

# Laboratorio #3 – Sistemas FIR e IIR

M.C. Fernando Hermosillo Reynoso  
*fhermosillo@up.edu.mx*

Universidad Panamericana

Sesión #3

28 de Enero del 2020



● Repositorio GitHub del curso: [UP\\_DSP24](#)

- Documentos
- Ejemplos
- Notas rápidas
- Laboratorios

# Prelab

## AI-Thiker AudioKit V2.2: Descripción de I/O

GPIO	Señal	GPIO	Señal	GPIO	Señal
IO0	I2S-MCLK	IO36	KEY1	IO19	LED5
IO25	I2S-WS	IO13	KEY2	IO14	SCK
IO26	I2S-DOUT	IO19	KEY3	IO15	MOSI
IO27	I2S-BCK	IO23	KEY4	IO2	MISO
IO35	I2S-DIN	IO18	KEY5	IO13	CS
IO32	I2C0-SCL	IO5	KEY6	IO34	SD_INTR
IO33	I2C0-SDA	IO22	LED4		

## Lenguaje C: Tipos de Datos

- El lenguaje C no provee de una definición exacta en los tipos de datos

### ● **int**

- Por lo menos 16 bits
- Depende de arquitectura
  - MSP430: 16 bits
  - ESP32: 32 bits

### ● **#include <stdint.h>**

- **uint8\_t**: [0,255]
- **int8\_t**: [-128,127]
- **uint16\_t**: [0,65535]
- **int16\_t**: [-32768,32767]
- **uint32\_t**: [?]
- **int32\_t**: [?]
- **float**: 32 bits
- **double**: 64 bits

## Respuesta al Impulso

- Respuesta  $h(n)$  de evaluar un sistema discreto  $\mathcal{H}$  para una entrada  $\delta(n)$

$$h(n) = \mathcal{H}[\delta(n)]$$

- Ejemplo

$$y(n) = 0.1x(n) - 0.7x(n - 3)$$

Su respuesta al impulso es

$$h(n) = 0.1\delta(n) - 0.7\delta(n - 3)$$

- La respuesta al impulso describe completamente al sistema  $\mathcal{H}$

- Mediante la convolución es posible calcular la resp. de un sistema para cualquier entrada

$$y(n) = x(n) * h(n)$$

## Estructuras FIR e IIR

### ● FIR (Respuesta al impulso finita)

- La duración de  $h(n)$  es finita
- La salida de los sistemas FIR solo dependen de la entrada y sus valores pasados

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

$b_k$ : Coeficientes

### ● IIR (Respuesta al impulso infinita)

- Duración de  $h(n)$  infinita
- La salida depende tanto de la entrada como de valores pasados de la salida

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

$a_k, b_k$ : Coeficientes

## Implementación de Sistemas Discretos

- Ecuación en diferencia

- FIR

- IIR

- Convolución

- FIR

- IIR: No dada la duración infinita de  $h(n)$

- A fin de implementar FIR

- Se obtiene la respuesta al impulso y se obtienen los valores de los coeficientes



## Convolución en sistemas FIR

- Sea  $h(n)$  la respuesta al impulso de un sistema  $\mathcal{H}$ , de duración  $L$ , entonces la convolución se delimita a

$$\begin{aligned} y(n) &= x(n) * h(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(n-k)h(k) \\ &= \sum_{k=0}^{L-1} x(n-k)h(k) \end{aligned}$$

## Convolución en sistemas FIR

- Ejemplo: Filtro promedio de 2 puntos

$$y(n) = \frac{1}{2} [x(n) + x(n-1)]$$

$$h(n) = \frac{1}{2} [\delta(n) + \delta(n-1)]$$

$$h(0) = \frac{1}{2} [\delta(0) + \delta(-1)] = 0.5$$

$$h(1) = \frac{1}{2} [\delta(1) + \delta(0)] = 0.5$$

$$h(2) = \frac{1}{2} [\delta(2) + \delta(1)] = 0$$

Duración de  $n = 0$  hasta 1 ( $L = 2$ )

Salida

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

$$= x(n)h(0) + x(n-1)h(1)$$

## Cuestiones Prácticas de Implementación #1 - Arreglos

- Valores pasados de  $x(n)$  o  $y(n)$ , así como los valores de  $h(n)$  se almacenan en arreglos

