CLASE 2
PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

BY:Jorge Miranda

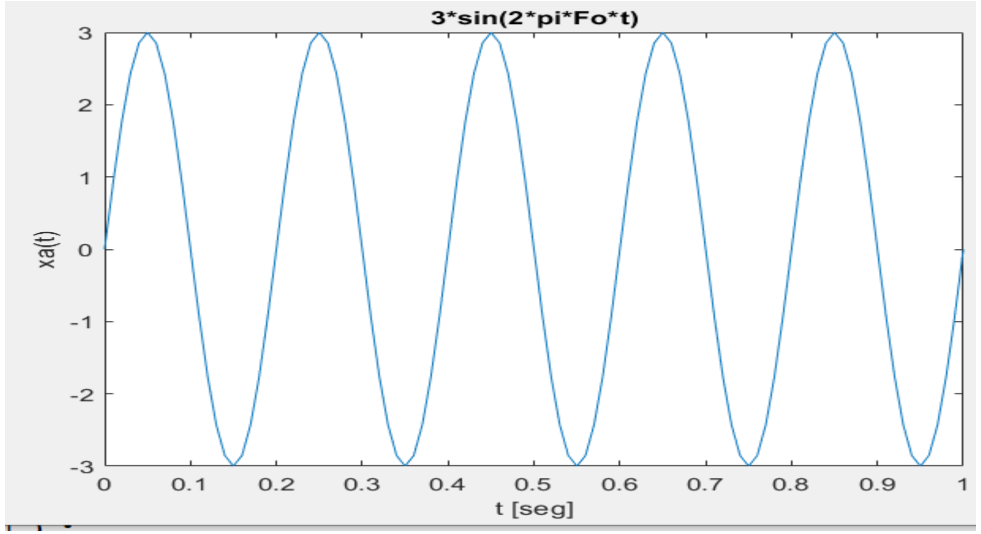
UMAKER | CENTRO DE CAPACITACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

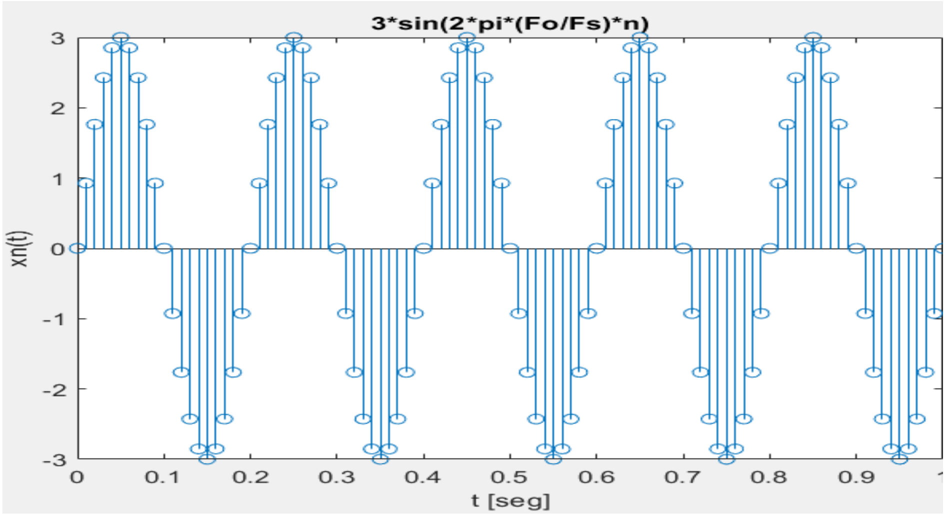
CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

Existen diversas clasificaciones de una señal , en el contexto en como se define el tiempo como variable independiente de la señal encontramos señal en tiempo continuo y señal en tiempo discreto.

SEÑAL EN TIEMPO CONTINUA

SEÑAL EN TIEMPO DISCRETO





SEÑALES COMUNES EN TIEMPO DISCRETO

Escalón unitario

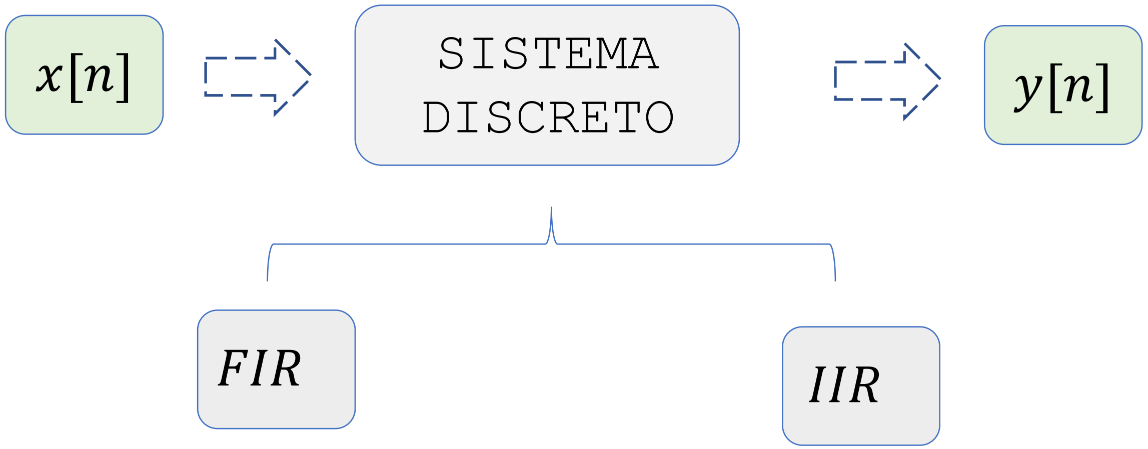
Impulso unitario

rampa

sinusoidal

RESPUESTA AL IMPULSO

Respuesta del sistema , cuando la entrada al sistema es la señal impulso unitario.



La respuesta impulso la denotamos mediante h[n]

h[n] puede ser finita o infinito . De lo anterior, el sistema puede ser FIR o IIR

FILTRO FIR

$x[n] \Rightarrow h[n] \Rightarrow y[n]$

$h[n] = [0.1\,,\; 0.2\,, 0\,,\; 0.2\,,\; 0.1]$

$h[n] = [0.5\,,\; 0.3\,, 0\,,\; -0.3\,,\; -0.5]$

Existen solo en un intervalo limitado:
$0 \leq n \leq 4$

h[n]: Es de ***duración finita***.

FILTRO IIR

$$x[n] \Rightarrow h[n] \Rightarrow y[n]$$

$$h[n] = u[n](0.1^n + 0.2^n)$$

$$h[n] = u[n](0.1^n - 0.2^n)$$

existen para todo n no negativo : $\forall\, n \geq 0$

h[n]: Es de ***duración infinita***.

INPUT-OUPUT

La respuesta del sistema ante una entrada se puede alcanzar de varios modos.

$x[n] \Rightarrow h[n] \Rightarrow y[n]$

- Convolución discreta
- Ecuación en diferencias
- Empleando DFT e IDFT

$$y[n] = x[n] * h[n]$$

$$y[n] = b_0 x[n] + \cdots b_M x[n-M] - a_1 y[n-1] - .. - a_N y[n-N]$$

$$y[n] = IDFT(Y[k]) = IDFT(X[k].H[k])$$

Mediante las ecuaciones en diferencias se debe de asumir ciertas condiciones iniciales . Normalmente 0 en el contexto de sistemas causales

SISTEMA DISCRETO

Dispositivo o algoritmo que opera sobre una o mas señales definidas en tiempo discreto mediante una regla definida produciendo una respuesta del sistema

$x[k] \Rightarrow$ SISTEMA DISCRETO $\Rightarrow y[k]$

$$y[k] = T(u[k])$$

El sistema se debe de diseñar de acuerdo a algunas especificaciones .El diseño se puede realizar tanto en el dominio del tiempo o frecuencia.

CONVOLUCIÓN DISCRETA

La salida de un sistema discreto LTI ante una señal de entrada se puede determinar mediante la operación de convolución.

