado en GNU Radio

#### »'»5.1. Generalidades del Transmisor

»'»Por ejemplo algunas

#### »'»5.2. El flujo de datos en GNU Radio

#### »'»5.3. Obtencion de los TSP por capa

#### »'»5.4. Codificaciones de Canal

#### »'»5.5. La modulacion

#### »'»5.6. El uso de los entrelazamientos

#### »'»5.7. Formacion de cuadros OFDM

##### »'»5.7.1. Las portadoras piloto

##### »'»5.7.2. Las portadoras activas

#### »'»5.8. El prefijo ciclico

#### »'»5.9. La transmision desde USRP







»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »'''Capítulo 6

### »'''Evaluacion del sistema

»'''Al menos algunas pruebas de alcance y compatibilidad. Con el poco tiempo que nos queda no va a dar para mucho más.

»'''6.1. Pruebas sobre gr-isdbt

»'''6.2. Pruebas sobre televisores comerciales









»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

»'''Capítulo 7

»'''Conclusiones y trabajo a futuro





»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »'»Apéndice A

### »'»Algo que agregar

»'»De lo que aprendí y no es tan relevante.

»'»Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur non neque tempor nunc fringilla tincidunt a a tortor. Phasellus leo turpis, commodo aliquam vehicula a, auctor in magna. Nulla non venenatis neque. Sed sit amet turpis metus, vel accumsan ligula. Suspendisse malesuada lacus sed tellus mollis a posuere mi porttitor. Nunc venenatis ante sit amet metus euismod iaculis. Phasellus accumsan lacinia eros, nec tempor lacus malesuada a. Suspendisse leo justo, pulvinar vitae molestie sit amet, ullamcorper ut mauris. Proin sed est ipsum.

»'»Nulla leo ligula, porttitor eu dapibus non, porta sit amet enim. Ut eros nibh, fringilla ultrices rhoncus ut, luctus ut nibh. Nam id urna ac ligula fermentum rutrum. Sed eu cursus lacus. Donec pretium fermentum augue, eu interdum ipsum faucibus a. Praesent feugiat elit ligula. Sed ac augue luctus ligula aliquet scelerisque commodo nec justo. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Vivamus eget sem ac sapien elementum suscipit. Ut odio tellus, accumsan sit amet condimentum vehicula, vestibulum quis dui. Quisque posuere semper massa quis cursus. Aliquam gravida tellus eget lorem congue dapibus. Duis id quam eu arcu porta commodo vel at nunc. Nulla in venenatis lorem. Donec congue vehicula bibendum.

»'»Vestibulum pulvinar lorem a velit bibendum porttitor sagittis nisl tempus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Fusce ut mi sit amet metus ultrices feugiat ut nec lorem. Nunc felis lorem, consectetur ut eleifend et, vestibulum id purus. Praesent nec augue quis neque sodales commodo nec ac urna. Sed a nibh ac odio sodales pulvinar. Pellentesque ut odio orci. Nam dictum hendrerit felis at ullamcorper. Integer eget sapien libero, in congue tortor. Nullam blandit vestibulum aliquet. Nullam vulputate sapien quis nisl molestie vulputate. Aliquam elementum eros quis ante ultrices ultricies. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec porttitor sodales aliquam. Ut sit amet risus justo. Integer eu iaculis orci.

»'»Sed lectus tellus, porttitor in viverra sed, viverra nec nunc. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Fusce gravida eleifend nisi, sit amet pulvinar ligula gravida id. Vivamus est massa, viverra

## Apéndice A. Algo que agregar

sit amet ornare non, consectetur sit amet elit. Nam sapien lectus, pharetra sit amet imperdiet ultrices, iaculis eget enim. Curabitur in felis et lectus malesuada pellentesque vestibulum ac dolor. Vivamus quis nulla tortor. Sed adipiscing fringilla leo, sit amet sodales felis volutpat id. Proin vitae arcu libero. Suspendisse sit amet est tellus. Aliquam sit amet metus ut arcu placerat feugiat. Nulla eget magna id odio facilisis blandit. Nam porta ultricies est, sed bibendum mauris volutpat ac. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas vel lorem lorem. Donec et purus a tellus lacinia fringilla a non lectus.

»”Sed pretium porttitor fermentum. Vivamus semper lobortis dictum. In interdum, libero id iaculis laoreet, sapien diam tristique lorem, sit amet aliquam sapien sem ac tortor. Phasellus tincidunt tempor condimentum. Aenean luctus, erat non fermentum rhoncus, quam odio gravida massa, sed scelerisque tellus elit ut massa. Suspendisse vel posuere ipsum. Vestibulum dolor leo, ornare quis faucibus non, consequat ut purus. Maecenas at massa turpis, vitae pretium metus. Mauris mollis dolor turpis, semper dignissim tellus. Sed vel ligula eu turpis accumsan vehicula id in nisl. Pellentesque sit amet mi lorem. Suspendisse potenti. Proin bibendum luctus accumsan. Mauris urna elit, lacinia sit amet adipiscing feugiat, vestibulum sed mauris.







## »'''Referencias

- [1] »'''ARIB. Association of radio industries and businesses, 1995. [Web; accedido el 06-11-2018].
- [2] »'''Robert W Chang. Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission. *Agregar Luego*, 1966.
- [3] »'''Instituto Nacional de Estadística. *Encuesta Continua de Hogares*, 2017.
- [4] »'''P. Flores-Guridi and F. Larroca. The isdb-t multiplex frame pattern explained. In *2017 IEEE URUCON*, pages 1–4, Oct 2017.
- [5] »'''G David Forney. Concatenated codes. 1965.
- [6] »'''Todd K Moon. Error correction coding. *Mathematical Methods and Algorithms*. Jhon Wiley and Son, 2005.
- [7] »'''MPEG. Moving picture experts group, 1995. [Web; accedido el 06-11-2018].
- [8] »'''Federico Larroca Pablo Flores. *Encuesta Continua de Hogares*, 2017.
- [9] »'''Weinstein and Edbert. Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete fourier transform. *Agregar Luego*, 1971.



»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## »'''Índice de tablas

3.1. Parámetros relevantes en el estándar ISDB-T. . . . .	13
3.2. Retardos agregados por los bloques en transmisión. . . . .	15



»”Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.



## »'''Índice de figuras

1.1. Distribución de las estaciones transmisoras de TV digital en el Uruguay. . . . .	2
2.1. Esquema básico de codificación de canal. . . . .	6
3.1. Distribución espectral de los segmentos OFDM. A la derecha puede apreciarse la presencia del piloto continuo. . . . .	11
3.2. Diagrama de bloques del transmisor ISDB-T definido por la ARIB.	13

»”

»”

»"Esta es la última página.  
»"Compilado el miércoles 26 septiembre, 2018.  
»"<http://iie.fing.edu.uy/>



