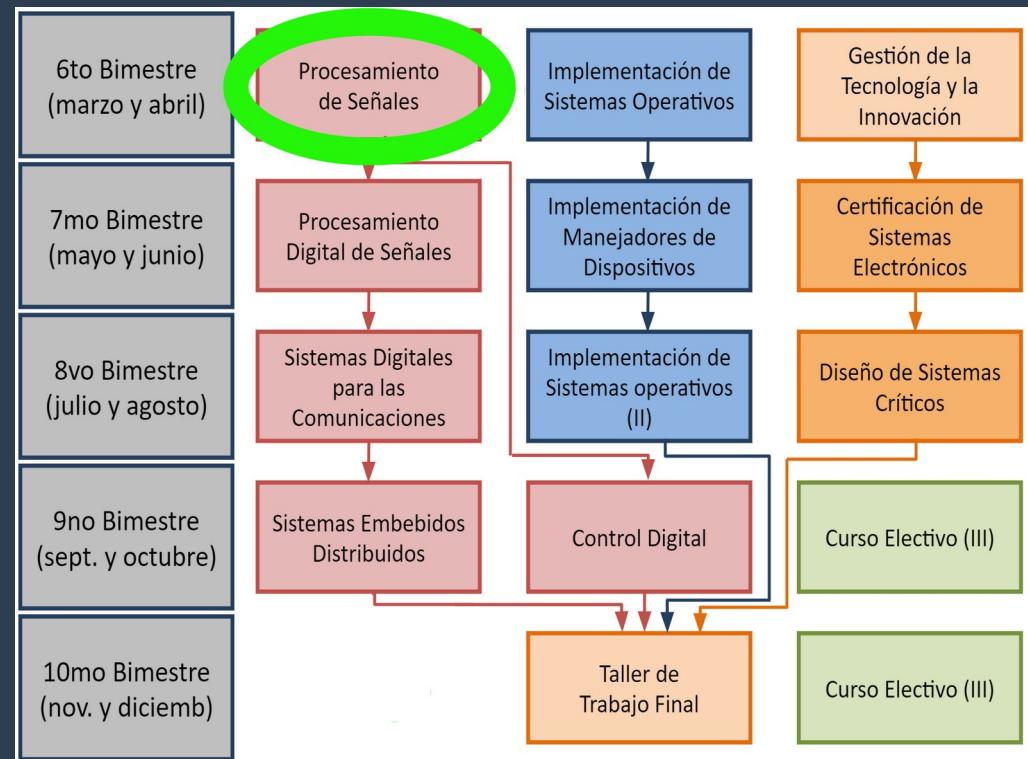


Procesamiento de señales. Fundamentos

Docentes

- Pablo Slavkin
 - slavkin.pablo@gmail.com
- Colaboradores:
 - Gonzalo Lavigna
gonzalolavigna@gmail.com
 - Federico Giordano Zacchigna
federico.zacchigna@gmail.com
- Correo grupal:
 - psf_m07@cursoscapse.com



Procesamiento de señales. Fundamentos

Roadmap

- 1 Señales, sistemas, adquisición y visualización con CIAA y Python
- 2 Reconstrucción, Nyquist, Números Q y generación con Python
- 3 Euler + Fourier + DFT
- 4 IDFT, FFT con numpy
- 5 Respuesta al impulso | Convolución
- 6 Filtrado | FIR
- 7 Repaso para TP final y tips & tricks
- 8 Temas varios y presentación de TP's



Procesamiento de señales. Fundamentos

Objetivos generales

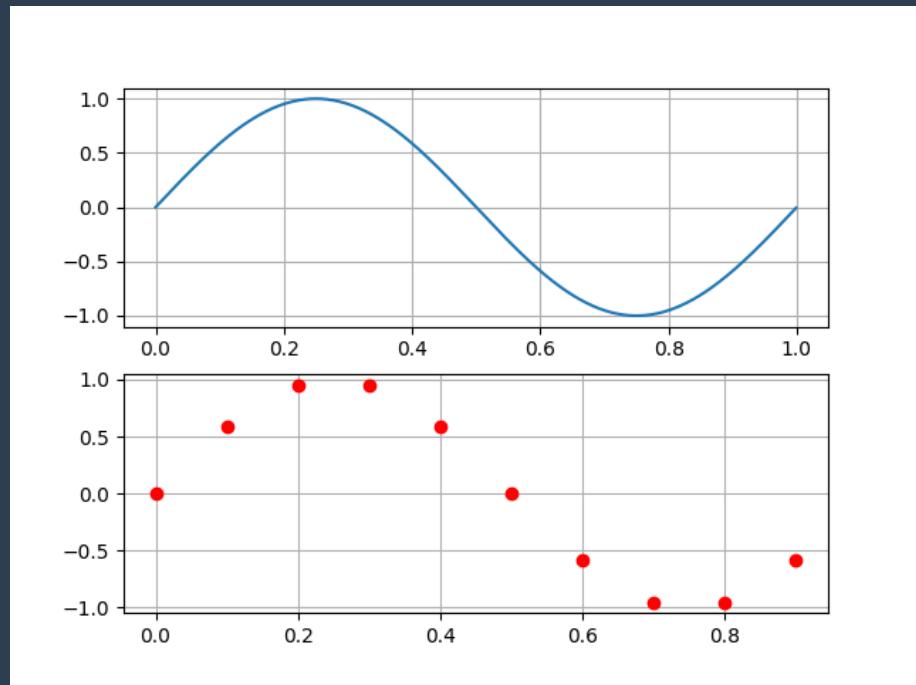
- 1 Poder dimensionar una cadena de adquisición, frecuencias, uC y definir la arquitectura
- 2 Entender los fundamentos de pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y poder instanciarlos en un sistema embebido
- 3 Poder implementar algoritmos simples de procesamiento utilizando python/mlab/octave pero principalmente utilizando CMSIS-DSP o similar en un sistema embebido
- 4 Entender y poder disenar un filtro digital FIR



Procesamiento de señales. Fundamentos

Clase 1 – Señales y sistemas

- Señales y sistemas. LTI
- Adquisición
 - Fenómeno de aliasing
- Cuantización
 - Dithering
 - Sobre muestreo
- Preparación de hardware
- CIAA<>Python
- Temas administrativos



Digital Vs analógico – Criterios

● Digital

- Reproducibilidad
- Tolerancia de componentes
- Partidas todas iguales
- Componentes no envejecen
- Fácil de actualizar
- Soluciones de un solo chip
- Bajo costo de producción
- Los filtros son muy superiores



● Analógico

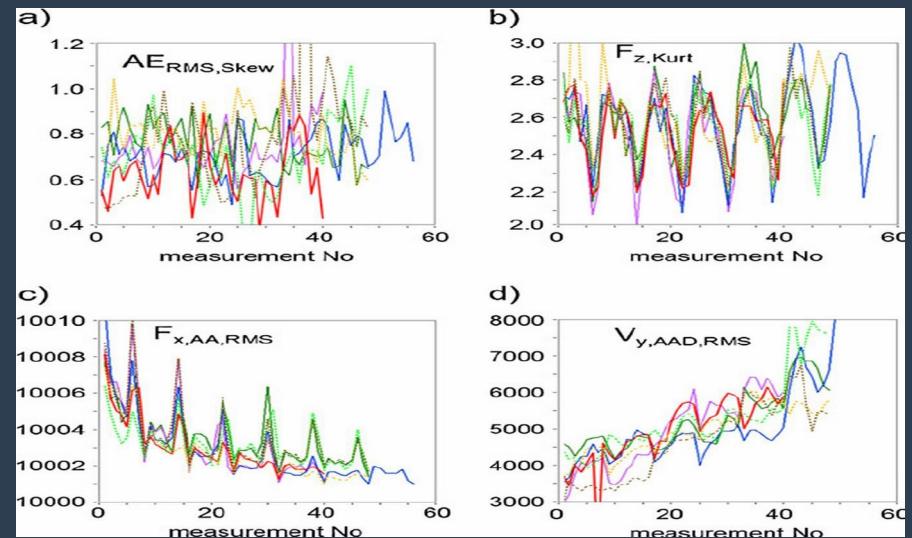
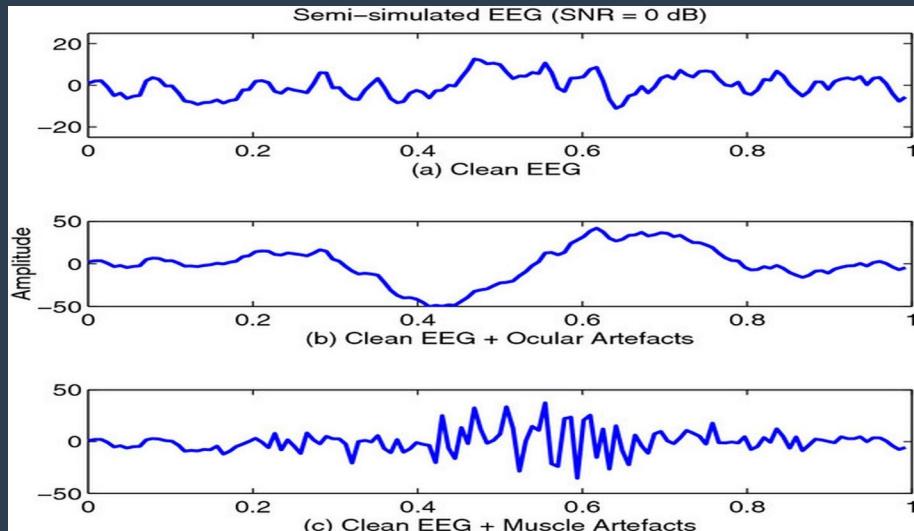
- Gran rango dinámico de entrada Ej.: 1mv to 20v
- Alto ancho de banda Ej. 0.001Hz to 10Mhz
- Alta potencia Ej: Amplificadores, RF
- Baja latencia Ej. Fibra óptica, RF
- Distorsiones no lineales en audio artístico



Señales

● Señales

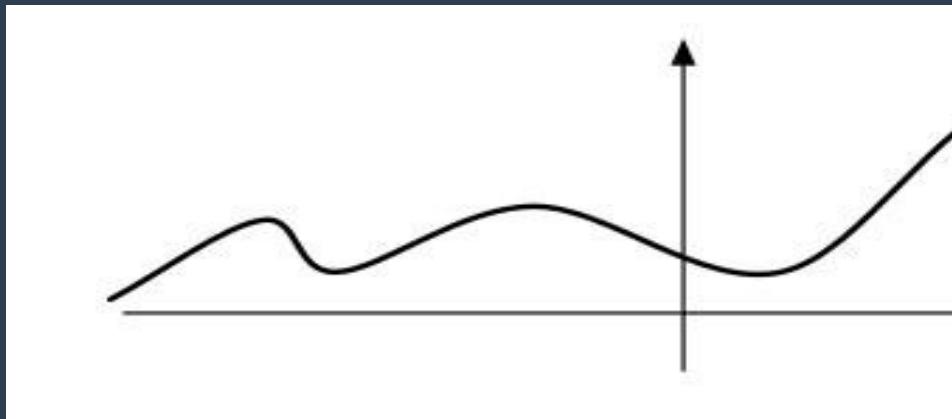
- Una señal, en función de una o más variables, puede definirse como un cambio observable en una entidad cuantificable
- Ej: Sonido, imágenes, video, biológicas.



Tipos de señales

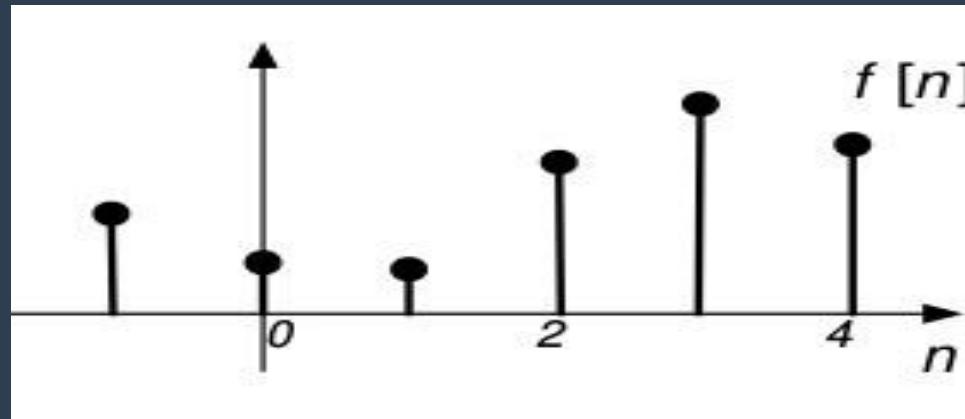
● Tiempo continuo

- Tiene valores para todos los puntos en el tiempo al menos en algún intervalo
- Ej: $y=\sin(x)$



● Tiempo discreto

- Tiene valores **solo** para puntos discretos en el tiempo
- El resto esta **indefinido**
- La distancia entre puntos debe ser siempre la misma??



