



# UNIDAD II

Filtros Digitales

Introducción



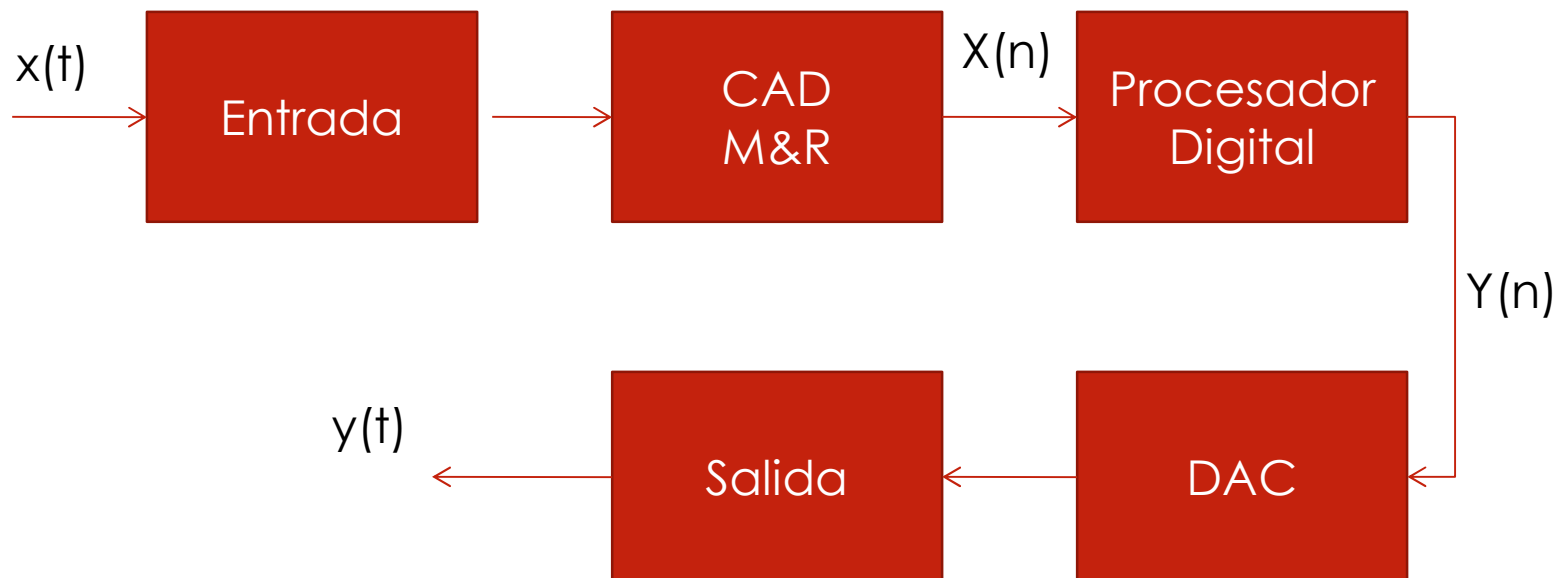
# FILTRO

- Sistema o red que modifica selectivamente la forma de onda, amplitud, frecuencia y/o fase de una señal de una manera definida deseada.
- **Filtro digital:**
  - Algoritmo matemático implementado en HW o SW que opera sobre una entrada digital para producir una salida digital filtrada.



# FILTRO DIGITAL

- Diagrama a bloques





# VENTAJAS

- Tienen respuesta lineal en fase.
- No son susceptibles a cambios ambientales (p. ej. temperatura)
  - Sin calibración periódica.
- Su respuesta en frecuencia puede ajustarse automáticamente usando un procesador programable.
- Múltiples señales o canales pueden filtrarse sin usar filtros duplicados.



# VENTAJAS

- Los datos filtrados y sin filtrar pueden almacenarse para otro uso.
- Gracias al VLSI tienen menor tamaño, menor consumo de potencia, menor costo.
- Su precisión se limita sólo por el tamaño de palabra que usa.
- Su desempeño es reproducible en cada unidad.



