

BLOQUE 1

Circuito Puente
CORRIENTE CONTINUA (CC)

SEÑALES AC

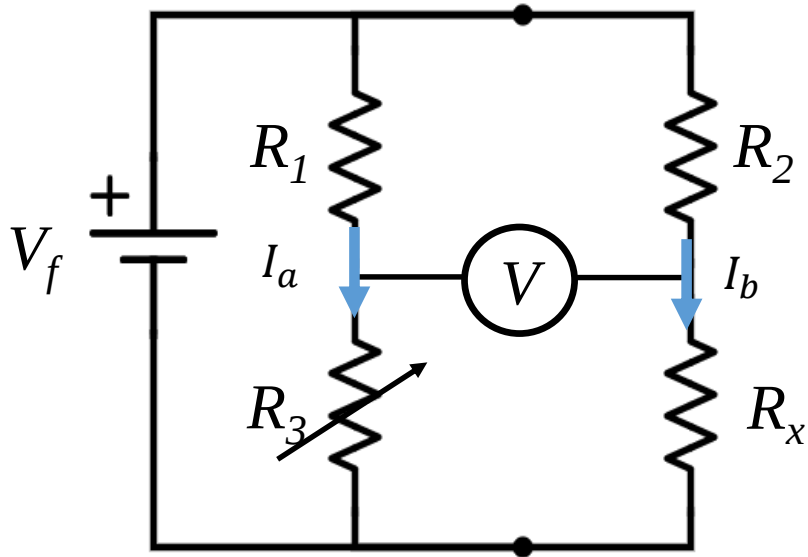


LABORATORIO 3
1er cuatrimestre 2025

CIRCUITOS PUENTE

PUENTE DE WHEATSTONE

Puente de Wheatstone



Medición de una resistencia R_x

$$I_a * (R_1 + R_3) = I_b * (R_2 + R_x)$$

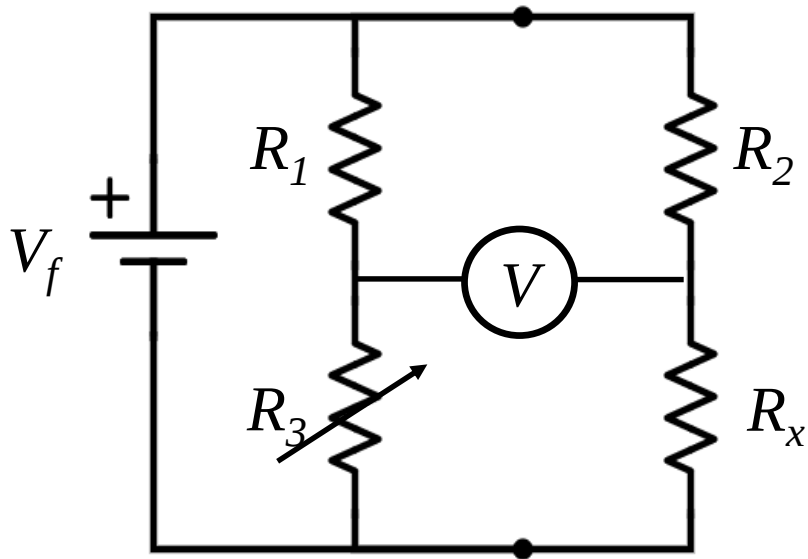
Se varía R_3 para obtener $V=0$

$$V = 0 \quad \longrightarrow \quad I_a * R_1 = I_b * R_2$$

$$R_2 * R_3 = R_1 * R_x$$

Conocidos R_1 , R_2 y R_3 se determina el valor de R_x

Puente de Wheatstone



Se balancea el puente $V=0$

Medición de un parámetro M con $R_x(M)$

Varía $M \rightarrow$ varía R_x

Para un mismo $\Delta R \rightarrow$ Mayor $\Delta V \rightarrow$ Mayor **sensibilidad**

Si varía $R_x \rightarrow R_x = R_{xeq} + \Delta R \rightarrow \Delta V$

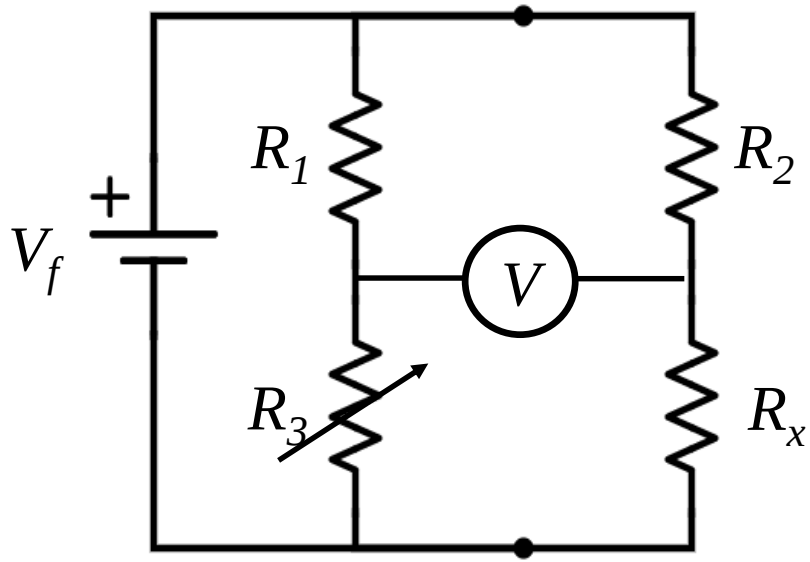
$$I_a * (R_1 + R_3) = I_b * (R_2 + R_x)$$

$$V = 0 \rightarrow I_a * R_1 = I_b * R_2$$

$$R_2 * R_3 = R_1 * R_x$$

$$\frac{\Delta V}{V_f} \approx \frac{\Delta R}{R_{xeq}} * \frac{R_2 * R_3}{(R_1 + R_3) * (R_2 + R_{xeq})}$$

Experimento – Puente de Wheatstone



- ✓ Balancear el puente variando R_3
- ✓ Medir la sensibilidad del puente variando R_x

SEÑALES AC

Evolución de las mediciones...

Medir: determinar numéricamente el valor de una magnitud - se trata de una variable analógica



Osciloscopio analógico

Sistema de adquisición de datos (DAQ)



<https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

https://marceluda.github.io/python-para-fisicos/tuto/lab02/05_instrumentacion/

Sensor



Convierten las magnitudes físicas en señales eléctricas. Entrega una señal eléctrica analógica (o digital)



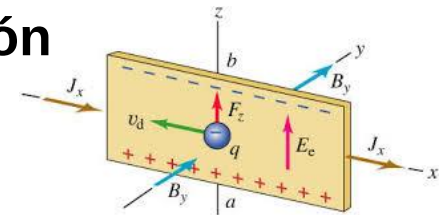
Señal eléctrica ruidosa



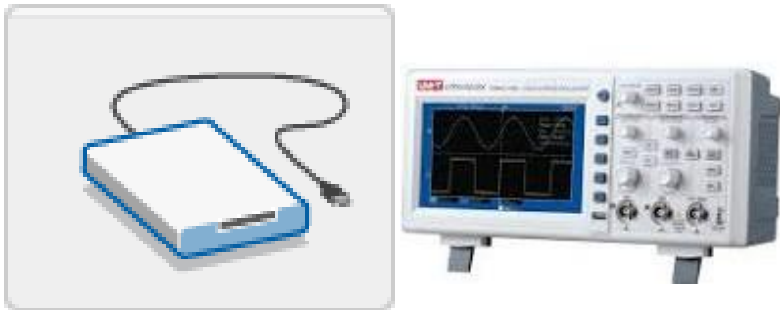
•Sonda de tensión

•Sensor de campo magnético

Efecto Hall



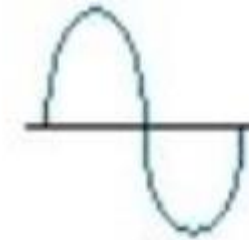
Instrumento de adquisición



Dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

Componentes principales :

- Circuito de acondicionamiento de señales (atenuación/amplificación, filtrado, multiplexado...)
- Convertidor analógico-digital (ADC)



Señal filtrada y amplificada

Circuito de acondicionamiento de señales : manipula una señal de tal forma que sea apropiada para entrada a un ADC

Detector



Convierten las magnitudes físicas en señales eléctricas. Entrega una señal eléctrica analógica.



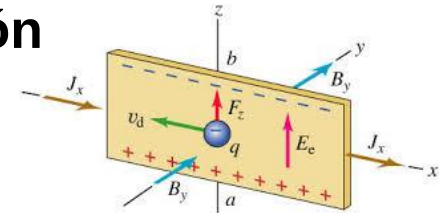
Señal eléctrica ruidosa



•Sonda de tensión

•Sensor de campo magnético

Efecto Hall



Instrumento de adquisición

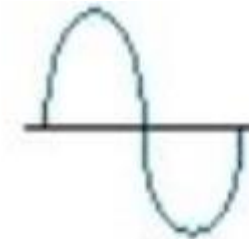


Dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

Componentes principales :

- Circuito de acondicionamiento de

Conversor analógico-digital (ADC) :
Convierte las señales analógicas acondicionadas en valores digitales.
Realiza "muestras" periódicas de la señal a una frecuencia predefinida



Señal filtrada y amplificada



Resolución (en bits)

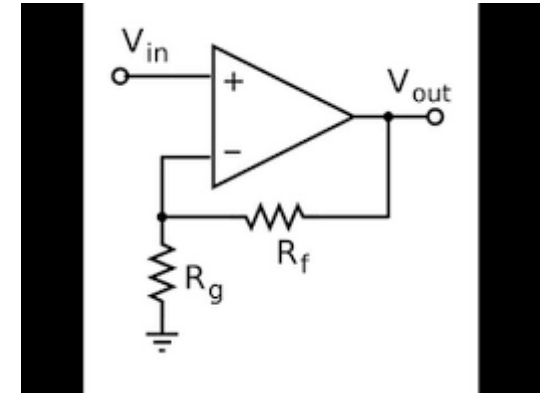


de muestras/s

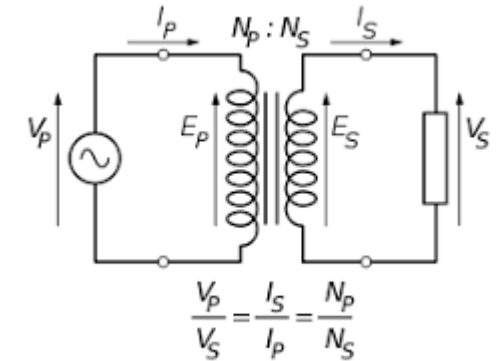
Señal digitalizada

Acondicionamiento

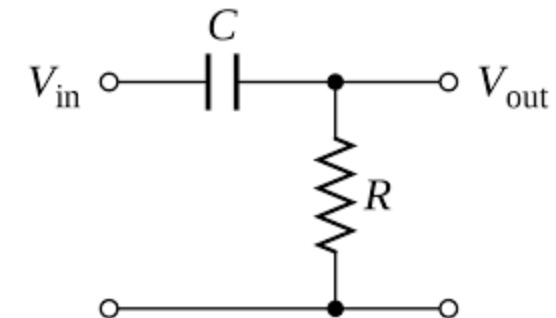
Amplificación: las señales de bajo voltaje deben ser amplificadas para mejorar la resolución y disminuir el ruido. Se debe tener en cuenta que el rango de amplificación no supere el rango de entrada del hardware.
(amplificadores operacionales → no se estudiarán en este curso)