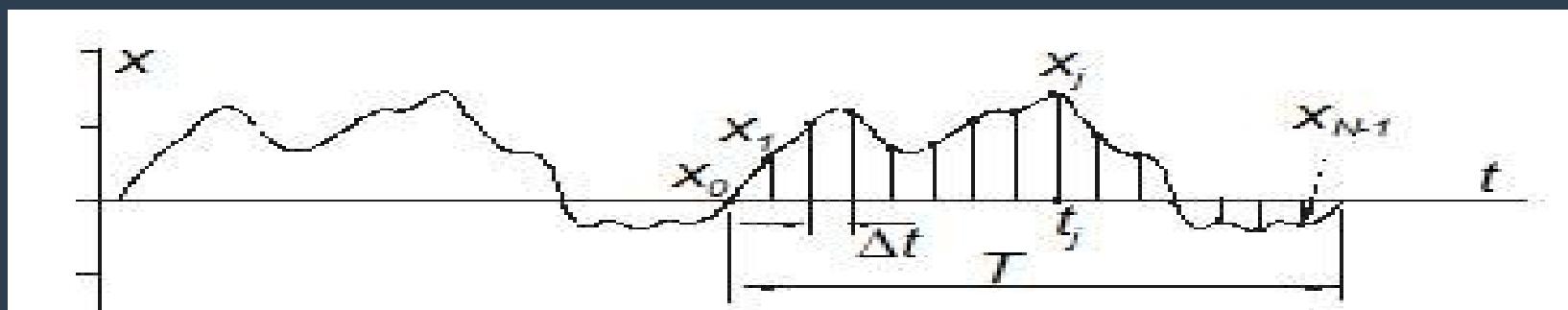
Tipos de señales - Periodicidad

● Continua periódica

- si existe un $T_0 > 0$, tal que $x(t + T_0) = x(t)$, para todo t .
- T_0 es el período de $x(t)$ medido en tiempo, y
- $f_0 = 1 / T_0$ es la frecuencia fundamental de $x(t)$

● Discreta periódica

- si existe un entero $N_0 > 0$ tal que $x[n + N_0] = x[n]$ para todo n
- N_0 es el período fundamental de $x[n]$ medido en espacio entre muestras y
- $f_0 = 1 / (\Delta t * N_0)$ es la frecuencia fundamental de $x[n]$



Señales en Python - Calentamiento

- Genere las siguientes señales discretas en Python

```
S= [ 1, 5, 7, 0, -10.2 ]  
T= [ -1, 19, 27.7, 4, 0.2, 50 ]
```

- Con numpy

```
t = np.arange(0,1,0.1) # samples arrancando en 0 inclusive hasta 1 NO inclusive en pasos de 0.1  
Array([0. , 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9])  
s=np.zeros(len(t))  
print(type(s))
```

```
t = np.linspace(0,1,10) #10 samples de 0 a 1 inclusives  
array([0.          , 0.11111111, 0.22222222, 0.33333333, 0.44444444, 0.55555556, 0.66666667, 0.77777778,  
0.88888889, 1.        ])  
s=np.sin(2*np.pi*t)  
print(type(s))
```

- Tiempo continuo en Python. Es posible?

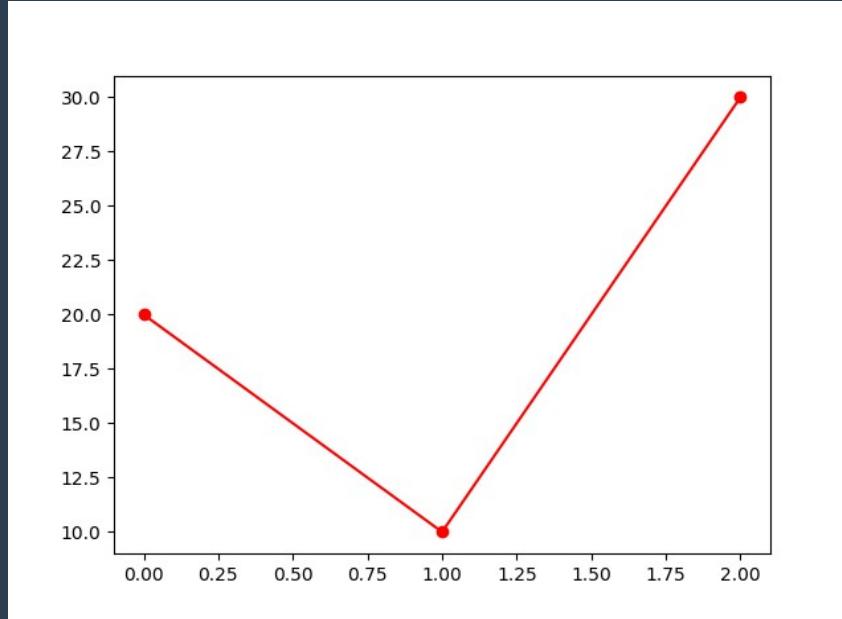
- $S= ?$
- $T= ?$

Ver código: senales_periodicas.py

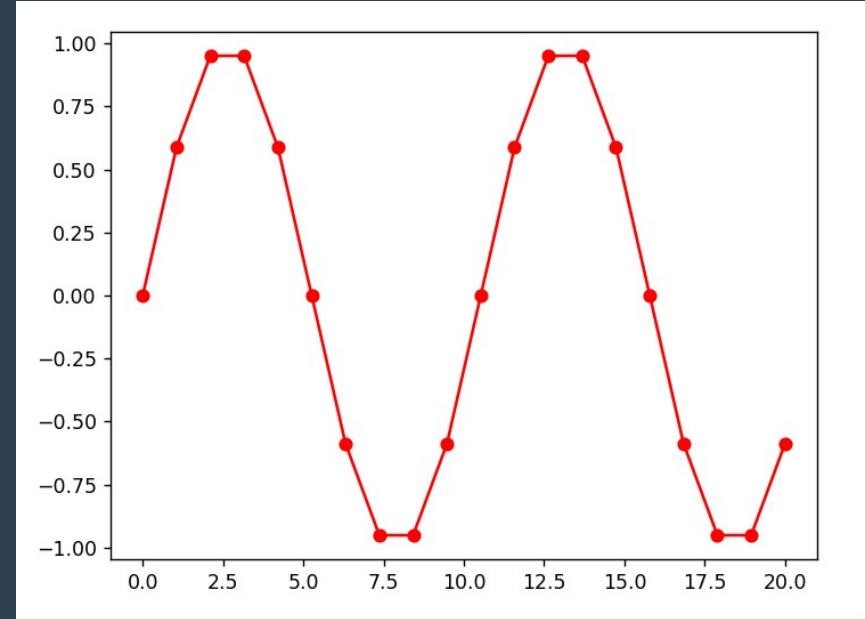
Señales. Grafica con matplotlib

```
import matplotlib.pyplot as plt  
  
T=[0,1,2]  
s=[20,10,30]  
plt.plot(t,s,'ro-')  
plt.show()
```

```
s = [np.sin(2*np.pi*3*t*1/30) for t in range(20)]  
  
t = np.linspace (0 ,len(s) ,len(s))  
plt.plot(t,s,'ro-')  
plt.show()
```



Ver código: senales_python.py



Ver código: senales_periodicas.py

Tipos de señales – Potencia vs Energía

- *De energía finita (continua)*

$$0 < \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < +\infty$$

- *De potencia finita (continua)*

$$0 < \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt < +\infty$$

- *De energía finita (discreta)*

$$E_x = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)|^2$$

Si: $0 < E_x < +\infty$.

- *Unidad: joules*

- *De potencia finita (discreta)*

$$P_x = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{n=+N} |x(n)|^2$$

Si: $0 < P_x < +\infty$.

- *Unidad: watts*

Tipos de señales – Potencia finita

- *Cálculo de potencia del sin(x)*

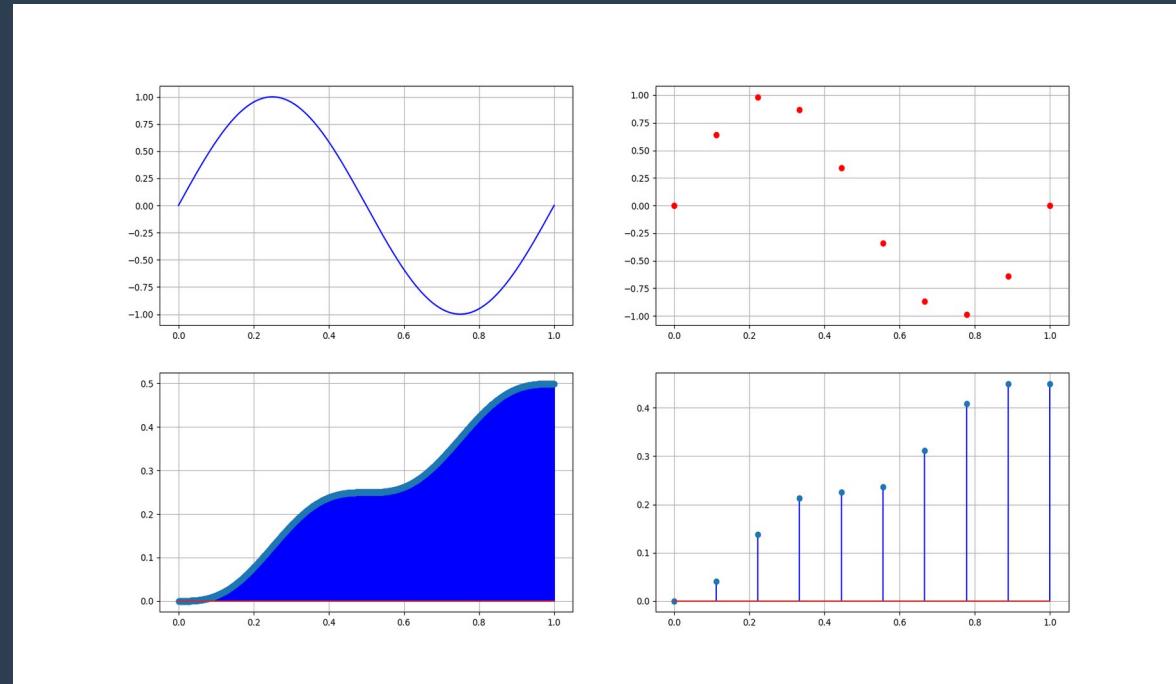
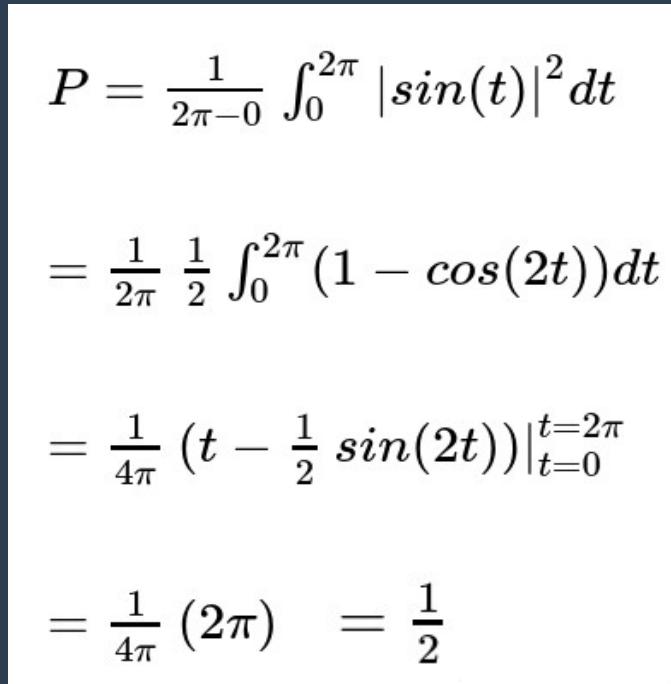
$$P = \frac{1}{2\pi-0} \int_0^{2\pi} |\sin(t)|^2 dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} (1 - \cos(2t)) dt$$

$$= \frac{1}{4\pi} (t - \frac{1}{2} \sin(2t))|_{t=0}^{t=2\pi}$$

$$= \frac{1}{4\pi} (2\pi) = \frac{1}{2}$$

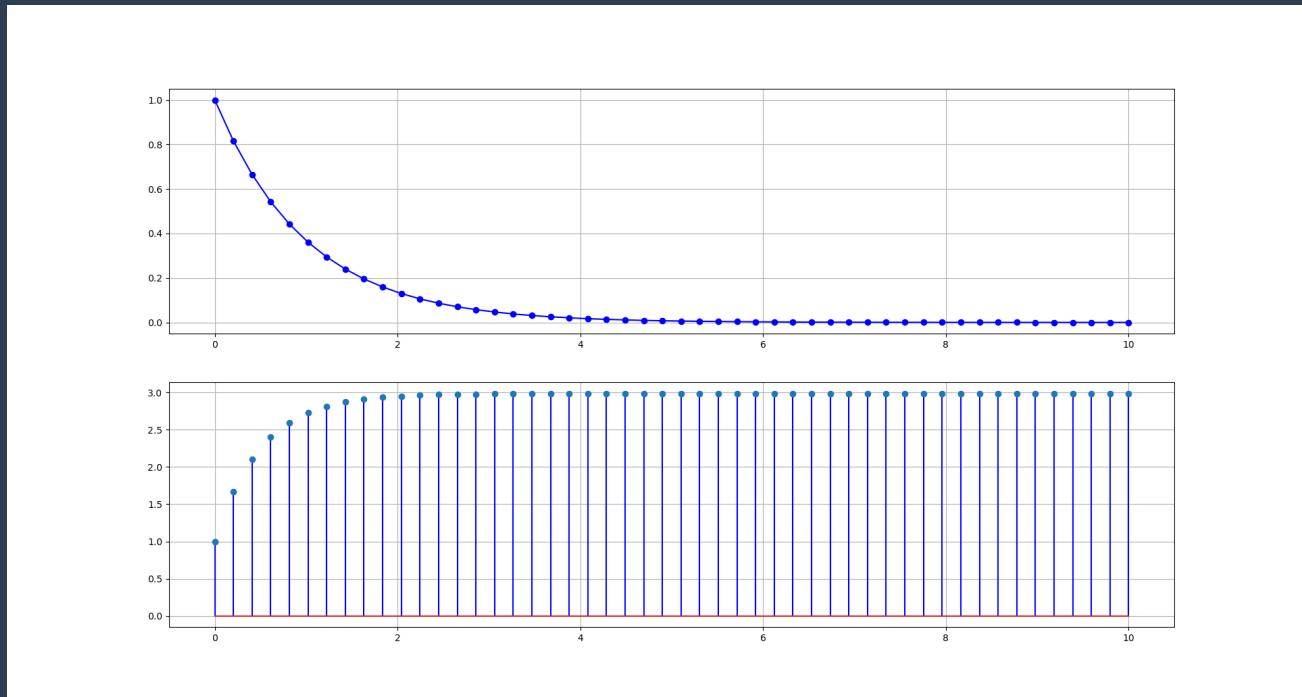
- *Cálculo de potencia de Sin(n) con Python*
- *Notar que la energía tiende a infinito*



