

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Informática**

PRÁCTICA 4:

MUESTREO DE SEÑALES Y DIGITALIZACIÓN

**Tecnología Básica de las Comunicaciones
(Ingeniería Técnica Informática de Sistemas)**



DT

Departamento de Tecnología Electrónica

PRACTICA 5.-MUESTREO DE SEÑALES Y DIGITALIZACIÓN

1- Objetivos

- Visualizar las señales muestreadas para muestreo natural y para el caso de muestreo y retención (Sample and Hold).
- Calcular y medir los espectros para señales muestreadas a diferentes frecuencias de muestreo.
- Calcular y medir el espectro recuperado para diferentes frecuencias de muestreo para analizar el efecto del filtrado.
- Explicar y razonar los pasos necesarios para la digitalización de señales.

2.- Estudio teórico

• Muestreo ideal

Sea $f(t)$ una señal continua en el tiempo y con un ancho de banda finito W . Sea la onda muestreadora:

$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s)$$

donde T_s es el período de muestreo.

Cuando la entrada del muestreador es la señal $f(t)$, su salida $s(t) = m(t) * f(t)$ será:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - nT_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nT_s) \delta(t - nT_s)$$

Puesto que la función de muestreo, $m(t)$, es periódica, la podemos representar mediante su serie de Fourier:

$$c_n = \frac{1}{T_s} \int_{-\frac{T_s}{2}}^{\frac{T_s}{2}} \delta(t) e^{-j2\pi n t} dt = \frac{1}{T_s}$$

$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j2\frac{n\pi}{T_s}t}$$

Por tanto la salida se expresará mediante:

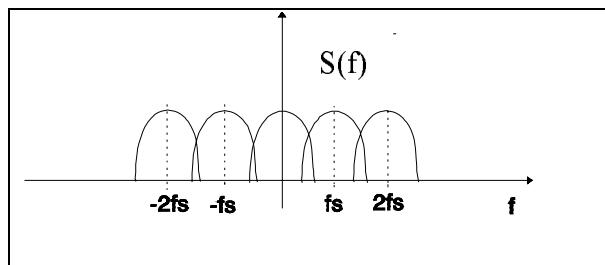
$$s(t) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(t) e^{j2\frac{n\pi}{T_s}t}$$

La transformada de Fourier aplicada a $s(t)$, nos da el espectro de salida de la señal muestreada.

$$S(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi(f-nf_s)t} dt = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(f - nf_s)$$

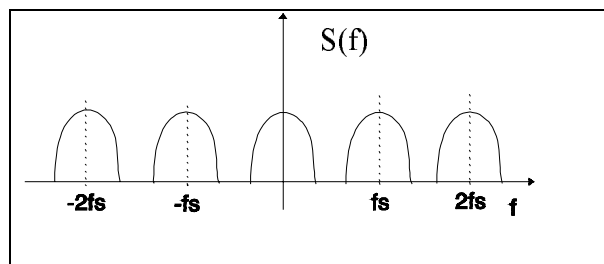
Conocido el espectro de $f(t)$ [$F(f)$], el espectro de $S(f)$ consiste en repetir el espectro de $f(t)$ en unas frecuencias que son múltiplos de f_s . Aquí podemos tener dos posibilidades:

a) Para $f_s < 2W$, o sea, la frecuencia de muestreo es menor del doble del ancho de banda de $f(t)$, en cuyo caso existe solapamiento de las bandas.



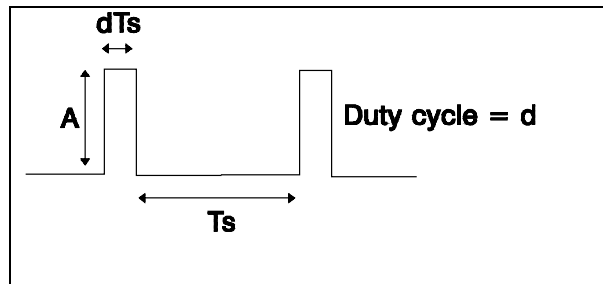
En este caso no se puede recuperar la señal original $f(t)$, por haber solapamiento de las diferentes partes del espectro.(aliasing).

b) Para $f_s \geq 2W$. La frecuencia de muestreo es mayor del doble del ancho de banda, en cuyo caso no existe solapamiento. Este es el caso más interesante, puesto que a partir de una señal muestreada podemos volver a reconstruir la señal original utilizando un filtro paso de bajo.



