

## 1.- Introducció al Procesado Digital de Señales.

### 1.1.-Introducció.

Podemos decir que cuando realizamos cualquier *proceso digital* para modificar la representación digital de una señal estamos haciendo procesado digital. Como proceso digital puede ser desde el más sencillo realizado por una puerta lógica al más complejo realizado por un circuito específico de procesador digital de señales (DSP).

Cuando hablamos de proceso digital nos estamos refiriendo habitualmente a un programa que funciona en un PC, microcontrolador, DSP o dispositivos de lógica programable.

Una posible definición de procesado digital de señales es la siguiente:

*“El Procesado Digital de Señales se ocupa de la representación, transformación y manipulación de señales **discretas** desde el punto de vista de la **información** que contienen”*

### 1.2.-Señales.

Una señal es una magnitud física de interés que habitualmente es una función del tiempo.

Voltaje en una línea telefónica (voltaje frente a tiempo).

Ondas sonoras producidas por un interlocutor. (Presión frente al tiempo)

Cotizaciones en bolsa de un producto (valores frente al tiempo).

En el contexto del procesado digital de señales muchas de las señales proceden de medidas del mundo real (sonidos, temperatura, luz, etc.). Para poder utilizar estas señales necesitamos un transductor o sensor, que es un dispositivo que nos permite transformar la magnitud física en una magnitud eléctrica variable, en general una tensión.

Muchas de las señales de interés son *analógicas*, en las que en cualquier instante de tiempo pueden tomar cualquier valor de amplitud entre unos niveles determinados. El procesado digital no puede trabajar directamente con estas señales por lo que es necesaria una conversión de las mismas. Los procesos de *muestreo* y *cuantificación* realizan esta tarea, obteniendo una secuencia de números que representan, aproximadamente, la señal original. Es necesario decidir 2 parámetros:

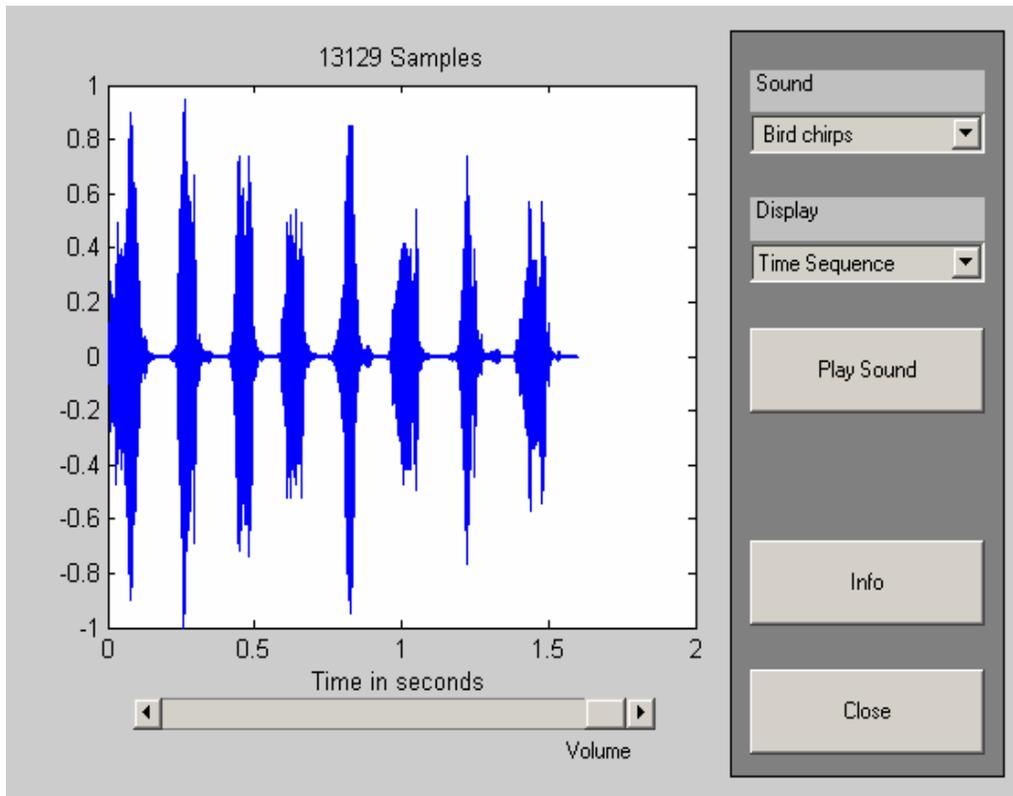
¿Con que velocidad tomamos muestras de la señal analógica?