Ver código: power.py

Tipos de señales – Energía finita

- *Ejemplo del cálculo de energía de $1/e^n$*
- *Notar que la potencia es 0 (cero).*



- Ver código: `energy.py`

Sistemas

- *Definición*

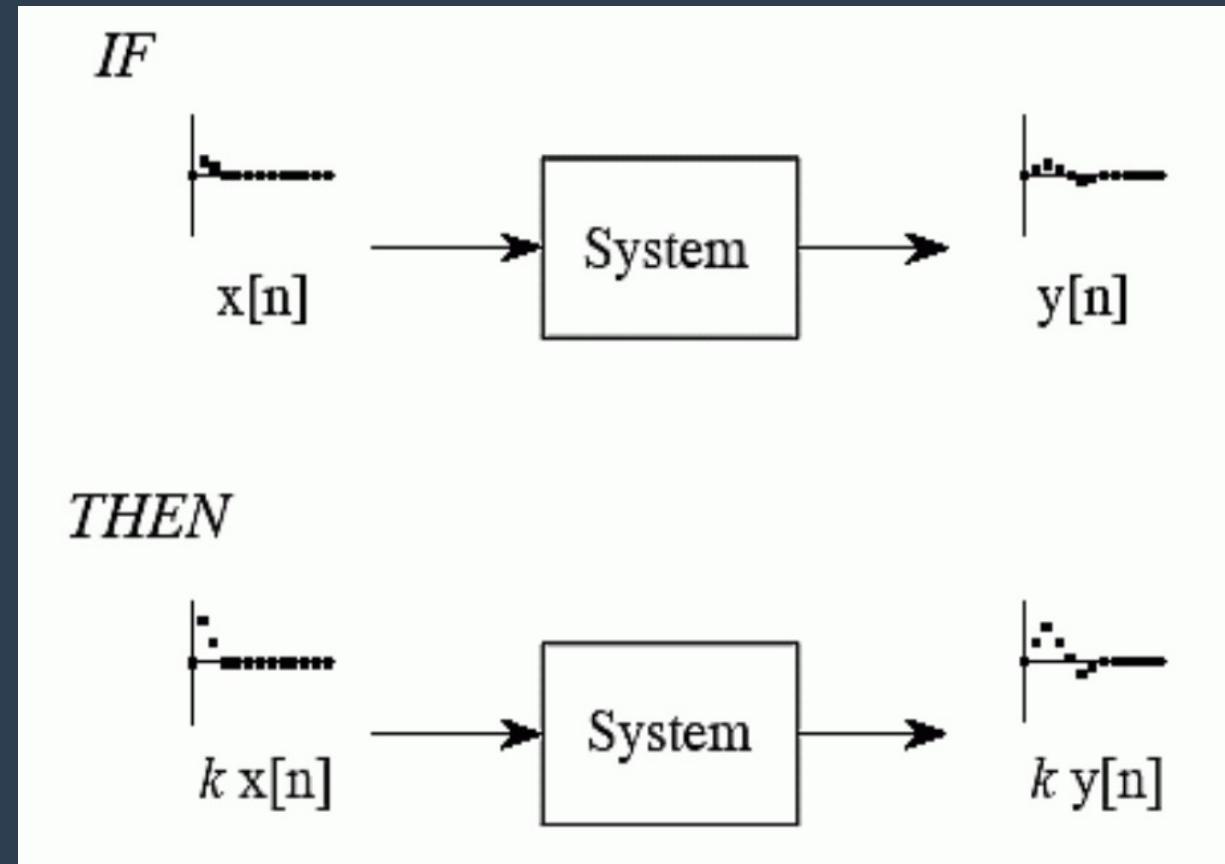
Un sistema es cualquier conjunto físico de componentes que actúan en una señal, tomando una o más señales de entrada, y produciendo una o más señales de salida



Sistemas homogéneos

Escalado

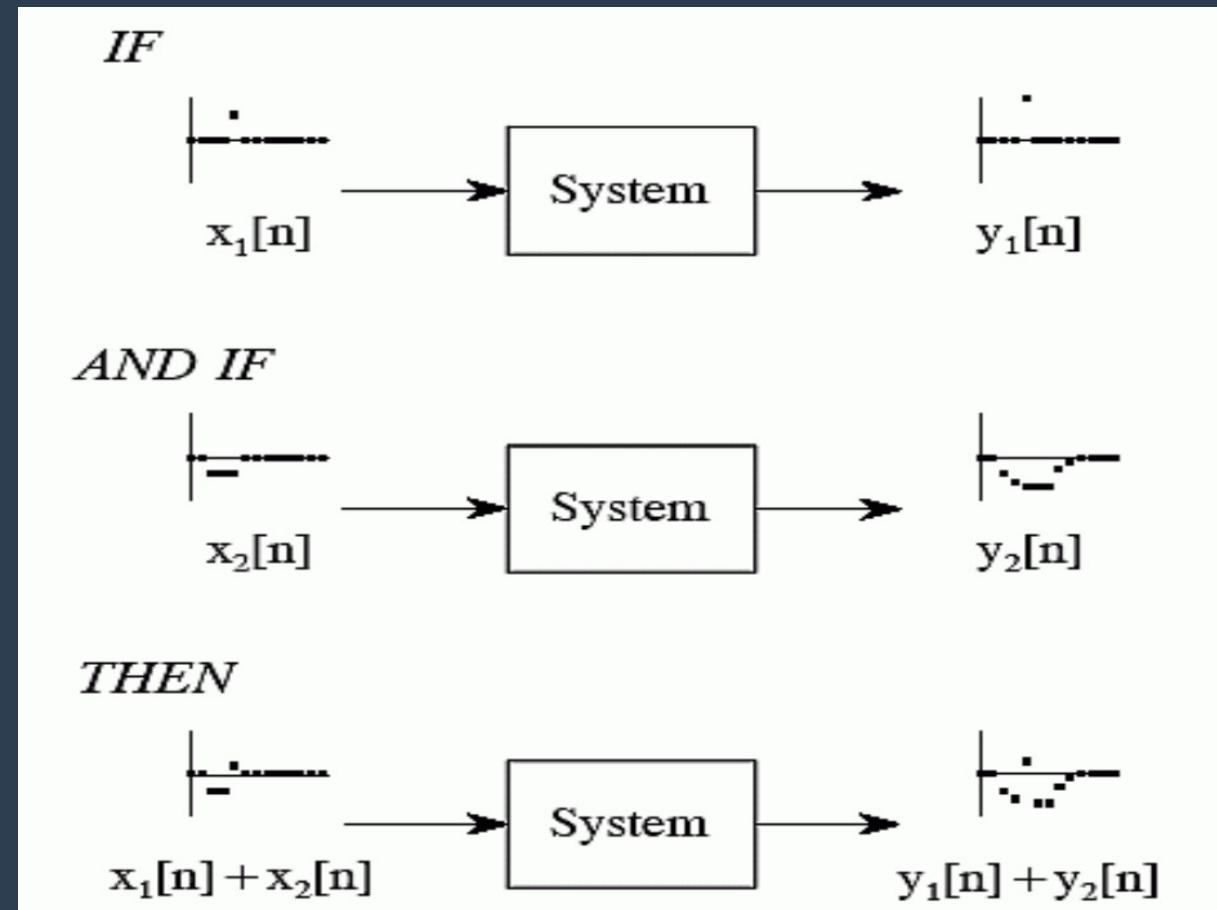
- Un cambio en la entrada repercute en la salida en la misma proporción



Sistemas aditivos

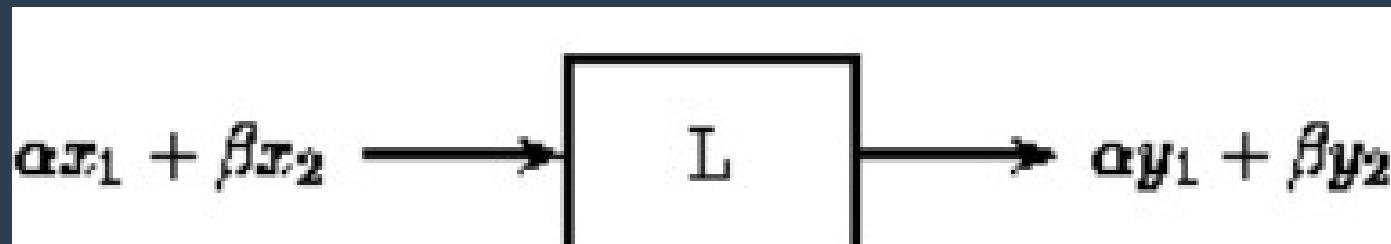
Adición:

- Si las entradas atraviesan el sistema sin interacción entre ellas



Sistemas lineales – Superposición

- Un sistema es lineal cuando su salida depende linealmente de la entrada.
- Satisface el principio de superposición.



Ej:

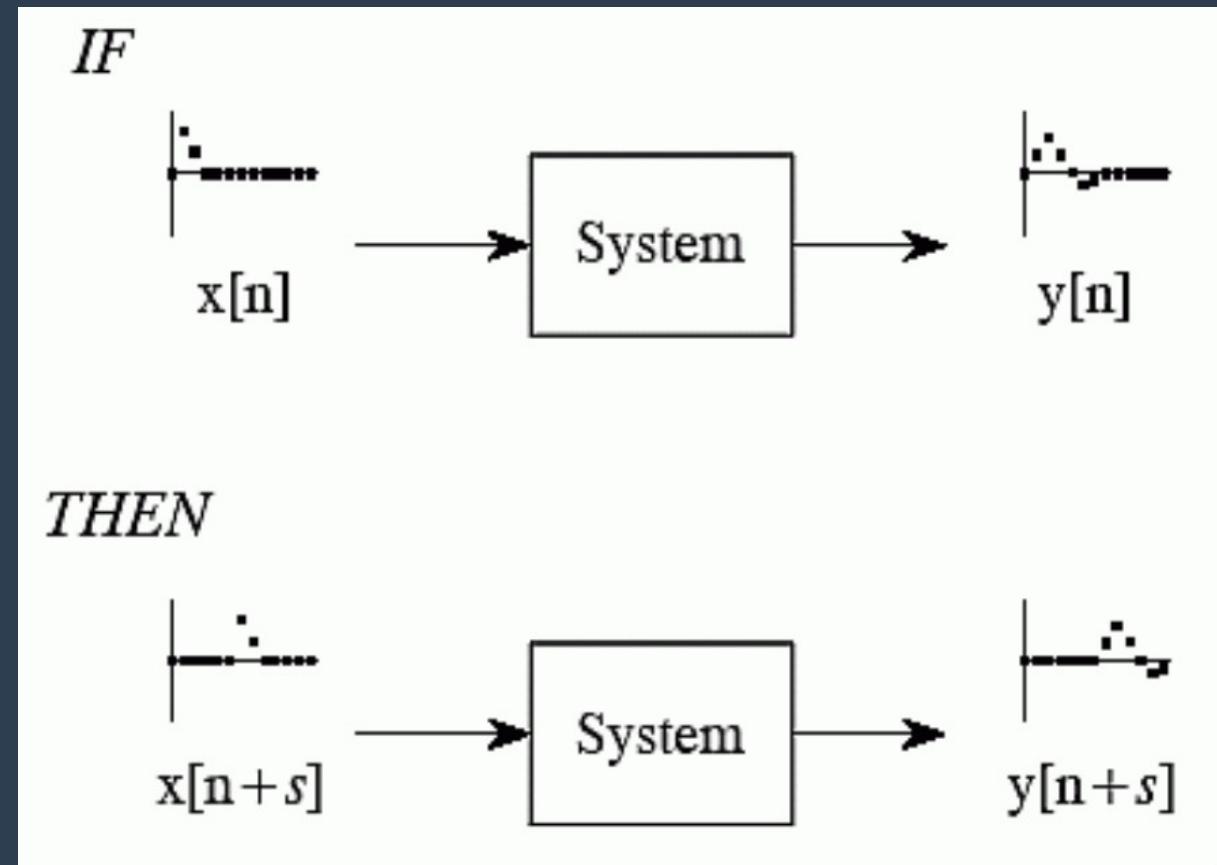
- $y(t) = e^{x(t)}$ => no lineal
- $y(t) = 1/2 x(t)$ => lineal

Sistemas de tiempo invariante

- Si la entrada se demora, la salida también

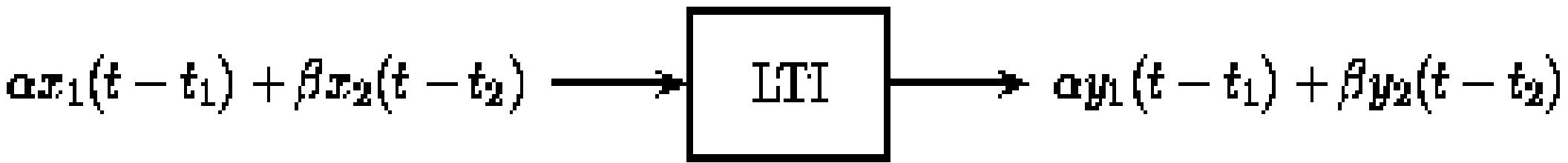
Ej:

- $y(t) = x(t) * \cos(t)$ => no invariante
- $y(t) = \cos(x(t))$ => invariante



Sistemas - LTI

- Lineales invariantes en el tiempo
 - Un sistema es LTI cuando satisface las dos condiciones:
 - 1) linealidad
 - 2) Invariancia en el tiempo