Aislamiento: por cuestiones de seguridad la señal generada por el transductor es aislada. La señal puede contener picos de alto voltaje capaces de dañar al conversor. (Uso de transformadores)

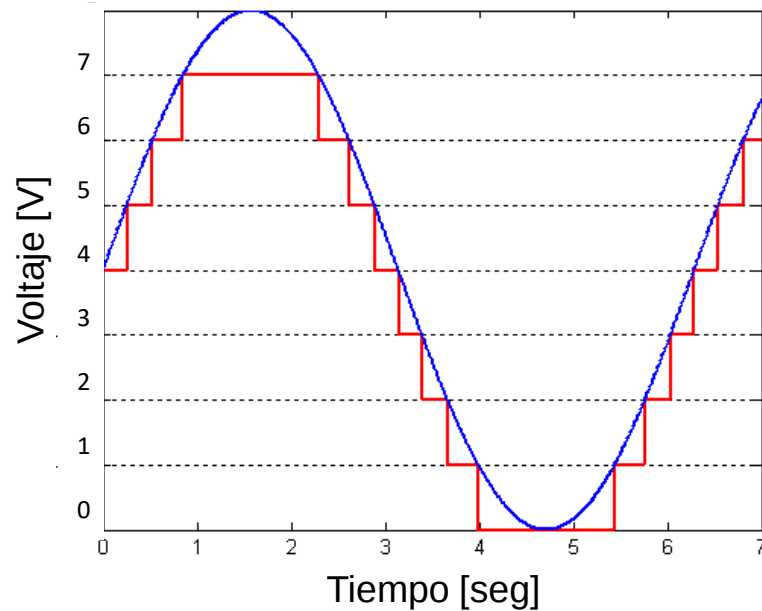


Filtrado: las señales no deseadas (“ruido”) son eliminadas seleccionando la banda de frecuencia en la que se encuentra la señal de interés (filtros pasa-banda, pasa-altos y pasabajos).



Conversión Analógica-Digital(ADC)

Discretización de la señal



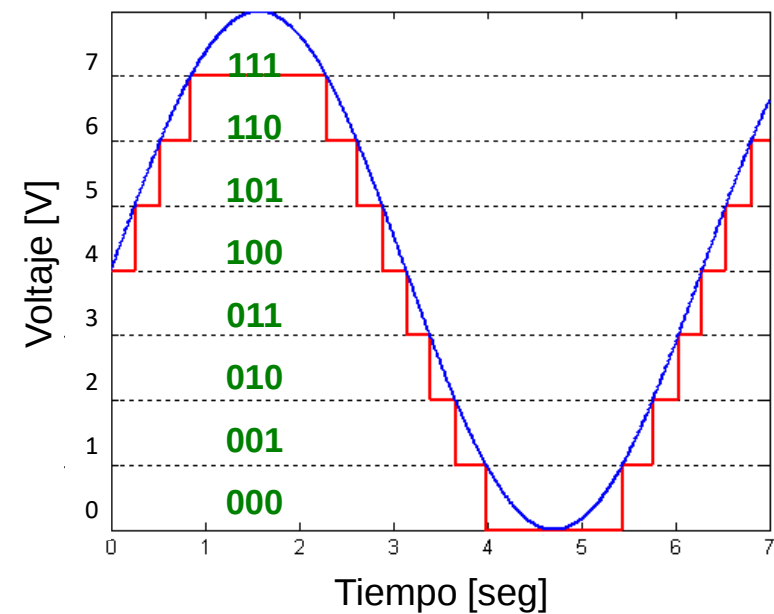
3 bits:
 $2^3 = 8$ valores

$$D_{out} = \sum_{m=0}^{n-1} B_m 2^m$$

1	0	1
2^2	2^1	2^0

$V=f(t) \longrightarrow \begin{cases} \{V_1, \dots, V_N\} \\ \{t_1, \dots, t_N\} \end{cases}$

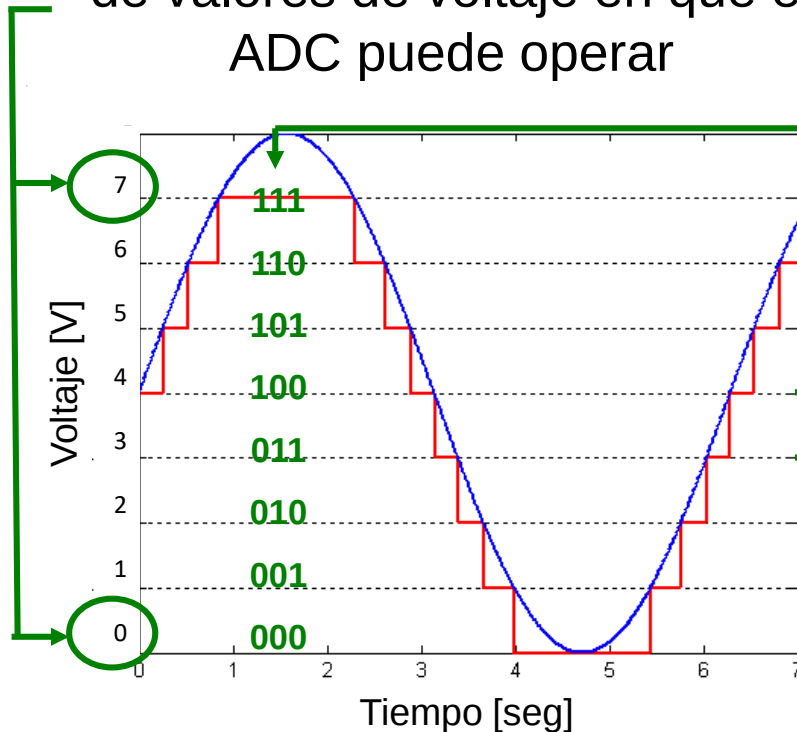
Codificación en binario



Conversión Analógica-Digital (ADC)

- Rango operativo

El rango operativo es el rango de valores de voltaje en que el ADC puede operar



- Resolución

La resolución de un ADC es el número de bits que posee

3 bits: $2^3 = 8$ valores

$$D_{out} = \sum_{m=0}^{n-1} B_m 2^m$$

1	0	1
2^2	2^1	2^0

- Sensibilidad

Determina la magnitud mínima que debe tener un cambio en la señal para ser detectado

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Rango operativo}}{2^{N^{\circ} \text{ bits}} - 1}$$

Ejemplos de Resolución / Precisión Sensibilidad / Exactitud

Resolución?

- 8 bits? $2^8 = 256$
- 10 bits? $2^{10} = 1024$

→ Cantidad de estados para representar la señal analógica

Sensibilidad?

Para la escala vertical del osciloscopio de 5 V/div
 $\text{LSB} = \text{Escala Total} / (2^N - 1) = 50 \text{ V} / 255 = 0.20 \text{ V}$

→ Mínima variación detectable

Precisión?

Repetibilidad de las mediciones → Ruido

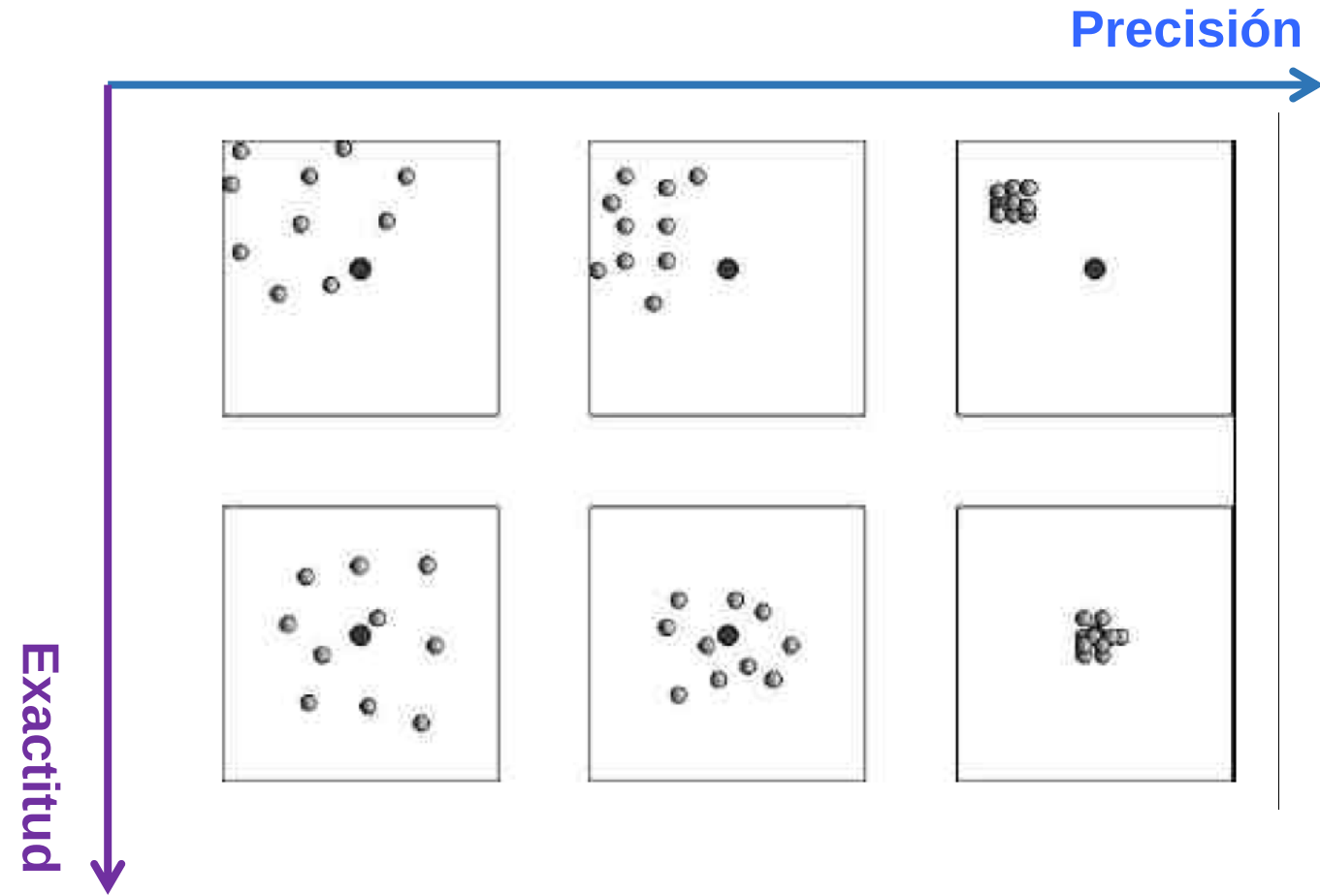
→ Influencia de factores externos sobre la capacidad de detección

Exactitud?