¿Qué precisión empleamos para representar la amplitud?

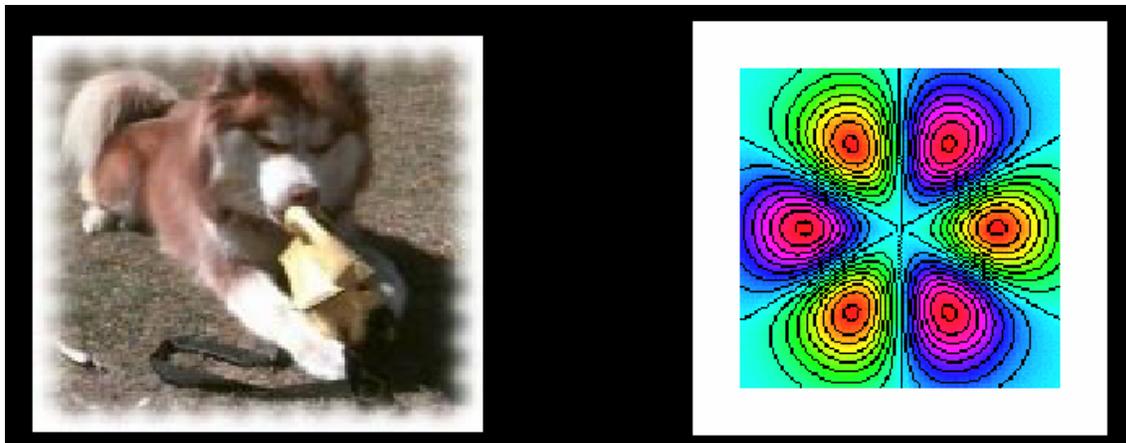
Existen sistemas digitales que crean la señales internamente en lugar de emplear señales externas es el caso de la síntesis de voz o la generación de tonos telefónicos de marcación. Señales sinusoidales, cuadradas y en general casi cualquier forma arbitraria pueden ser generadas digitalmente.

Las señales a las que hemos hecho referencia hasta ahora son señales unidimensionales, sin embargo el procesado de señales puede ser también utilizado para señales de más dimensiones como por ejemplo en procesado de imágenes o vídeo.

### Señal unidimensional (Audio)



### Señal bidimensional



### 1.3.-Qué se puede hacer con el procesamiento digital de señales (PDS)

Hasta ahora hemos dicho lo que hace un sistema de procesamiento y sobre qué señales se aplica pero ¿qué es lo que se puede hacer?. ¿lo mismo que con un sistema analógico?. La respuesta es que, bajo ciertas limitaciones, con un sistema digital podemos hacer todo lo que realiza un sistema de procesamiento analógico pero lo realmente interesante son las cosas que se pueden hacer con un sistema digital que no se pueden hacer con uno analógico.

Uno de los primeros usos del procesamiento digital fue para simular el funcionamiento de sistemas analógicos como paso previo a su construcción. Es decir aproximamos una ley física por un conjunto de ecuaciones matemáticas. La gran ventaja del procesamiento digital es que nosotros podemos plantear, en el dominio digital, ecuaciones que no se corresponden con un sistema realizable físicamente, esto proporciona un campo de aplicación muy amplio. En PDS el papel del circuito electrónico lo va a realizar un computador.