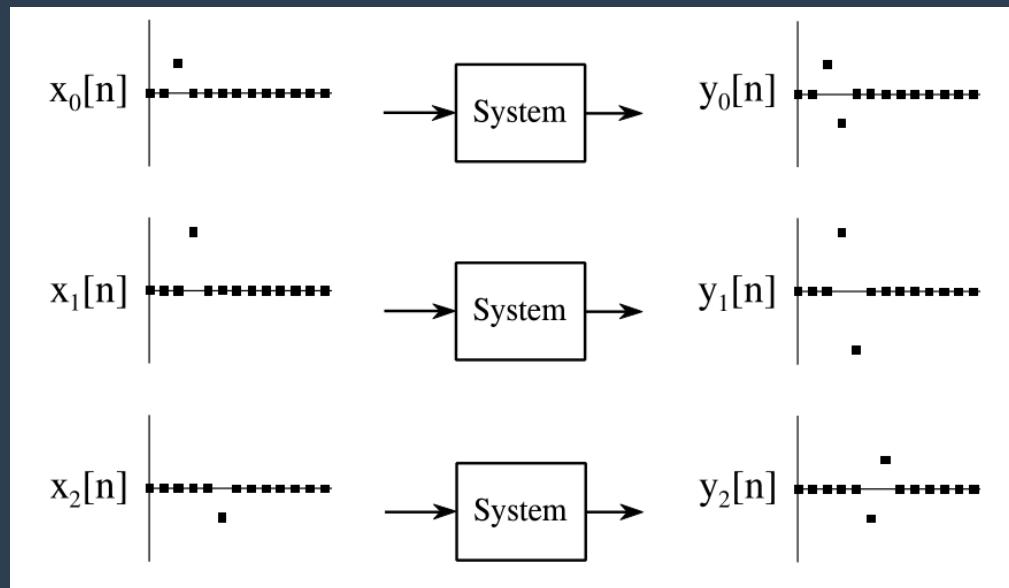
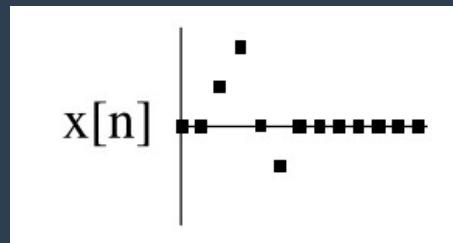


En este curso, solo estudiaremos sistemas lineales invariantes en el tiempo.

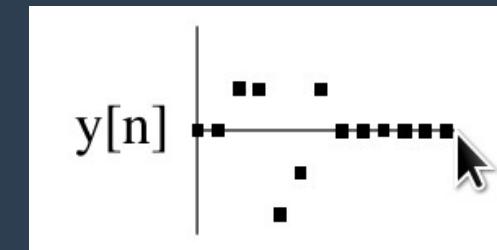
Sistemas LTI – Descomposición

- Podemos descomponer una señal compleja en una suma de señales simples.
- Hacer pasar cada una por el sistema
- Y finalmente sumar los resultados

Descomposición ->



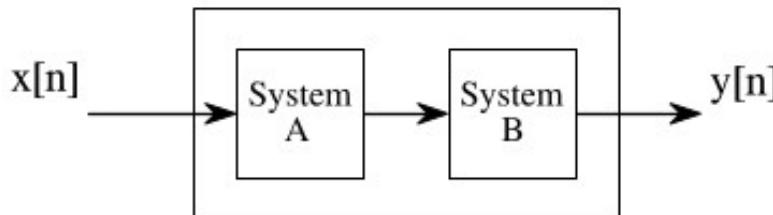
Síntesis ->



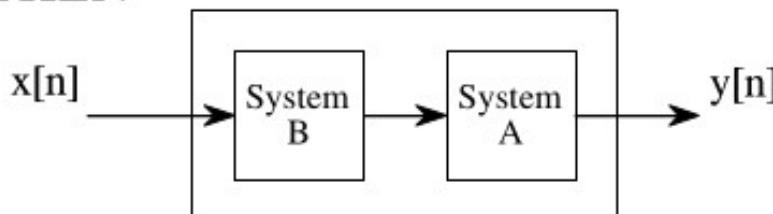
Sistemas LTI - Conmutación

- Si el sistema es LTI, perfectamente LTI, entonces es commutable
- En la practica, atención con los efectos de precisión, desborde, clipping, etc.

IF



THEN



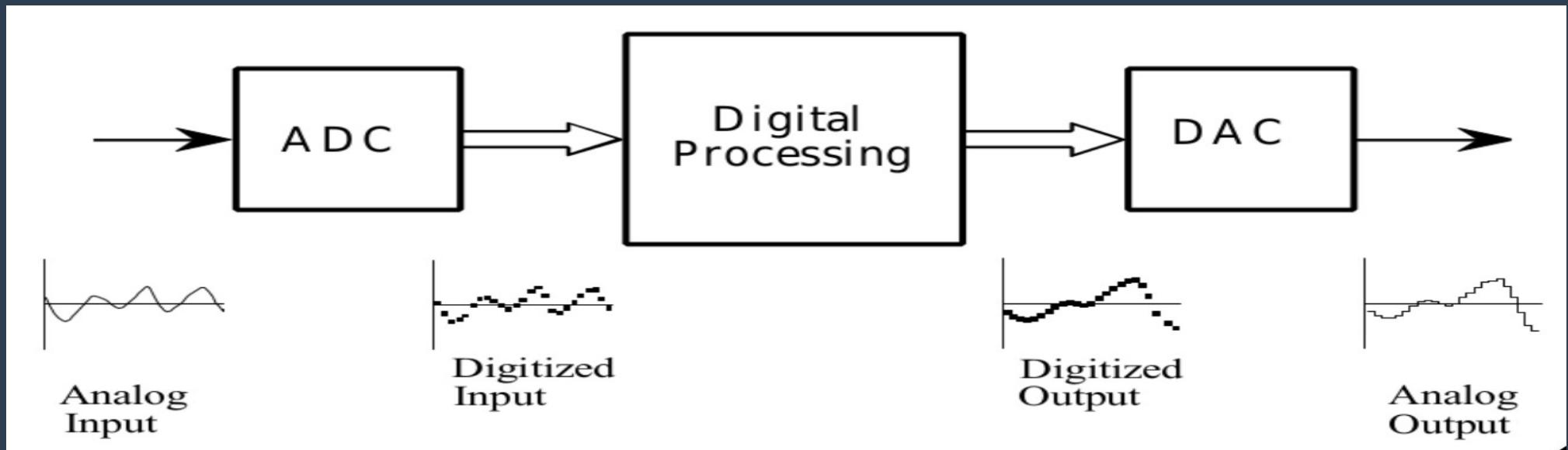
Sistemas LTI - Características

- Fidelidad senoidal
 - En todo sistema LTI para una entrada senoidal $a \times \text{Hz}$ la salida es **siempre** senoidal de $x \text{ Hz}$.
- Linealidad estática
 - En todo sistema LTI para una entrada constante (DC) la salida es **siempre** la entrada multiplicada por una constante.

Adquisición

Secuencia de adquisición - Encuesta

- Secuencia de digitización, procesamiento y reconstrucción.
- Es correcta la secuencia? Falta algo? Sobra algo?
- <https://forms.gle/8YnhmWVu5K21mpYc8>



Efecto de aliasing en un disco giratorio

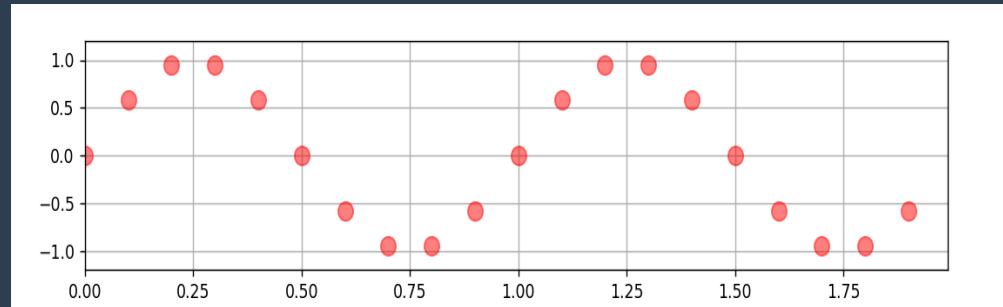
<https://youtu.be/-XiWEq8MIKc>



Efecto de aliasing en Python

- $F_s=10 | N=20$
- A simple vista parece una senoidal de 1Hz
- Pero podria esconder una señal multiplo de F_s , como 10Hz en el ejemplo
- Al samplear a F_s , es imposible distinguir señales mayores a $F_s/2$
- Por eso es necesario el FAA que evita que entren al sistema señales no deseadas de $F>F_s/2$

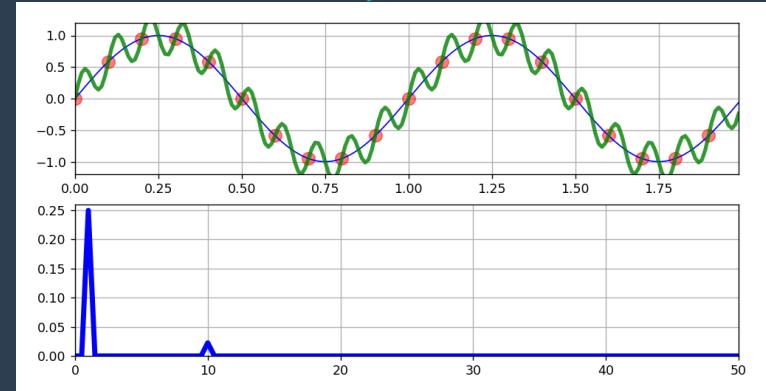
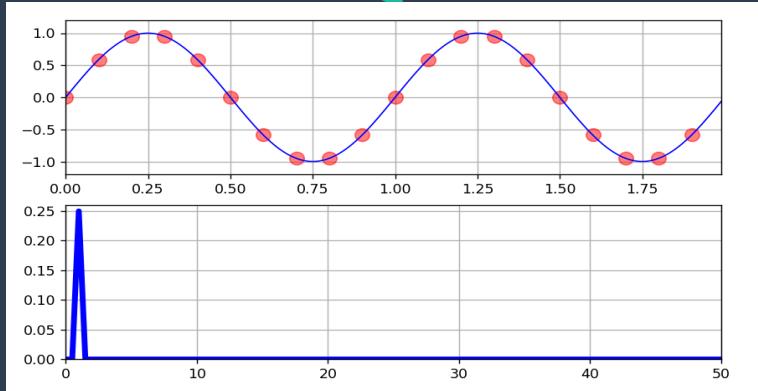
• *Que señal esconde esta secuencia de puntos?*



Ver código: aliasing.py

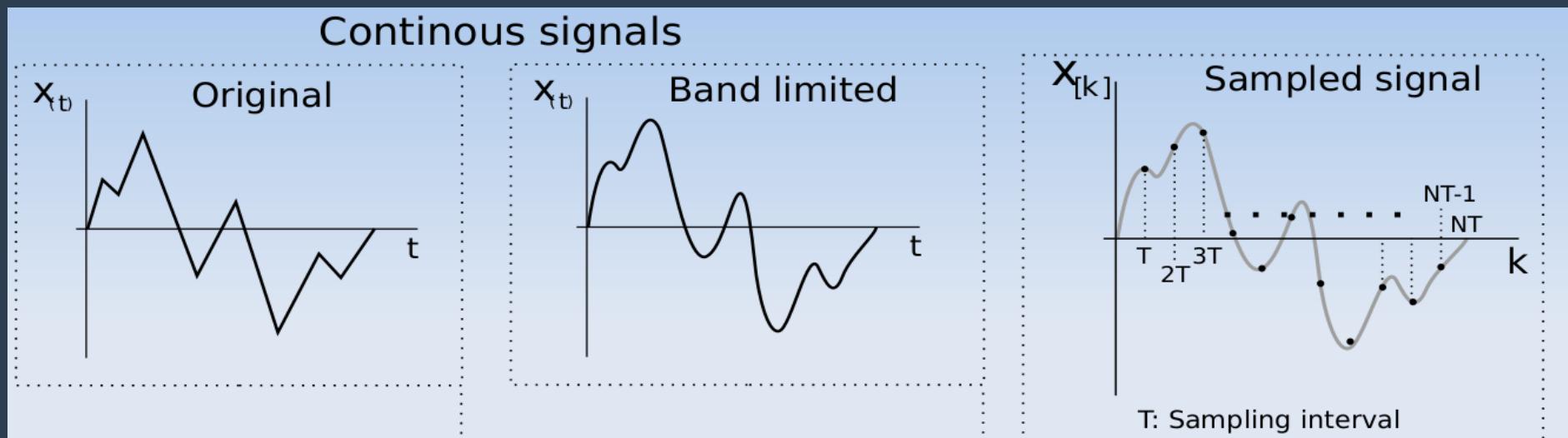
1Hz ?

1Hz + 10Hz ?