$x[k]$ ⇨ SISTEMA DISCRETO ⇨ $y[k]$

$$y[k] = T(u[k])$$

$$y[k] = x[k] * h[k]$$

$h[k]$: *respuesta al impulso del sistema*

CONVOLUCIÓN DISCRETA

$$y[k] = x[k] * h[k]$$

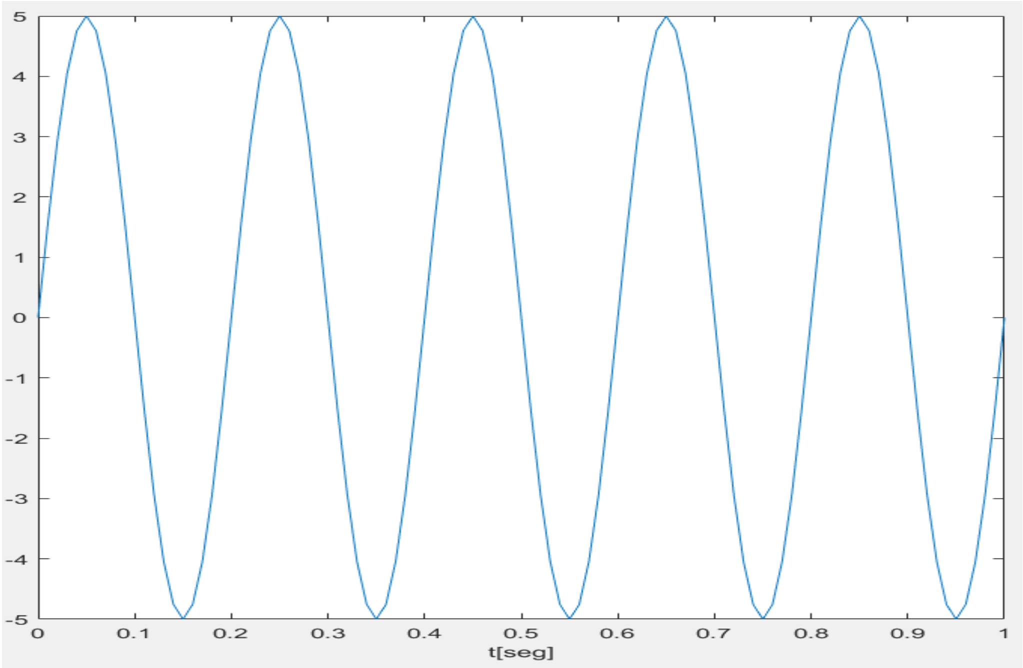
ECUACIÓN EN DIFERENCIAS

$x(n) \rightarrow$ SISTEMA DISCRETO $\rightarrow y(n)$

Ecuación que describe el comportamiento entrada-salida de un sistema discreto lineal o no lineal. En el contexto lineal e invariante en el tiempo , se pueden aplicar herramientas matemáticas como la DFT, transformada Z para simplificar su análisis .