### 1.4.-Herramientas básicas de procesamiento.

- **Filtrado:** se utilizan los filtros digitales para modificar el contenido frecuencial de una señal, como el *bass* y el *treble*<sup>1</sup> de un amplificador de audio. Los filtros digitales pueden reproducir el comportamiento de los filtros analógicos e incluso se pueden utilizar nuevos tipos de filtros que no existen en el dominio analógico como son los filtros de fase lineal.
- **Análisis espectral:** en ocasiones queremos conocer qué frecuencias están presentes en una señal. Por ejemplo un ecualizador gráfico muestra las frecuencias presentes en una señal de audio en diferentes bandas. Esta idea está íntimamente ligada con la idea de transformaciones, que no son más que herramientas matemáticas que nos permite describir las señales en términos de sus valores a lo largo de tiempo (dominio temporal) o bien a partir de las frecuencias contenidas en dicha señal (dominio frecuencial). Veremos que la descripción de señales y también sistemas en el dominio frecuencial puede facilitar el procesamiento.
- **Síntesis:** los sistemas DSP pueden generar desde tonos sencillos hasta simular fielmente la voz humana. La síntesis incluye la generación de funciones trigonométricas, números aleatorios, osciladores digitales, etc.
- **Correlación:** la correlación la podemos entender como un tipo particular de filtrado, en el que el filtro deja pasar un tipo particular de señal. Utilizamos la correlación para determinar periodicidades de una señal, comparando tramos anteriores de la misma con tramos actuales, y en general para determinar el grado de similitud entre señales.

Utilizando estas herramientas básicas se pueden formar bloques más complejos, por ejemplo un sistema de compresión de voz para su transmisión más eficiente o

---

<sup>1</sup> **Los controles de bass and treble funcionan como un ecualizador de 2 bandas. El bass modifica el nivel de la señal de audio en una frecuencia centrada en los 100 Hz y el treble centrada en los 10KHz**

almacenamiento implica etapas de análisis, filtrado y correlación. Existen otras operaciones como la modulación que implican operaciones no descritas anteriormente así que las herramientas indicadas las consideraremos como bloque iniciales de trabajo aunque no únicos.

### 1.5.-Aplicaciones del PDS.

Tanto si el procesado se realiza con microprocesadores genéricos o con hardware específico, los costes están decreciendo continuamente y su prestaciones aumentando. Esto ha hecho que su uso se esté extendiendo cada vez más reemplazando la electrónica analógica y en algunos casos creando nuevo productos que no sería posibles sin el PDS. En la siguiente tabla se muestran algunas aplicaciones.

- **Propósito general**                      Filtros digitales
- **Voz/Habla**                                      Síntesis y reconocimiento de voz, reconocimiento de interlocutor, compresión de voz, ...
- **Gráficos/Imagen**                              Compresión/Transmisión de imágenes, reconocimiento, realidad virtual, ...
- **Control/Regulación**                              Servocontrol, control de discos, modelización de sistemas, lógica difusa, ...
- **Telecomunicaciones**                              Modems, Cancelación de ecos, multiplexación de canales, equalización de canales, criptografía, ...
- **Consumo**    Juguetes, TV y audio digitales, Cámaras ...
- **Industria**    Control numérico, monitorización de la línea de red, acondicionamiento de señales, ...
- **Instrumentación**                                      Analizadores de espectro, PLL, ...
- **Aplicaciones militares**                              RADAR, SONAR, ...
- **Automoción**    ABS, posicionamiento global, ...
- **Electromedicina**                                      Diagnóstico automático, Sistemas de obtención y tratamiento de imágenes médicas, prótesis, TAC, RMN, ...

El PDS ha mejorados dispositivos analógicos existentes como el teléfono, televisión, radio, música electrónica, electrónica del automóvil y ha creado nuevo productos como el CD, DAT, los modems, reconocimiento de voz e imágenes, etc. Pero, ¿Cuáles han sido las razones para que le procesado digital haya experimentado este gran “tirón” frente a los diseños analógico?

