

# Índice de contenidos

Lista de abreviaturas	v
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xv
Resumen	xvii
Abstract	xix
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Diseño del sistema de comunicaciones</b>	<b>5</b>
2.1. Requerimientos del sistema de comunicaciones . . . . .	5
2.2. Frecuencias de operación . . . . .	6
2.3. Antena . . . . .	6
2.4. Front-end de RF . . . . .	7
2.4.1. Filtro de RF . . . . .	8
2.4.2. LNA . . . . .	8
2.5. Receptor USB . . . . .	8
2.6. Procesamiento SDR . . . . .	10
2.6.1. Modulación QPSK . . . . .	10
2.6.2. Demodulación QPSK . . . . .	11
2.6.3. Sincronismo . . . . .	12
2.7. Desempeño del receptor . . . . .	12
2.7.1. Canal AWGN . . . . .	13
2.7.2. Relación señal a ruido - SNR . . . . .	13
2.7.3. Tasa de error de bit - BER . . . . .	13
<b>3. Enlace satelital</b>	<b>15</b>
3.1. Satélites en órbitas LEO . . . . .	15

3.1.1.	Estándar de descripción de órbita: TLE . . . . .	16
3.2.	Efecto Doppler . . . . .	17
3.3.	Consideraciones del medio de propagación y el sistema de recepción . .	19
3.3.1.	Pérdidas por espacio libre . . . . .	20
3.3.2.	Pérdidas por polarización . . . . .	20
3.3.3.	Pérdidas por apuntamiento . . . . .	21
3.3.4.	Pérdidas en los conectores y líneas de transmisión . . . . .	21
3.4.	Parámetros del radioenlace . . . . .	21
3.4.1.	Potencia recibida . . . . .	22
3.4.2.	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva: <i>PIRE</i> . . . . .	22
3.4.3.	Ruido en el receptor . . . . .	23
3.4.4.	Figura de mérito $G/T$ . . . . .	25
3.4.5.	Desempeño del enlace . . . . .	25
3.5.	Cálculo del radioenlace . . . . .	25
3.5.1.	Resultados . . . . .	26
<b>4.</b>	<b>Front end de RF</b>	<b>29</b>
4.1.	Metodología de construcción y medición . . . . .	29
4.2.	Filtro . . . . .	30
4.2.1.	Diseño del filtro pasa alto . . . . .	31
4.2.2.	Optimización utilizando el método de Monte Carlo . . . . .	32
4.2.3.	Construcción y medición del filtro . . . . .	34
4.3.	LNA . . . . .	37
4.3.1.	Elección del LNA . . . . .	39
4.3.2.	Construcción y medición del LNA <i>SPF5189Z (RFMD)</i> . . . . .	40
4.3.3.	Medición del LNA <i>INA-02186 (HP)</i> . . . . .	41
4.4.	Cálculo del radioenlace satelital para valores medidos del <i>front-end</i> . .	43
<b>5.</b>	<b>Procesamiento SDR</b>	<b>45</b>
5.1.	Diseño . . . . .	45
5.1.1.	Errores en la estimación de la frecuencia de portadora recibida .	48
5.2.	Recuperación de portadora . . . . .	49
5.2.1.	Algoritmo del lazo de Costas . . . . .	50
5.3.	Demodulación . . . . .	57
5.3.1.	Filtro adaptado . . . . .	58
5.4.	Sincronismo de símbolos . . . . .	59
5.4.1.	Algoritmo <i>Early-Late</i> . . . . .	61
<b>6.</b>	<b>Ensayos y resultados</b>	<b>63</b>
6.1.	Simulaciones . . . . .	63

---

6.1.1.	Generación de señales . . . . .	64
6.1.2.	Recuperación de portadora . . . . .	67
6.1.3.	Sincronismo de símbolos . . . . .	71
6.1.4.	BER del sistema de recepción . . . . .	73
6.2.	Adquisición de datos de satélites . . . . .	75
6.2.1.	Estimación de órbita y corrimiento en frecuencia por efecto Doppler	76
6.2.2.	Adquisición de señales . . . . .	79
6.2.3.	Uso del <i>SDR#</i> . . . . .	80
6.3.	Procesamiento de datos del satélite . . . . .	83
6.3.1.	Decimación . . . . .	83
6.3.2.	Corrección en frecuencia y filtrado pasa banda . . . . .	84
6.3.3.	Estimación de $E_b/N_o$ . . . . .	86
6.3.4.	Obtención de señales en banda base . . . . .	87
6.3.5.	Demodulación GMSK . . . . .	88
6.3.6.	Decisión de símbolos . . . . .	90
6.3.7.	Protocolo <i>AX.25</i> . . . . .	91
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>93</b>
<b>A.</b>	<b>Transmisión de BPSK en canal AWGN</b>	<b>97</b>