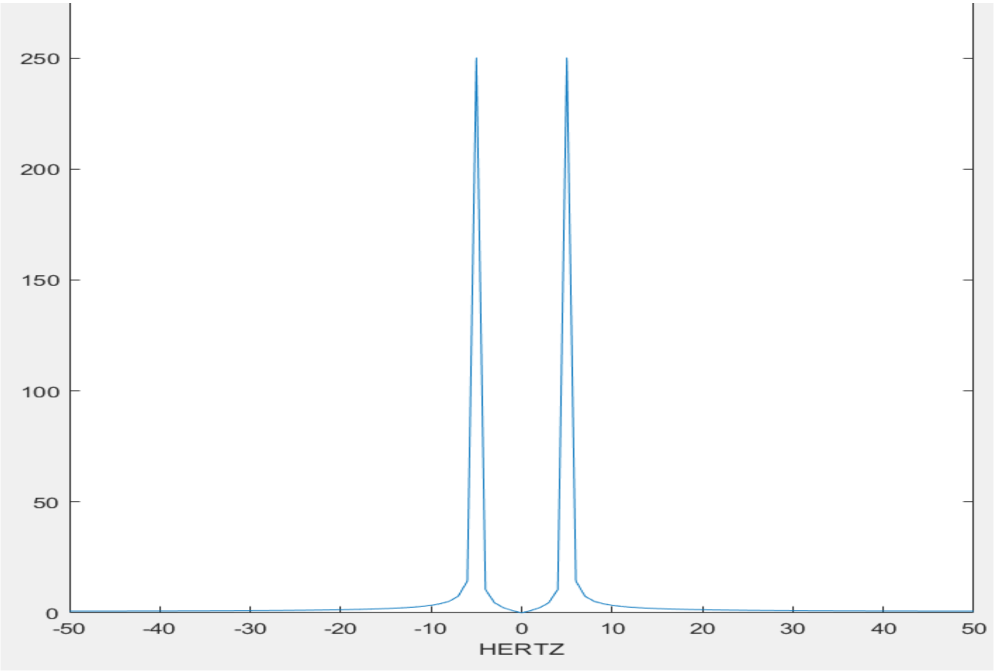
TRANSFORMADA DE FOURIER

$$y1 = 5 * \sin(2 * pi * F1 * t)$$
$$F1 = 5\ Hertz$$



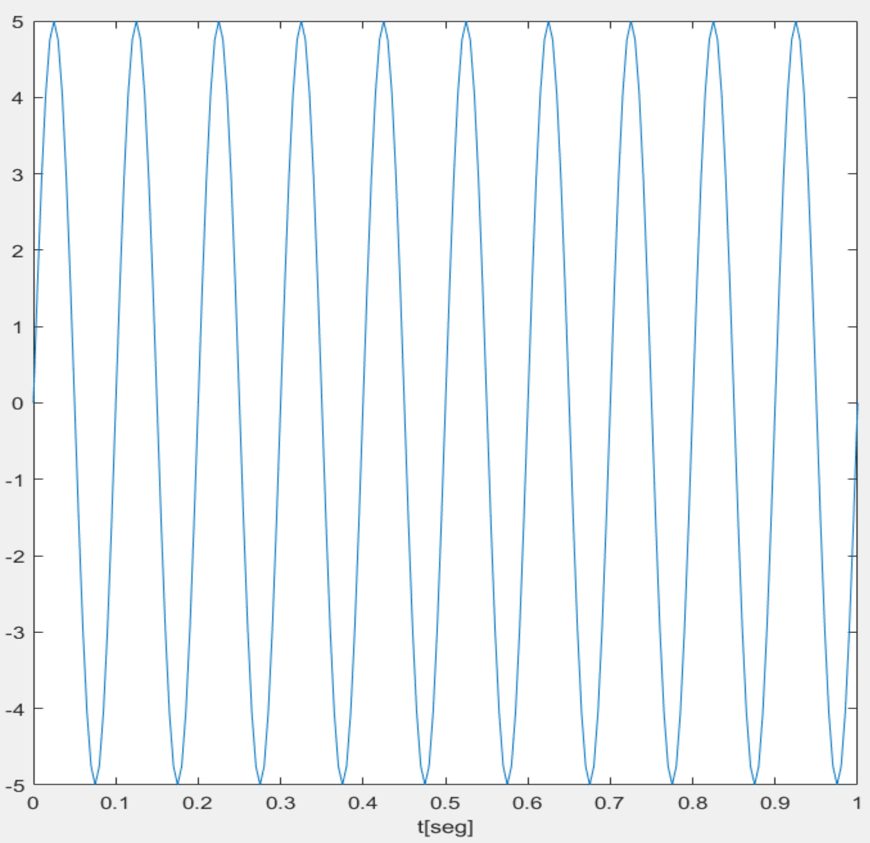
$TF\{.\}$

Magnitud de la transformada de Fourier



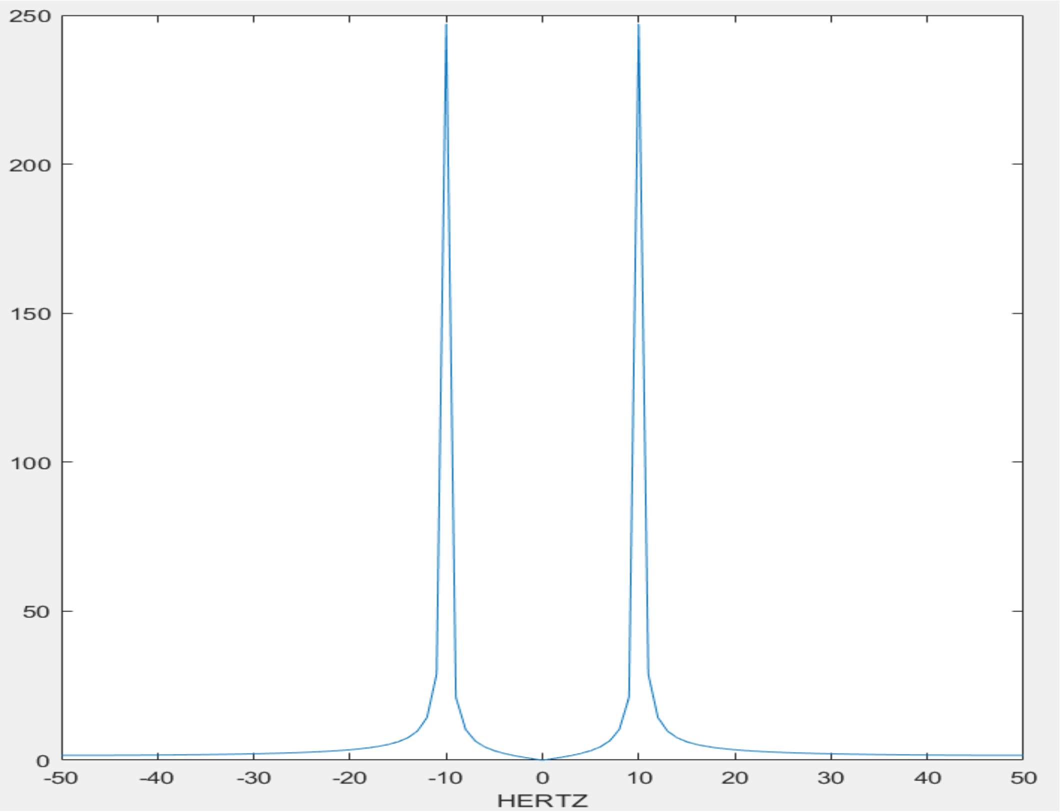
TRANSFORMADA DE FOURIER

$$y2 = 5 * \sin(2 * pi * F2 * t)$$
$$F2 = 10\ Hertz$$



$TF\{.\}$

Magnitud de la transformada de Fourier



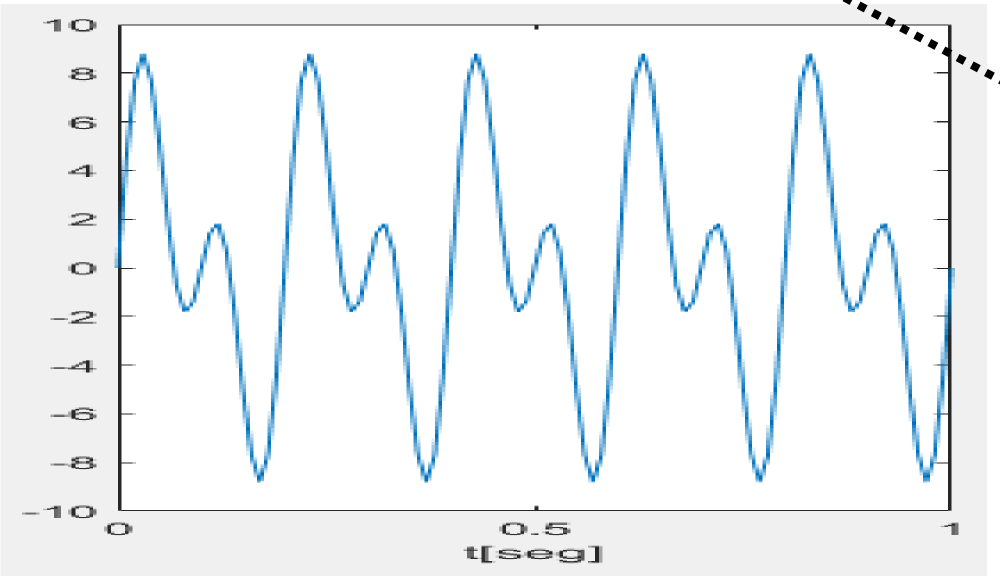
UMAKER | CENTRO DE CAPACITACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

TRANSFORMADA DE FOURIER

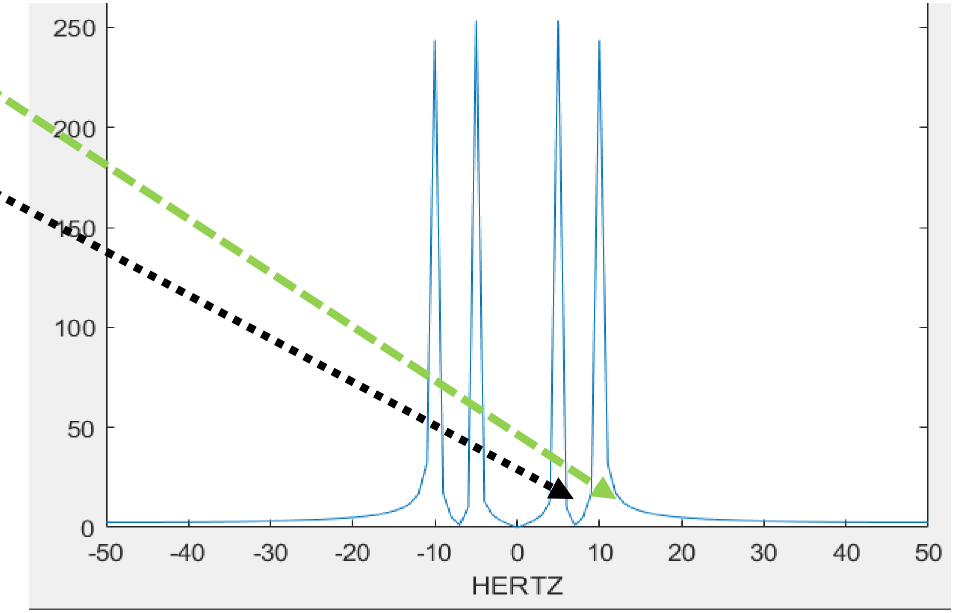
$$y = 5 * \sin(2 * pi * F1 * t) + 5 * \sin(2 * pi * F2 * t)$$

$$F1 = 5\ Hertz\ , \qquad F2 = 10\ Hertz$$

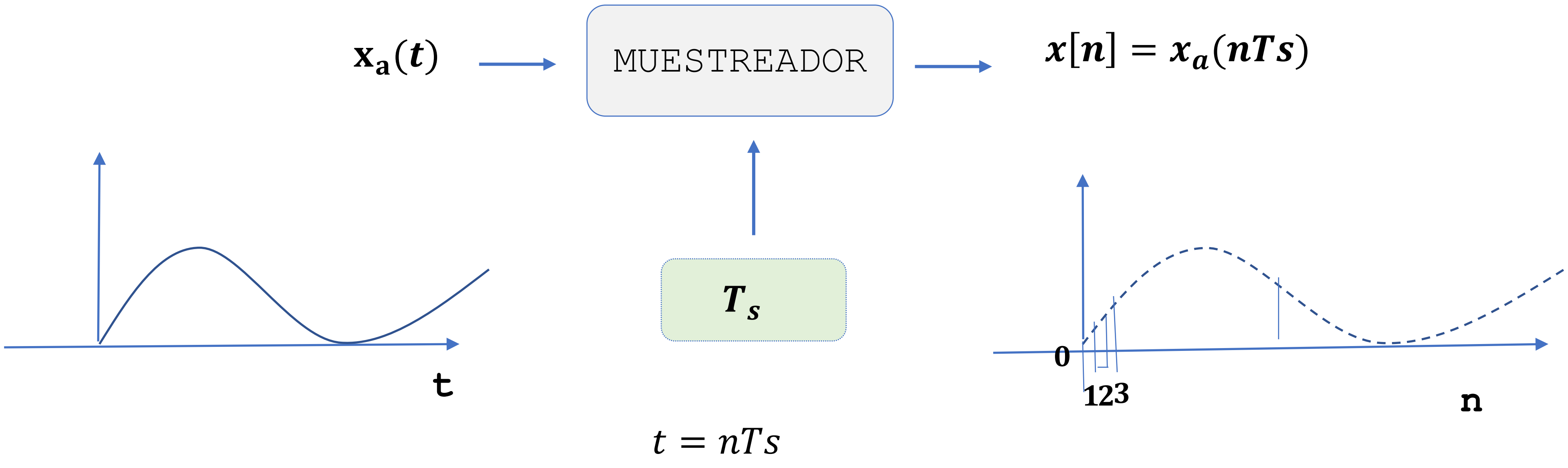
Magnitud de la transformada de Fourier



TF{ . }



MUESTREO



$$n = [\ldots\ldots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \ldots\ldots\ldots]$$

EFECTO DEL MUESTREO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

FILTRO DE PROMEDIADO MOVIL

SISTEMA DISCRETO

Dispositivo o algoritmo que opera sobre una o mas señales definidas en tiempo discreto mediante una regla definida produciendo una respuesta del sistema

$x[k]$ ⇨ SISTEMA DISCRETO ⇨ $y[k]$

$$y[k] = T(u[k])$$

La señal de salida se obtiene mediante la convolución de la entrada y la respuesta al impulso del sistema

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DISCRETOS

$x[k]$ ⇨ SISTEMA DISCRETO ⇨ $y[k]$

ESTABILIDAD EN SISTEMAS DISCRETOS

Característica de un sistema , que desde el punto de vista de entrada-salida, requiere que ante una entrada acotada la salida se encuentre acotada.

Todo diseño de sistema debe de garantizar la característica de estabilidad.

ESTABILIDAD EN SISTEMAS DISCRETOS

La estabilidad también se puede apreciar por medio de la transformada Z . Para el contexto de sistemas LTI discreto , La tranformada Z normalmente se puede expresar por una división de polinomios.

FILTRO IIR
PASA ALTO

El filtro FIR pasa alto , atenúa las componentes de baja frecuencia mientras que mantiene o amplifica componentes de alta frecuencia.

El filtro IIR implica una ecuación en diferencias del tipo ***RECURSIVO***

ECUACIÓN EN DIFERENCIAS

Función de transferencia

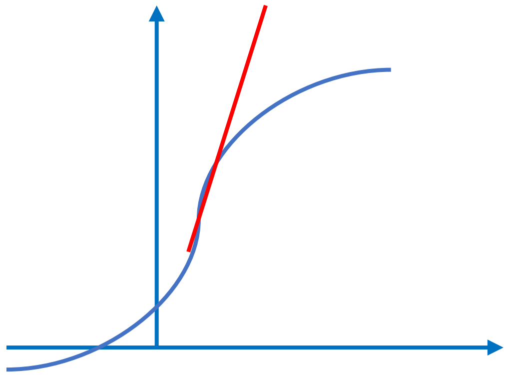
Ecuación en diferencias

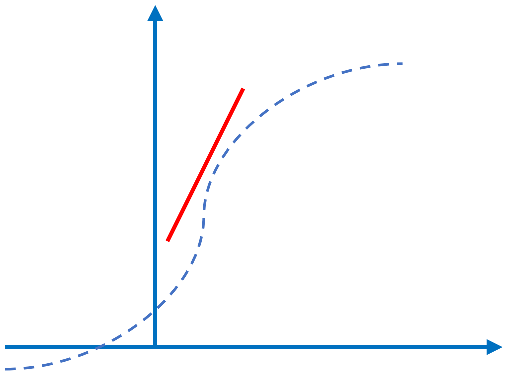
Respuesta en frecuencia

DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO OCULAR

El movimiento ocular *se puede detectar* ***mediante la taza de cambio de la señal.***