Requiere una calibración contra patrones!

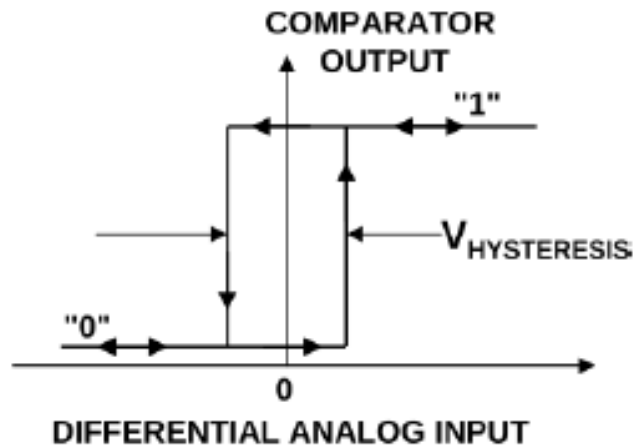
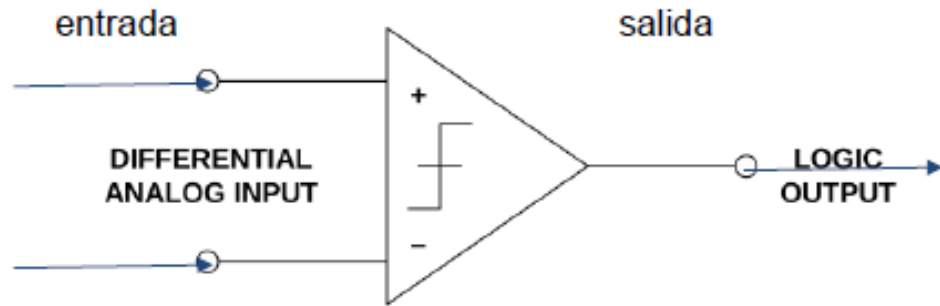
→ Proximidad con el valor real

Ejemplos de Resolución / Precisión Sensibilidad / Exactitud

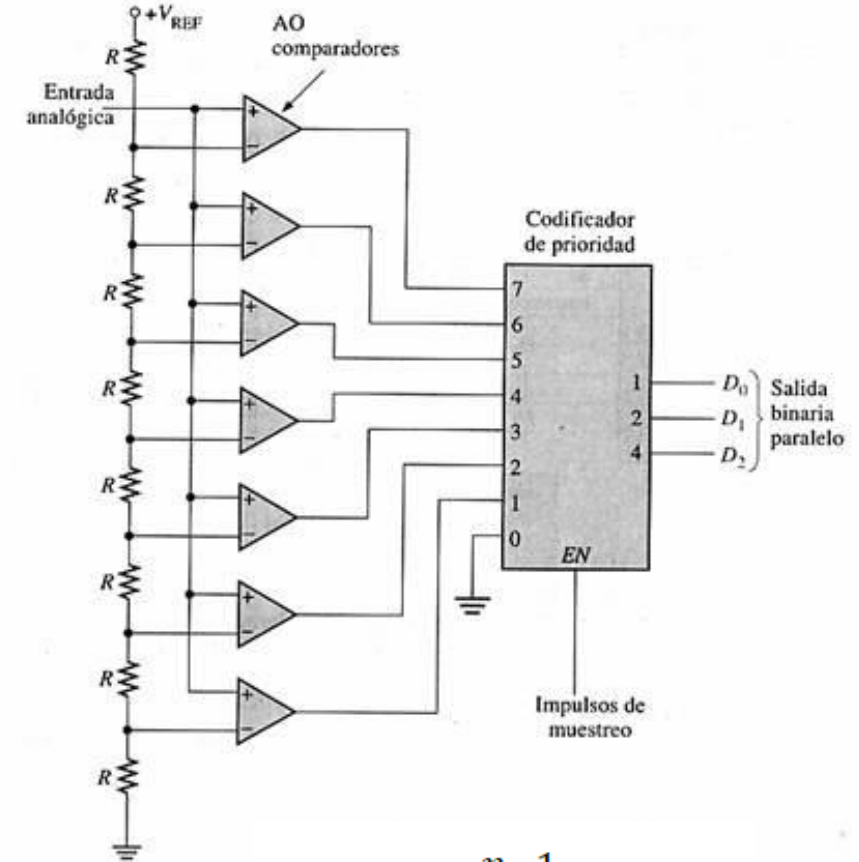


El proceso de la conversión analógica-digital (ADC)

Método comparativo



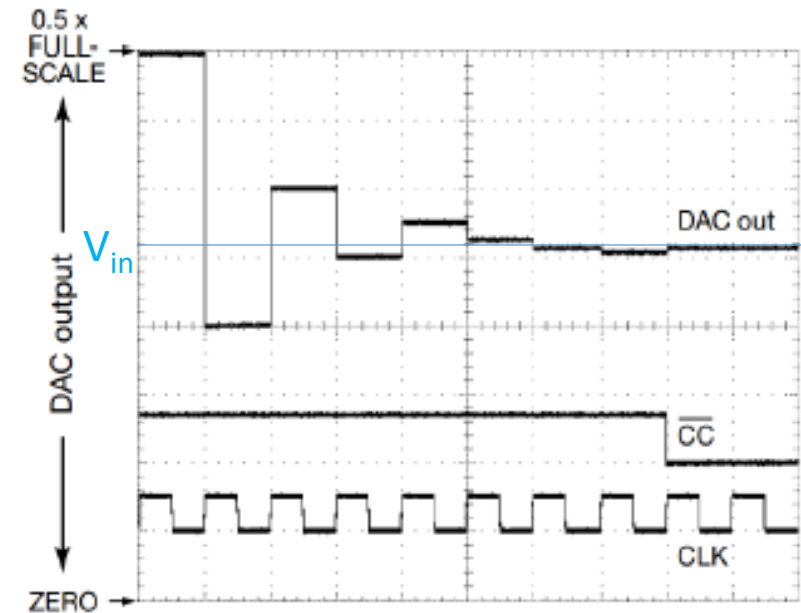
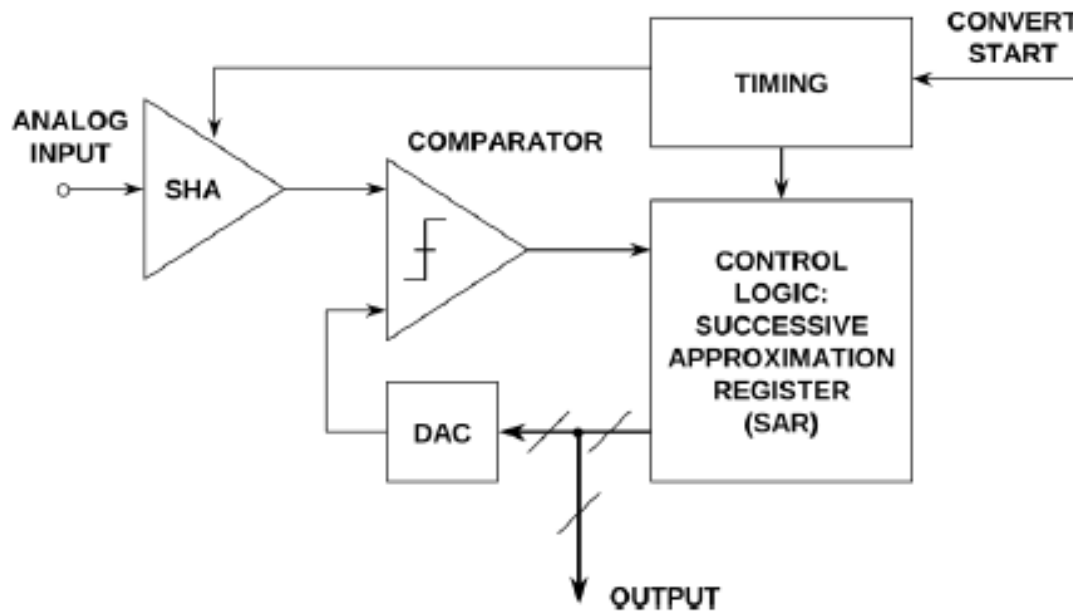
ref: Analog Devices,
"Basic Linear Design"