• Muestreo natural

En la práctica es imposible obtener un muestreador ideal. Técnicamente, la función de muestreo es una señal cuadrada con un duty cycle pequeño y una amplitud finita.



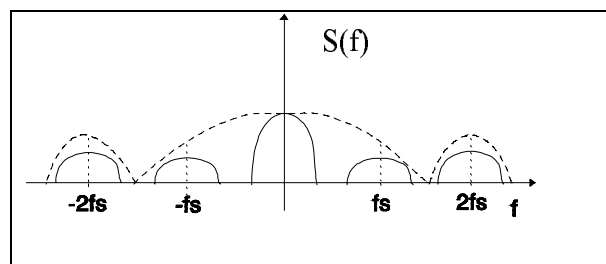
Esta función de muestreo periódica puede expresarse mediante su serie de Fourier:

$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Ad S_a(n\pi d) e^{-j2\pi n f_s t}$$

siendo la señal muestreada $s(t) = m(t) * f(t)$ y su transformada de Fourier $S(f)$:

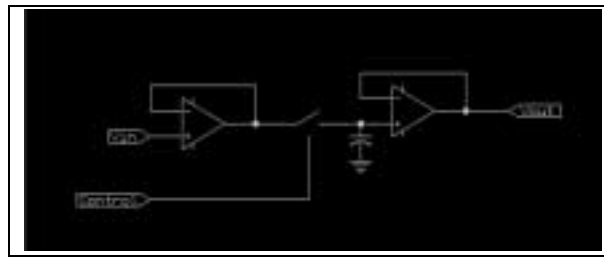
$$S(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Ad S_a(n\pi d) F(f - n f_s)$$

Si representamos el espectro para el caso en que $f_s \geq 2W$, obtenemos una gráfica similar a la obtenida en el muestreo ideal, pero modificada en amplitud por una función Sample. No obstante se siguen manteniendo las condiciones de recuperabilidad de la señal mediante un filtro paso bajo.

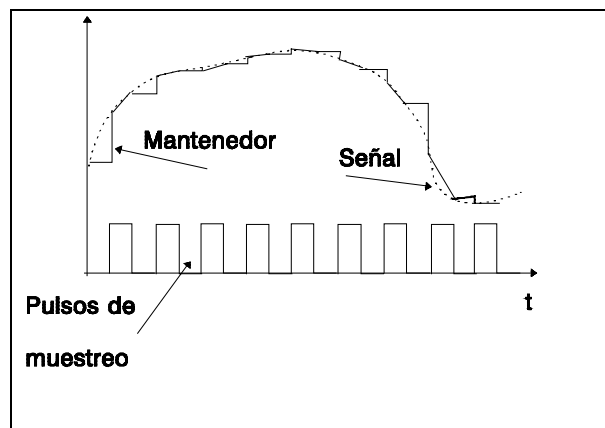


• Muestreo práctico (Sample&Hold)

Al conjunto del muestreador natural más el mantenedor de orden 0 suele designarse como Sample and Hold. En la figura aparece la estructura de un S&H de orden 0.



Cuando el interruptor, que está controlado por la señal de muestreo $m(t)$ está cerrado, el condensador se carga con la tensión de entrada. La salida se corresponde con la entrada. Si el interruptor está abierto, el condensador mantiene la carga, puesto que no tiene camino físico para su descarga, por tanto la salida se mantiene constante. En la figura siguiente se puede observar la salida de un circuito de estas características.



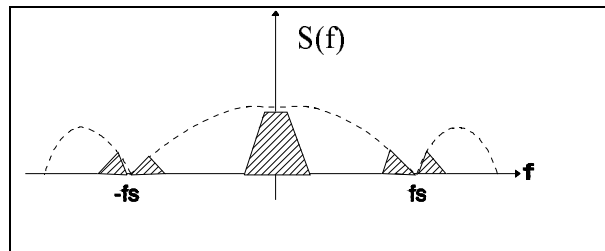
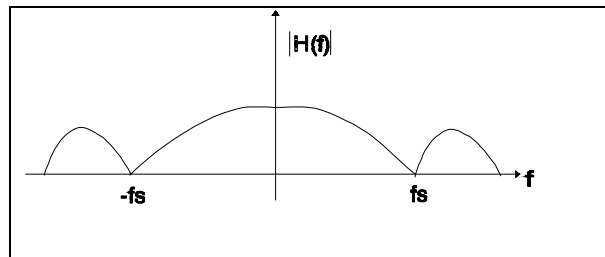
En este caso según se ha visto en teoría, el espectro de la señal muestreada es el espectro de la señal muestreada ideal por la función de transferencia del mantenedor $H(f)$, que es la transformada de un pulso de anchura T_s y amplitud unidad.

