

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

<TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE  
GRADO>

GRADO EN INGENIERÍA DE  
SISTEMAS ELECTRÓNICOS

JOSÉ MIGUEL GALEAS MERCHÁN, MÁLAGA, 2021



## <TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO>

**Autor:** <Nombre del autor>

**Tutor:** <Nombre del tutor>

**Cotutor:** <Nombre del cotutor> (elimina esta línea si no hay cotutor)

**Departamento:** <Nombre de departamento>

**Titulación:** Grado en Ingeniería de <nombre de la titulación>

**Palabras clave:** Palabras clave (separadas por coma) que describen y caracterizan el tema del trabajo.

### Resumen

El resumen debe ser una breve descripción del contexto del proyecto, sus objetivos y los resultados obtenidos. Se recomienda que no exceda esta página.



## <TÍTULO DEL TFG EN INGLÉS>

**Author:** <Nombre del autor>

**Supervisor:** <Nombre del tutor>

**Co-supervisor:** <Nombre del cotutor> (elimina esta línea si no hay cotutor)

**Department:** <Department name>

**Degree:** Grado en Ingeniería de <nombre de la titulación>

**Keywords:** Keywords (separated by commas) describing and characterizing the topic of the work.

### **Abstract**

The abstract should briefly describe the project context, goals and obtained results. It should not exceed this page.



En caso de dedicatoria,  
se realiza con esta página.  
No es obligatoria, si bien es recomendable.

*El autor*





# Agradecimientos

Este apartado es opcional. En él se incluirían los agradecimientos personales y profesionales. Si no los hubiere, debe eliminarse esta página y la siguiente (para ello puedes comentar la línea 48 de A0.MiTFG.tex).



# Acrónimos

<b>ETSIT</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación
<b>PFC</b>	Proyecto Fin de Carrera
<b>TFG</b>	Trabajo Fin de Grado
<b>TFM</b>	Trabajo Fin de Máster
<b>UMA</b>	Universidad de Málaga



# Índice



# Índice

<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IX</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>XI</b>
<b>Índice</b>	<b>XIII</b>
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción y visión general</b>	<b>3</b>
1.1 Problemática de los accidentes de tráfico . . . . .	3
1.2 Problemática de las ondas electromagnéticas . . . . .	3
1.3 Estado del arte . . . . .	4
1.4 Esquemas de señalización . . . . .	4
1.5 Estructura del documento . . . . .	4
1.6 Ámbito de aplicación . . . . .	4
1.7 Objetivo . . . . .	5
<b>II Desarrollo del proyecto</b>	<b>7</b>
<b>2 Tecnología empleada</b>	<b>9</b>

2.1	Plataforma hardware . . . . .	9
2.1.1	Red Pitaya . . . . .	10
2.2	Plataforma software . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Sistema de comunicación</b>	<b>11</b>
3.1	Estándar de los sistemas VLC . . . . .	11
3.2	Enlace de luz . . . . .	11
3.2.1	Transmisor . . . . .	12
3.2.2	Receptor . . . . .	12
3.3	Sistema de partida . . . . .	12
3.4	Mejoras respecto al sistema anterior . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Fundamentos teóricos</b>	<b>13</b>
4.1	Introducción a los esquemas de señalización . . . . .	13
4.2	Pulsos alternos . . . . .	14
4.3	Cancelación de pulsos . . . . .	15
4.4	4-PPM . . . . .	16
4.5	Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM . . . . .	16
4.6	Sistemas de decisión . . . . .	17
4.6.1	Hard-decoding . . . . .	17
4.6.2	Soft-decoding . . . . .	17
4.6.3	Algoritmo de Viterbi . . . . .	17
4.6.4	Comparativa entre los sistemas de decisión . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Implementación</b>	<b>19</b>
5.1	Sistema general . . . . .	19
5.2	Transmisor . . . . .	19
5.3	Receptor . . . . .	19
5.4	Sistema de decisión . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Pruebas</b>	<b>21</b>



---

<b>III Parte tercera.</b>	<b>23</b>
<b>Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>25</b>
<b>IV Apéndices</b>	<b>27</b>
<b>A Manual de uso</b>	<b>29</b>
A.1 Primera sección . . . . .	29
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>



# Índice de figuras

4.1	Diagrama de Trellis de la codificación pulsos alternos. . . . .	15
4.2	Diagrama de Trellis de la codificación cancelación de pulsos. . . . .	16



# Índice de Tablas



# **Parte I**

## **Introducción**





# Capítulo 1

## Introducción y visión general

### Contenido

1.1	Problemática de los accidentes de tráfico . . . . .	3
1.2	Problemática de las ondas electromagnéticas . . . . .	3
1.3	Estado del arte . . . . .	4
1.4	Esquemas de señalización . . . . .	4
1.5	Estructura del documento . . . . .	4
1.6	Ámbito de aplicación . . . . .	4
1.7	Objetivo . . . . .	5

### 1.1. Problemática de los accidentes de tráfico

Poner lo que hice para la introducción en proyectos y sistemas. Hablar sobre la necesidad de la aplicación de VVLC para mejorar la seguridad vial.