Para el caso de ***funciones diferenciables ,*** ***la operación derivada*** *nos permite determinar el ritmo de cambio de la función en un determinado punto.*

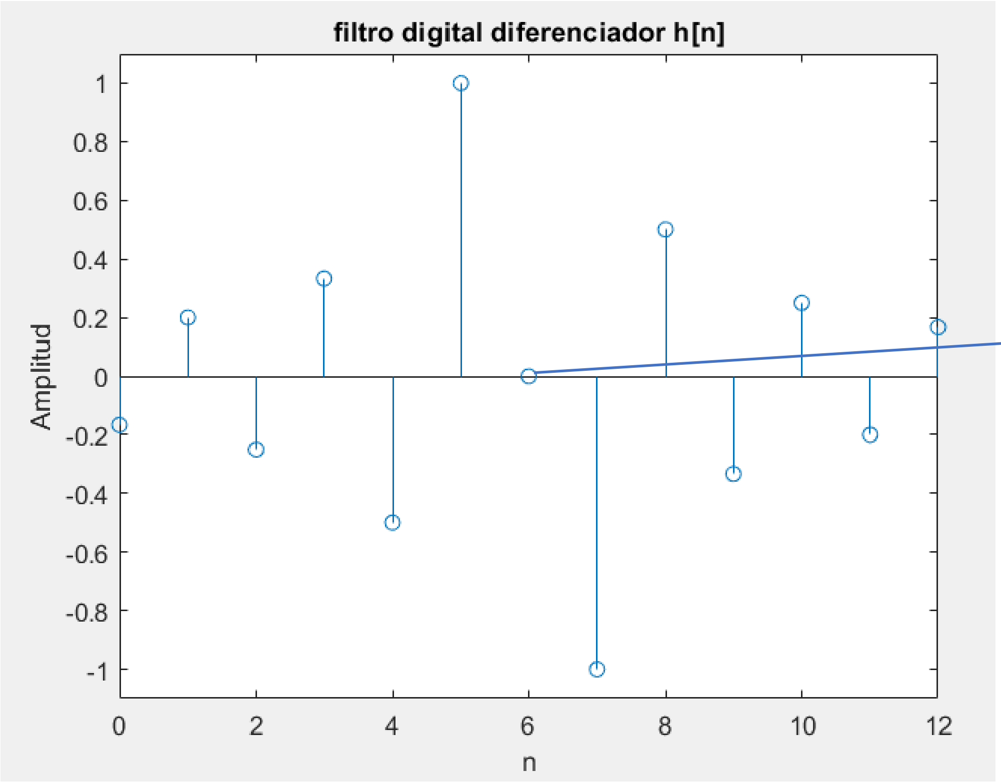




Las señales discretas no son diferenciables, ***se debe de aproximar la operación derivada para que sean digitalmente realizables..***

APROXIMACIÓN DE LA DERIVADA

FILTRO FIR DIFITAL DIFERENCIADOR



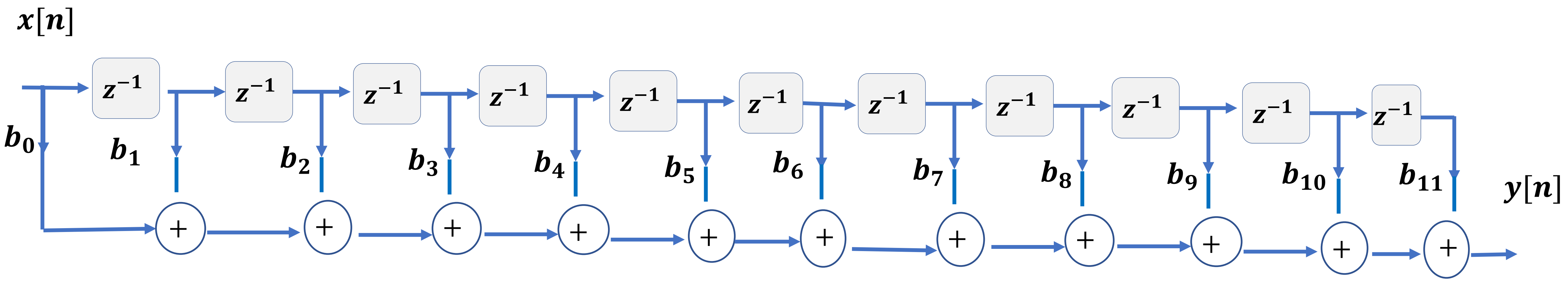
L:Número de coeficientes

Punto de antisimetria

$$\alpha = \frac{L-1}{2}$$

L:Debe ser un numero impar para un filtro digital diferenciador

ESTRUCTURA DE IMPLEMENACIÓN



$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + b_2x[n-2] + b_3x[n-3] + b_4x[n-4] + b_5x[n-5] + b_6x[n-6]$$
$$b_7x[n-7] + b_8x[n-8] + b_9x[n-9] + b_{10}x[n-10] + b_{11}x[n-11]$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

Ecuación de análisis

$$X(F) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi Ft}\, dt$$

Ecuación de síntesis

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(F)e^{j2\pi Ft}\, dF$$

herramienta matemática para realizar la descomposición de ciertos tipos de señales, definidos en tiempo continuo ,en el dominio de la frecuencia.

Esto se logra proyecto la función señal x(t) sobre funciones ortonormales $e^{-j2\pi Ft}$.

Aplicable a señales aperiodicas y periodicas en tiempo continuo.

TRANSFORMADA DE FOURIER DE SEÑAL EN TIEMPO CONTINUO

TRANSFORMADA DE FOURIER EN TIEMPO DISCRETO

El espectro de frecuencia de una señal o sistema en tiempo discreto se denominada transformada de Fourier en tiempo discreto.

SEÑAL EN TIEMPO DISCRETO

Ecuación de análisis

$$X(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n}$$

Ecuación de síntesis

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} X(\omega) e^{j\omega n} \, d\omega$$

FRECUENCIA RELATUVA

$$w = \Omega T_s$$

w: frecuencia ciclica relativa (rad)

Ω: frecuencia ciclica (rad/seg)

T_s: periodo de muestreo (seg)

F_s: frecuencia de muestreo (Hz)

FRECUENCIA RELATUVA

$$w = \Omega T_s$$

Todo proceso de muestreo en el tiempo origina periodicidad en el dominio de la frecuencia. El valor de la periodicidad es de 2π .

Solo se requiere conocer el espectro en el intervalo de $[0 \quad 2\pi]$ o $[-\pi \quad \pi]$ para fines de análisis y diseño de filtros en el dominio de la frecuencia.

FRECUENCIA RELATUVA

$$w = \Omega T_s$$

Todo proceso de muestreo en el tiempo origina periodicidad en el dominio de la frecuencia. El valor de la periodicidad es de 2π .

Solo se requiere conocer el espectro en el intervalo de $[0 \quad 2\pi]\, o\, [-\pi \quad \pi]$ para fines de análisis y diseño de filtros en el dominio de la frecuencia.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Los sistemas LTI son los únicos que pueden ser analizados por herramientas matemáticas como transformada de Laplace, Fourier ,entre otras. En el contexto de sistemas LTI discreto se utiliza Transformada Z, DFT, entre otras.

La función de transferencia nos permite saber la relación entrada-salida de un sistema en el dominio de la variable compleja 's'(tiempo continuo) o 'z' (tiempo discreto).

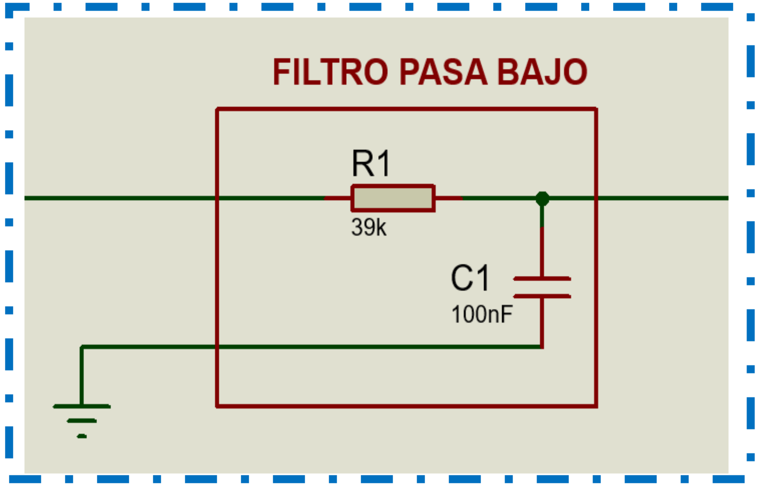
$$\boldsymbol{H}(\boldsymbol{s}) = \frac{b_0 s^n + b_1 s^{n-1} + \cdots + b_{n-1} s + b_n}{s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n}$$

$$b = [b_0, b_1, \dots b_n]$$
$$a = [1, a_1, a_2, \dots a_n]$$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