El espectro de la señal muestreada y retenida es:

$$S_h(f) = S_i(f) \cdot H(f)$$

$$S_h(f) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1}{T_s} F(f - nf_s) T_s \text{Sa}(\pi f T_s)$$

El primer término del resultado de la ecuación coincide con la expresión del espectro de la señal muestreada de forma ideal y el segundo término se corresponde con la función de transferencia del mantenedor.

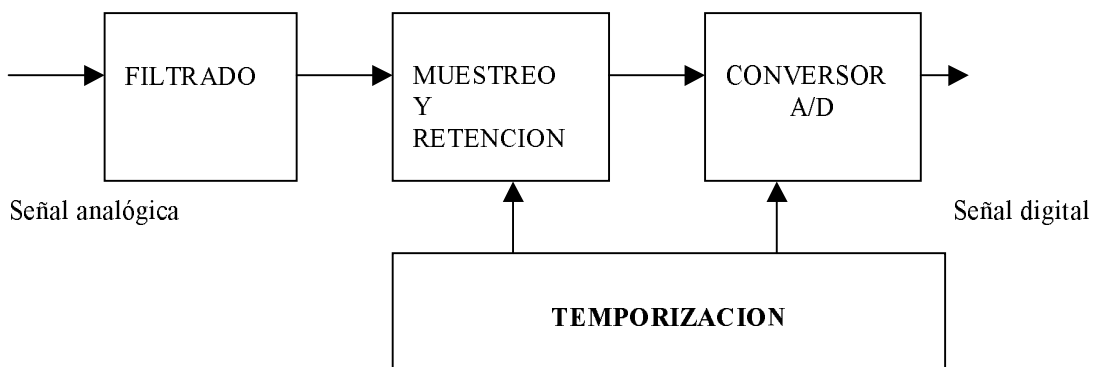


En este caso para recuperar exactamente la señal original, se precisaría de un filtro paso bajo seguido de un igualador con la función inversa del circuito mantenedor.

- **Digitalización de señales**

Muchas de las magnitudes físicas que sirven para representar los fenómenos de la naturaleza son analógicas, por ejemplo la voz, la música y las imágenes, para procesarlas mediante el ordenador que maneja señales digitales, es precisa la conversión de las señales analógicas en digitales.

Los procesos básicos en la digitalización de señales son **el filtrado** para limitar la señal en banda (espectro finito), **el muestreo y retención** de la señal a través del circuito correspondiente a mas de dos veces la frecuencia máxima y **cuantificación y codificación** mediante un convertidor analógico-digital con un tiempo de adquisición inferior al tiempo de retención y con la resolución en número de bits adecuada de acuerdo con la precisión que necesitamos. Tanto el muestreador como el conversor serán controlados por el circuito de temporización (o control) que generan la señal muestreadora y las temporizaciones para generar la palabra código correspondiente a cada muestra, e inicio y finalización de la conversión.



NOMBRE Y APELLIDOS _____

GRUPO _____

3.- Estudio previo

1. Determina y representa el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada por una señal cuadrada con duty cycle del 50%, frecuencia 90KHz y 1V de tensión pico a pico.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

2. Determina y representa el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada idealmente por un tren de $\delta(t)$ a la frecuencia de 90KHz.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

3. Determina y representa el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada por un circuito de muestreo y retención de frecuencia 90KHz.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

4. Representa y calcula el espectro de salida de un filtro de orden 6, cuya función de transferencia se muestra a continuación, a cuya entrada está la señal muestreada anterior.