# VENTAJAS

- Pueden emplearse a muy bajas frecuencias.
  - No como los filtros analógicos.
  - Aplicaciones biomédicas.
- Pueden trabajar sobre un amplio rango de frecuencias.
  - Cambio en la frecuencia de muestreo.



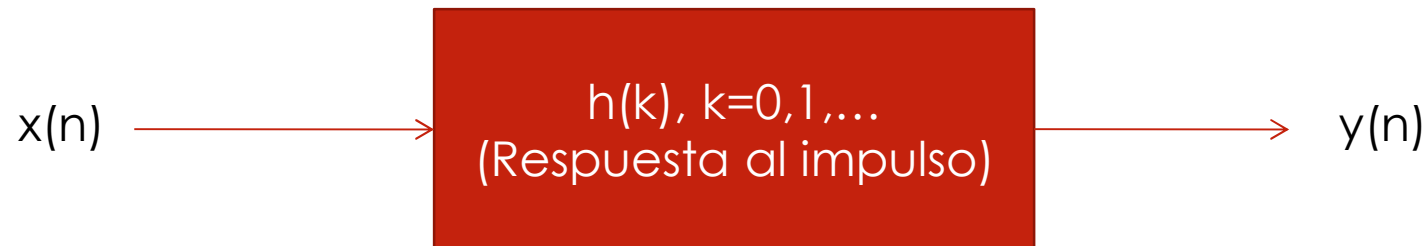
# DESVENTAJAS

- Velocidad limitada
  - Ancho de banda limitado por tiempos de conversión, velocidad del procesador, tiempos de muestreo.
- Efectos de la longitud de palabra finita.
  - Ruido en la conversión, ruido computacional (redondeo).
- Tiempo de diseño y desarrollo elevados.
  - Se compensa con su uso recurrente.



# TIPOS

- **FIR**
  - Respuesta Impulsorial Finita
- **IIR**
  - Respuesta Impulsorial Inifinita







# ECUACIONES

Suma de convolución

- **FIR**

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k)$$

- **IIR**

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k)$$



# ECUACIONES

- **IIR**

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k)$$

- La longitud no permite su implementación.
- Se emplea su forma recursiva

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k) = \sum_{k=0}^N b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k y(n-k)$$

$a_k$  y  $b_k$  = coeficientes del filtro



# ECUACIONES ALTERNATIVAS

- **FIR**

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k}$$

- **IIR**

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k z^{-k} \bigg/ \left( 1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k} \right)$$



# ELECCIÓN DEL TIPO DE FILTRO

- Los filtros FIR pueden tener una respuesta lineal en fase. La respuesta en fase del IIR es no lineal, especialmente en los límites de la banda.
- Los filtro FIR diseñados no recursivamente siempre son estables. La estabilidad en los IIR no siempre puede garantizarse.
- Los efectos de usar un número de bits limitado (errores de redondeo y cuantización) son menos en los filtros FIR que en los IIR)



# ELECCIÓN DEL TIPO DE FILTRO

- FIR requiere más coeficientes que IIR para una frecuencia de corte más precisa.
- Los filtros analógicos pueden transformarse fácilmente en IIR.
- Los filtros FIR son más difíciles de sintetizar.
  - Si el CAD no está disponible.



# ELECCIÓN

- **IIR**
  - Frecuencias de corte bien definidas
- **FIR**
  - Si el número de coeficientes no es muy grande.



# DISEÑO

- Especificación de los requerimientos
- Cálculo de los coeficientes adecuados
- Representación del filtro en una estructura realizable
- Análisis de los efectos de la longitud de palabra en el desempeño del filtro
- Implementación del filtro en SW/ HW