$$D_{out} = \sum_{m=0}^{n-1} B_m 2^m$$

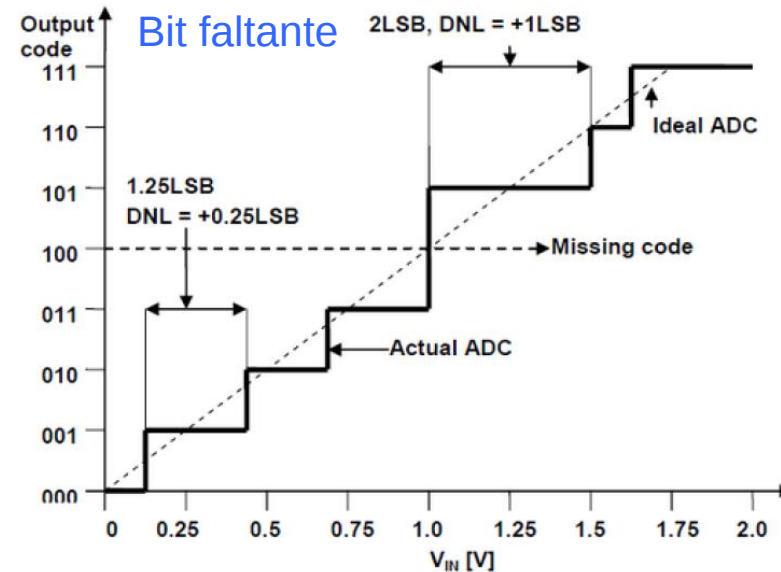
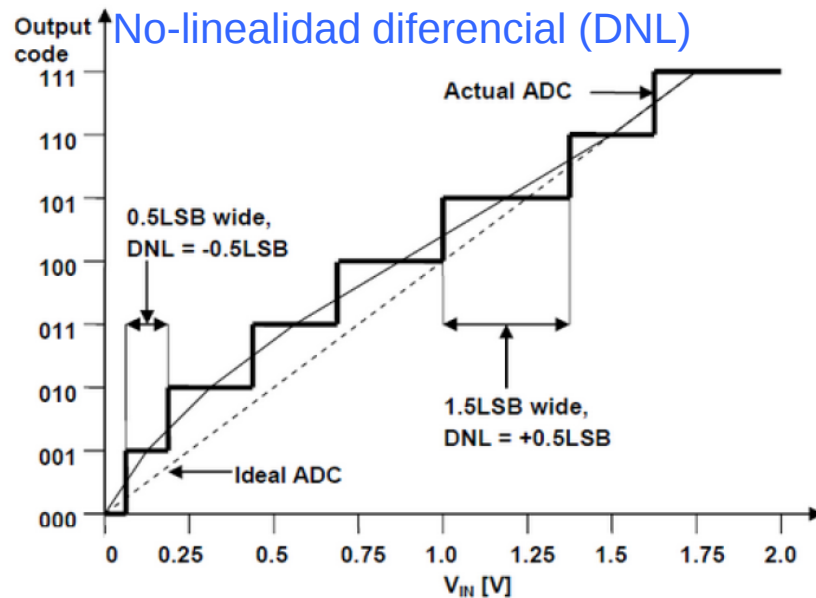
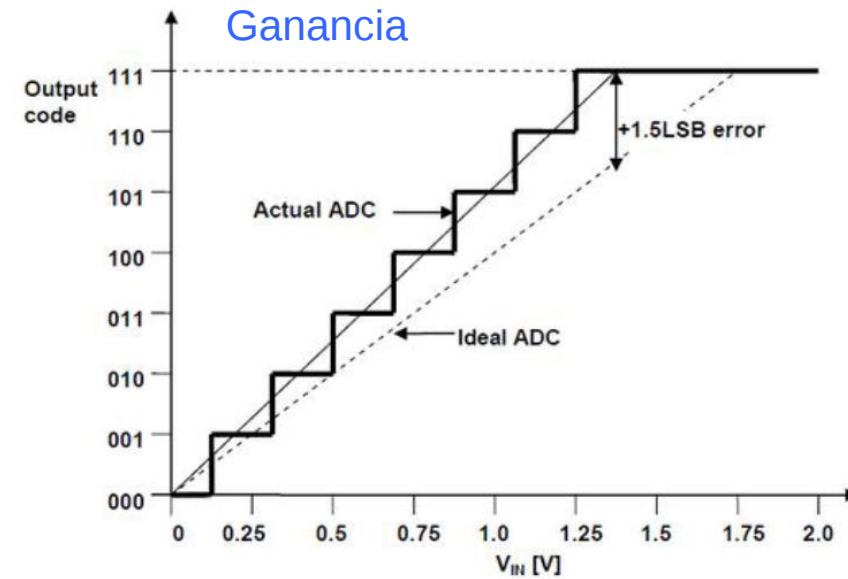
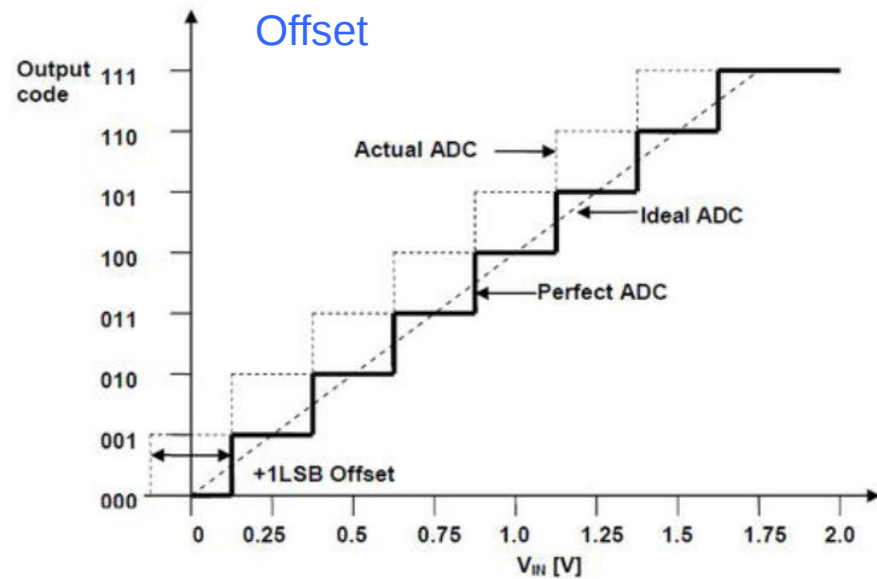
El proceso de la conversión analógica-digital (ADC)

ADC de aproximaciones sucesivas



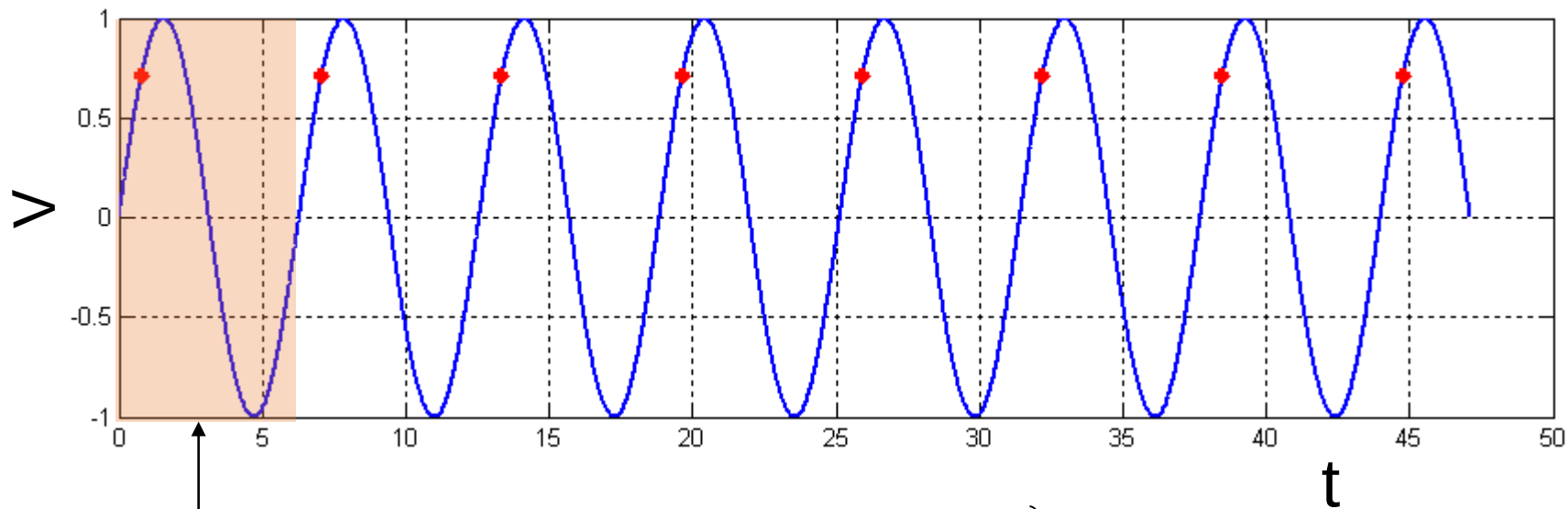
Estos procesos requieren de un “tiempo de conversión”

Errores de la conversión analógica-digital(ADC)



Conversión Analógica-Digital (ADC)

- Velocidad de Muestreo [Sampling Rate]



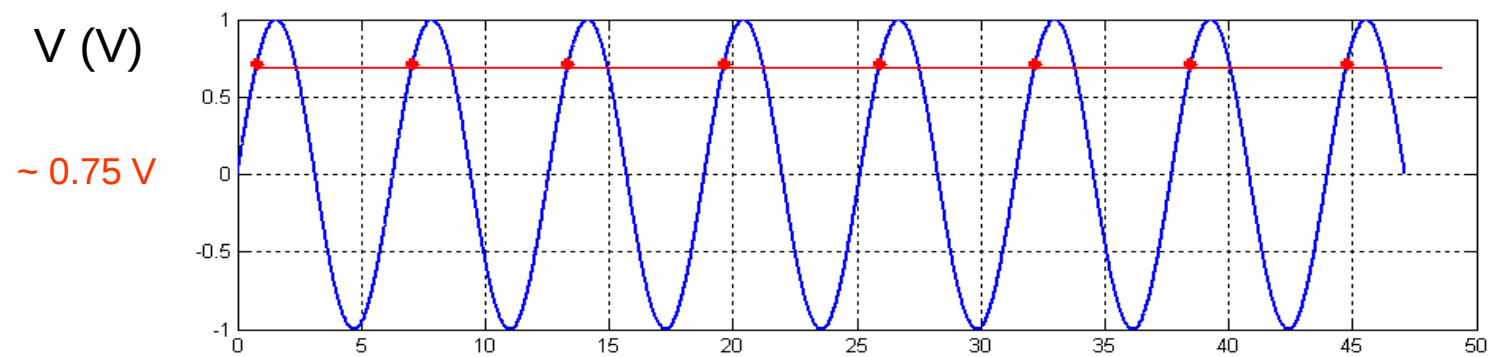
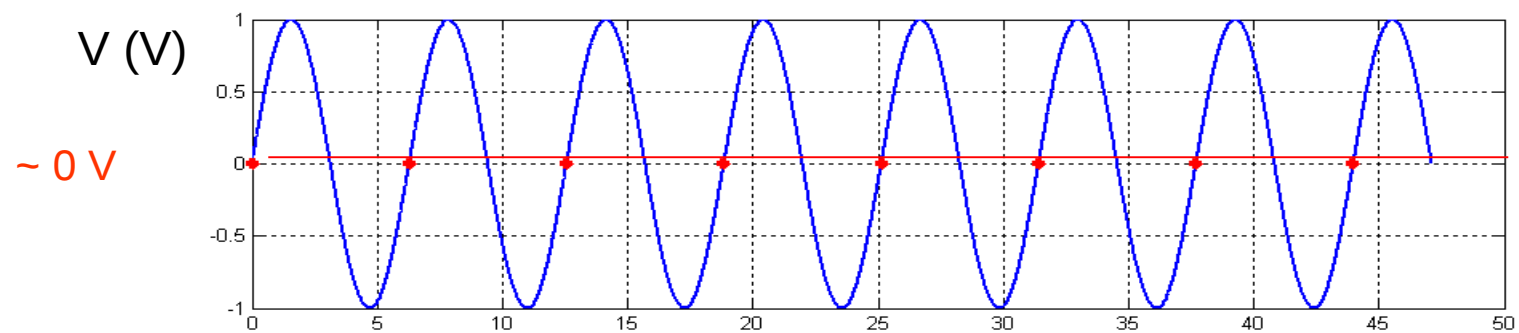
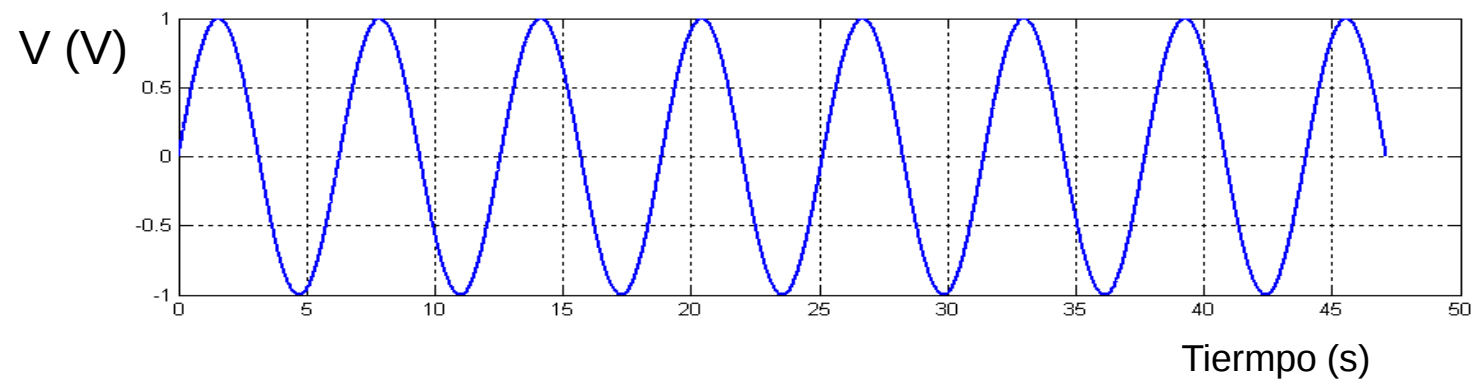
Por ej. señal generada
sinusoidal f_{gen}

