



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Ingeniería Superior de Telecomunicación
Proyecto Fin de Carrera



**Diseño y desarrollo de una
herramienta de simulación de
convertidores Sigma-Delta cascada
tiempo discreto en MATLAB**

Autor del Proyecto
Roberto C. Quílez Clemente

Tutor del Proyecto
Luis Miguel Rivas Asensio

Departamento de Ingeniería Electrónica, Grupo de Tecnología
Electrónica. Universidad de Sevilla

Sevilla, Diciembre 2003

Alguien me pide una explicación de la teoría de Einstein. Con mucho entusiasmo, le hablo de tensores y geodésicas tetradimensionales.

—No he entendido una sola palabra— me dice, estupefacto.

Reflexiono unos instantes y luego, con menos entusiasmo, le doy una explicación menos técnica, conservando algunas geodésicas, pero haciendo intervenir aviadores y disparos de revólver.

—Ya entiendo casi todo— me dice mi amigo, con bastante alegría. Pero hay algo que todavía no entiendo: esas geodésicas, esas coordenadas...

Deprimido, me sumo en una larga concentración mental y termino por abandonar para siempre las geodésicas y las coordenadas; con verdadera ferocidad, me dedico exclusivamente a aviadores que fuman mientras viajan con la velocidad de la luz, jefes de estación que disparan un revólver con la mano derecha y verifican tiempos con un cronómetro que tienen en la mano izquierda, trenes y campanas.

—¡Ahora sí, ahora entiendo la relatividad!— exclama mi amigo con alegría.

—Sí —le respondo amargamente—, pero ahora no es más la relatividad.

“Uno y el Universo”, Ernesto Sábato

A mis padres, mis hermanos y mi novia.

A mi tutor, Luis Miguel Rivas, por su ayuda y dedicación.

A todos con los que he compartido algo durante estos años.

Índice

ÍNDICE	5
<u>CAPÍTULO 1</u> INTRODUCCIÓN	11
1.1 POR QUÉ UN PFC SOBRE UN CA/D	11
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO Y PANORAMA GENERAL	13
1.3 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO	14
<u>CAPÍTULO 2</u> CONVERSIÓN ANALÓGICO/DIGITAL	17
2.1 INTRODUCCIÓN	17
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS	18
2.2.1 FILTRO ANALÓGICO ANTISOLAPAMIENTO	19
2.2.2 MUESTREO	19
2.2.2.1 Teorema del muestreo	20
2.2.3 CUANTIZACIÓN	20
2.2.4 CODIFICACIÓN	21
2.2.5 CONVERSIÓN DE LA TASA DE MUESTREO	21
2.3 CONVERTIDOR A/D	22
2.3.1 FIGURAS DE MÉRITO	22
2.3.1.1 Relación señal ruido	22
2.3.1.2 Rango dinámico	22
2.3.1.3 Resolución equivalente	23

<u>CAPÍTULO 3</u>	<u>MODULACIÓN SIGMA-DELTA</u>	<u>25</u>
3.1	INTRODUCCIÓN	25
3.2	SOBREMUESTREO SIN CONFORMACIÓN DE RUIDO	26
3.2.1	MODELO DEL RUIDO DE CUANTIZACIÓN	26
3.2.2	SUPOSICIÓN DE RUIDO BLANCO	27
3.2.3	VENTAJAS DEL SOBREMUESTREO	27
3.2.4	LA VENTAJA DE CA/D DE 1-BIT	29
3.3	SOBREMUESTREO CON CONFORMACIÓN DE RUIDO	29
3.3.1	MODULADOR SIGMA-DELTA	30
3.3.2	MODULADOR SIGMA-DELTA DE PRIMER ORDEN	31
3.3.2.1	Estudio en dominio temporal	32
3.3.2.2	Función de transferencia	32
3.3.2.3	Relación señal ruido (SNR)	33
3.3.3	MODULADOR SIGMA-DELTA DE SEGUNDO ORDEN	34
3.3.3.1	Función de transferencia	34
3.3.3.2	Relación señal ruido (SNR)	35
3.3.4	MODULADOR SIGMA-DELTA DE ORDEN L	36
3.3.5	MODULADOR SIGMA-DELTA EN CASCADA	37
3.3.5.1	Modulador Sigma-Delta en cascada 2-2	39
3.3.5.2	Modulador Sigma-Delta en cascada 2-1-1	41
3.3.5.3	Modulador Sigma-Delta en cascada orden L	43
3.3.5.4	Selección de coeficientes	43
3.3.5.5	Sensibilidad de parámetros	44
3.3.6	NO LINEALIDADES	44
3.3.6.1	Variaciones en los coeficientes de los integradores	44
3.3.6.2	Pérdidas en los integradores	44
3.3.6.3	Jitter	45
<u>CAPÍTULO 4</u>	<u>DESCRIPCIÓN GENERAL. MANUAL DE USUARIO</u>	<u>47</u>
4.1	INTRODUCCIÓN	47
4.2	INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN	49
4.3	GENERAR SEÑAL DE ENTRADA	50
4.4	CONFIGURAR EL MODULADOR	51
4.4.1	CONFIGURAR LA ARQUITECTURA DEL MODULADOR	52
4.4.2	CONFIGURAR LOS COEFICIENTES “G”	53