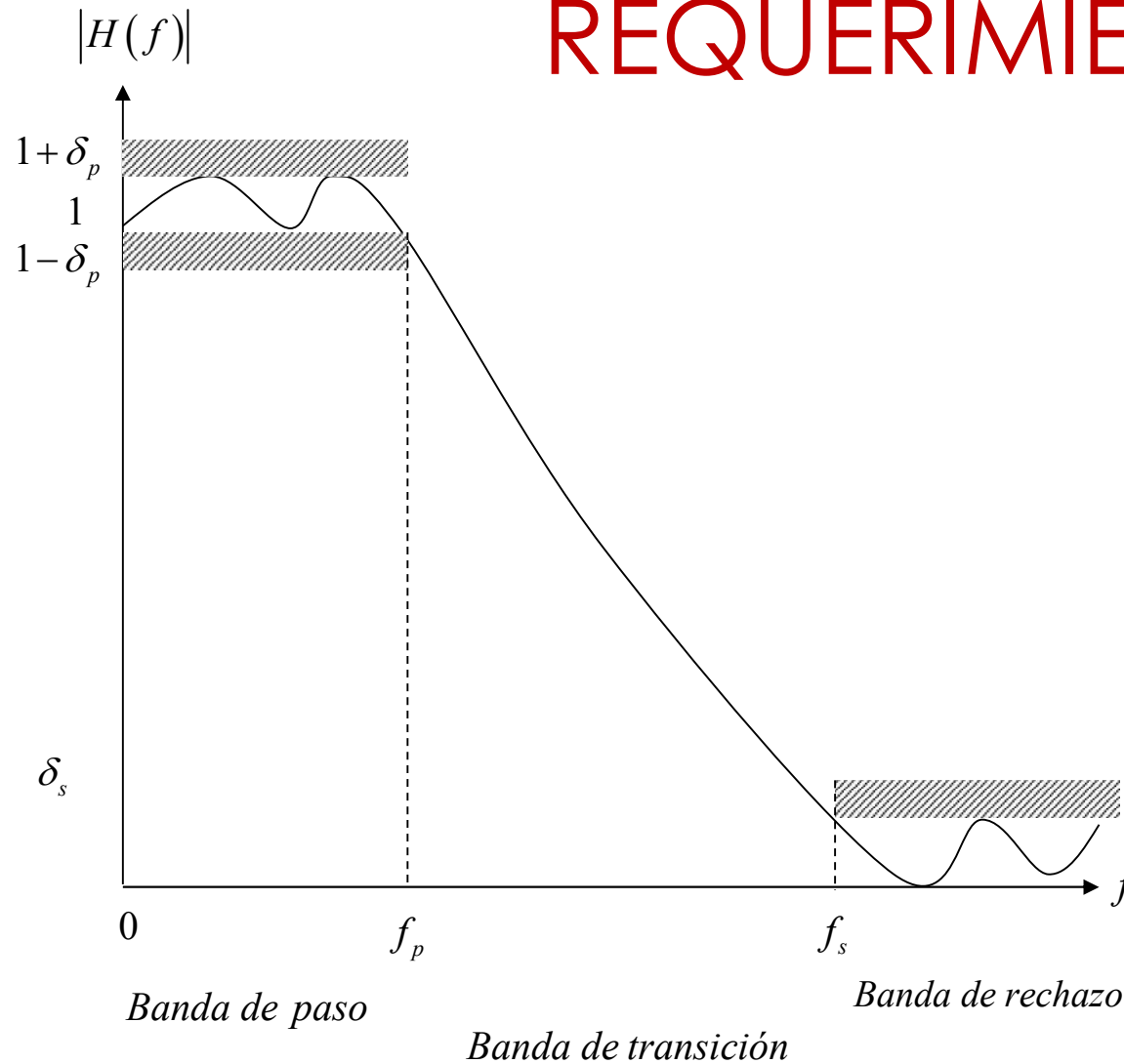
# ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

- Características de la señal
  - Tipos de señal, fuente, interfaz E/S, frecuencias, velocidad y ancho de datos.
- Características del filtro
  - Respuestas deseadas en fase y amplitud y su tolerancia, la velocidad y modo (en tiempo real o por lotes) de filtrado.
- Tipo de implementación
  - DSP, procesador, PLDs.
- Otros aspectos
  - Costo.





# ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS





# ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

$\delta_p$  *Desviación de la banda de paso*

$\delta_s$  *Desviación de la banda de rechazo*

$f_p$  *Frecuencia límite de la banda de paso*

$f_s$  *Frecuencia límite de la banda de rechazo*

$$A_p \text{ (Rizo de la banda de paso)} = 20 \log_{10} (1 + \delta_p)$$

$$A_s \text{ (Atenuación de la banda de rechazo)} = -20 \log_{10} \delta_s$$



# CÁLCULO DE COEFICIENTES (MÉTODOS)

- **IIR**

- Impulso invariante
- Transformación bilineal
- Colocación de polos y ceros

- **FIR**

- Ventanas
- Muestreo de frecuencia
- Óptimo



# REPRESENTACIÓN POR ESTRUCTURAS

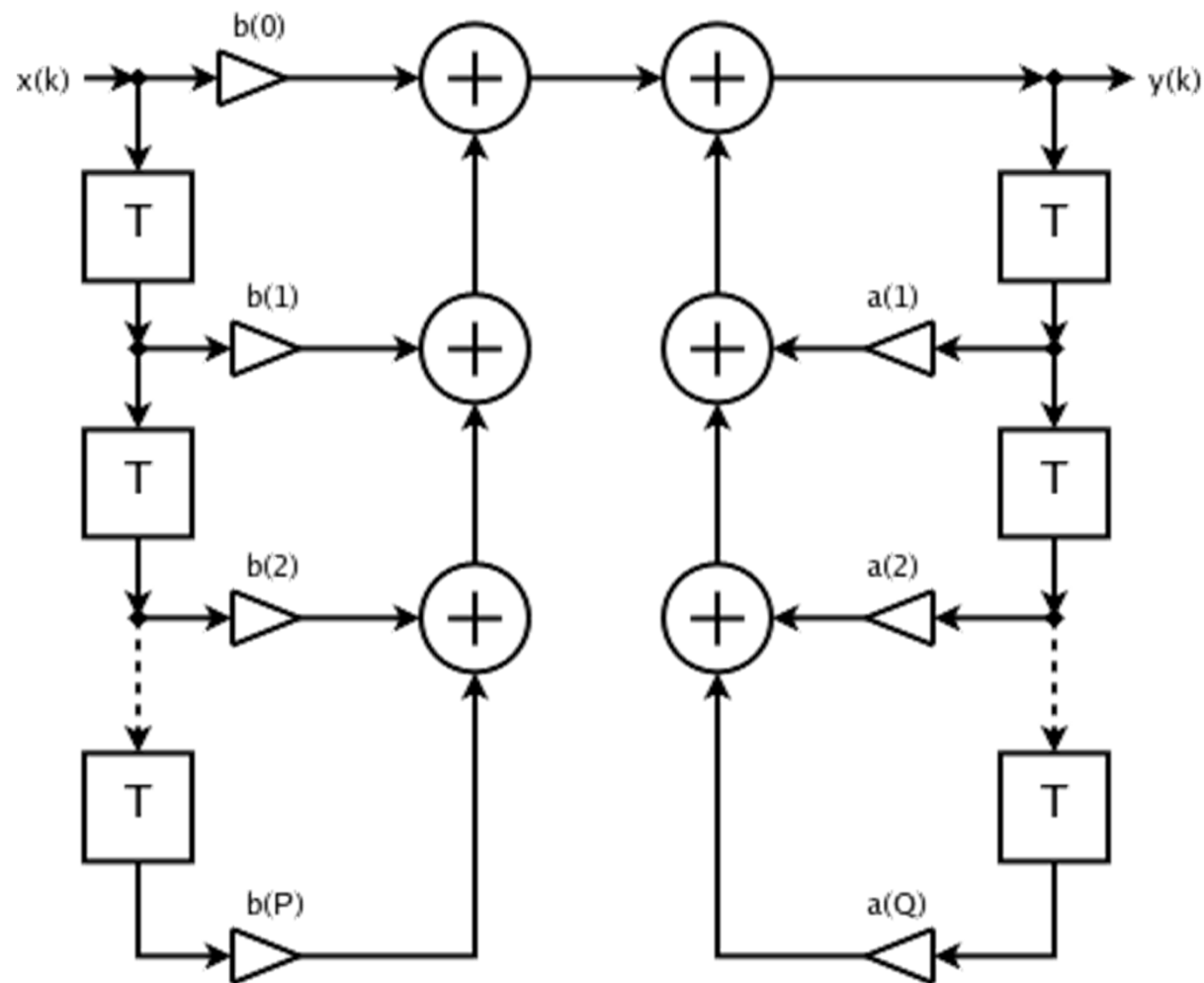
- **IIR**
  - Directa
  - Cascada
  - Paralela
- **FIR**
  - Transversal (Directa)
  - Muestreo de frecuencia
  - Convolución rápida
- **Ambos**
  - Lattice