$$f_s = 1 f_{\text{gen}}$$

$$T_s = 1 T_{\text{gen}}$$

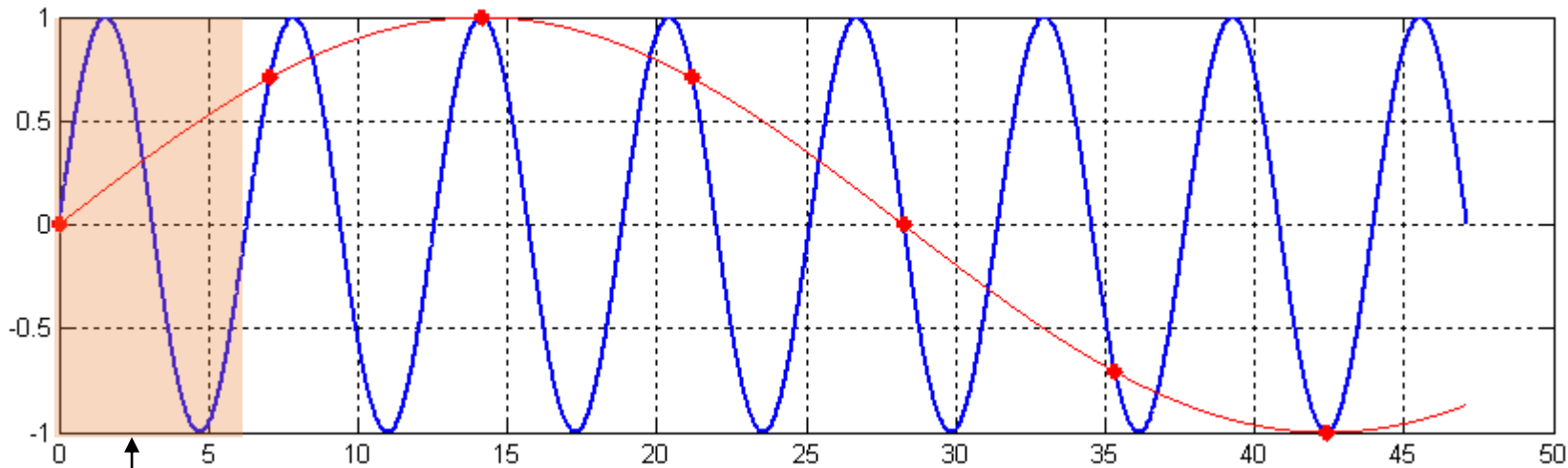
$$T_{\text{gen}} \sim 6 \text{ s}$$

Señal aparente es
constante !!



Conversión Analógica-Digital (ADC)

- Velocidad de Muestreo [Sampling Rate]



Por ej. señal generada
sinusoidal f_{gen}

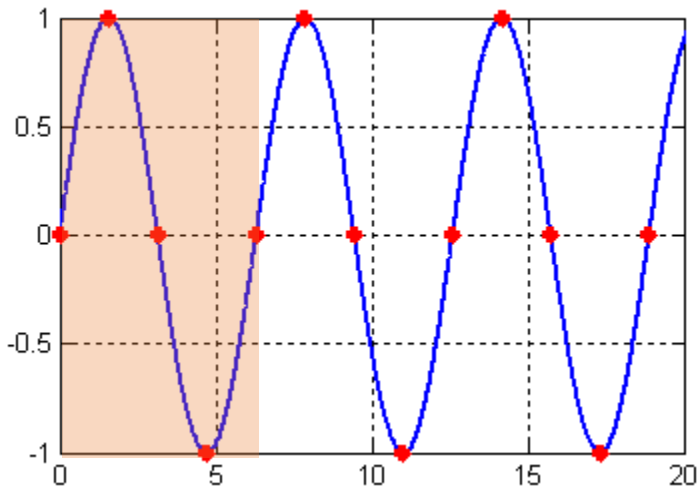
$$\left. \begin{aligned} f_s &< 1 f_{\text{gen}} \\ T_s &> 1 T_{\text{gen}} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{gen}} &\sim 6 \text{ s} \\ T_{\text{aparente}} &\sim 56 \text{ s} ! \end{aligned}$$

ALIASING

Conversión Analógica-Digital (ADC)

- Velocidad de Muestreo [Sampling Rate]



Dada una señal,
Cuál es la mínima frecuencia de
muestreo que debo utilizar para no
observar una frecuencia aparente?



Teorema de Nyquist :

**para reconstruir adecuadamente una
señal, debo emplear una frecuencia de
muestreo tal que**

$$f_s \geq 2 f_{\max}$$

$$f_s = 4 f_{\text{gen}}$$

Mediciones digitales

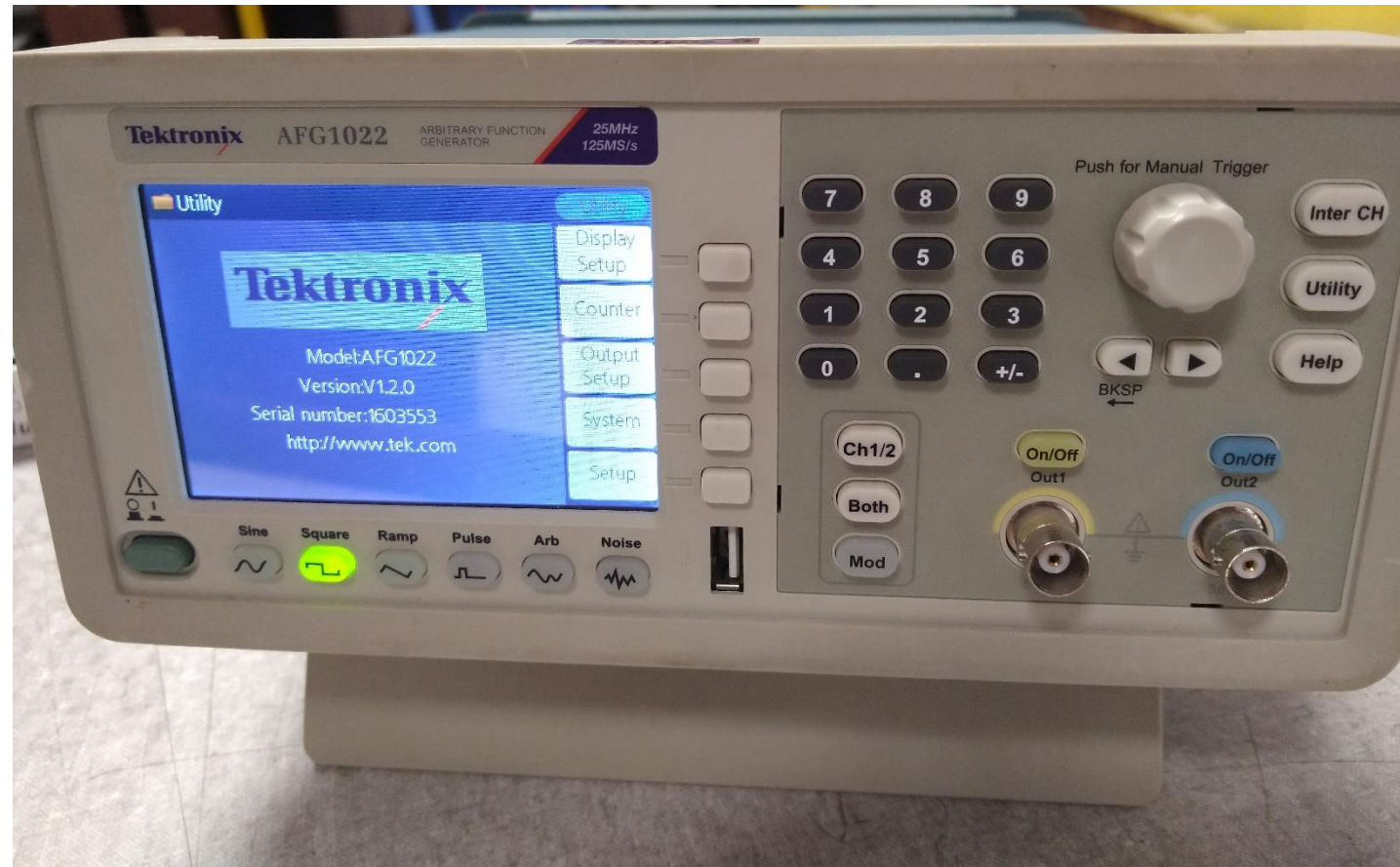


Si el instrumento tiene pantalla, a veces con el instrumento alcanza ...