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5 \cdot 10^4}\right)^2}}$$

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

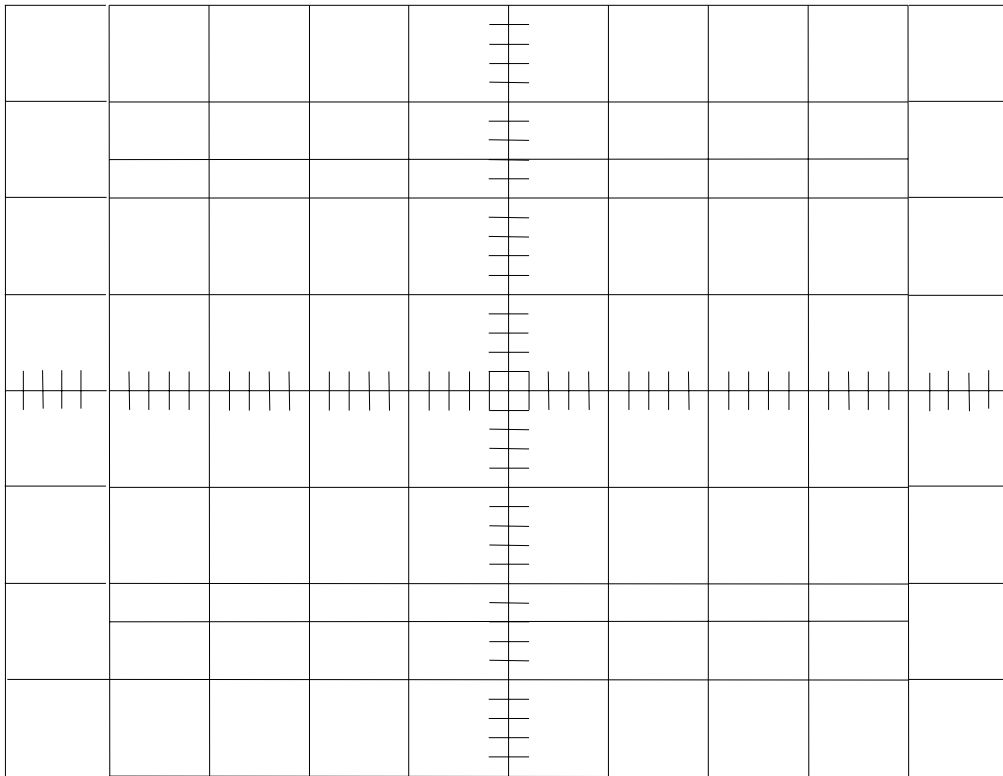
5 . Obtén matemáticamente la expresión de la señal temporal de la salida del filtro a partir del espectro obtenido en el apartado anterior y represéntala.

4.- Realización experimental

1.- Determinar y representar el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada por el circuito de muestreo y retención de frecuencia 90KHz.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

Escala eje Y _____ dBV/div

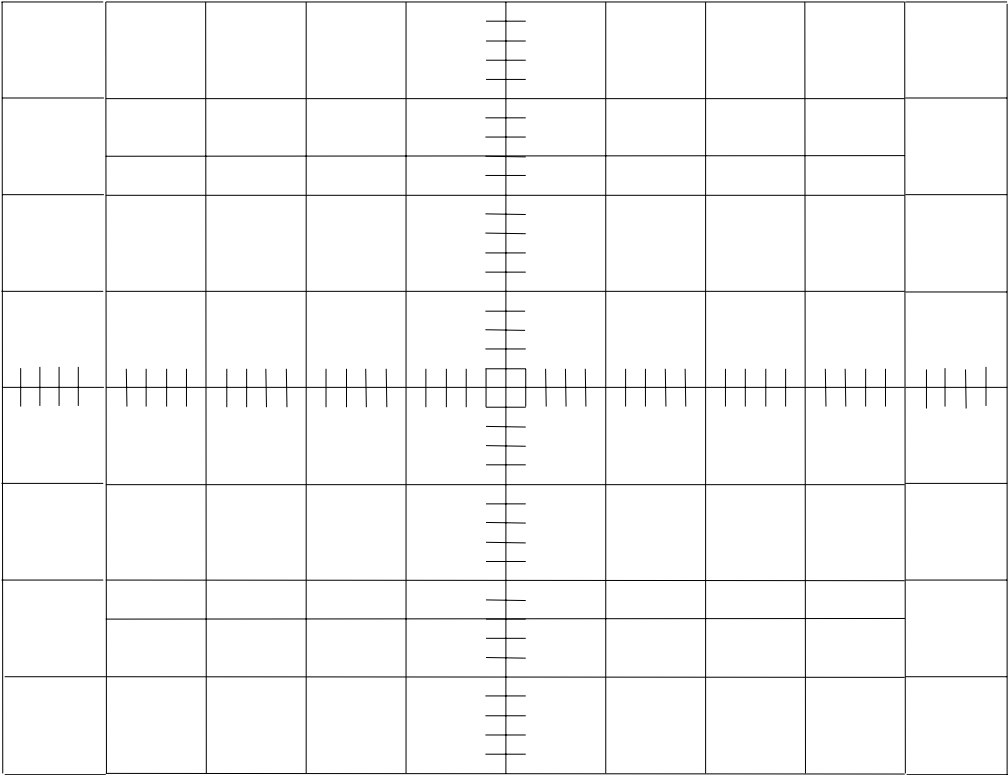


Escala eje X _____ KHz/div

2.- Determinar y representar el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada por el circuito de muestreo y retención de frecuencia 80KHz.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