## 1.6.-Ventajas de un sistema de procesamiento digital frente a un sistema analógico.

- **Programabilidad/Flexibilidad:** Al tratarse de sistemas programados se facilita el cambio de los algoritmos sin necesidad de modificar el circuito como ocurre con los sistemas analógicos. Dependiendo de que la programabilidad sea en el proceso de fabricación, o a posteriori los circuitos disponen de diferentes tipos de memoria (ROM, EEPROM, RAM).
- **Repetitividad:** La memoria y la lógica de un procesador no se alteran. Procesos repetibles no influenciados por derivas térmicas, tolerancias de los componentes, no necesarios ajustes individuales. Los algoritmos de procesamiento son ecuaciones matemáticas por lo que su resultado no varía aunque se cambie el dispositivo (DSP, microprocesador etc.)
- **Coste.** Un sistema programado puede modificar su funcionamiento (algoritmo) sin modificar la circuitería como ocurre con los sistemas analógicos, que deben modificar el número de componentes.
- **Implementación de sistemas sin equivalente analógico.** Existen sistemas digitales sin equivalente analógico como los filtros FIR. Digitalmente se pueden generar formas de onda arbitrarias. Se pueden almacenar las señales para un procesamiento posterior.
- **Existencia de un gran número de herramientas de diseño.** Muchas de las tareas de procesamiento como la derivación de algoritmos y la obtención de fórmulas ya están hechas y existen programas como Matlab que permiten obtener los coeficientes de un filtro sin necesidad de conocer todo el desarrollo matemático subyacente. Existen herramientas que permiten automatizar el proceso casi al completo, desde el diseño hasta la programación del dispositivo sobre el que se va a ejecutar el programa. Si bien para poder utilizar todas estas herramientas es necesario conocer los fundamentos básicos del procesamiento

## 1.7.-Limitaciones de un sistema de procesamiento digital.

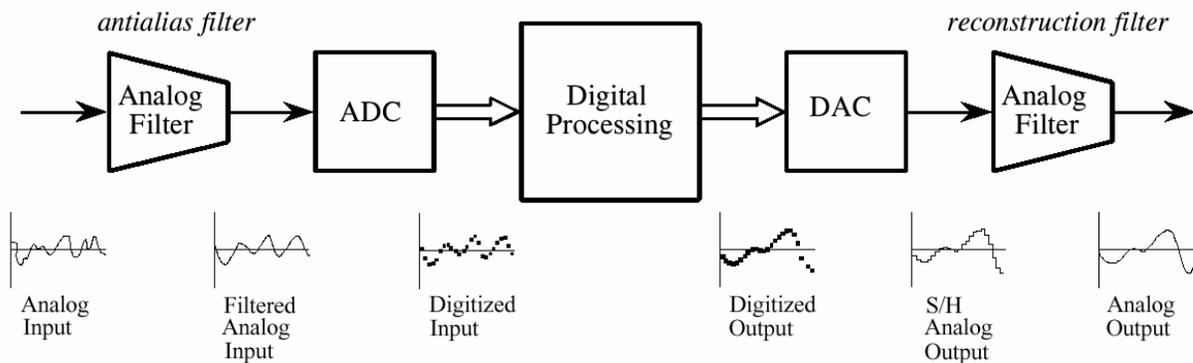
El Procesado Digital de la Señal no es sin duda el sustituto completo y radical del analógico. De hecho, muchas señales presentan un ancho de banda excesivamente grande como para permitir su tratamiento digital en tiempo real. Para dichas señales, el procesamiento analógico o, actualmente el óptico, son la solución. Sin embargo, cuando existan dispositivos digitales con la suficiente velocidad de proceso, o se desarrollen algoritmos que reduzcan la carga computacional, el tratamiento digital será preferible.

## 1.8.-Elementos básicos de un sistema de procesamiento digital.

Por lo que hemos comentado hasta ahora parece obvio que en un sistema de procesamiento digital, en general, necesita interactuar con el exterior para recoger las señales analógicas que queremos procesar y posteriormente devolver estas señal al dominio analógico, si bien existen tareas de procesamiento como las simulaciones o la síntesis de señales en las que o necesariamente estarán todas esta etapas.

El procesamiento digital de señales continuas implica 3 etapas básicas

- (1) Conversión de la señal continua en tiempo y amplitud en una señal digital.
- (2) Procesado de la señal digital
- (3) Conversión de la señal digital procesada, en una señal continua.