Por ejemplo si  $h(n) = \{1, 0, 0, 0.2\}$

`float h[4] = {1, 0, 0, 0.2};`

- Para el sistema

$$y(n) = \frac{1}{3} [x(n) + x(n-1) + x(n-2)]$$

Se requiere valores de  $x(n)$

$x(n-1)$

$x(n-2)$

Esto implica definir un arreglo

`float xbuf[2] = {0, 0};`

- `xbuf[0]` representa a  $x(n-1)$
- `xbuf[1]` representa a  $x(n-2)$

## Cuestiones Prácticas de Implementación #2 - Normalización

### ● Implementaciones de los sistemas discretos

- Punto Flotante
- Punto Fijo

### ● Los arreglos necesitan ser de dicho tipo de dato

### ● En punto flotante:

- Normalizar entradas
- Denormalizar salidas

### ● Normalizar: Dividir entre el valor máximo del tipo de dato

- Si el tipo de dato de cada muestra es int16

$$-1 \leq x_{norm}(n) = \frac{x(n)}{2^{15} - 1} \leq 1$$

### ● Denormalizar: Multiplicar por valor máximo del tipo de dato

- Si el tipo de dato de cada muestra es int16

$$y(n) = y_{norm}(n) \times (2^{15} - 1)$$

## Cuestiones Prácticas de Implementación #2 - Normalización

```
float x_norm = (float)x/(32767.0F);
```

```
int16_t = (int16_t)(y_norm*32767.0F);
```

### ● Normalización

## Cuestiones Prácticas de Implementación #1 – Ecuaciones Matemáticas

### ● Ejemplo: Implemente

$$y(n) = \sum_{k=0}^4 x(n-k)$$

```
// Arreglos para retardo
float xbuf[4] = {0,0,0,0};
```

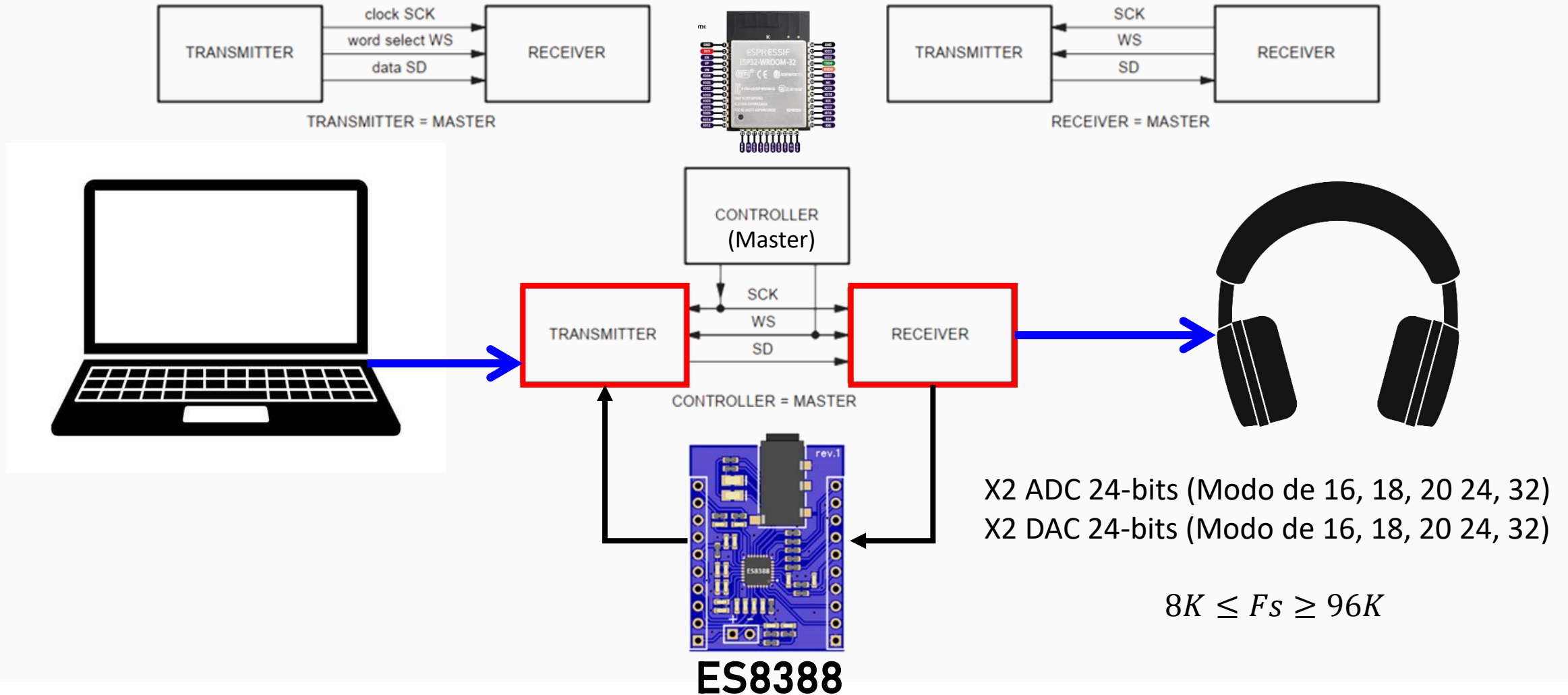
```
void loop() {
    :
    // Muestreo
    float x_n = ...;

    // Implementación de ecuación
    float y_n = x_n;
    for(int i = 0; i < 4; i++) {
        y_n += xbuf[i];
    }

    // Actualizar arreglo de muestras
    pasadas
    for(int i = 3; i > 0; i++) {
        xbuf[i] = xbuf[i-1];
    }
    Xbuf[0] = x_n;
    :
}
```