Escala eje Y _____ dBV/div

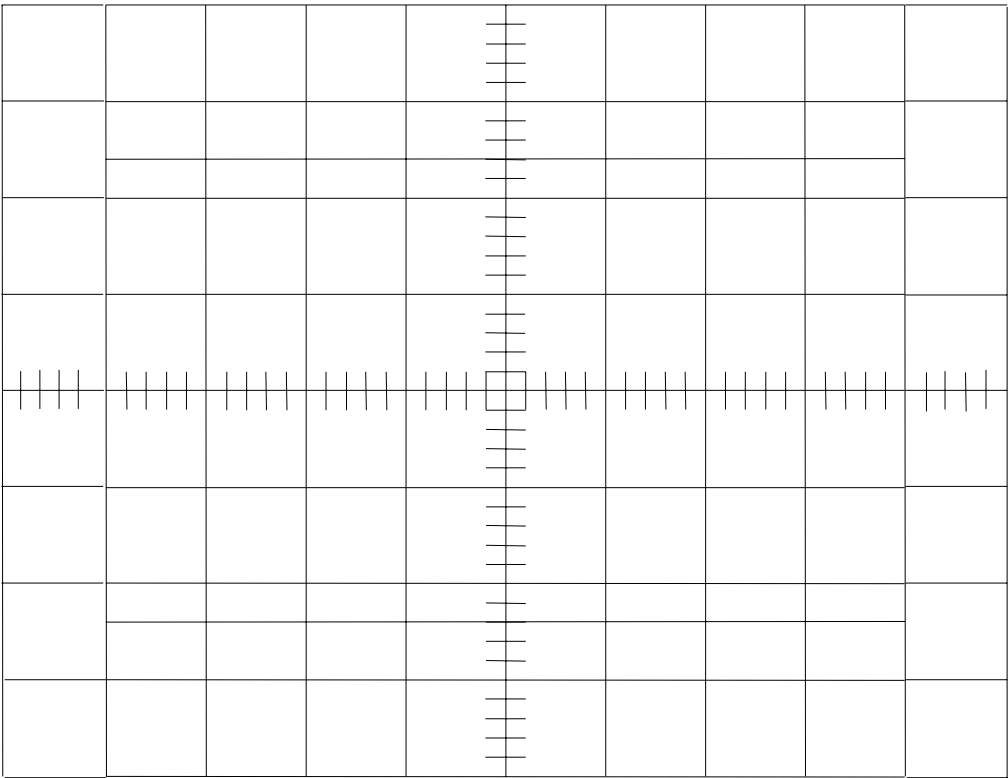


Escala eje X _____ KHz/div

3.- Determinar y representar el espectro de una señal senoidal de frecuencia 10Khz, amplitud 2V, muestreada por el circuito de muestreo y retención de frecuencia 50KHz.

Frecuencia	Amplitud	dBVef
f_0		
$-f_0$		
f_s+f_0		
$-(f_s+f_0)$		

Escala eje Y _____ dBV/div



Escala eje X _____ KHz/div

4.- Introducir la señal de salida de los tres apartados anteriores al circuito de filtrado activo de 6º orden. Comenta el resultado obtenido en todos los casos tanto en el dominio temporal como frecuencial.

5.- En el circuito muestreador y circuito de filtrado del experimento ¿cuál recupera mejor la señal original, el filtro paso bajo R-C o el filtro activo de 6º orden ?

6.- Calcular las velocidades binarias para digitalizar una señal de voz de calidad telefónica ($f_{\max}= 3,4\text{KHz}$) con un convertidor A/D de tres bits y un convertidor A/D de ocho bits. Comentar las ventajas e inconvenientes de ambas soluciones.

7.- Si se quiere digitalizar una señal estereofónica de alta calidad con canal izquierdo (L) de 20 KHz de calidad y canal derecho (R) de 20 KHz de calidad muestreando cada canal a 44.1 KHz, convirtiéndolos a digital mediante un convertidor A/D de 16 bits y multiplexando ambos canales para obtener la señal digitalizada completa ¿cuánta memoria precisas para almacenar 1 minuto de la señal digitalizada?.