Generación de señales AC

Generador de funciones

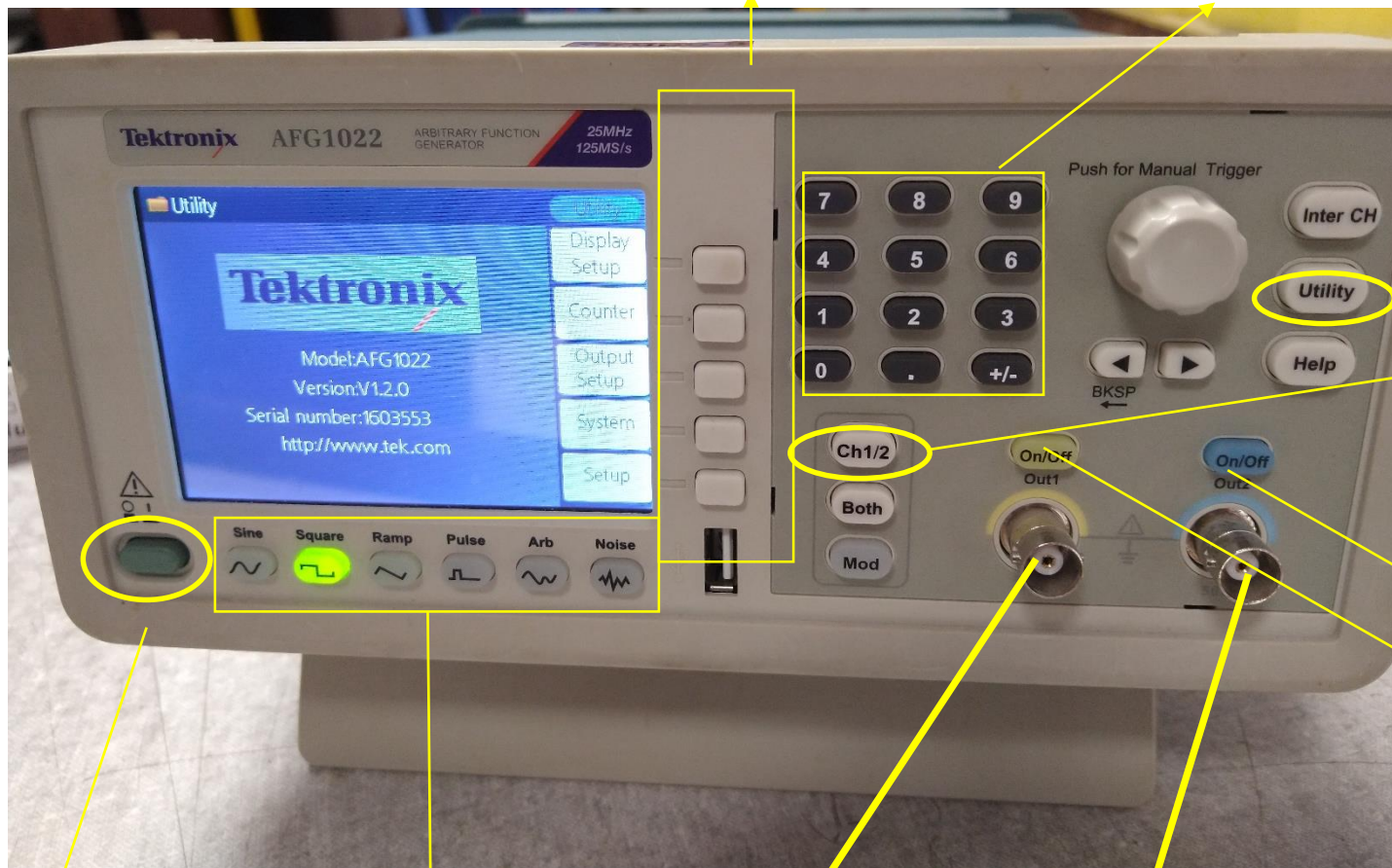
Generador de funciones Tektronix AFG 1022



Generador de funciones Tektronix AFG 1022

Botones de acceso directo

Teclado numérico



Seleccionar
Impedancia de
salida

Seleccionar
Canal para configurar
parámetros

Encendido del
canal de salida

Salida con conector BNC
¿Cómo están conectados las tierras?

Encendido del
generador

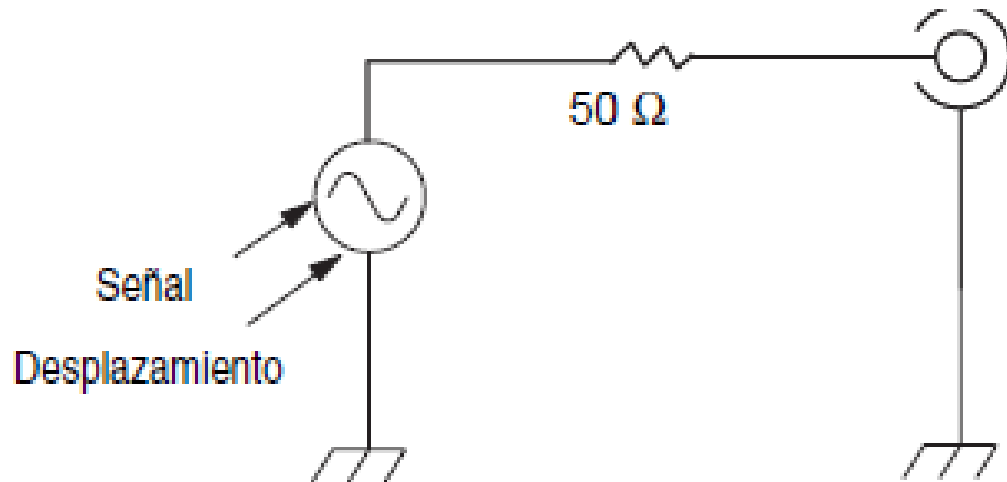
Seleccionador
de funciones

Canal de
Salida 1

Canal de
Salida 2

Generador de funciones Tektronix AFG 1022

Circuito de salida equivalente



Al seleccionar la impedancia de carga afecta la amplitud de la ventana de salida

	L = $50\ \Omega$	L = High Z
AFG3021B/AFG3022B		
Nivel máximo	5 V	10 V
Nivel mínimo	-5 V	-10 V
(Amplitud máxima)	(10 V _{p-p})	(20 V _{p-p})

La impedancia de carga se selecciona en **utility - output menu**

Conectores y cables

Pedir las cosas por su nombre.



Cable Coaxial



BNC
Macho



BNC
Hembra



T
BNC

MEDICIONES SEÑALES AC

Multímetro

Medición de Tensión AC con Multímetro

- Configurar el generador con una señal senoidal de 50 Hz
- Medir con el multímetro entre la salida del generador entre el conductor común (tierra) y el conector central del cable coaxil

Expresar el resultado de la medición con el multímetro Proskit.

¿Cuál es el valor medido con el multímetro? ¿Coincide con el valor configurado en el generador de señales?

¿Con qué incertidumbre está midiendo?

¿Qué estamos midiendo en Tensión AC ?

Medimos $V_{rms} \equiv V_{eficaz}$

RMS = valor cuadrático medio

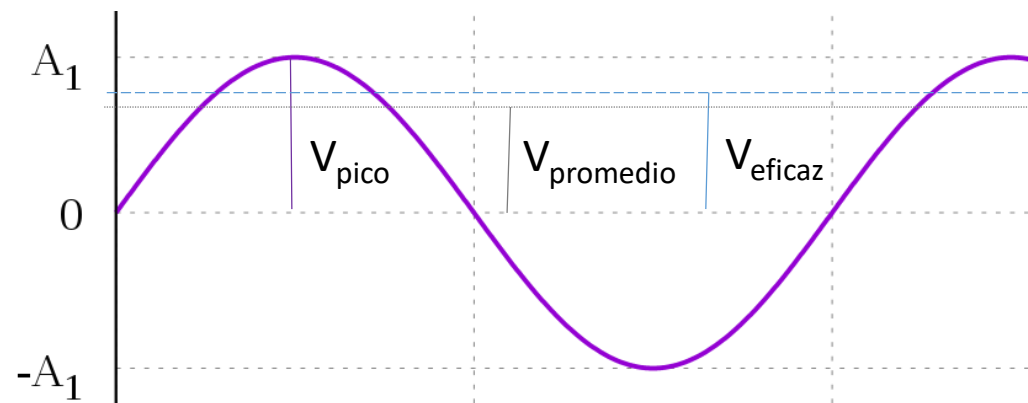
$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt}$$

Voltímetro RMS promediado, filtra el valor CC y rectifica la señal

$$V_{ef} = 1,1 * V_{promedio}$$

Voltímetro True RMS (verdadero V_{ef}), filtra el valor CC y mide el cuadrado del valor instantáneo de la señal de entrada, calcula la media con respecto al tiempo y la raíz cuadrada de esa media.

Onda senoidal



$$V_{ef} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} = 1,1 * V_{promedio}$$

Comparación de multímetros RMS y TrueRMS

Tipo de multímetro	Respuesta a onda sinusoidal	Respuesta a onda cuadrada	Respuesta a diodo rectificador de una fase	Respuesta a diodo rectificador de 3 fases
				
RMS promediado	Correcto	10% por encima	40% por debajo	5% a 30% por debajo
RMS verdadero	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Error de valor eficaz para diferentes formas de onda.

Traducido de: <http://en-us.fluke.com/training/training-library/measurements/electricity/what-is-true-rms.html>

Limitados a un rango de frecuencia

Rango de f característico: 50 Hz – 500 Hz

Osciloscopio

Osciloscopio digital



Tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=2U-mR62OVUg>
Página: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/osciloscopio/>
<https://academo.org/demos/virtual-oscilloscope/>
<https://www.oszilloskope.net/en/oscilloscope>

Osciloscopio Tektronix TBS 1052B



Canales de entrada

Disparo externo

Menú vertical:

- Posición
- Amplificación
- Acoplamiento
- Ancho de banda
- Sonda (x1, x10,...)
- Inversión de señal

Osciloscopio Tektronix TBS 1052B



Canales de entrada

Disparo externo

Menú horizontal:

- Posición del inicio de la señal
- Ventana temporal
- Escala temporal (5 ns/div – 50 s/div)

Osciloscopio Tektronix TBS 1052B



Canales de entrada

Disparo externo

Menú de disparo:

- Nivel del disparo
- Tipo de disparo

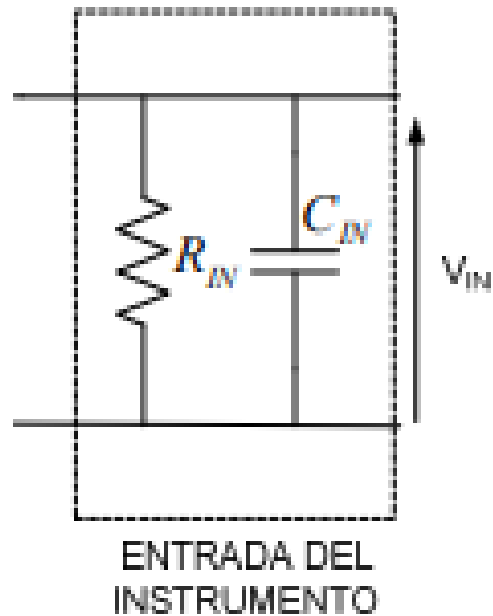
Flanco: Fuente

Pendiente

Modo

Acoplamiento

Impedancia de entrada



$$R_{IN} = 1 \text{ M}\Omega$$

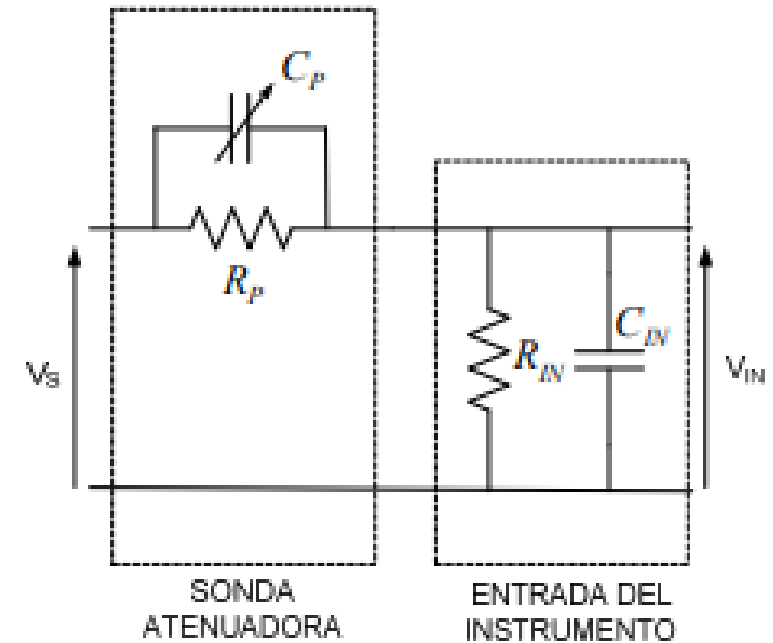
$$C_{IN} = 20 \text{ pF}$$

Impedancia a 10 MHz

$$Z_{IN} \approx 800 \Omega$$

Si se trabaja con alta frecuencia se adapta la impedancia de entrada

Sonda de medición



$$V_{IN} = V_S \frac{R_{IN}(j2\pi f R_P C_P + 1)}{R_{IN}(j2\pi f R_P C_P + 1) + R_P(j2\pi f R_{IN} C_{IN} + 1)}$$

