



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  
lunes 10 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 37 páginas.  
Compilada el lunes 10 septiembre, 2018.  
<http://iie.fing.edu.uy/>

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>Agradecimientos</b>	<b>III</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Prefacio</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Fundamento Teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Modelado del canal . . . . .	3
2.1.1. Canales Continuos . . . . .	3
2.1.2. Canales Discretos . . . . .	3
2.1.3. Modelado de las no idealidades en canales discretos . . . . .	3
2.1.4. Estrategias para mitigar los efectos del canal . . . . .	3
2.2. Modulación OFDM . . . . .	3
2.2.1. Fundamentos . . . . .	3
2.2.2. Continuos . . . . .	3
2.2.3. Discretos . . . . .	3
2.2.4. • . . . .	3
2.3. Códigos de detección y corrección de errores (Reed-Solomon, BCH)	4
2.4. Flujos de transporte MPEG-2 . . . . .	4
2.4.1. Paquete de flujo de transporte (Transport Stream Packet) .	4
2.4.2. PAT . . . . .	4
2.4.3. PMT . . . . .	4
<b>3. El sistema de televisión digital terrestre ISDB-T</b>	<b>5</b>
<b>4. Radio definida por Software</b>	<b>7</b>
<b>5. Un transmisor ISDBT implementado en GNU Radio</b>	<b>9</b>
5.1. Generalidades del Transmisor . . . . .	9
5.2. Bloques fundamentales del sistema . . . . .	10
5.2.1. TS Remux y el Broadcast Transpor Stream . . . . .	10
5.2.2. Reed-Solomon . . . . .	10
5.2.3. Divisor jerárquico . . . . .	10
5.2.4. Dispensor de energía . . . . .	10

## Tabla de contenidos

5.2.5. Entrelazamiento de byte . . . . .	10
5.2.6. Código convolucional . . . . .	10
5.2.7. Entrelazamiento de bit y modulación . . . . .	10
5.2.8. Combinación jerárquica . . . . .	10
5.2.9. Entrelazamiento temporal . . . . .	10
5.2.10. Entrelazamiento frecuencial . . . . .	10
5.2.11. El cuadro OFDM . . . . .	10
5.2.12. Portadoras piloto . . . . .	10
5.2.13. IFFT y prefijo cíclico . . . . .	10
5.3. El flujo de datos en GNU Radio . . . . .	10
<b>6. Evaluacion del sistema</b>	<b>11</b>
6.1. Pruebas sobre gr-isdbt . . . . .	11
6.2. Pruebas sobre televisores comerciales . . . . .	11
<b>7. Conclusiones y trabajo a futuro</b>	<b>13</b>
<b>A. Algo que agregar</b>	<b>15</b>
<b>Referencias</b>	<b>17</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>18</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>20</b>

# Capítulo 1

## Introducción

TV digital, SDRs, gr-isdbt, evolucion de la TV digital en el Uruguay,.....

Este capítulo es muy importante, y hay que poner la motivación y la importancia del proyecto. Hay que ver si no me olvido de nada, pero lo que sí o sí hay que poner son la didáctica (mostrar un sistema punta a punta bastante complejo como ISDB-T, que no es una radio AM digamos) y la posibilidad de armar una transmisora de TV con unos cientos de dólares. Esto último hay que verificarlo en la parte de evaluación: sobre todo el alcance.

Motivacion, facultad busca darle al estado conocimiento sobre ISDBT, software de codigo abierto y el alcance global de la informacion bajo este paradigma. Complementar el trabajo del Receptor.

Miren todo lo que aprendí, ver [1].

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.



# Capítulo 2

## Fundamento Teórico

La sección de canal van a dar pie a los time interleavers y esas cosas, no? O sea, hablar de fading tanto en frecuencia y tiempo y cómo contrarrestarlo? Yo pondría la parte de DFT, FFT y convolución circular dentro de OFDM. En FFT van a hablar del algoritmo? Me parece medio al santo botón. En la parte de códigos les faltó hablar de convolucionales.

### 2.1. Modelado del canal

#### 2.1.1. Canales Continuos

#### 2.1.2. Canales Discretos

#### 2.1.3. Modelado de las no idealidades en canales discretos

No idealidades del canal inalámbrico móvil.

#### 2.1.4. Estrategias para mitigar los efectos del canal

### 2.2. Modulación OFDM

#### 2.2.1. Fundamentos

Transformada de Fourier

Esquema básico

#### 2.2.2. Continuos

#### 2.2.3. Discretos

#### 2.2.4. ■

Se puede ampliar bastante el desarrollo que hace Pablo sobre sistemas discretos.

2.3. Códigos de detección y corrección de errores (Reed-Solomon, BCH)

2.4. Flujos de transporte MPEG-2

2.4.1. Paquete de flujo de transporte (Transport Stream Packet)

2.4.2. PAT

2.4.3. PMT

## Capítulo 3

# El sistema de televisión digital terrestre ISDB-T

Este sería el capítulo más corto, pero está bueno que sea únicamente de qué cosas usa ISDB-T de lo que se discutió en el capítulo anterior, y qué parámetros son importantes a la hora de implementar un tx/rx.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## 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.

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. Bloques fundamentales del sistema

5.2.1. TS Remux y el Broadcast Transpor Stream

5.2.2. Reed-Solomon

5.2.3. Divisor jerárquico

5.2.4. Dispersor de energía

5.2.5. Entrelazamiento de byte

5.2.6. Código convolucional

5.2.7. Entrelazamiento de bit y modulación

5.2.8. Combinación jerárquica

5.2.9. Entrelazamiento temporal

5.2.10. Entrelazamiento frecuencial

5.2.11. El cuadro OFDM

5.2.12. Portadoras piloto

5.2.13. IFFT y prefijo cíclico

## 5.3. El flujo de datos en GNU Radio



## 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 sit

## Apéndice A. Algo que agregar

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] Author. Title. *Journal*, 10(2):1–2, 2001.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.



## Índice de tablas

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

## Índice de figuras



Esta es la última página.  
Compilado el lunes 10 septiembre, 2018.  
<http://iie.fing.edu.uy/>