### 1.2. Problemática de las ondas electromagnéticas

Poner lo que hice para la introducción en proyectos y sistemas. Sobre todo para contextualizar por qué es mas conveniente no usar esta comunicación.

### **1.3. Estado del arte**

Historia de las VLC y de las VVLC, comentar cuando y como surgió esta idea y hasta donde se ha desarrollado actualmente

También tener un apartado para hablar sobre los proyectos de VVLC que se han tomado de referencia para entender y desarrollar este proyecto. Introducción proyectos y sistemas.

### **1.4. Esquemas de señalización**

Un esquema de codificación estandariza la codificación de caracteres mediante la definición de un método único para representar los datos de tipo carácter.

La señal que se desea enviar no tiene por qué ser transmitida literalmente ya que las señales digitales tienen la posibilidad de ser codificadas para mejorar, por ejemplo, la detección de la misma en recepción y la probabilidad de corregir errores.

Por tanto, el enfoque de este proyecto es desarrollar distintos esquemas de codificación para conocer sus propiedades específicas y sus ventajas e inconvenientes en las comunicaciones por luz visible. Para implementar dichos esquemas se desarrollará tanto el codificador (módulo del transmisor) como el decodificador (módulo del receptor), además de distintos sistemas de decisión para hacer más robusta la transmisión y disminuir la probabilidad de errores.

### **1.5. Estructura del documento**

En esta sección, se explican los posteriores capítulos u otra información adicional que el proyecto contenga.

### **1.6. Ámbito de aplicación**

Desarrollar que el principal ámbito de aplicación del proyecto es en la comunicación vehicular pero que puede tener importancia en otras aplicaciones (cualquier tipo de comunicación)

## 1.7. Objetivo

El objetivo global de este proyecto es la realización de un sistema de comunicación por luz visible orientado a vehículos a través de una matriz de puertas lógicas programable (FPGA) que actúa de intermediaria entre el transmisor y el receptor, cumpliendo con el estándar IEE 802.15.7-218.

Este objetivo se desarrollará implementando varias técnicas de transmisión y recepción siendo estas la implementación de diferentes esquemas de codificación de la señal, desarrollando el codificador y el decodificador, y la implementación de distintos sistemas de decisión para interpretar la señal recibida antes de decodificarla. Además, el sistema deberá tener robustez ante posibles efectos adversos provocados por las condiciones meteorológicas y un rango de alcance lo suficientemente alto para cubrir una distancia considerable entre coches.



# **Parte II**

## **Desarrollo del proyecto**



# Capítulo 2

## Tecnología empleada

En este apartado se van a explicar las plataformas o elementos, tanto hardware como software, sobre los que se ha desarrollado este proyecto.

### Contenido

<b>2.1</b>	<b>Plataforma hardware</b>	<b>9</b>
2.1.1	Red Pitaya	10
<b>2.2</b>	<b>Plataforma software</b>	<b>10</b>

### 2.1. Plataforma hardware

El sistema hardware empleado va a ser un dispositivo FPGA. Una matriz de puertas lógicas programables (FPGA) se define como un dispositivo electrónico programable que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada en el momento, mediante un lenguaje de descripción especializado. La lógica programable puede reproducir desde funciones tan sencillas como las llevadas a cabo por una puerta lógica o un sistema combinacional hasta complejos sistemas en un chip.

### **2.1.1. Red Pitaya**

## **2.2. Plataforma software**

Hablar sobre la plataforma sobre la que se ha programado la fpga (vivado) comentando sus características y sus principales funciones y en que aplicaciones es recomendable su uso. Hablar sobre que el programa en c que es el que ejecuta las transmisiones y recepciones y es el encargado de poner en funcionamiento el enlace además de comprobar los paquetes, etc.



# Capítulo 3

## Sistema de comunicación

### Contenido

3.1	Estándar de los sistemas VLC . . . . .	11
3.2	Enlace de luz . . . . .	11
3.2.1	Transmisor . . . . .	12
3.2.2	Receptor . . . . .	12
3.3	Sistema de partida . . . . .	12
3.4	Mejoras respecto al sistema anterior . . . . .	12

### 3.1. Estándar de los sistemas VLC

La entidad que realiza el estándar es IEEE 802 que realizó el primer estándar oficial de comunicación por luz visible en 2011 [802.15.7-2011]. Este estándar fue revisado en 2018 y se publicó una segunda versión que es 802.15.7-2018 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 15.7: Short-Range Optical Wireless. [DESARROLLAR MÁS EL ESTÁNDAR]

### 3.2. Enlace de luz

Para probar el proyecto se parte de un enlace de luz formado por un transmisor y un receptor.

