

---

# ***Capítulo 1***

## **Introducción**

---

### **1.1 Por qué un PFC sobre un CA/D**

El carácter eminentemente analógico de nuestro entorno origina la necesidad de utilizar una interfaz para adecuar las distintas señales de información provenientes del mismo a los sistemas digitales.

La mayoría de las fuentes de información prácticas, señales de voz, audio, video, biológicas, etc., son de naturaleza analógica, esto hace necesaria una conversión de formato analógico a digital si se pretende realizar sobre la señal de información algún tipo de procesamiento digital, de filtrado o análisis espectral. El procesado digital de señales proporciona una técnica alternativa al tratamiento de una señal analógica convencional, pues permite aplicar complejos algoritmos matemáticos mediante software o implementación con circuitos lógicos, y, además, aprovecha las ventajas propias de los sistemas digitales frente a los analógicos como veremos posteriormente.

La operación de conversión analógico a digital está sujeta a un compromiso entre la velocidad y la resolución en los CA/D. Esto es, una arquitectura válida para una velocidad alta de operación tendrá una resolución “baja” o no tan buena como su velocidad y viceversa para un mismo consumo de potencia.

La elección de una arquitectura concreta de un CA/D dependerá en la mayoría de las ocasiones de la posibilidad de implementar dicho CA/D utilizando la misma tecnología que la circuitería digital de procesamiento posterior. Este hecho haría que sistemas completos se pudieran integrar sobre un mismo substrato semiconductor, y esto se traduce en una reducción de tamaño, consumo de potencia, coste, etc. Por tanto, en la elección de una arquitectura de CA/D y de los bloques de circuito que los

componen, un factor importante a tener en cuenta es su compatibilidad con tecnología estándar VLSI CMOS.

Además del circuito tecnológico y la técnica de circuito empleada, los CA/D se clasifican atendiendo a la razón de sobremuestreo en dos grandes categorías:

- Convertidores de Nyquist, cuya razón de sobremuestreo es igual o ligeramente superior a uno.
- Convertidores de sobremuestreo, cuya razón de sobremuestreo es mucho mayor que uno.

Ante la desventaja que supone utilizar una frecuencia de muestreo superior a la de Nyquist como hacen los CA/D de sobremuestreo (ya que el circuito de muestreo debe funcionar más rápido, y esto se traduce en un mayor consumo de potencia del circuito), no sería conveniente utilizarlos si no fuera por ventajas que presentan, entre otras:

- Relajación de las especificaciones de la circuitería analógica a costa de un uso extensivo de la circuitería digital.
- El filtro analógico previo al CA/D utilizado para prevenir el solapamiento del espectro de la señal tras muestrearla podría ser tan simple como un circuito pasivo de primer orden, al tener unas especificaciones más relajadas en frecuencia que el caso de CA/D de Nyquist.

Estas ventajas se comprenderán mejor más adelante. En este Proyecto nos vamos a centrar en el estudio de los CA/Ds de sobremuestreo, en concreto en las arquitecturas basadas en modulación Sigma-Delta ( $\Sigma\Delta$ ) y particularmente en la configuración en cascada.

De las arquitecturas existentes para los CA/D, las basadas en modulación Sigma-Delta ( $\Sigma\Delta$ ) presentan un gran atractivo, aparte de las ventajas mencionadas anteriormente, resultan de especial interés en los llamados *sistemas-sobre-chip* debido, entre otras, a las siguientes razones:

- Amplio rango de aplicaciones: los CA/D que podemos desarrollar con esta arquitectura son muy versátiles funcionalmente, pudiendo diseñar CA/D que van desde aplicaciones de instrumentación hasta de telecomunicaciones.
- Robustez y alta tolerancia a imperfecciones de la circuitería: Ya que sustituyen precisión de los componentes por procesamiento de señal, los CA/Ds Sigma-Delta ( $\Sigma\Delta$ ) resultan muy apropiados para ser integrados en tecnología CMOS estándar, las cuales están optimizadas para circuitos digitales rápidos, pero resultan poco apropiados para circuitos analógicos precisos

Diferentes técnicas de circuitos son utilizadas en la implementación de los moduladores  $\Sigma\Delta$ , como son la de Capacidades Conmutadas (SC del inglés “Switched Capacitor”), Corrientes Conmutadas (SI del inglés “SwItched current”) o incluso las más reciente de Tiempo Continuo (CT del inglés “Continuous Time”).