4.4.3 CONFIGURAR NO-LINEALIDADES DEL MODULADOR	54
4.5 SALIDA	55
4.5.1 SELECCIONAR LAS SALIDAS A REPRESENTAR	57
4.6 MENÚ	57
4.6.1 ARCHIVO	58
4.6.2 VENTANAS	61
4.6.3 HERRAMIENTAS	61
4.6.4 AYUDA	62
<u>CAPÍTULO 5</u> FUNCIONES, ESTRUCTURA Y MAPA DEL CÓDIGO.	63
5.1 INTRODUCCIÓN	63
5.2 GUÍA DE ESTILO	64
5.3 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA	65
5.4 MAPA DEL PROYECTO	66
5.5 GUI_ENTRADA	67
5.5.1 FUNCIONES INVOCADAS	68
5.5.1.1 muestrea	69
5.5.1.2 sd_psd	70
5.5.1.3 sd_fft	71
5.5.1.4 transforma	71
5.6 GUI_MODULADOR	73
5.6.1 CONFIGURADOR_ARQUITECTURA	74
5.6.2 CONFIGURADOR_G	75
5.6.2.1 acepta_G, cancela_G y reset_G	76
5.6.2.2 actualiza_G	77
5.6.2.3 g_edit y g_slider	78
5.6.3 CONFIGURADOR_NOLINEAL	79
5.7 GUI_SALIDA	80
5.7.1 CONFIGURADOR_SALIDAS	83
5.7.2 FUNCIONES INVOCADAS	83
5.7.2.1 cascada	83
5.7.2.2 m1	86
5.7.2.3 m2	88
5.7.2.4 cuantiza	90
5.7.2.5 cancela	91
5.7.2.6 calcula_BW	94

5.7.2.7 calcula_SNR	94
5.8 MENÚ	95
5.8.1 ARCHIVO	96
5.8.2 VENTANAS	97
5.8.3 HERRAMIENTAS	97
5.8.4 AYUDA	98
5.9 ARCHIVOS DE DATOS “.MAT”	98
5.9.1 SD_ENTRADA.MAT	99
5.9.2 SD_ARQUITECTURA.MAT	100
5.9.3 SD_MATRIZG.MAT	100
5.9.4 SD_NOLINEAL.MAT	101
5.9.5 SD_SALIDA_AUX.MAT	101
5.9.6 SD_SALIDA.MAT	101
5.9.7 ARCHIVOS GENERADOS POR EL USUARIO	102
5.9.7.1 Guardar entrada	102
5.9.7.2 Guardar modulador	102
5.9.7.3 Guardar simulación	103
<u>CAPÍTULO 6 EVOLUCIÓN DEL PROYECTO. TEST Y PRUEBAS.</u>	105
6.1 INTRODUCCIÓN	105
6.2 ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES. SITUACIÓN DE PARTIDA.	106
6.3 FASES DEL PROYECTO	106
6.3.1 DOCUMENTACIÓN Y ESTUDIO	107
6.3.2 PROGRAMACIÓN MATLAB. HERRAMIENTA DE DISEÑO.	108
<u>CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN Y FUTURAS LÍNEAS DE DESARROLLO</u>	121
7.1 CONCLUSIÓN	121
7.2 FUTURAS LÍNEAS DE DESARROLLO	123
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	125
<u>ANEXO 1: LISTADO DE ARCHIVOS</u>	127
<u>ANEXO 2: CÓDIGO MATLAB</u>	129