### **3.2.1. Transmisor**

Hablar un poco del transmisor óptico que tiene Salva y de los voltajes.

### **3.2.2. Receptor**

Hablar un poco del receptor óptico que tiene Salva y de los voltajes.

## **3.3. Sistema de partida**

Hablar sobre el proyecto que nos dejó Andrés tanto de las características software como su capacidad de alcance y el enfoque del trabajo de Andrés que era el Desarrollo del filtro adaptado y al final tratar de hilarlo con nuestra implementación para mejorar el sistema. Comentar el mapeo de la señal para ponerla en el rango  $[-8192, 8191]$  que nos influye para el hard-decoding y el soft-decoding.

## **3.4. Mejoras respecto al sistema anterior**

Hablar sobre cuales son las mejoras que se han implementado y que es lo que se quiere conseguir con estas mejoras. Las mejoras (Mayor robustez de paquetes y mayor distancia de transmisión) se han conseguido gracias a implementar esquemas de codificación y sistemas de decisión.

# Capítulo 4

## Fundamentos teóricos

### Contenido

---

<b>4.1</b>	<b>Introducción a los esquemas de señalización . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Pulsos alternos . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>4.3</b>	<b>Cancelación de pulsos . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>4.4</b>	<b>4-PPM . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>4.5</b>	<b>Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>4.6</b>	<b>Sistemas de decisión . . . . .</b>	<b>17</b>
4.6.1	Hard-decoding . . . . .	17
4.6.2	Soft-decoding . . . . .	17
4.6.3	Algoritmo de Viterbi . . . . .	17
4.6.4	Comparativa entre los sistemas de decisión . . . . .	17

---

### 4.1. Introducción a los esquemas de señalización

En el ámbito de la comunicación existen múltiples esquemas de codificación digital con diferentes propiedades como probabilidad de bit, ciclo de trabajo, ancho de banda, etc. A la hora de estudiar un esquema de codificación para hacer su elección hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales, que son:

- Flickering: se define como el cambio de la luz provocado por la conmutación entre encendido y apagado (1 y 0) en intervalos muy cortos. Estos parpadeos, si se producen a una velocidad perceptible por el ojo humano, pueden llegar a ser molestos y causar dolor.

- Rendimiento óptico.
- La capacidad para controlar la atenuación o el dimming, provocado por la variación de la intensidad de la luz, en esquemas de codificación con ancho de pulso de la señal variable.

El estándar de comunicaciones por luz visible IEEE 802.15.7 usa como esquema de señalización la codificación Manchester. Continuando con el estudio de los esquemas de señalización, a continuación, se van a desarrollar otras opciones de esquemas de codificación con características diferentes para estudiar su eficacia e impacto en las comunicaciones por luz visible. Los esquemas a desarrollar son codificación por pulsos alternos, cancelación de pulsos y 4-ppm. También se hará una comparativa de 4-ppm frente a Inverse 4-ppm para comparar sus prestaciones y el efecto de transmitir mayor cantidad de “unos” que de “ceros”.

Es importante destacar que en un primer momento también se planteó el desarrollo de codificación 4-PWM pero se descartó su implementación debido a su escasa capacidad para controlar el dimming. Esto provocaba que la intensidad de la luz fluctuara mucho a lo largo de una transmisión siendo perceptible y molesto para el ojo humano.

## 4.2. Pulsos alternos

Este esquema de codificación consiste

Este formato de pulsos alternos, que tiene un ciclo de trabajo bajo, ha sido demostrado que proporciona una gran solidez.

Dibujar y comentar el diagrama de trellis de este esquema para la codificación/decodificación de la señal.

si encuentro algo hablar sobre cual es su espectro y las diferencias respecto a los del estándar

Desarrollar por qué es un esquema no equiprobable haciendo los cálculos correspondientes.

Comentar si se encuentra la  $ber$  y sus prestaciones



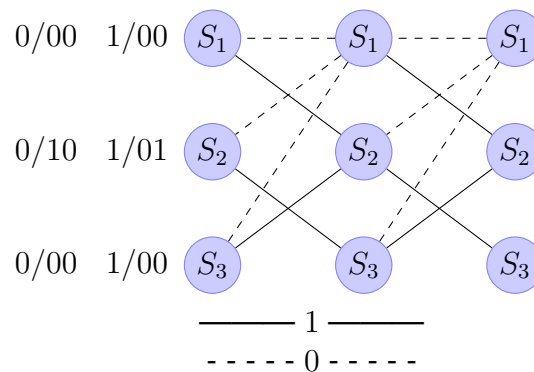


Figura 4.2: Diagrama de Trellis de la codificación cancelación de pulsos.