FILTRO PASA BAJO DE PRIMER ORDEN

V_i



V_o

$$H(s) = \frac{1}{RCs + 1} = \frac{\frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}}$$

$$S = j\Omega = j2\pi F$$

$$H(F) = \frac{1}{RCj(2\pi RCF) + 1} = \frac{1}{1 + j(2\pi RCF)}$$

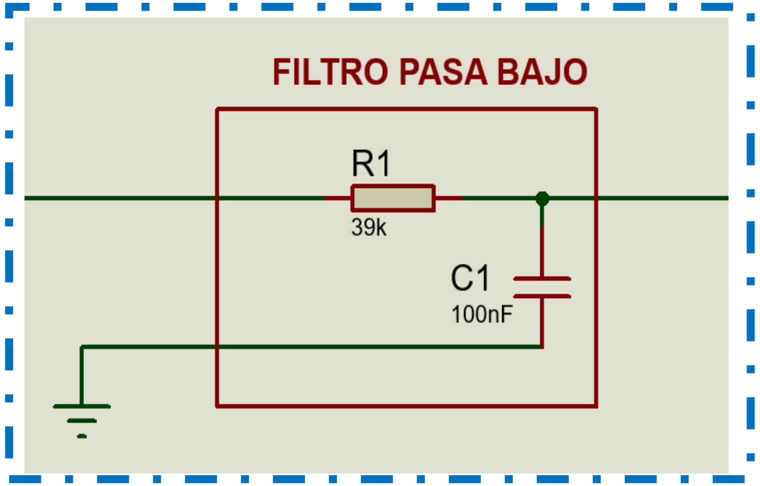
$$|H(F)| = \sqrt{\frac{1}{1 + (2\pi RCF)^2}}$$

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}[Hz] \rightarrow |H(F)| = 0.707$$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

FILTRO PASA BAJO DE PRIMER ORDEN

V_i



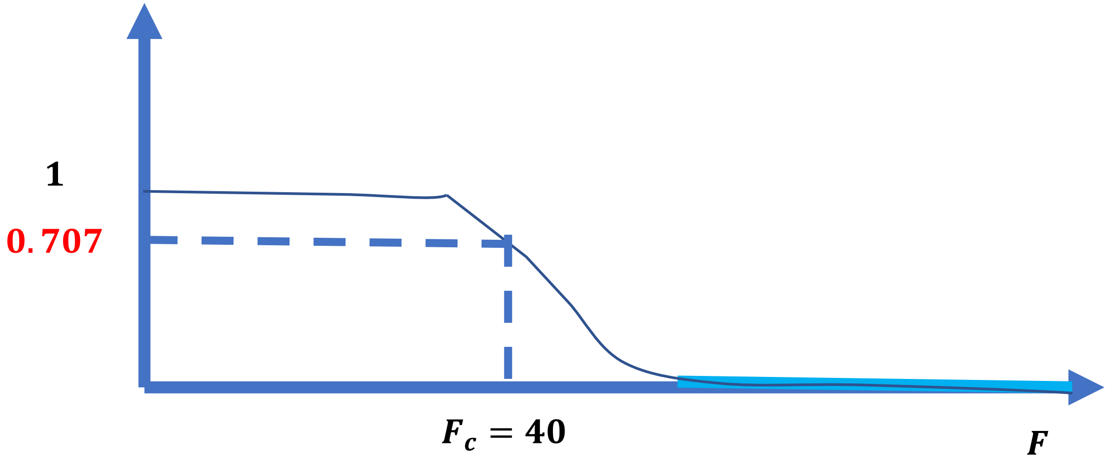
V_o

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}[Hz] \rightarrow |H(F)| = 0.707$$

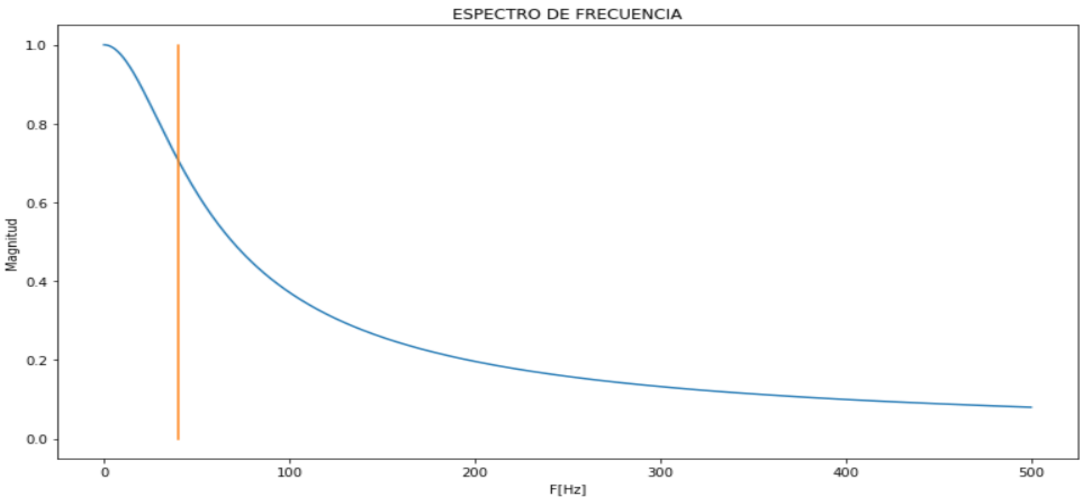
$$F_c = 40Hz$$
$$R = \frac{1}{2\pi F_c C} = \frac{1}{80\pi C}$$

$$C = 100nF \rightarrow R = 39Kohms$$

$|H(F)|$

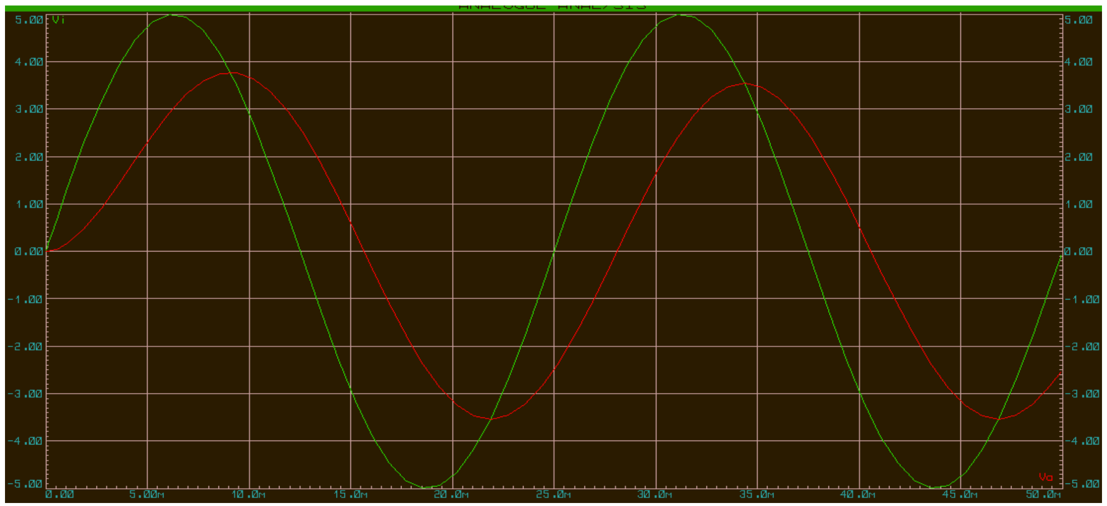


RESPUESTA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO Y FRECUENCIA



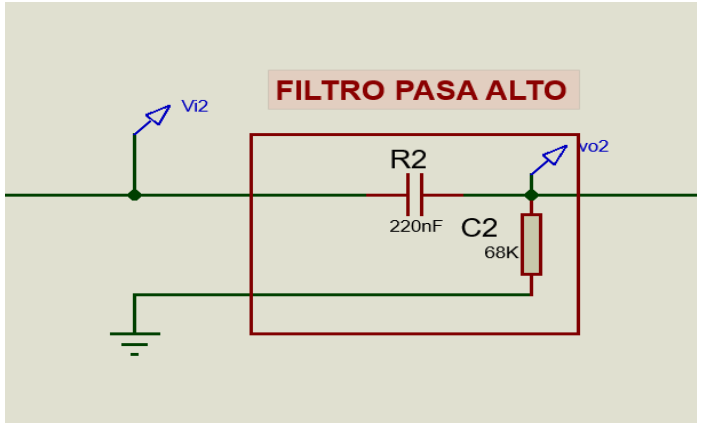
VERDE: Señal de entrada
$F = 40Hz$
$A = 5V$