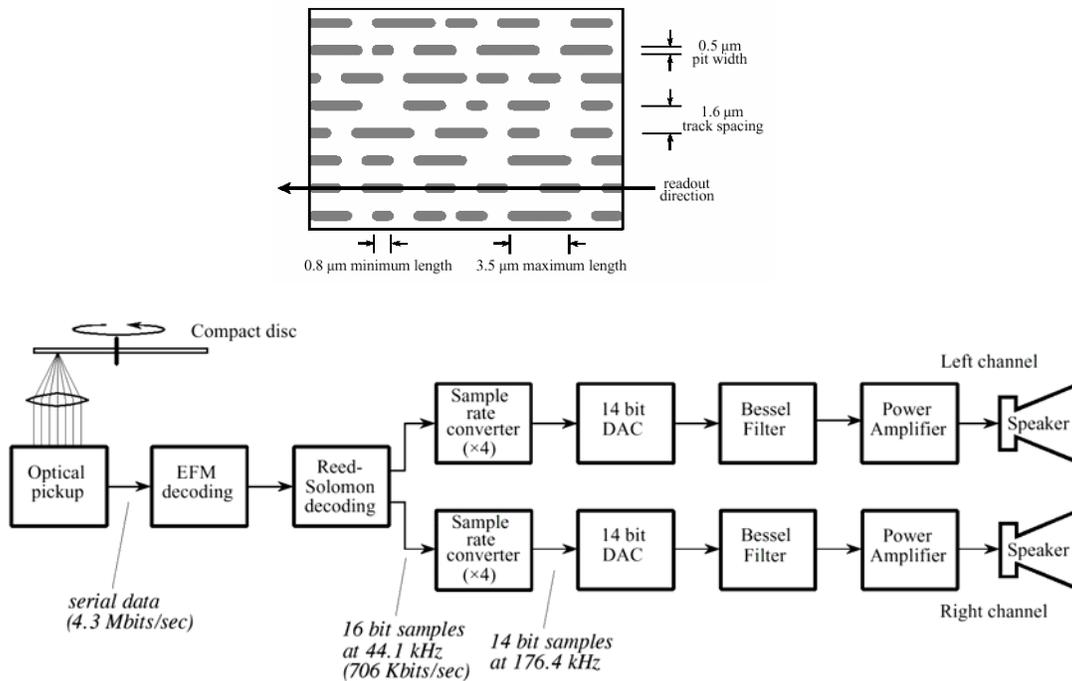
Extraído de: The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. SW Smith.

- Señal analógica de partida.
- Filtro antialiasing (Analógico)
- Conversión Analógico Digital (AD)
- Etapa de procesamiento digital (DSP)
- Conversión Digital Analógica
- Filtro reconstructor o suavizado (Analógico)

Veremos cada uno de estos elementos en los capítulos siguientes.

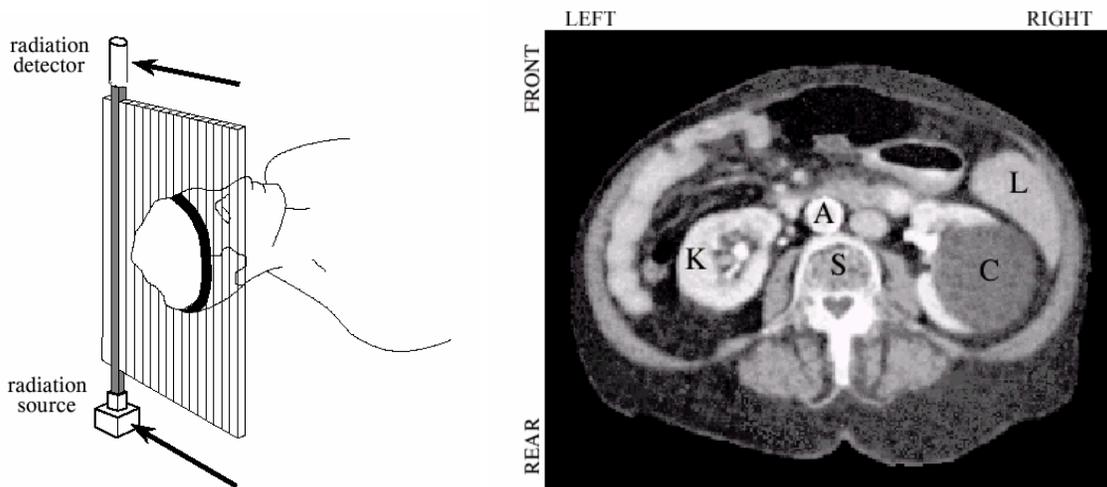
## 1.9.-Ejemplos de sistemas de procesamiento digital

### 1.9.1.- Lector de CD.



Extraído de: The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. SW Smith.

### 1.9.2.- Obtención y procesamiento de imágenes de Tomografía Axial Computerizada (TAC)



Extraído de: The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. SW Smith.

### 1.9.3.- Procesado de Imágenes

Correccion gamma  $\gamma=2.9$