Como se ha explicado anteriormente, este esquema prioriza la ausencia de pulsos por lo que también es un esquema no equiprobable (no tiene la misma probabilidad de '0' que de '1'), aunque en mayor medida que en pulsos alternos ya que en este hay mayor presencia de '0'. Para saber cuales son sus probabilidades hay que realizar los cálculos correspondientes. Este cálculo es imprescindible para conocer

#### 4.4. 4-PPM

Explayarme mucho más porque hay mucha más información. Comentar teóricamente en que consiste este esquema. Y que apenas está implementado y desarrollado en ningún sitio.

Dibujar y comentar el diagrama de trellis de este esquema para la codificación/decodificación de la señal.

si encuentro algo hablar sobre cual es su espectro y las diferencias respecto a los del estándar

Desarrollar por qué es un esquema no equiprobable haciendo los cálculos correspondientes.

Comentar si se encuentra la ber y sus prestaciones

#### 4.5. Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM

Comparar estos dos esquemas y comentar ventajas e inconvenientes.

## 4.6. Sistemas de decisión

En este apartado se van a describir los diferentes sistemas de decisión para interpretar la señal recibida de la mejor manera posible que se han implementado. Para ello, se van a desarrollar sus características más representativas así como sus ventajas e inconvenientes.

### 4.6.1. Hard-decoding

### 4.6.2. Soft-decoding

aaaaaaaaaa aaaaaaaaaa  
aaaaaaaa

### 4.6.3. Algoritmo de Viterbi

### 4.6.4. Comparativa entre los sistemas de decisión

A continuación, se va a comparar la tasa de error de bit (BER) de los distintos esquemas de decisión, para cada esquema de codificación, en función de la relación señal a ruido (SNR), que varía con la distancia (disminuyendo la amplitud de la señal), para verificar la mejora que se produce entre cada sistema de decisión.

Para pulsos alternos, la principal mejora se nota con la aplicación del algoritmo de Viterbi.

Para cancelación de pulsos la aplicación del algoritmo de Viterbi es muy importante ya que, como se comentó anteriormente, se descartan muchas opciones al mirar un pasado.

Para 4ppm el uso de soft-decoding implica una gran mejora debido a la posibilidad de buscar el bit mayor ya que solo se recibe un '1' por cuarteto de bits.





# Capítulo 5

## Implementación

### Contenido

5.1 Sistema general . . . . .	19
5.2 Transmisor . . . . .	19
5.3 Receptor . . . . .	19
5.4 Sistema de decisión . . . . .	20

### 5.1. Sistema general

Comentar como se relacionan los bloques entre sí y el orden de los mismos para luego entrar en profundidad en los bloques que se han desarrollado.

### 5.2. Transmisor

-Selector del esquema de codificación (sincronismo manchester y trama en la codificación elegida) -Diagramas de Markov para implementar la codificación

### 5.3. Receptor

-Recepción del dato serie -Agrupar los datos en parejas o cuartetos -Decodificar con máquinas de estados o identificación del bit mayor.

## 5.4. Sistema de decisión

(hard-soft decoding, algoritmo de viterbi) -Hard-decoding (umbral en la mitad) -Soft-decoding (cómo se implementa el cálculo de la distancia euclídea) - Algoritmo de Viterbi (que efecto tiene y cómo se implementa la mirada al pasado para descartar opciones que tienen probabilidad 0)

## **Capítulo 6**

### **Pruebas**



**Parte III**

**Parte tercera.**



# Conclusiones y líneas futuras

Después de todo el desarrollo del proyecto, es pertinente hacer una valoración final del mismo, respecto a los resultados obtenidos, las expectativas o el resultado de la experiencia acumulada.

Esta sección es indispensable y en ella se ha de reflejar, lo más claramente posible, las aportaciones del trabajo con unas conclusiones finales.

Además, considerando también el estado de la técnica, se deben indicar las posibles líneas futuras de trabajo, proponer otros puntos de vista o cualquier otra sugerencia como postámbulo del presente trabajo, para ser considerada por el lector o el tribunal evaluador.





# **Parte IV**

## **Apéndices**



# **Apéndice A**

## **Manual de uso**

### **Contenido**

---

<b>A.1 Primera sección . . . . .</b>	<b>29</b>
--------------------------------------	-----------

---

### **A.1. Primera sección**



# **Bibliografía**