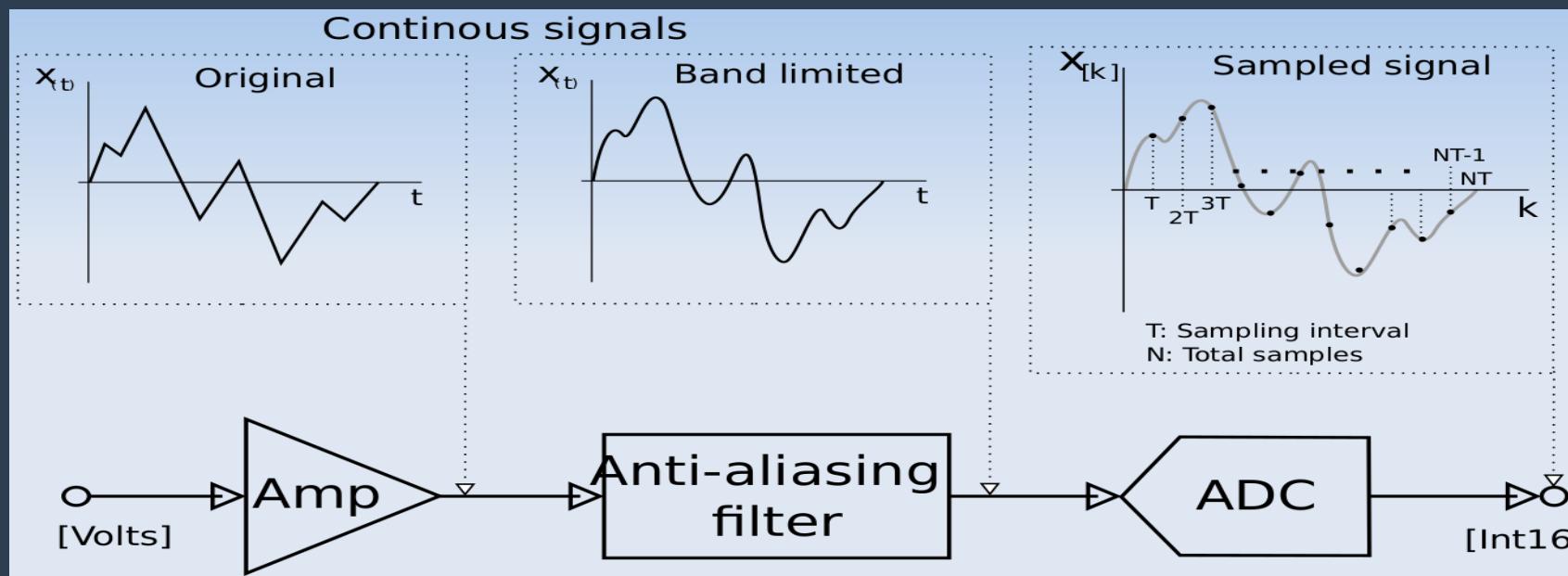
Filtro anti alias (FAA) - Pasa bajos

- El FAA es un filtro **analógico** pasa bajos que elimina o al menos **mitiga** el efecto de aliasing



Digitización - Filtro anti alias

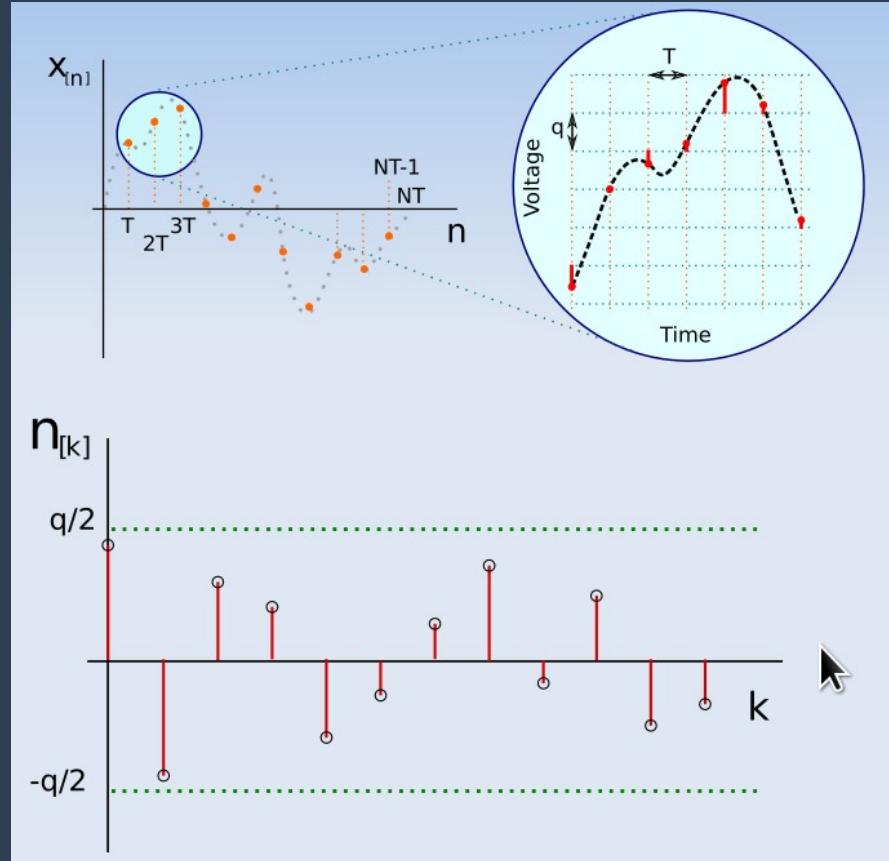
- Secuencia de adquisición utilizando un filtro anti alias
- Se podría poner el bloque de antialiasing luego del ADC en el dominio digital ? Porque?
- Que estrategias puedo usar para simplificar el FAA analogico?



Cuantización

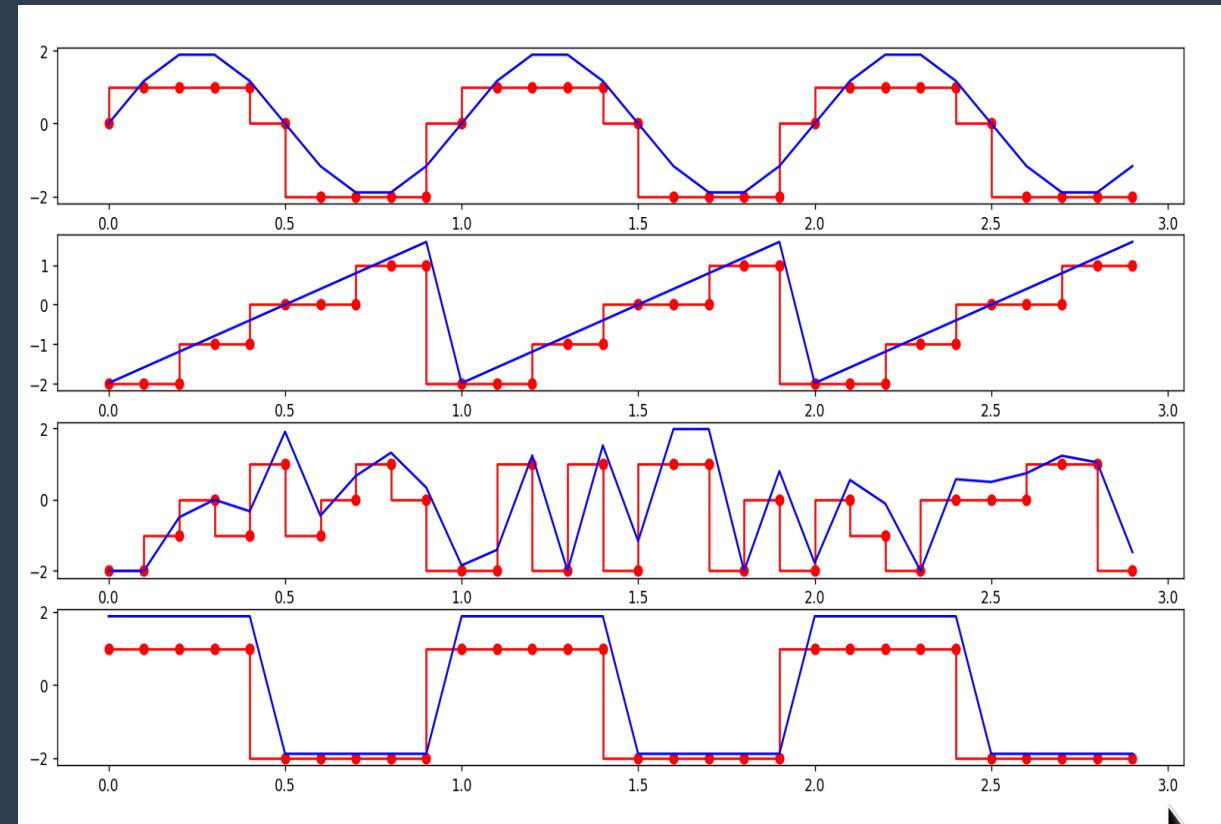
Error en la adquisición

- La conversión analógica a digital implica cuantizar la entrada en un rango de valores discretos de precisión finita
- Esta precisión depende de la cantidad de símbolos (bits) almacenados para cada muestra
- Esto genera un error en la conversión que se denomina error de cuantización.
- Si este error cumple con determinadas premisas, podría considerarse como ruido en la señal, y en este caso se lo denomina ruido de cuantización



Ruido de cuantización en Python

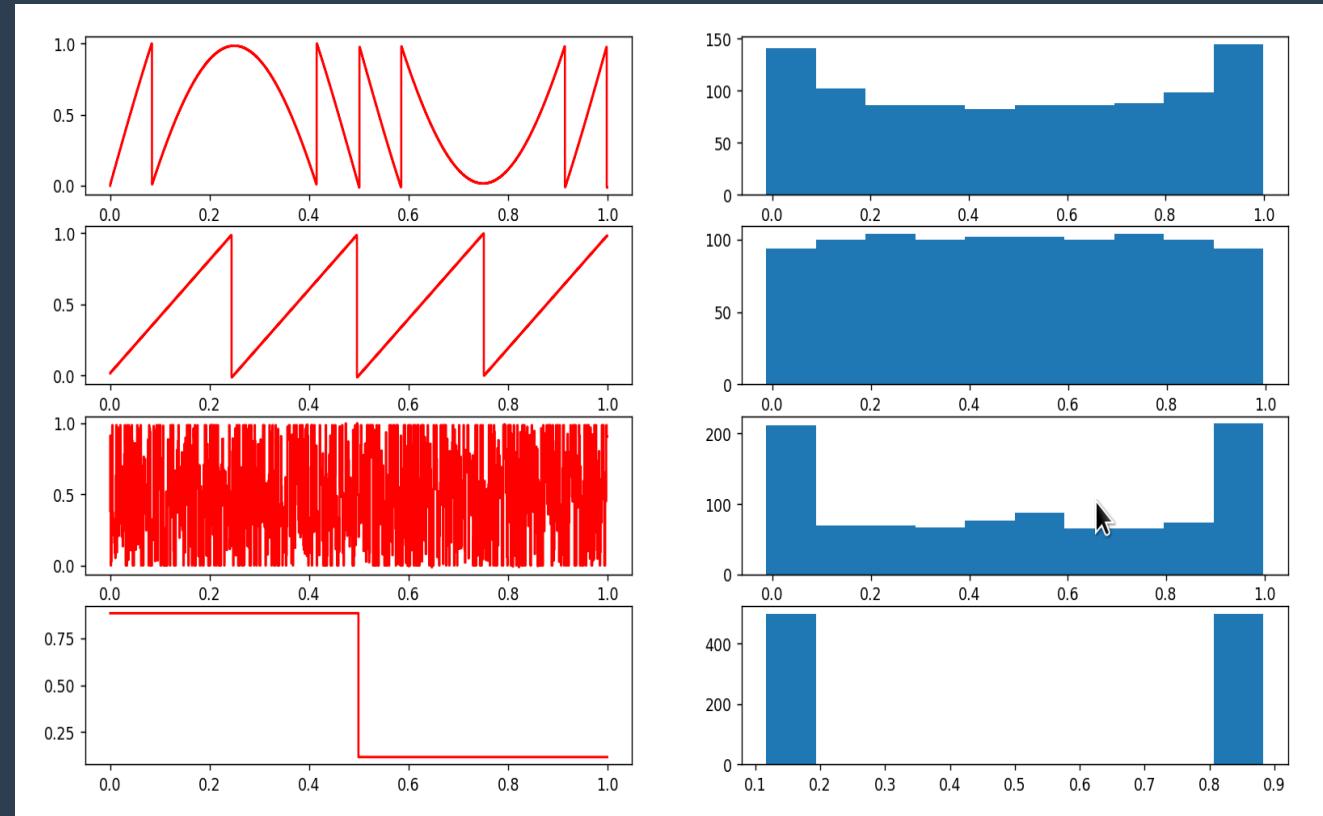
- En azul la señal sampleada con precisión 'infinita'
- En rojo la señal escalonada con precisión de 2 bits
- Ej: Calcule el error máximo para una señal de 1V, ADC de 10b entre 0-1V:
 $e=1/1024=0,000976562$ volts



Ver código: ruido_cuantizacion.py

Ruido de cuantización histograma

- Observando los histogramas se puede determinar si el error de cuantización se puede modelar o no como ruido
- En particular el error en una cuadrada no se comporta como ruido

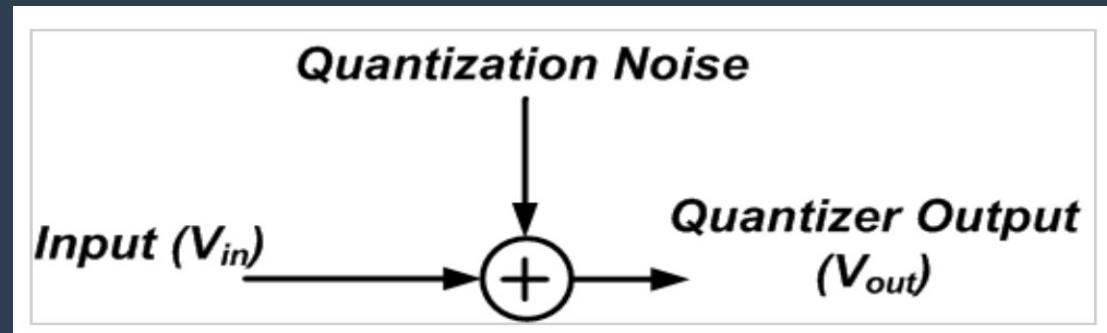


Ver código: [ruido_histograma.py](#)

Ruido de cuantización

En el caso de que se cumplan las siguientes premisas:

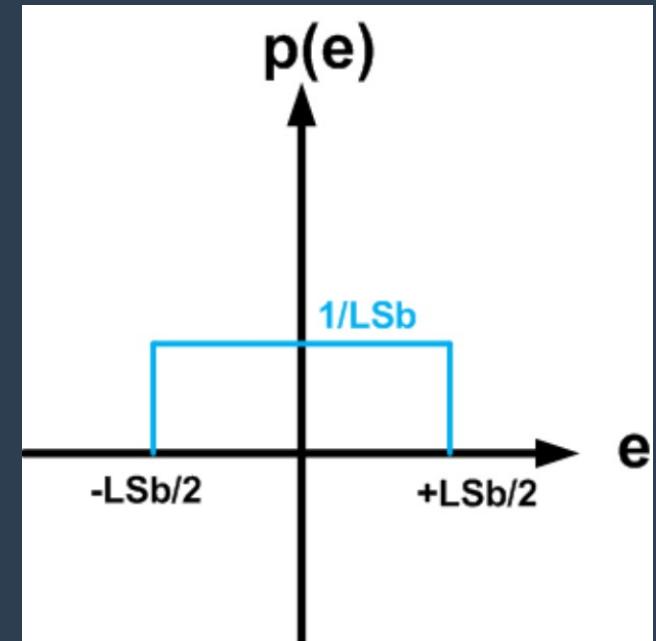
- La señal de entrada varia lo suficiente para que los diferentes niveles de cuantización tengan igual probabilidad de ocurrencia
- El error de cuantización NO esta correlacionado con la entrada
- El cuantizador cuanta con un numero relativamente largo de niveles
- Los niveles de cuantización son uniformes
- Se puede considerar la cuantización como un ruido aditivo a la señal según el siguiente esquema:



Densidad de ruido de cuantización

- Si el error de cuantización se considera ruido, la densidad de probabilidad del error es constante entre +- la mitad del bit menos significativo
- Como en toda densidad, el área vale 1
- Esto implica que el valor de la densidad para todo el error sera de:
 $1/\text{LSB}$

$$\int_{-\frac{\text{lsb}}{2}}^{\frac{\text{lsb}}{2}} p(e)de = 1$$



Potencia de ruido de cuantización

- Calculo de la potencia del ruido, en función del LSB
- (Nota: e^2 significa error máximo al cuadrado, NO es el numero e de Euler)

$$P_q = \int_{-\frac{lsb}{2}}^{\frac{lsb}{2}} e^2 p(e) de$$

$$P_q = \int_{-\frac{lsb}{2}}^{\frac{lsb}{2}} e^2 \frac{1}{lsb} de$$

$$P_q = \frac{1}{lsb} \left(\frac{e^3}{3} \Big|_{-\frac{lsb}{2}}^{\frac{lsb}{2}} \right)$$

$$P_q = \frac{1}{lsb} \left(\frac{(\frac{lsb}{2})^3}{3} - \frac{(-\frac{lsb}{2})^3}{3} \right)$$

$$P_q = \frac{1}{lsb} \left(\frac{lsb^3}{24} + \frac{lsb^3}{24} \right)$$

Potencia de ruido de cuantización

$$P_q = \frac{lsb^2}{12}$$

Relación señal a ruido

- Cálculo de la relación entre una señal senoidal de amplitud máxima y el ruido de cuantización en función de la cantidad de bits N
- Tip: $\cos 2x = \sin^2 x - \cos^2 x$

$$input = \frac{Amp}{2} \sin(t)$$

$$P_{input} = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{Amp}{2} \sin(t) \right)^2 dt$$

$$P_{input} = \frac{1}{T} \left(\frac{Amp}{2} \right)^2 * \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin(2t)}{4} \right) \Big|_0^T$$

$$P_{input} = \frac{Amp^2 T}{4T} \frac{2}{2}$$

$$P_{input} = \frac{Amp^2}{8}$$

$$lsb = \frac{Amp}{2^N}$$

$$lsb^2$$
$$P_{ruido} = \frac{lsb^2}{12}$$

$$P_{ruido} = \frac{\left(\frac{Amp}{2^N} \right)^2}{12}$$

$$P_{ruido} = \frac{Amp^2}{12 * 2^{2N}}$$

Relación señal a ruido

- Conociendo la potencia de señal y la del ruido se calcula su relación
- Que se puede hacer para mejorar la SNR en un sistema?

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{input}}{P_{ruido}} \right)$$

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{Amp^2}{8}}{\frac{Amp^2}{12 * 2^{2N}}} \right)$$

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{3 * 2^{2N}}{2} \right)$$

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{3}{2} \right) + 10 \log_{10} (2^{2N})$$

SNR

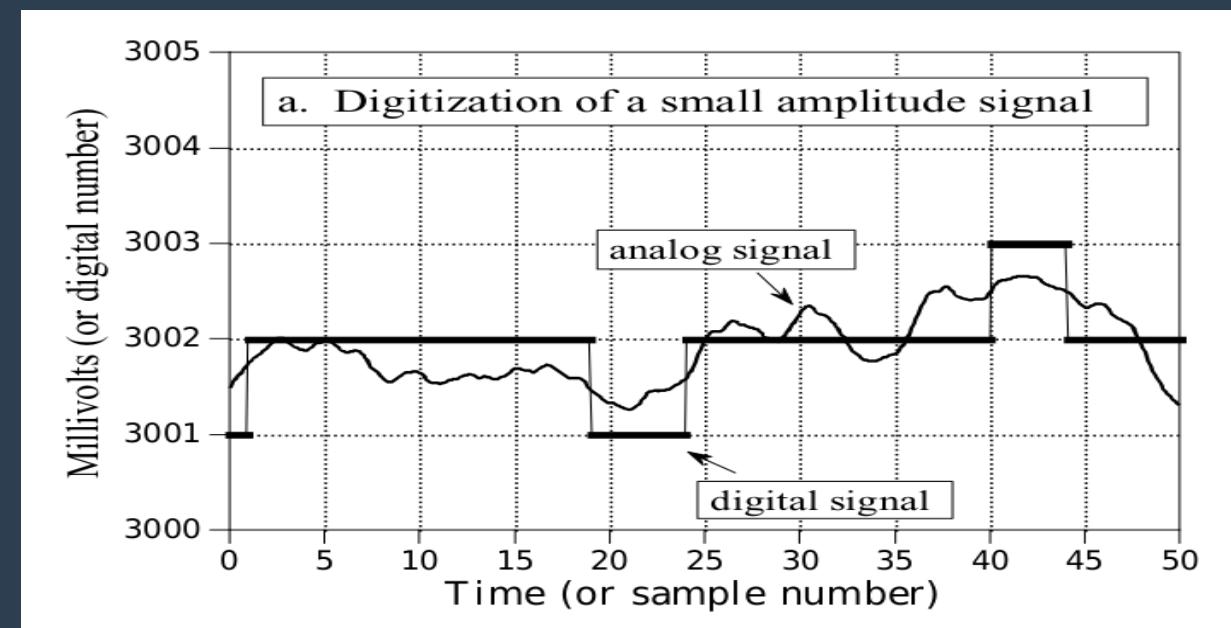
$$SNR = 1,76 + 6,02 * N$$

$$SNR_{N=10} \approx 62dB$$

$$SNR_{N=11} \approx 68dB$$

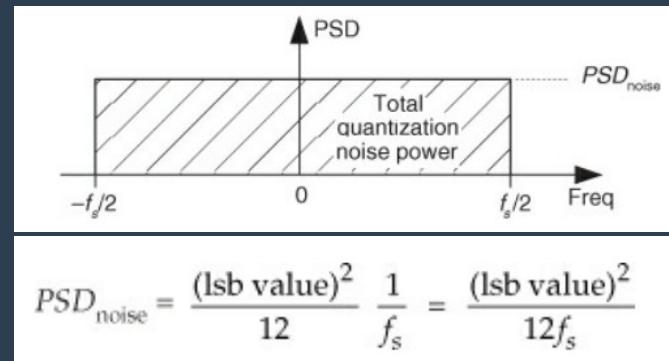
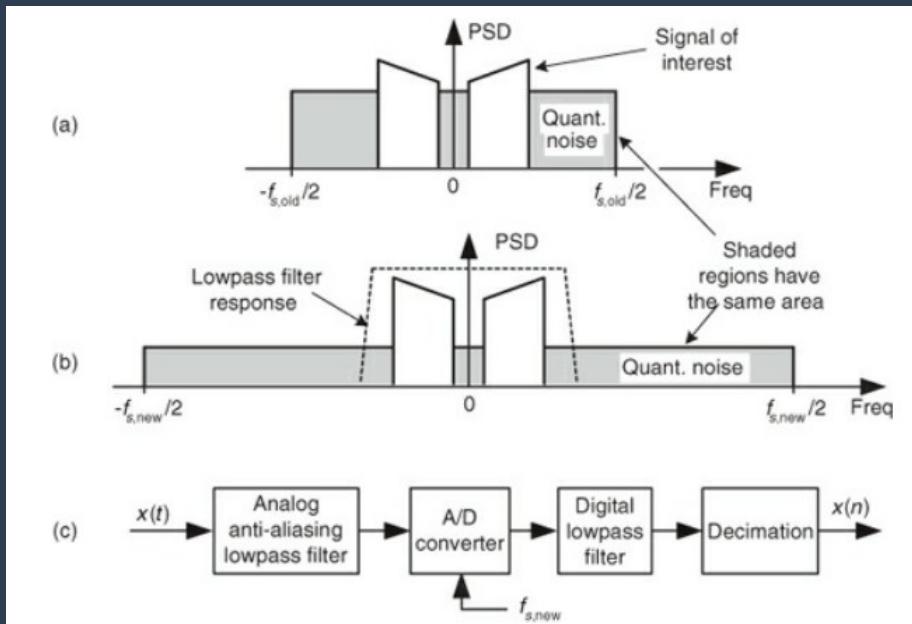
Dithering

- Técnica de agregado de ruido antes del ADC para prevenir que señales con poca variación sean sampleadas siempre con el mismo valor
 - Se suele utilizar una señal triangular
 - app note



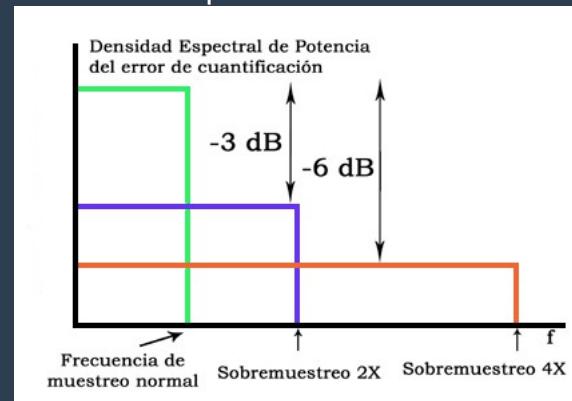
Densidad espectral de potencia de ruido

- Que se puede hacer para mejorar la SNR en un sistema?
- Se puede reducir el LSB
- Pero también se puede incrementar f_s !



$$SNR_{A/D-gain} = 10\log_{10}(f_{s,new}/f_{s,old}).$$

- $10 \log(4) = 6.02\text{dB}$
- 4x f_s equivale a 1 bit extra!