Como hemos señalado, una arquitectura especialmente interesante de modulación  $\Sigma\Delta$  para la obtención de moduladores de alto orden incondicionalmente estables es la arquitectura en cascada, que se basa en la conexión en cascada de moduladores de bajo orden (orden 1 ó 2 típicamente) donde podemos asegurar la estabilidad. La lógica digital será la encargada de eliminar el ruido de cuantización resultante de cada etapa. Considerando la implementación con un cuantizador de un solo bit, las principales ventajas de esta arquitectura son:

- Se obtienen *SNR* altos para factores de sobremuestreo (*OSR*) de bajo valor.
- Estabilidad garantizada (pues se basan en arquitecturas de lazo simple de bajo orden, y por tanto, estables).
- Utilización del máximo rango de la señal de entrada.

No obstante hay que considerar que esta arquitectura conlleva una alta sensibilidad a ciertas no linealidades circuitales.

Una última característica a destacar de esta arquitectura es que, si bien se complica la parte digital del CA/D al incluir una lógica de cancelación, esto favorece la integración en tecnología VLSI (Very Large Scale Integration) estándar y se beneficia de este modo del escalado tecnológico.

## **1.2 Objetivos del proyecto y panorama general**

Como hemos comentado en el apartado anterior el interés por los convertidores  $\Sigma\Delta$  se ha incrementado en los últimos años debido a dos razones:

- A diferencia de otros convertidores que necesitan bloques básicos muy precisos para obtener una resolución alta, los convertidores  $\Sigma\Delta$  muestran baja sensibilidad a las imperfecciones de sus bloques básicos.
- El número de aplicaciones con interés industrial ha crecido.

Dado que los moduladores  $\Sigma\Delta$  se encuentran en la interfaz analógica-digital, carecen de metodologías semiautomáticas para su diseño, como ocurre con los circuitos puramente digitales. Por lo tanto, se necesitan unas herramientas que ayuden a simular su diseño.

Este proyecto fin de carrera pretende satisfacer la necesidad de simuladores de comportamiento para convertidores  $\Sigma\Delta$ , mediante una interfaz amigable, versátil y sencillo e intuitivo manejo. No se pretende, no obstante, desarrollar una herramienta definitiva sino establecer una base sobre la que poder construir nuevas ampliaciones y mejoras.

En particular, se fija como objetivo desarrollar un simulador de moduladores  $\Sigma\Delta$  en configuración cascada tiempo discreto bajo entorno MATLAB, programa para cálculo técnico y científico, con lenguaje de programación propio.

Este programa, para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. Sin embargo esta herramienta ha sido seleccionada debido a que MATLAB es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que aumenta la productividad de los programadores a otros entornos de desarrollo. Asimismo, resulta interesante el hecho de que MATLAB dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (toolboxes).

MATLAB permite desarrollar de una manera simple interfaces de usuario (conjunto de pantallas con botones, menús, ventanas, etc.), que permiten utilizar de manera muy simple programas realizados en el entorno de Windows.

### **1.3 Organización del proyecto**

El proyecto ha sido organizado por capítulos del siguiente modo:

- *Capítulo 1 Introducción*  
Organización y objetivos del proyecto fin de carrera.
- *Capítulo 2 Conversión Analógico/Digital*  
Conceptos básicos acerca de la conversión Analógico a Digital.
- *Capítulo 3 Modulación Sigma-Delta*  
Fundamentos de los convertidores de sobremuestreo y los moduladores sigma-delta. Configuración en cascada de los mismos.
- *Capítulo 4 Descripción general. Manual de usuario*  
Descripción general del programa de simulación de moduladores sigma-delta tiempo discreto en cascada. Atenderemos aspectos como son la instalación, ejecución e interfaz de usuario y su correspondiente manejo. Obviaremos en todo momento la implementación real que subyace a las mismas (código MATLAB, funciones de programación, variables...) ya que ésta será tratada en detalle en capítulos posteriores

- *Capítulo 5 Funciones, estructura y mapa del código.*

Aspectos relativos a la programación en MATLAB del proyecto: funciones y estructura del código, algoritmos implementados, sus variables de entrada y salida, la interconexión con otras funciones y sus características y propiedades más interesantes (versatilidad, flexibilidad, carácter vectorial o escalar...).

- *Capítulo 6 Evolución del proyecto. Test y pruebas*

En este capítulo describiremos la evolución seguida durante progreso del proyecto. Veremos las pruebas y tests desarrollados a lo largo del mismo, los problemas presentados y soluciones aportadas.

Comprobaremos también el modo en que ha sido organizado el desarrollo del proyecto, sus fases o etapas.

- *Capítulo 7 Conclusión y futuras líneas de desarrollo*

Concluimos citando las principales características de la herramienta desarrollada.

Indicamos posibles ampliaciones o líneas de desarrollo.

- *Bibliografía*

- *Anexo 1: Listado de archivos*

Listado de los archivos que comprende el proyecto

- *Anexo 2: Código MATLAB*

Listado completo del código de programación MATLAB.