ROJO: Señal de salida



$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

FILTRO PASA ALTO DE PRIMER ORDEN



V_o

$$H(s) = \frac{RCs}{RCs + 1}$$

$$S = j\Omega = j2\pi F$$

$$H(\Omega)\frac{RC(j\Omega)}{RC(j\Omega) + 1}$$

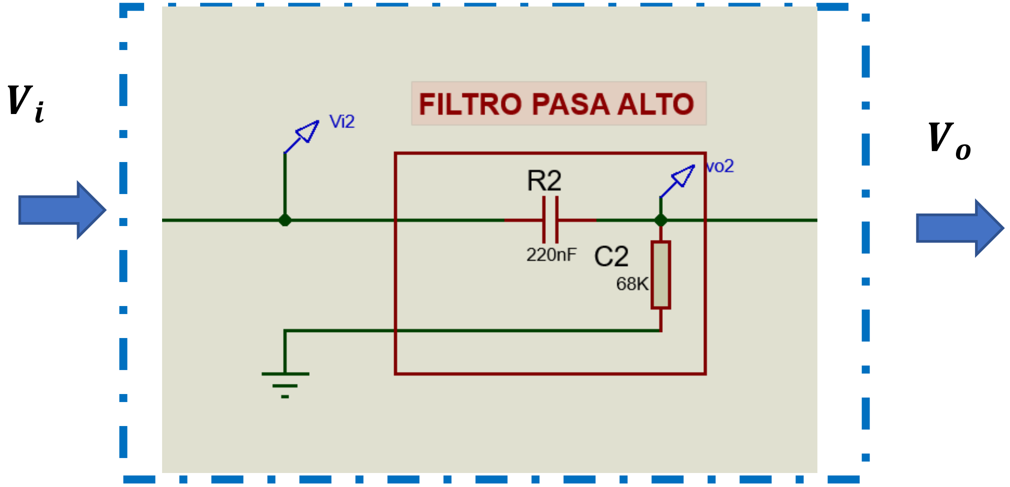
$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}}$$

$$\Omega_c = 2\pi F_c = \frac{1}{RC}$$

Frecuencia de corte

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

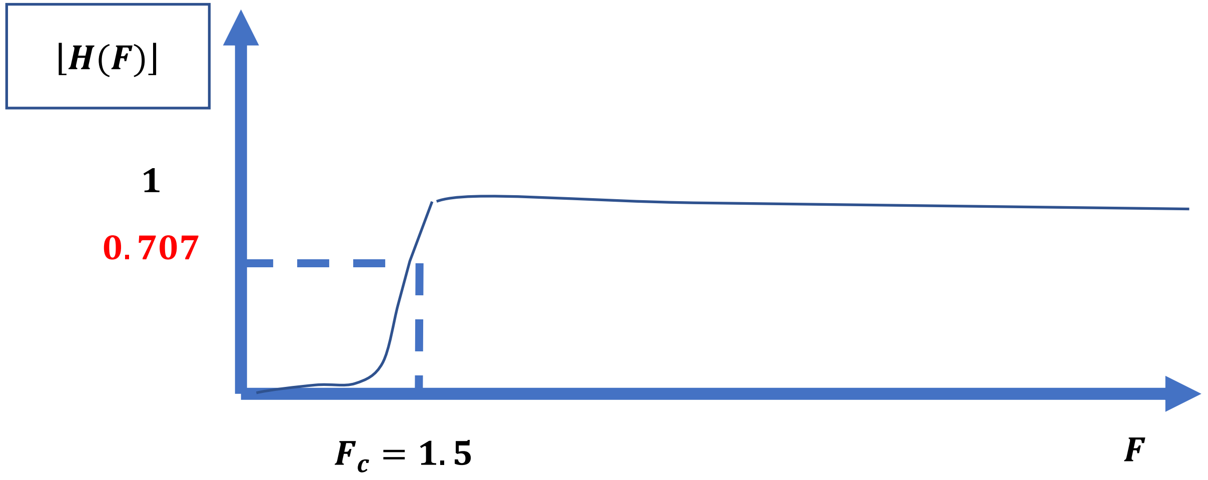
FILTRO PASA ALTO DE PRIMER ORDEN



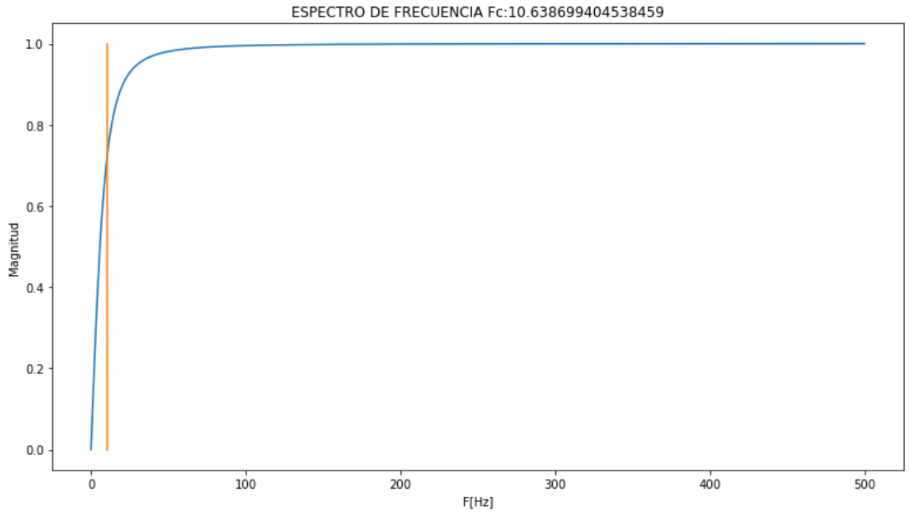
$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$F_c = 10Hz$$
$$R = \frac{1}{2\pi F_c C} = \frac{1}{80\pi C}$$

$$C = 220nF \rightarrow R = 68k$$



RESPUESTA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO Y FRECUENCIA

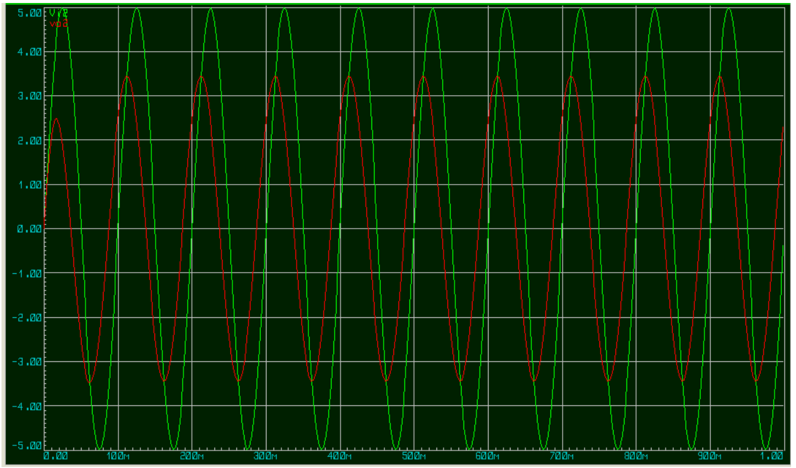


VERDE: Señal de entrada

$F = 10Hz$

$A = 5V$

ROJO: Señal de salida

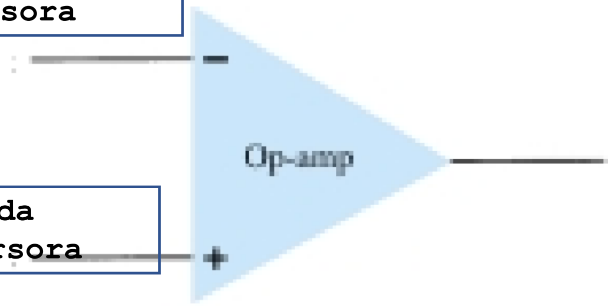


FILTROS ANALOGICOS ACTIVOS

Compuesto de elementos pasivos , como resistencias , bobinas , condensadores , transistores y amplificadores operacionales.

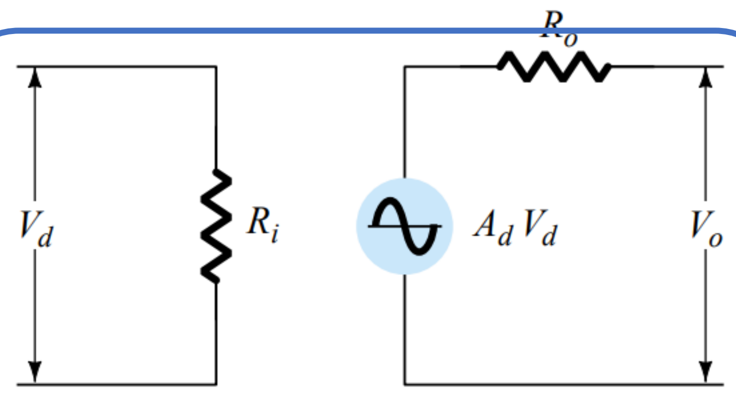
AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Entrada inversora

