

# Muestreo y Reconstrucción

## ■ Guía de ejercicios

### Ejercicios de cálculo

#### 1. Muestreo.

- 1.1. Se requiere muestrear una señal analógica senoidal pura de 18kHz.
  - 1.1.1. Determinar la frecuencia de muestreo mínima apropiada para esta señal.
  - 1.1.2. Determinar la frecuencia analógica de corte requerida para el filtro muestreador.
  - 1.1.3. Calcular la frecuencia digital de la componente fundamental de la señal muestreada si se muestrea a 16 kHz.
  - 1.1.4. Calcular las frecuencias digitales de las réplicas.
  - 1.1.5. Graficar la componente fundamental y las réplicas.
  - 1.1.6. Calcular la frecuencia analógica de la señal reconstruida si se reconstruye a la misma frecuencia con la que se muestreó y con un filtro reconstructor de igual ancho de banda que el muestreador.
- 1.2. Una señal analógica representada por  $x(t)=2\text{sen}(100\pi t)+0.8\text{sen}(178\pi t)$  se muestrea a una tasa tal que la componente de mayor frecuencia tiene 27 muestras por período.
  - 1.2.1. Determinar la expresión de la señal muestreada.
  - 1.2.2. Calcular la cantidad de períodos de la componente de menor frecuencia que hay en 54 muestras de la señal muestreada.

## Ejercicios de simulación

### 1. Muestreo.

★ Escribir un programa de simulación que grafique la forma de onda de una señal muestreada y su espectro, permitiendo variar la frecuencia de muestreo.

▶ Procedimiento:

- Generar un escalar que represente la frecuencia de muestreo  $F_s$ .
- Generar un vector  $n$  cuyos  $N$  elementos representen la variable independiente del tiempo discreto.
- Idem para la frecuencia analógica  $F$  y la frecuencia digital  $f=F/F_s$  con un rango que permita graficar un período de la Transformada de Fourier de Tiempo Discreto.
- Generar un vector  $x$  que represente la señal muestreada, cuyos elementos sean los valores de una función dependiente de  $n/F_s$  y graficarlo.
- Calcular su Transformada de Fourier de Tiempo Discreto y graficarla.

- 1.1. Simular el muestreo de una señal senoidal de amplitud unitaria y frecuencia 1200 Hz y la misma señal muestreada a 1 kHz.
- 1.2. Simular una suma de señales cosenoidales de 100, 200, 600 y 2100 Hz y amplitud unitaria con un período de muestreo de 1 ms durante un segundo. Probar qué ocurre si la frecuencia más alta es 1900 Hz. ¿Y si fueran señales senoidales?
- 1.3. Simular la forma de onda y el espectro de una señal cuadrada de 1000 puntos con frecuencia 150 Hz muestreada a 1000 Hz.

# Ejercicios de Laboratorio

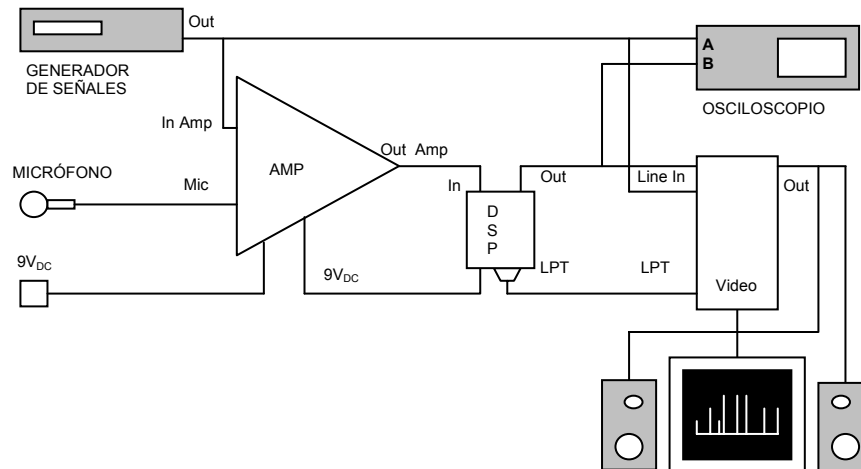
## 1. Ganancia.

### Objetivos:

- ★ Usar los conversores A/D y D/A del DSP para procesar una señal sin modificar su forma de onda controlando la ganancia.