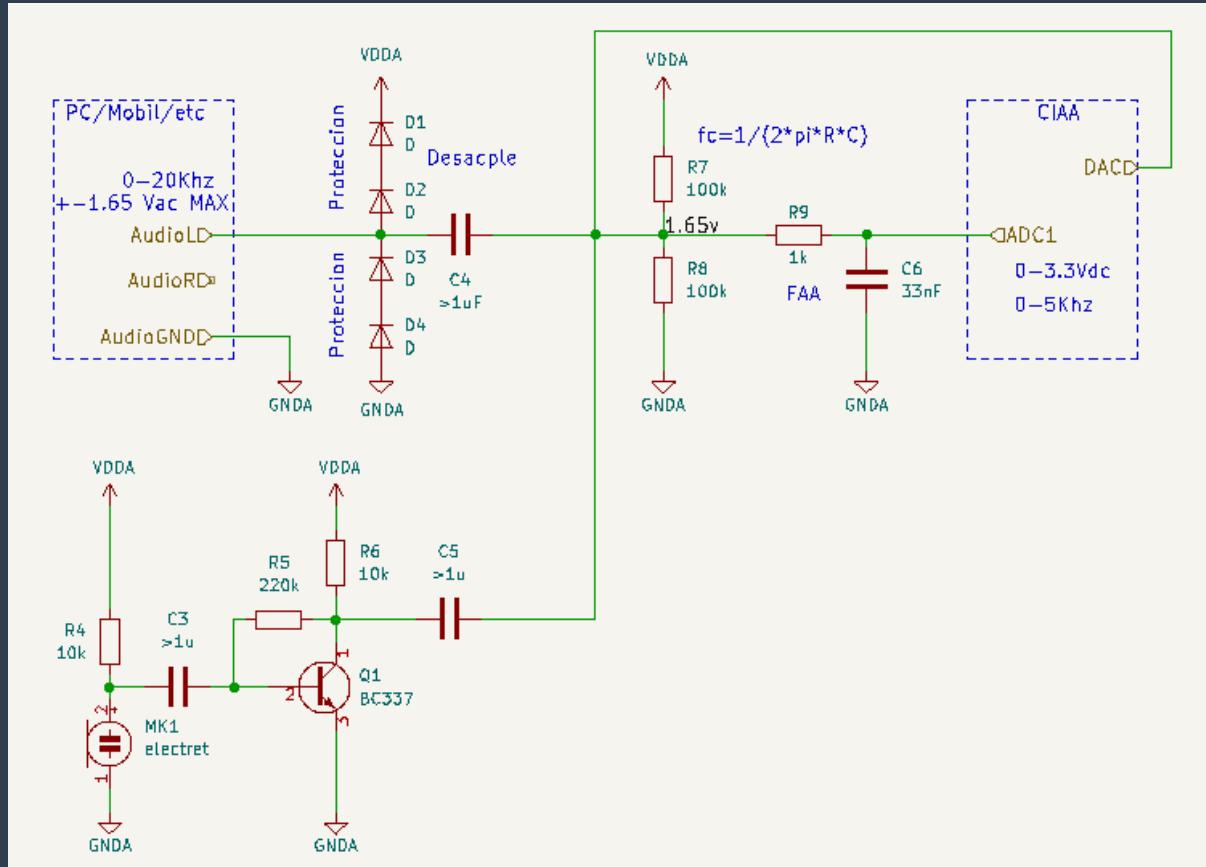


Hardware

Hardware – CIAA <> Python

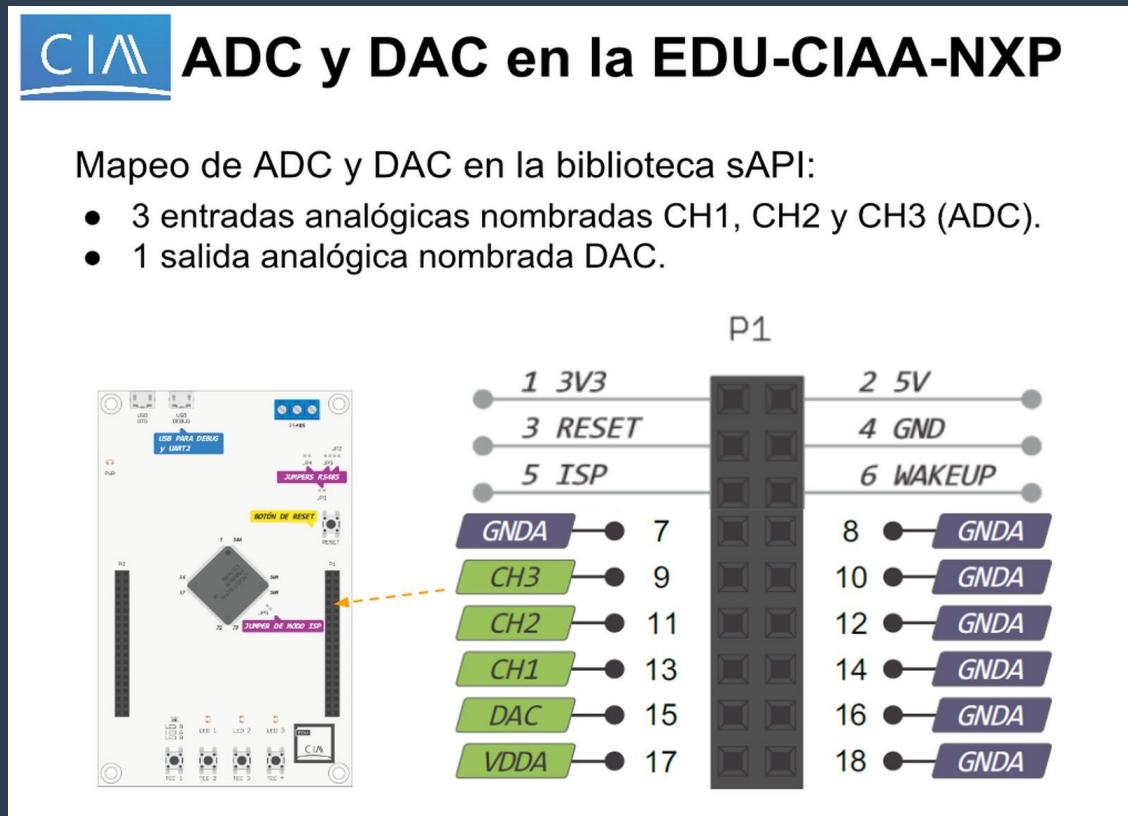
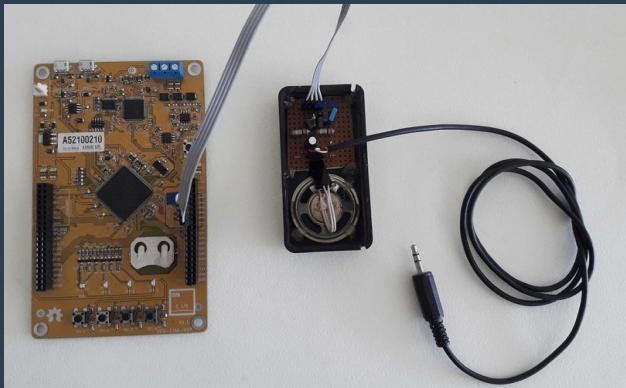
● Armar el circuito

- ADC1 para samplear (buscar Fs max y cantidad de bits)
- DAC para sintetizar (buscar Fs max y cantidad de bits)
- Micrófono
- Audio L como output o como input
- Protección de audio out en +- 1.65v
- Se puede agregar por comodidad un jumper al DAC y/o mic



Hardware – CIAA pinout

- Pinout CIAA y circuito de ejemplo armado en tarjeta multipropósito



Visualización

Superloop de adquisición

- Se propone capturar con el ADC
- Enviar los datos por la UART
- Visualizar con matplotlib
- Se envía un header y luego los samples uno a uno en int16_t
- Ver código: psf.c

```
struct header_struct {  
    char mark[8];  
    uint32_t id;  
    uint16_t length;  
    uint16_t fs ;  
} header={"*header*",0,256,20000};
```

00000030:	3201	1601	8e00	cbff	1bff	bffe	dcfe	65ff	2.....e.
00000040:	2700	d700	3201	1401	8a00	c9ff	19ff	c0fe	'...2.....
00000050:	dcfe	68ff	2b00	da00	3301	1301	8700	c6ff	..h.+..3.....
00000060:	16ff	befe	df fe	6aff	2e00	db00	3201	1101	. .j....2.....
00000070:	8600	c2ff	15ff	befe	e0fe	6fff	3200	df00o.2.....
00000080:	2a68	6561	6465	722a	643e	0000	8000	1027	*header*d>....
00000090:	656e	642a	a300	e8ff	30ff	c5fe	d1fe	4dff	end*....0....M.
000000a0:	0d00	c300	2d01	2001	a300	e4ff	2dff	c5fe-.....-
000000b0:	d1fe	4fff	0f00	c500	2d01	1f01	a100	e1ff	. .0.....-
000000c0:	2bff	c3fe	d3fe	53ff	1200	c800	2e01	1e01	+.....S.....
000000d0:	9d00	deff	28ff	c3fe	d4fe	55ff	1400	ca00(.....U.....
000000e0:	3001	1d01	9b00	daff	27ff	c2fe	d5fe	57ff	0.....'.....W.
000000f0:	1800	cc00	2f01	1b01	9800	d8ff	23ff	c2fe/.....#.....
00000100:	d7fe	5aff	1c00	cf00	3101	1b01	9500	d4ff	. .Z.....1.....
00000110:	21ff	c1fe	d7fe	5dff	1f00	d100	3101	1901	!.....].....1.....
00000120:	9300	d1ff	1fff	c1fe	d9fe	61ff	2200	d300a.".....
00000130:	3101	1701	9100	ceff	1dff	c0fe	dbfe	63ff	1.....c.....
00000140:	2500	d500	3201	1501	8d00	ccff	1bff	bffe	%....2.....
00000150:	dcfe	66ff	2900	d800	3301	1601	8a00	c8ff	. .f.)....3.....
00000160:	18ff	bffe	ddfe	69ff	2c00	da00	3201	1301i.,....2....
00000170:	8800	c5ff	16ff	bdfe	dffe	6bff	2f00	dd00k./....
00000180:	3401	1201	8500	c2ff	15ff	bffe	e0fe	6eff	4.....n.....
00000190:	3200	de00	2a68	6561	6465	722a	653e	0000	2...*header*e>..
000001a0:	8000	1027	656e	642a	a000	e3ff	2dff	c4fe	...'*end*....-
000001b0:	d1fe	4fff	0e00	c500	2d01	1f01	a000	e1ff	..0.....-

0x1234 (dos bytes por sample)

header

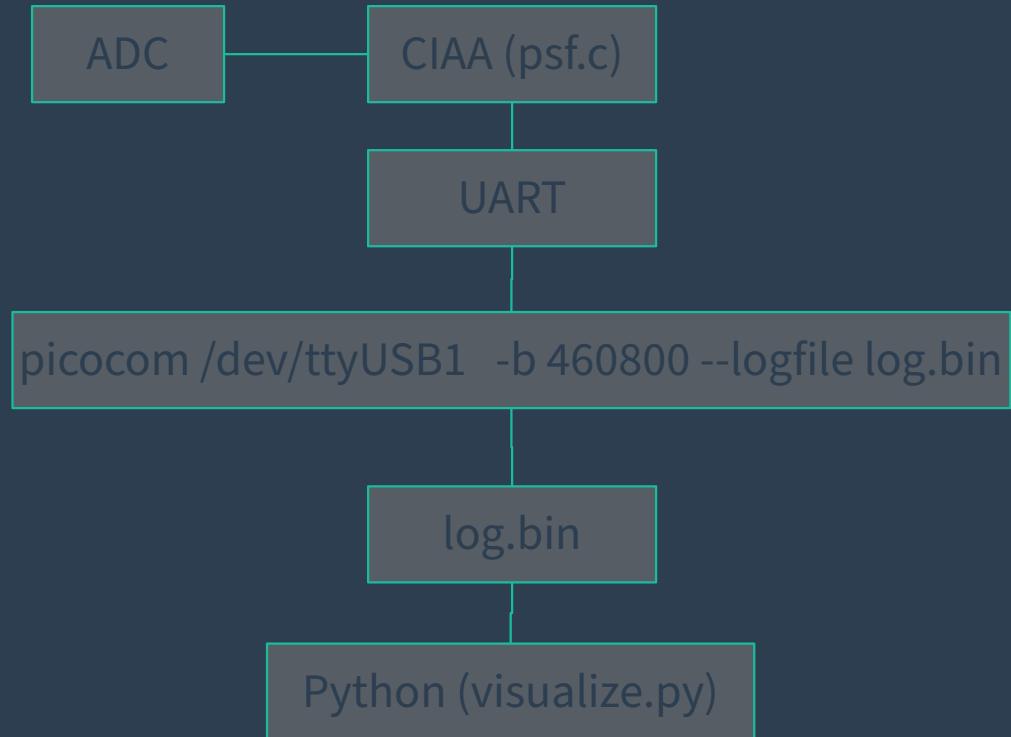
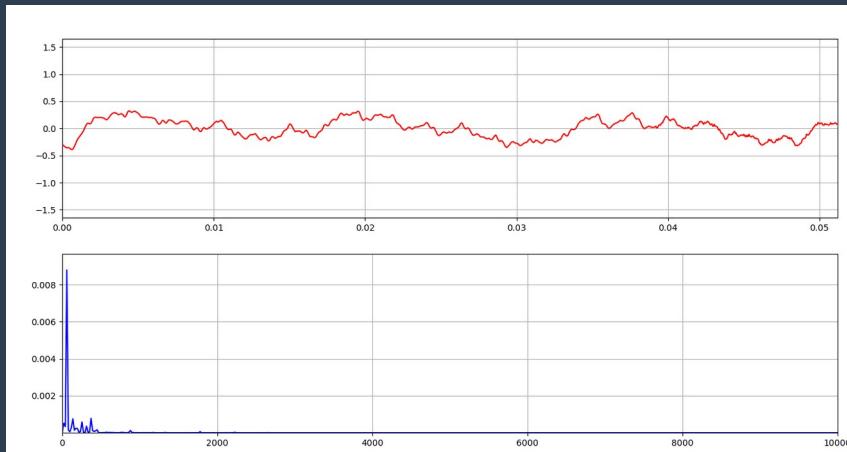
sample

sample

sample

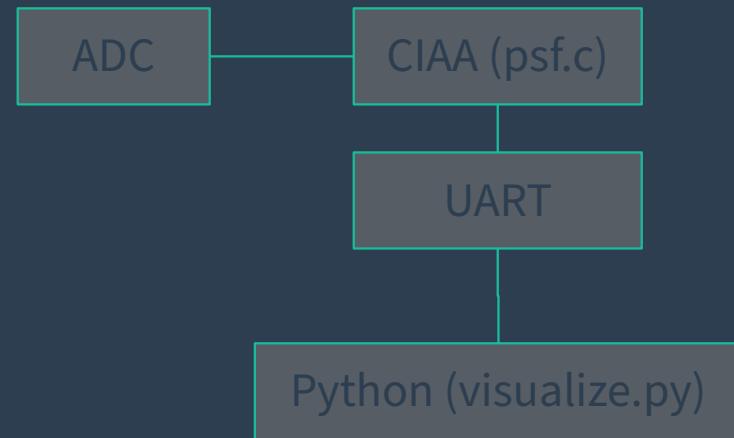
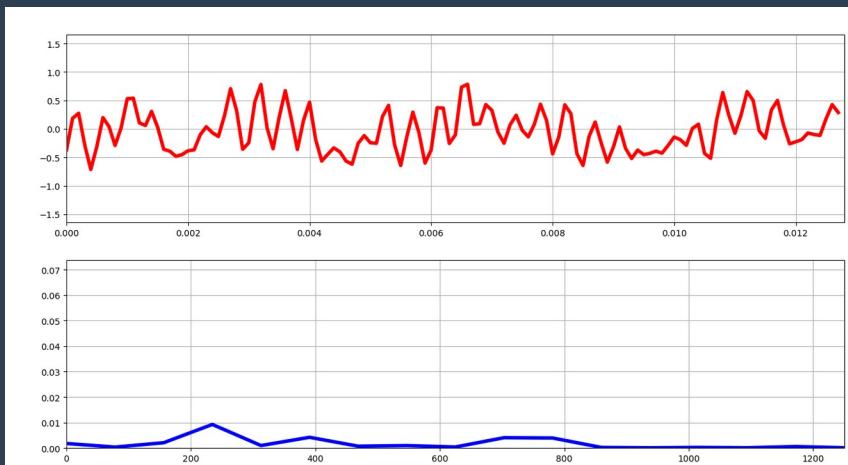
Envío por UART y grabación a archivo

- Se propone utilizar picocom v3.1 que permite reenviar los datos a un archivo
- Luego se lee el archivo desde Python
- Se grafica con matplotlib
- Tiene la ventaja de poder volver a procesar los datos offline.
- En Linux demostró no perder ningún byte



Envío por UART y recepción con pyserial

- Se propone leer directamente los datos utilizando la biblioteca pyserial.
- Se procesan los datos y se grafican con matplotlib
- En ciertos casos se encontró que agrega bytes en cero. Se mitiga el problema con flush, pero se pierden tramas.