# ESTRUCTURAS IIR

- Directa

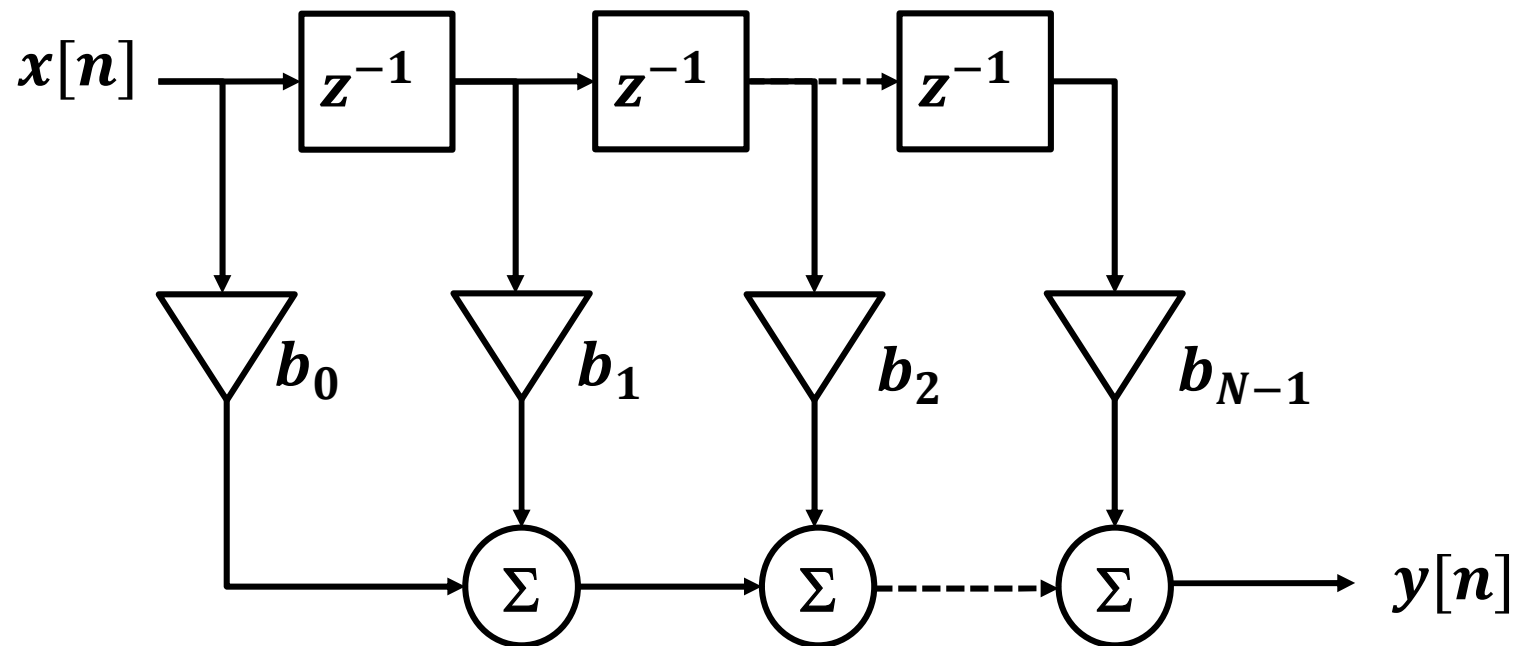
$$T = z^{-1}$$





# ESTRUCTURAS FIR

- Transversal (Directa)





# ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA LONGITUD DE PALABRA

- Cuantización de las señales de Entrada/Salida
- Cuantización de coeficientes
- Errores de redondeo aritmético
- Sobreflujo



# IMPLEMENTACIÓN

- Consideraciones
  - Memoria
    - ROM
    - RAM
  - Unidades
    - HW
    - SW
  - ALU