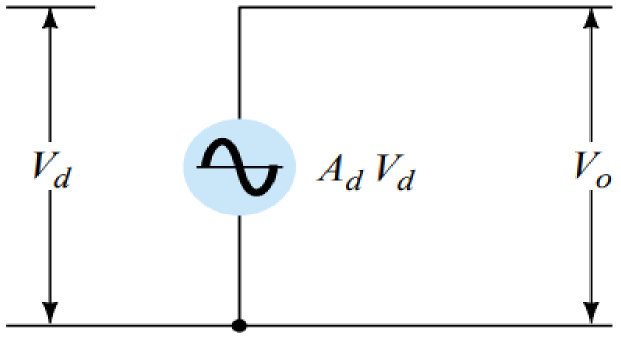


Entrada No inversora

CIRCUITO EQUIVALENTE I

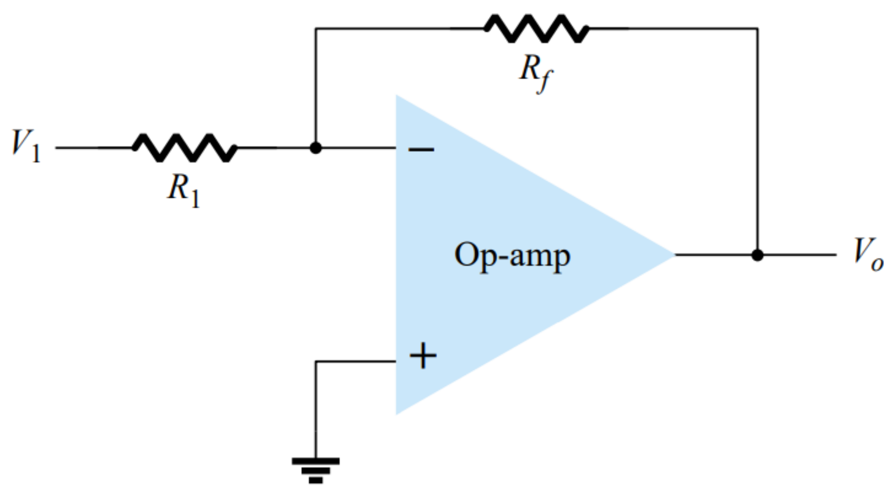


CIRCUITO EQUIVALENTE II

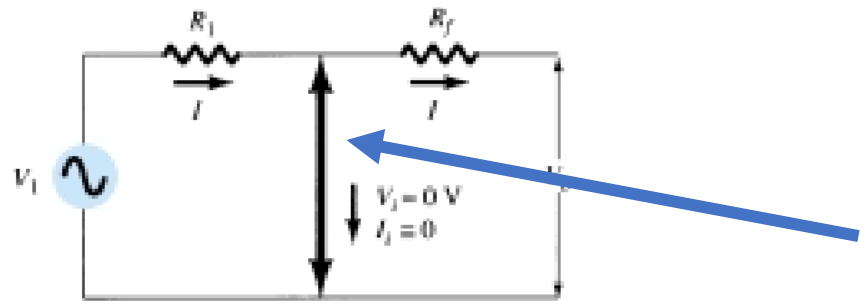


Negative Feedback

AMPLIFICADOR INVERSOR



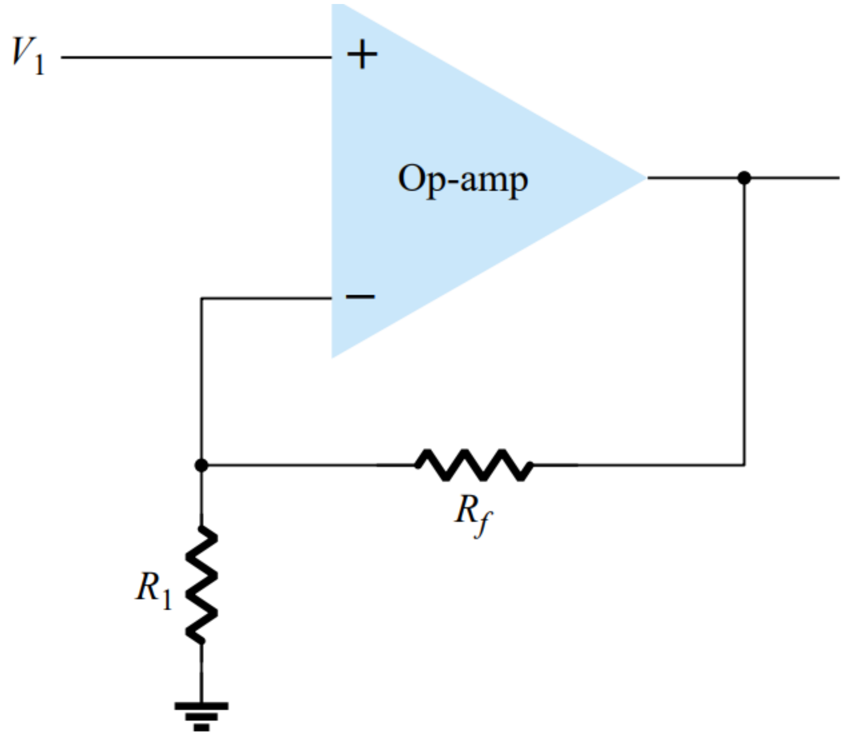
$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i$$



TIERRA VIRTUAL

Negative Feedback

AMPLIFICADOR
NO INVERSOR



$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_i$$

CARACTERISTICAS DE UN AMPLIFICADOR OPERACIONAL

$\boldsymbol{A_d}$: ***Ganancia en lazo abierto***

$\mathbf{Z_i}$; ***Impendancia de entrada***

$\boldsymbol{Z_o}$; ***Impendancia de salida***

$\boldsymbol{CMRR}$; ***índice de rechazo de modo común***

$\boldsymbol{P_{tot}}$; ***potencia disipada***

Octopart

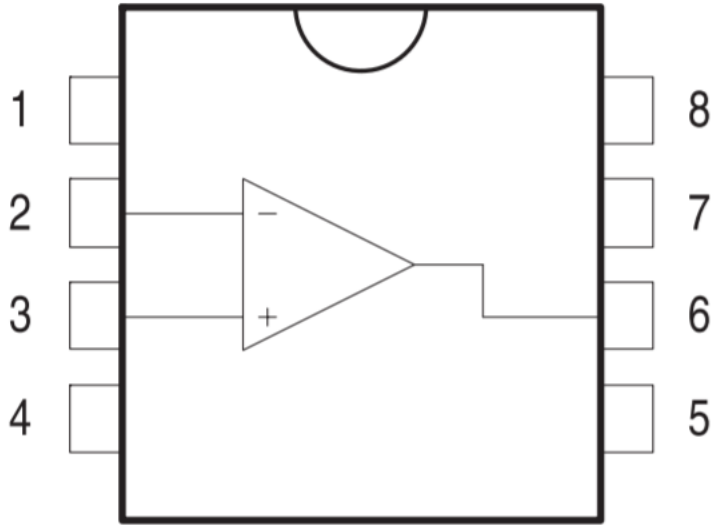
Search by keywords, tech specs, or part number

Or try an example search: 40mhz 15pf 3.3v

Octopart is the easiest search engine for electronic parts.
Search across hundreds of distributors
and thousands of manufacturers.

UPLOAD BOM

TL081



1 - Offset null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^{-}
5 - Offset null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^{+}
8 - N.C.

CMR	Common mode rejection ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25°C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB

TL081

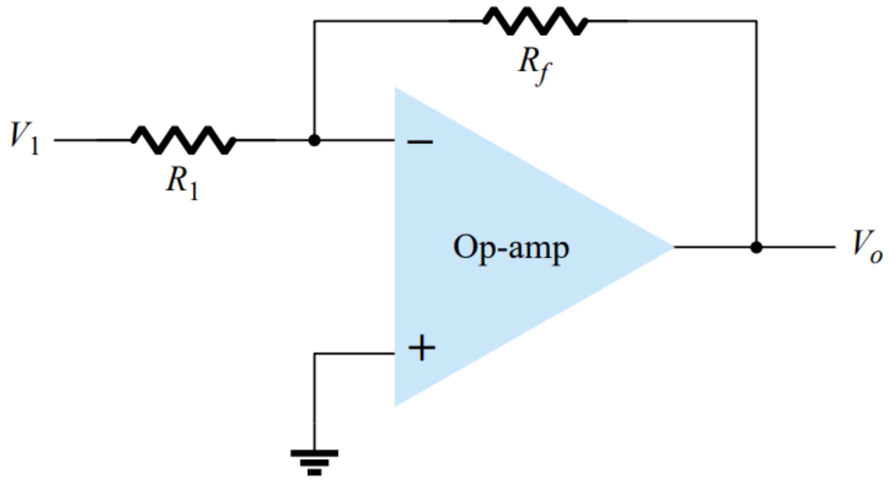
Symbol	Parameter	TL081I, AI, BI	TL081C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage (1)	±18		V
V_{in}	Input voltage (2)	±15		V
V_{id}	Differential input voltage (3)	±30		V
P_{tot}	Power dissipation	680		mW
	Output short-circuit duration (4)	Infinite		
T_{stg}	Storage temperature range	-65 to +150		°C
R_{thja}	Thermal resistance junction to ambient(5) (6) SO-8 DIP8	 125 85		°C/W
R_{thjc}	Thermal resistance junction to case(5) (6) SO-8 DIP8	 40 41		°C/W
ESD	HBM: human body model(7)	500		V
	MM: machine model(8)	200		V
	CDM: charged device model(9)	1.5		kV

TL081

Symbol	Parameter	TL081I, AC, AI, BC, BI			TL081C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
CMR	Common mode rejection ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25°C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	 80 80	 86		 70 70	 86		dB
GBP	Gain bandwidth product ($T_{amb} = +25°C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, F= 100kHz	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input resistance		10^{12}			10^{12}		Ω
THD	Total harmonic distortion ($T_{amb} = +25°C$), F= 1kHz, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $A_v = 20dB$, $V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent input noise voltage $R_S = 100\Omega$, F= 1kHz		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$