$$R_P C_P = R_{IN} C_{IN} \qquad V_{IN} = V_S \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_P}$$

Oscilloscopio Tektronix TBS 1052B /1000 C

Model overview

	TBS1052B	TBS1072B	TBS1102B	TBS1102C
Bandwidth ¹	50 MHz	70 MHz	100 MHz	150 MHz
Channels	2	2	2	2
Sample rate on each channel	1.0 GS/s	1.0 GS/s	2.0 GS/s	2.0 GS/s
Record length	2.5k points at all-time bases			

Vertical system – Analog channels

Vertical resolution	8 bits
Input sensitivity range	2 mV to 5 V/div on all models with calibrated fine adjustment
DC gain accuracy	±3%, from 10 mV/div to 5 V/div
Maximum input voltage	300 V _{RMS} CAT II; derated at 20 dB/decade above 100 kHz to 1 MHz
Offset range	2 mV to 200 mV/div: ±1.8 V >200 mV to 5 V/div: ±45 V
Bandwidth limit	20 MHz
Input coupling	AC, DC, GND
Input impedance	1 MΩ in parallel with 20 pF
Vertical zoom	Vertically expand or compress a live or stopped waveform

Specifications

All specifications are guaranteed unless noted otherwise. All specifications apply to all models unless noted otherwise.

Model overview

Parameters	TBS1052C	TBS1052C-EDU	TBS1072C	TBS1102C
Bandwidth	50 MHz	50 MHz	70 MHz	100 MHz
Channels	2	2	2	2
Sample Rate	1 GS/s	1 GS/s	1 GS/s	1 GS/s
Record Length	20 K points	20 K points	20 K points	20 K points

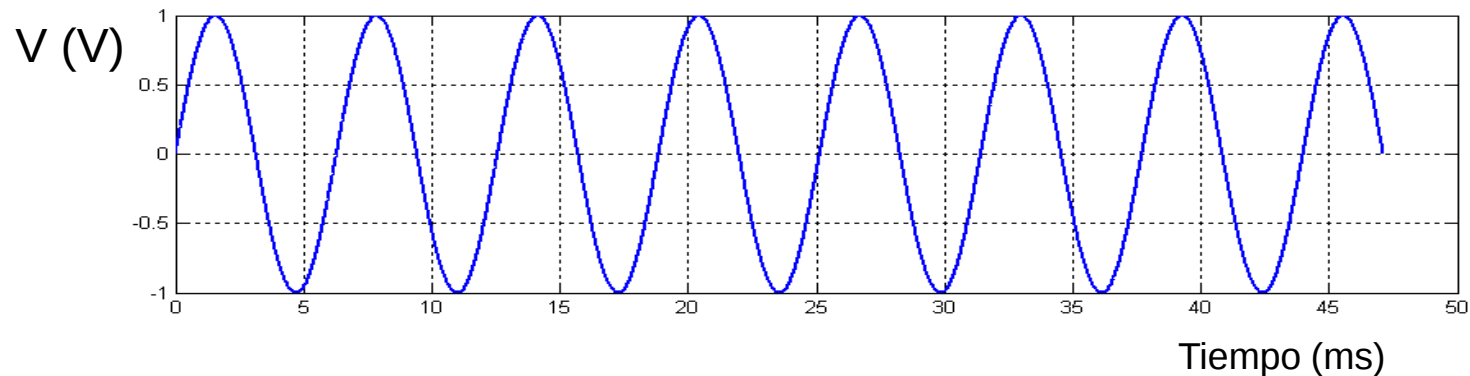
Vertical system – Analog channels

Vertical resolution	8 bits
Input sensitivity range	1 mV/div to 10 V/div max. in 1-2-5 sequence with probe attenuation set to 1X
DC gain accuracy	±3.0 % step gain, derated at 0.1 %/°C above 30 °C
Maximum Input Voltage	300 VRMS, Installation Category II; derate above 4 MHz at 20 dB per decade to 200 MHz
Offset range	1 mV/div to 50 mV/div: ± 1 V 100 mV/div to 500 mV/div: ± 10 V 1 V/div to 5 V/div : ± 100 V
Bandwidth limit	20 MHz (Typ)
Input coupling	DC, AC
Input impedance	1 MΩ ±2 % in parallel with 14 pF ±2 pF

Adquisición de datos (DAQ)

■ Ejercicio para completar en el cuaderno

Se tiene una señal senoidal de 1 V de amplitud y frecuencia de 167 Hz como la que se observa:



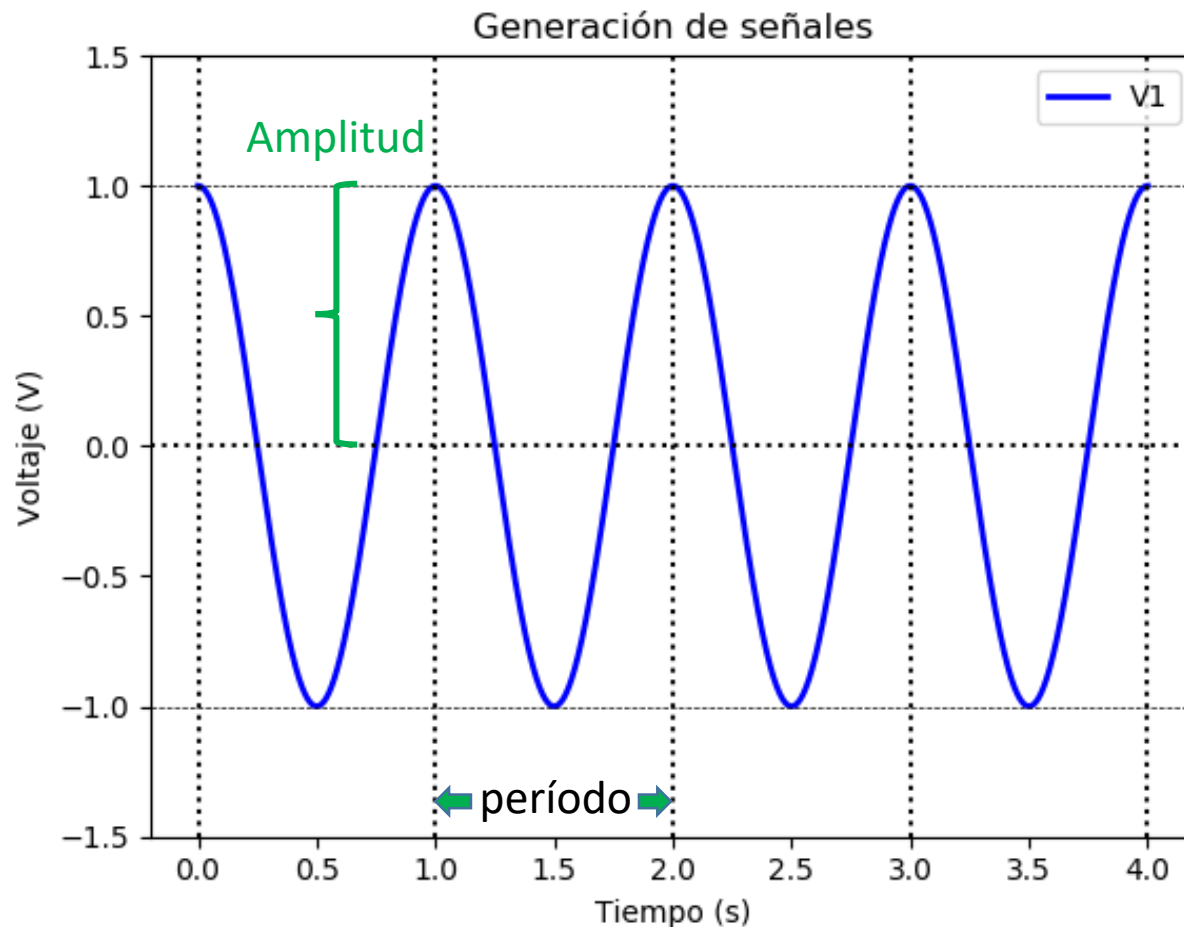
Si esta señal se adquiere con un osciloscopio con un ADC de 8 bits de resolución:

- 1) De cuánto será el LSB? (discuta qué rango consideraría)
- 2) Con qué frecuencia de adquisición mínima (o “Sampling Rate”) deberá adquirir esta señal para poder definir los detalles de la misma?