Ancho de banda máximo por UART@460800bps

- Se calcula el ancho de banda máximo para transmitir datos desde la CIAA a la PC. Se determino empíricamente que el baudrate máximo que soporta la CIAA es de 460800bps limitado por el conversor USB.
- En función de esa tasa se podrá predecir cual sera la capacidad del sistema de visualización en tiempo real, sin perdida de tramas.
- Sin embargo es posible capturar datos a mayor velocidad si se utiliza otro método de visualización, se acepta el descarte de tramas, compresión, menos bits por muestra o almacenamiento

$$USB <> \text{UART}_{\text{maxbps}} = 460800 \text{ bps}$$

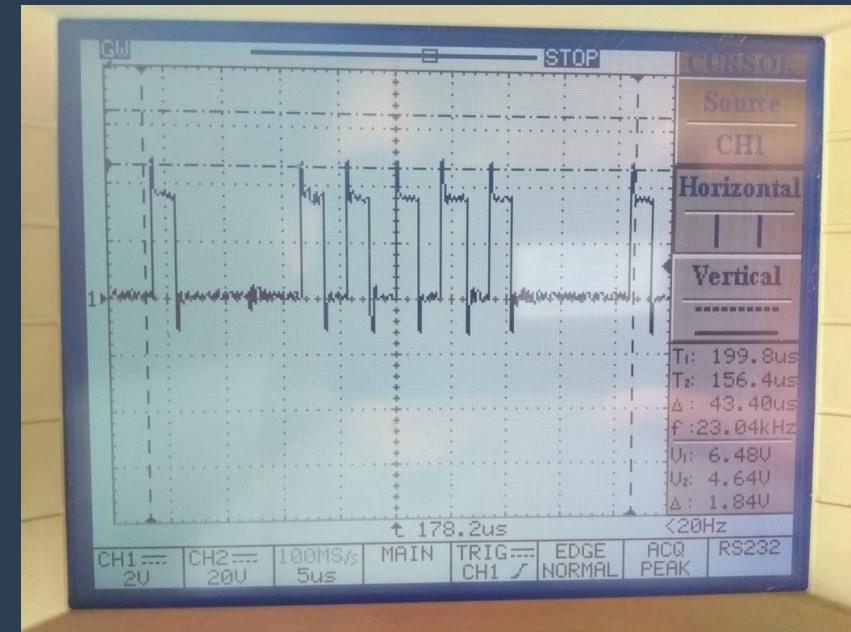
$$\text{Eficacia} = \frac{10b}{8b} = 0,8$$

$$\text{bits muestra} = 16$$

$$\text{Tasa efectiva} = \frac{460800 \text{ bps} * 0,8}{16} = 23040$$

Máxima señal muestreable y reconstruible

11520hz



Calculo del FAA @Fs=20K y B=10K

- Considerando Fs=20Khz entonces se espera un ancho de banda máximo de 10Khz
- Se muestra el calculo de un filtro RC de 1er orden para mitigar el efecto de sanaless mayores a 10K.
- Sin embargo, dado que la pendiente de atenuación del filtro no es muy abrupta, se puede optar por aumentar la Fs o reducir B para minimizar el efecto del aliasing.
- Otra alternativa es aumentar el orden del filtro

Calculo del filtro antialias 1er orden R-C

$$B = 10\text{ kbps}$$

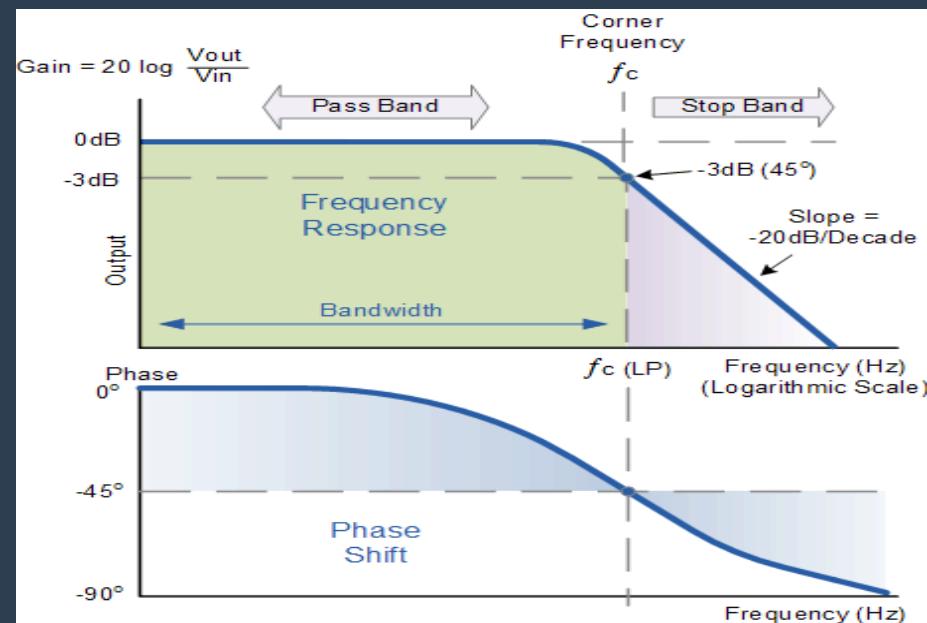
$$f_{corte} = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

$$R = 1\text{k}\Omega$$

$$C = \frac{1}{f_{corte} * R * 2 * \pi} \approx 15\text{nF}$$

Máxima señal muestreable y reconstruible

11520hz



Hardware – CIAA config

- Para compilar entrar en el directorio ciaa
- Setear el nombre del la carpeta y el nombre del proyecto en el archivo Makefile
- make download para cargar el codigo

```
10 # Board default value
11 BOARD = edu_ciaa_nxp
12
13 # Board from an external board.mk file
14 -include board.mk
15
16 # Program path and name -----
17
18 # Program path and name default values
19 PROGRAM_PATH = ../clases/1_clase/ciaa
20 PROGRAM_NAME = psf1
21
```

- Para visualizar en python posicionarse en el directorio 1_clase/ciaa/psf
- Abrir el archivo visualize.py y setear el puerto de comunicaciones
- Lanzar python3 visualize.py

```
!visualize.py > [No Name] >
1  #!/usr/bin/python3
2  import numpy as np
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  from matplotlib.animation import FuncAnimation
5  import os
6  import io
7  import serial
8  STREAM_FILE=("/dev/ttyUSB1","serial")
9  #STREAM_FILE=("log.bin","file")
10
11 header = { "head": b"head", "id": 0, "N": 128, "fs": 1000}
12 fig = plt.figure(1)
13
14 adcAxe = fig.add_subplot(2,1,1)
15
```

Organización

Evaluación – Trabajos prácticos

- TP1 - 5 pts

- Señales y sistemas LTI
- Teorema del sampleo
- Ruido de cuantización
- Generación y simulación en Python
- Adquisición y reconstrucción con la CIAA
- Sistema de números Q vs Float

- TP2 - 5 pts

- Transformada / antitransformada de Fourier.
- Convolución
- Filtrado
- En PC y CIAA / CMSIS-DSP

- TP final – factor de escala que aplica a la suma de las notas de los TP's de 0 a 1,5 veces
 - Deberá incluir algún tipo de procesamiento en hardware. ej. DFT/IDFT, Convolución, filtrado, etc.
 - Puede utilizar el ADC para samplear, DAC para reconstruir y/o canales de comunicación para adquirir datos previamente digitalizados.
 - Acelerómetros, IMU's, microfono, señales biomedicas, detectores, etc. son señales validas
 - Presentación de 10 minutos.
 - Deberá funcionar!
- Entrega fuera de fecha multiplica x 0.9

Fechas límite para entregar TP's

- TP1: clase 5
- TP2: clase 8
- TP final: clase 8 (en ciertos casos se podría contemplar extensión de 1 semana. O incluso 2 semanas pero con penalidad en la nota)

abril							mayo							junio						
do	lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	lu	ma	mi	ju	vi	sá
					1	2		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14	15	5	6	7	8	9	10
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21	22	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28	29	19	20	21	22	23	24
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31					31	26	27	28	29	30	
julio							agosto							septiembre						
do	lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	lu	ma	mi	ju	vi	sá
					1	2		1	2	3	4	5	6		1	2	3			
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	14	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	21	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	28	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30	28	29	30	31				31	25	26	27	28	29	30

Calculo de nota final

- Se suman las notas de cada tp y se multiplica por el factor obtenido en el TP final
 - El tp final otorga entre
 - 0 en el caso de que no presente el tp y
 - 1.5 en caso de que sea sobresaliente.
 - $1,3 * 0,9$ en caso de que sea muy bueno, pero entrega fuera de fecha
 - Ej:
 - $Tp1=3, Tp2=4, Tpf=1.2 \Rightarrow (3+4)*1.2 = 8,4$
 - $Tp1=5, Tp2=5, Tpf=0 \Rightarrow (5+5)*0 = 0$
 - $Tp1=1, Tp2=1, Tpf=1,5 \Rightarrow (1+1)*1,5 = 3$

TP final – Proyectos - Ideas

- Sintetizador y/o reproductor de audio con el DAC
 - app note
- Afinador de guitarras (v2)
 - Esta desarrollado por Pablo Slavkin, pero se puede mejorar o utilizar de base para otro instrumento
- Análisis de vibraciones mecánicas
 - Diagnóstico mecánico basado en análisis de vibraciones
- Agregar eco, reverb, al audio
 - procesar audio y generar efectos
- Distorsionador de guitarra/instrumento
 - Efectos para guitarra y otro instrumento
- Busca llave con silbido (featured!)
 - Se trata de activar un sonido cuando se detecta un silbido humano.
 - Util para encontrar las llaves de la casa, la mascota, o el control remoto
- Aplicaciones con acelerómetro, magnetómetro, T+H
- Análisis de señales biomédicas
- Sistemas de control automático

Material de la materia y links afines

- Material de la materia en github:

- https://github.com/pslavkin/psf_2022

- Encuesta anónima

- <https://forms.gle/1j5dDTQ7qjVfRwYo8>

- Encuesta tecnologías:

- <https://forms.gle/rHRbXMerj6npjkdm7>

- Trabajos presentados en las ediciones previas

- 2020

- <https://drive.google.com/drive/folders/1fWSO5NvWQLMzBDe1wcpmfjd1JFiERG5?usp=sharing>
 - Afinador guitarra

- 2021

- https://docs.google.com/presentation/d/1FjsH7fxjbQoOANveXR_8EkVMCgVolYAOoWWv6my4350/edit?usp=sharing
 - <https://docs.google.com/presentation/d/1CD4qitEbdFZf2u4pPqeQ-W4AcgALzL2mi9EwG63tAhA/edit?usp=sharing>
 - https://docs.google.com/presentation/d/1Q5KuCzW1wUFnUZAteKZMK9PZ_8jZrnCDOOZQEjR8f8/edit?usp=sharing
 - https://docs.google.com/presentation/d/1cBTe6nbgt1t_GfjSMcmi7jsiq0HnF9490Al3KjBgBOXA/edit?usp=sharing
 - <https://drive.google.com/file/d/1VZ4QuVARYMVQJDQiCEYzRGNShzql-Pdk/view?usp=sharing>
 - <https://drive.google.com/file/d/1rMImP6DEmocispCR7e540cW4QSXYshtP/view>
 - https://docs.google.com/presentation/d/1BUse3eIplogLIYDkQMBox1At7RaYhi3xM60fQdNRG/edit#slide=id.g1f87997393_0_782

- Video presentación de afinador de guitarras 2019:

- clases/ciaa_guitar_tunner

Bibliografía

- ***The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing***

- Steven W. Smith.

- ***Think DSP - Digital Signal Processing in Python***

- Allen B. Downey

- **Understanding digital signal processing.**

- Richard Lyons.

- **Digital Processing of Random Signals: Theory and Methods.**

- Boaz Porat

- **Think Python, 2nd Edition, - How to Think Like a Computer Scientist**

- Allen B. Downey

- **Digital Signal Processing. A practical approach.**

- Emmanuel C Ifeachor, Barrie W Jervis

- **Introduction to Python Programming.**

- NW. Taylor, Francis Group, LLC.

- **Illustrated guide to python 3**

- Matt Harrison

- ***Numpy guide***

- <https://numpy.org/doc/stable/user/index.html>

- **Anaconda**

- <https://www.anaconda.com/products/individual>

- **CMSIS-DSP**

- https://arm-software.github.io/CMSIS_5/DSP/html/index.html

- **Q numbers**

- Yates, Randy, "Fixed-Point Arithmetic: An Introduction"
 - <http://www.digitalsignallabs.com/fp.pdf>

- **Generador de coordenadas XY a partir de SVG**

- <https://spotify.github.io/coordinator/>

- **Explicación intuitiva de convolución**

- <https://betterexplained.com/articles/intuitive-convolution/>

- **Pyfdax install**

- <https://github.com/chipmuenk/pyfda>