# Laboratorio 2. Sistemas FIR e IIR

# Modos de Comunicación





## Actividad #1: Configuración del Proyecto

- Crear nuevo proyecto en PlatformIO “pds24\_lab\_1”
- Añadir “AudioToolkit HAL”
- Configurar “platform.io”

- Reemplazar  
PATH\_TO\_AUDIOKIT\_LIB  
Por ubicación de la biblioteca

```
[env:esp32dev]
platform = espressif32
board = esp32dev
framework = arduino
lib_ldf_mode = deep+
lib_extra_dirs = PATH_TO_AUDIOKIT_LIB
build_flags = -DAUDIOKIT_BOARD=5
monitor_speed = 115200
```

## Actividad #1: Configuración del Proyecto

### 1. Configure códec ES8388

1. Entrada y salida
2. ADC Línea 2
3. DAC Línea 1
4. Frec. Muestreo: 8KHz
5. Bits por muestra: 16
6. Tamaño buffer DMA: 32
7. Número buffers DMA: 2

(En clase)

- Si se están adquiriendo 32 muestras antes de que la ESP32 las pueda leer, que latencia presenta el sistema?

- Recuerde que cada muestra se adquiere cada

$$T = \frac{1}{F_s}$$

## Actividad #2: Sistema FIR

1. Del Sistema [FIR](#) determinado por la ecuación en diferencias

$$y(n) = \sum_{k=0}^8 b_k x(n - k)$$

1. Determine su respuesta al impulso y grafíquela
2. Implemente el sistema en la ESP32
3. Realice un barrido de frecuencia desde  $F = 100\text{Hz}$  hasta  $5000\text{Hz}$  con pasos de  $500\text{Hz}$ , mida la respuesta del sistema con un osciloscopio: [ToneGenerator](#)

4. Tabule los valores RMS obtenidos en el osciloscopio contra frecuencia y grafique
5. Que podemos intuir del sistema en base a las observaciones obtenidas?

## Actividad #3: Sistema IIR

1. Del Sistema [IIR](#) determinado por la ecuación en diferencias

$$y(n) = \sum_{k=0}^2 b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^2 a_k y(n-k)$$

1. Determine su respuesta al impulso y grafíquela
2. Implemente el sistema en la ESP32
3. Realice un barrido de frecuencia desde  $F = 100\text{Hz}$  hasta  $5000\text{Hz}$  con pasos de  $500\text{Hz}$ , mida la respuesta del sistema con un osciloscopio: [ToneGenerator](#)

4. Tabule los valores RMS obtenidos en el osciloscopio contra frecuencia y grafique
5. Que podemos intuir del sistema en base a las observaciones obtenidas?

## Cuestionario

● Responda a las siguientes preguntas

1. Que ventajas/desventajas se observaron entre los sistemas FIR e IIR en el experimento?