Medir una señal AC con el osciloscopio

- Registrar la señal de salida de los dos canales del generador, probar distintas funciones de onda y frecuencias

Generación y medición de señales variables en el tiempo



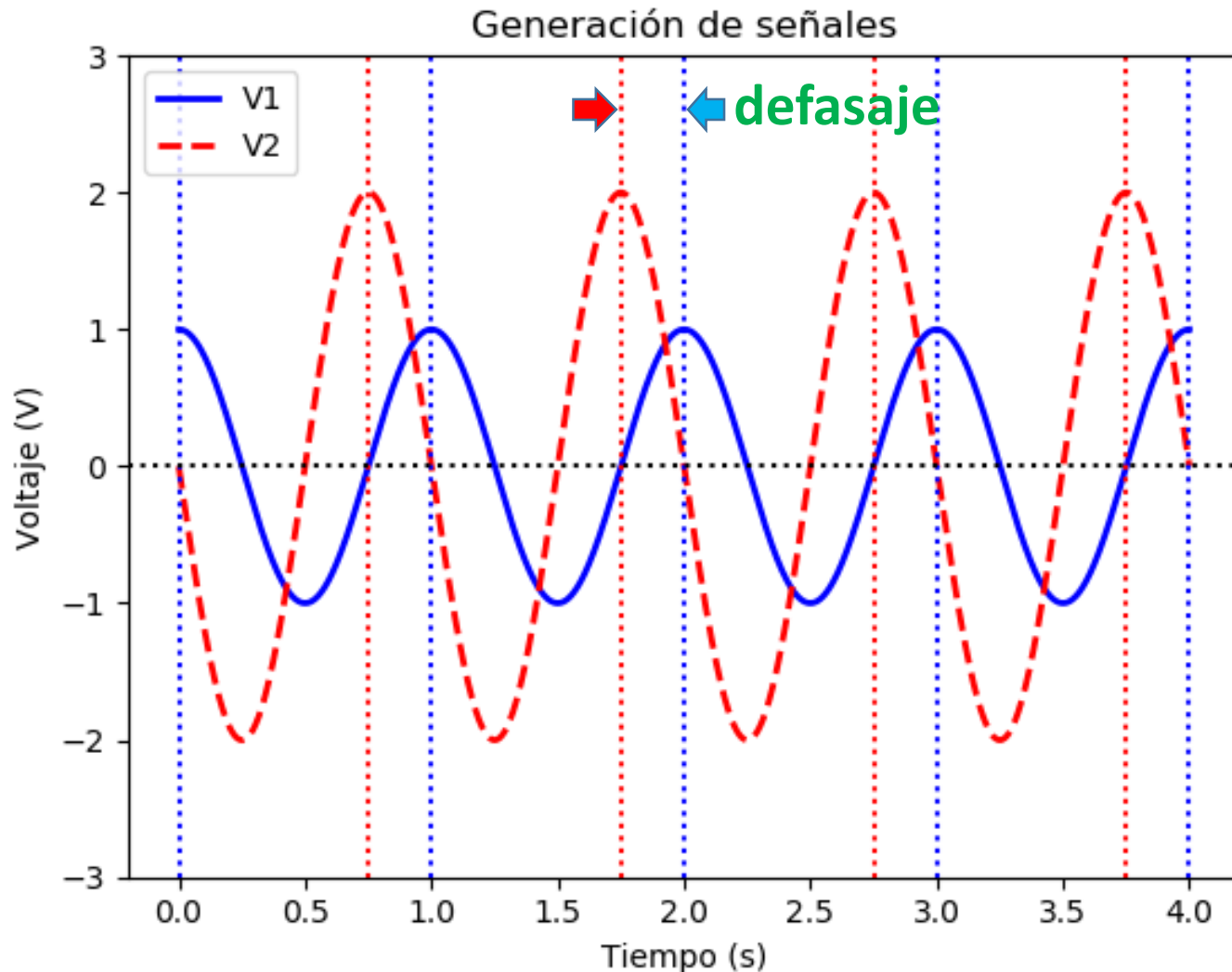
$$V_1(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

[s] [Hz] [rad s⁻¹]

período frecuencia frecuencia angular

Señales armónicas dependientes del tiempo



$$V_1(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t)$$

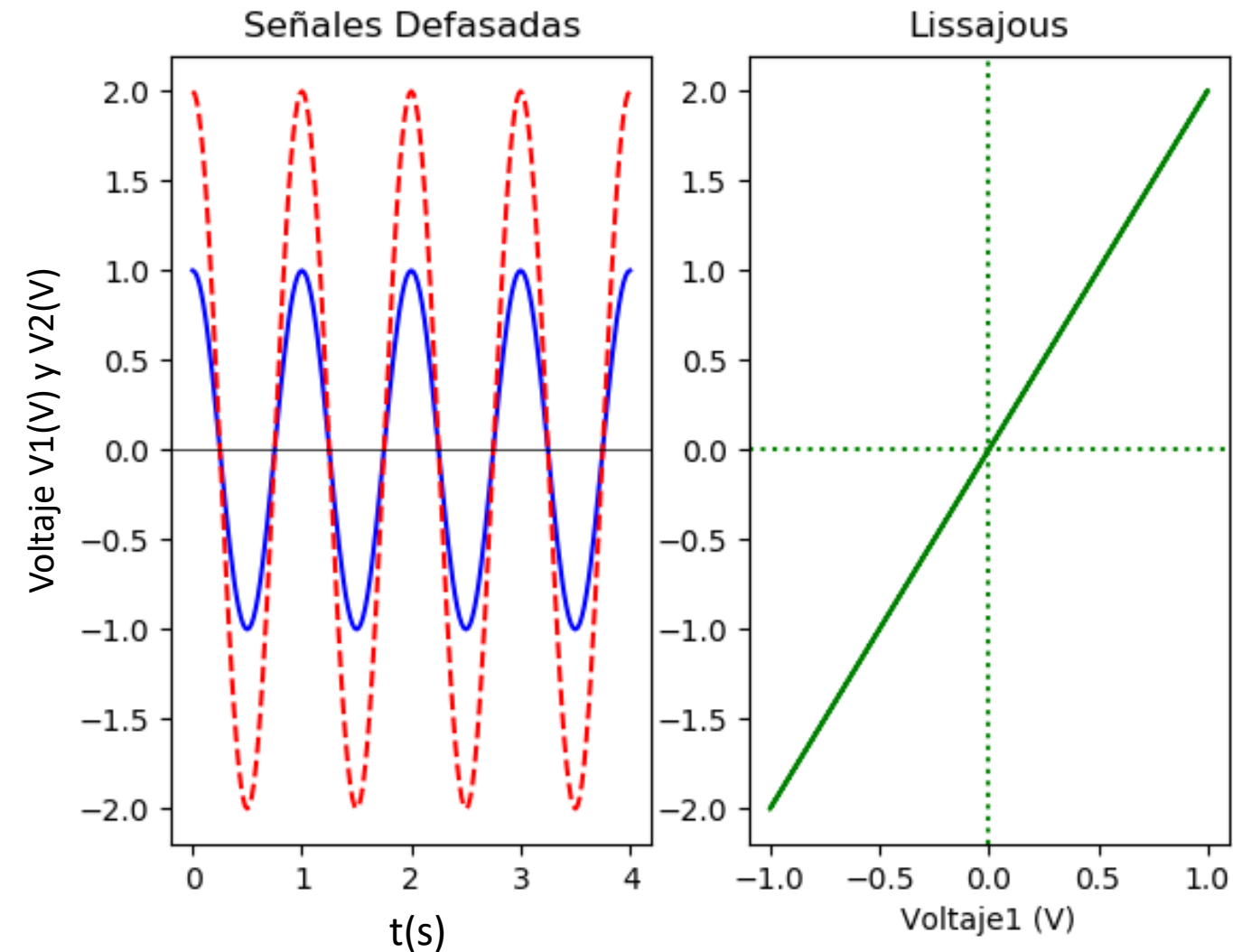
$$V_2(t) = A_2 \cos(2\pi f_1 t + \varphi)$$

$$\text{Defasaje } \Delta\varphi = \varphi$$

Considerando la diferencia temporal mínima (δt) entre las señales en iguales condiciones (máximos, mínimos, cruce de 0 con igual derivada):

$$\Delta\varphi = \omega \delta t$$

Señales de igual frecuencia con distintos defasajes



Graficamos $V2(t)$ vs $V1(t)$

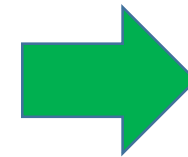


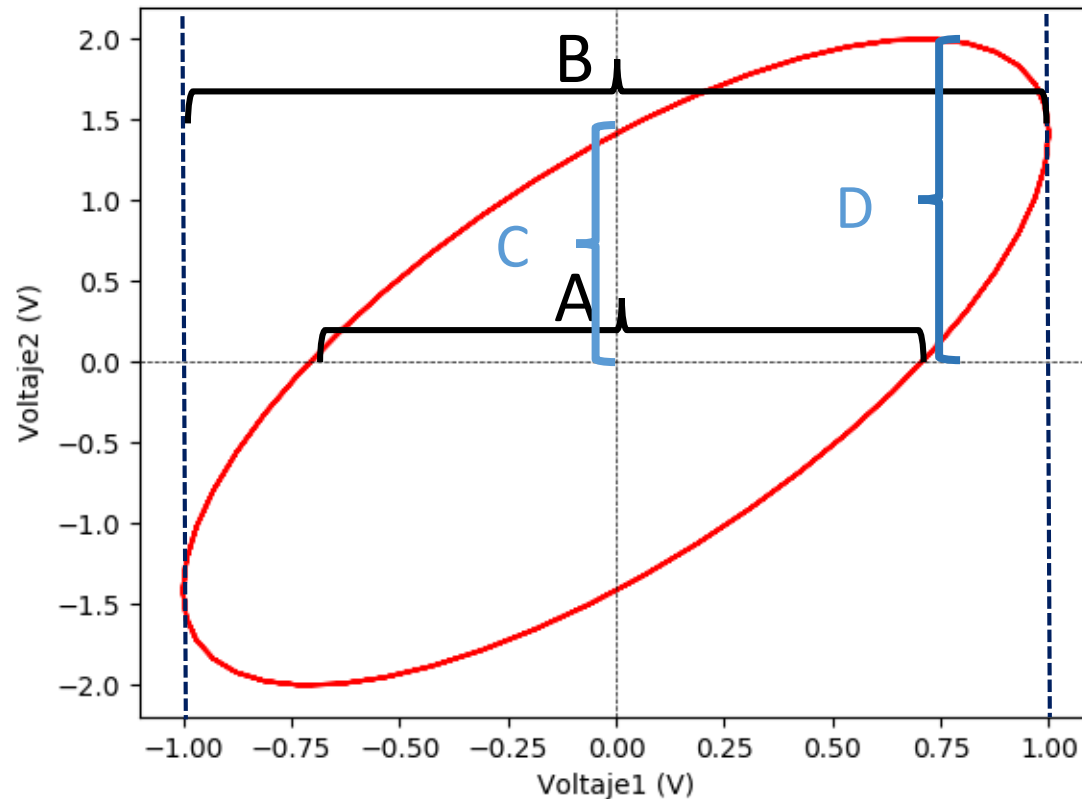
Figura de Lissajous

Defasaje = 0

(en cuadratura)

Señales de igual frecuencia con distintos defasajes

Figuras de Lissajous



Cómo determinar el defasaje con la figura de Lissajous?

(ver la deducción en el apunte del curso)

$$|\phi| = \arcsen \frac{A}{B} = \arcsen \frac{C}{D}$$

Mediciones de señales AC

Medición del desfase:

Configurar un desfase entre Ch1 y Ch2

Medir diferencia temporal Δt entre máximos

Determinar la diferencia de fase

Determinar $\Delta\varphi$ con figuras de Lissajous

Estudiar la ley de OHM usando una rampa con distintas frecuencias