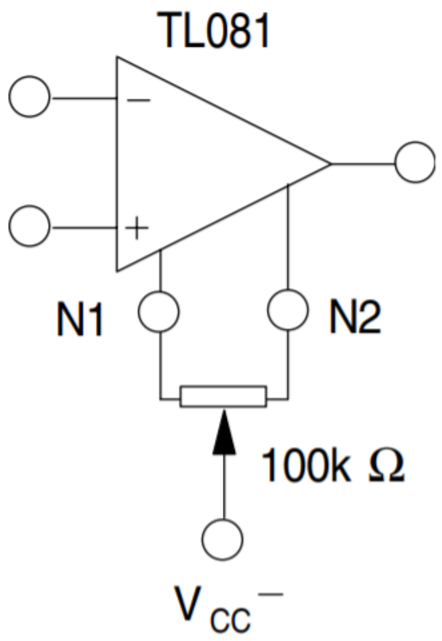
TL081

VOLTAJE DE OFFSET



$$\boldsymbol{V_i = 0V \rightarrow V_o = 0\ V}$$

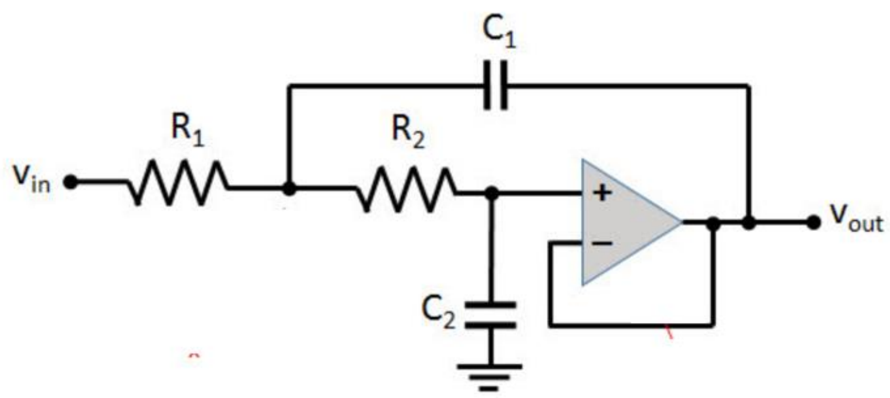
CORRECIÓN DEL VOLTAJE DE OFFSET



NOTA: Estos dispositivos de bajo costo suelen emplearse en etapas de amplificación y filtrado , una vez que la señal haya sido manipulada en la etapa de PRE-AMPLIFICACIÓN.

Ganancia unitaria

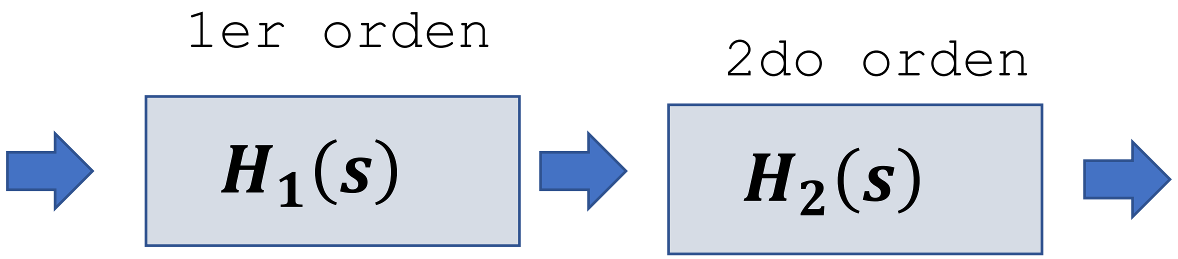
ESTRUCTURA SALLEN KEY 2DO ORDEN



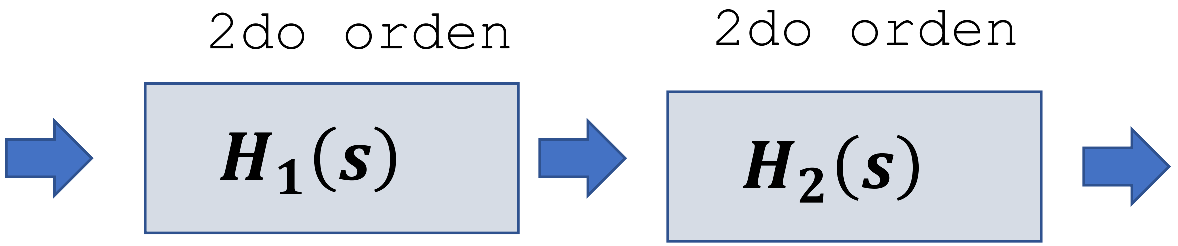
$$H(S) = \frac{\frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}{s^2 + s\left(\frac{R_1 \cdot C_2}{R_2 \cdot C_1} + \frac{1}{R_1 \cdot C_1}\right) + \left(\frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}\right)}$$

FILTROS DE ORDEN SUPERIOR

FILTRO 3er orden



FILTRO 4to orden

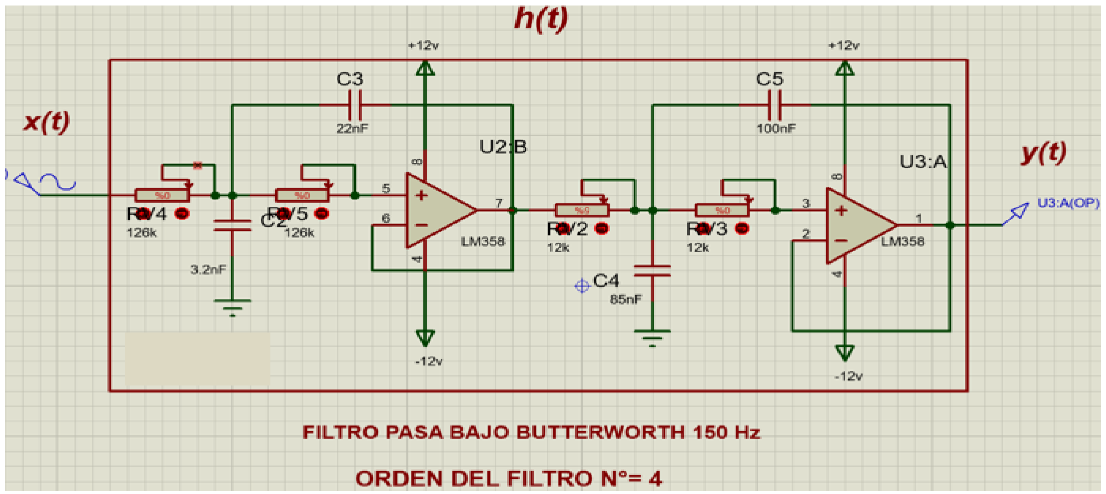


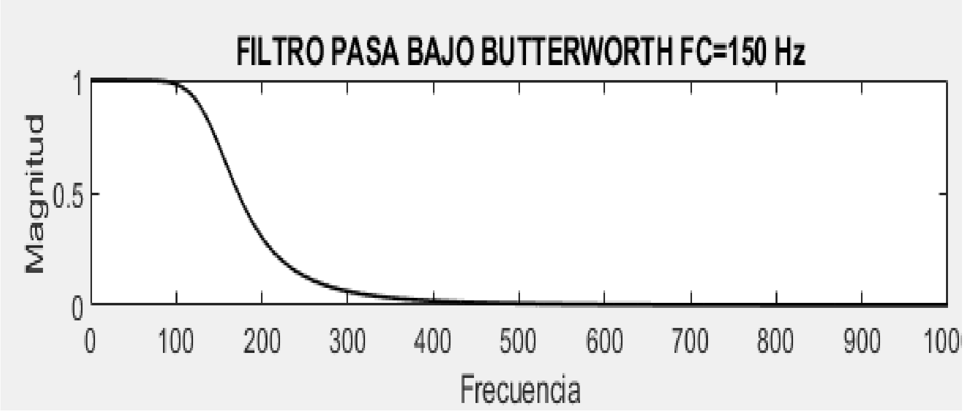
FILTRO BUTTERWORTH DE ORDEN 4

2 etapas de Sallen-key 2do orden

$$H(s)=\frac{7.89e11}{s^4 + 2463\ s^3 + 3.033e06\ s^2 + 2.188e09\ s + 7.89e11}$$

$$H(s)=\frac{8.883e05}{s^2 + 721\ s + 888264}\cdot\frac{888264}{s^2 + 1741\ s + 888264}$$





SISTEMAS DISCRETOS TIPICOS

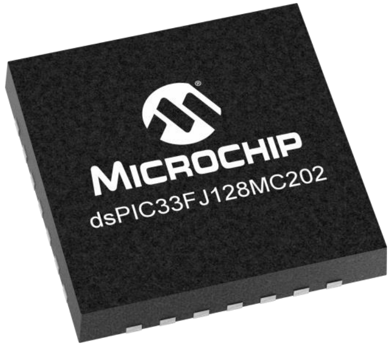
PROCESO DE MEDIA MOVIL

PROCESO DE MEDIA MOVIL AUTOREGRESIVO

PROCESO AUTOREGRESIVO

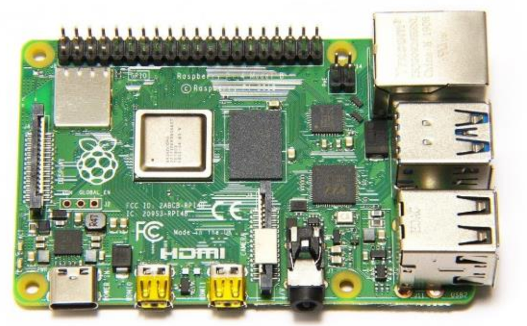
IMPLEMENTACIÓN EN HARDWARE

dsPIC33FJ



FPGA

Raspberry *pi*



TIVA C
TM4C123GH6PM