### Instrumental:

- ★ Kit de DSP
- ★ Computadora y periféricos.
- ★ Fuente regulada de 9V.
- ★ Software depurador, ensamblador y de carga del DSP.
- ★ Manuales del kit de DSP.
- ★ Amplificador de audio con mezclador de 2 entradas y parlantes.
- ★ Cable de puerto paralelo. Cables coaxial con fichas RCA-RCA y RCA-BNC.
- ★ Micrófono.
- ★ Generador de señales con forma de onda arbitraria.
- ★ Osciloscopio (opcional).



### Procedimiento:

- 1.1. Apagar todos los equipos incluyendo la PC.
- 1.2. Conectar el cable paralelo del DSP a la PC.
- 1.3. Conectar los parlantes a la salida de audio de la PC.
- 1.4. Conectar el generador de señales a la entrada de línea del amplificador mezclador y a un canal de la entrada de línea de la PC.
- 1.5. Conectar la salida del amplificador mezclador al DSP y la salida del DSP al otro canal de la entrada de línea de la PC.
- 1.6. Conectar la salida del generador de señales y del DSP a las entradas del osciloscopio.
- 1.7. Conectar el cable de alimentación del amplificador mezclador al DSP y la fuente de alimentación. Encender el amplificador y el DSP, luego la PC y el resto de los equipos.
- 1.8. Abrir el programa dsk3dw. Abrir el archivo que contiene el programa "muestreo.asm" en assembler seleccionando Open Source File en la opción File de la barra de tareas. También puede abrirse el archivo en un editor de texto.
- 1.9. Modificar el código cambiando el registro de control (C\_REG) de modo de tener una ganancia unitaria. Salvar el archivo modificado con extensión ".asm".
- 1.10. Ensamblar y enlazar el programa con sus archivos incluidos mediante el dsk3dw seleccionando Assemble, Build and Load en la opción Debug. Igualmente puede hacerse tipeando `dsk3a muestreo.asm` en la ventana de comando del dsk3dw o en el símbolo de sistema. Esto genera el archivo "muestreo.dsk".
- 1.11. Reinicializar el DSP tipeando `reset` en la ventana de comando.
- 1.12. Cargar el programa "muestreo.dsk" en el DSP con la opción Load Ejecutable en el menú desplegable File. Igualmente puede hacerse ejecutando el depurador para DOS `dsk3d` y luego tipeando `load muestreo.dsk` en la ventana de comando.
- 1.13. Ejecutar el programa en el DSP con la opción Run en el menú desplegable Debug del dsk3dw. Igualmente puede tipearse `run` en la ventana de comando en el dsk3d.
- 1.14. Inyectar una señal senoidal pura de 3 kHz y observar su forma y/o espectro a la salida.
- 1.15. Variar la ganancia de entrada reprogramando el registro de control del AIC (ver Manual User's Guide, Pág. 4 a 19). ¿Qué valor debe colocar para una ganancia X2 y X4.

⚡ **Precaución!** La amplitud de la señal de entrada a la placa de sonido de la computadora no debe exceder los máximos permitidos según las especificaciones.

⚡ **Precaución!** No conectar ni desconectar el kit con la computadora encendida.

## 2. Frecuencia de muestreo.

### Objetivos:

- ★ Programar la frecuencia de muestreo y la de reconstrucción del AIC y observar los efectos de ésta en las señales obtenidas.

### Instrumental:

- ★ Idem anterior.

### Procedimiento:

- 2.1. Editar "muestreo.asm" en assembler para modificar los valores de los registros en el código, poniendo TA=RA=11 y TB=RB=15. En virtud de esto

$$F_{conv} = \frac{6.25\text{MHz}}{2 * 11 * 15} \cong 19\text{kHz}$$

- 2.2. Verificar que el AIC tenga deshabilitado el filtro de entrada, poniendo en cero el bit 2 de C\_REG.
- 2.3. Salvar el archivo modificado, ensamblarlo, correr el depurador, reinicializarlo, cargar el archivo "muestreo.dsk" y ejecutarlo.
- 2.4. Ajustar el generador con una señal senoidal de 3 kHz. ¿Qué se observa a la salida?

### Opcional:

- 2.5. Si se utiliza el dsk3d, detener el programa y guardar 100 valores para graficarlos y analizarlos. Usar el comando `save` cuyo formato es `save, nombrearchivo, direccioninicio, cantidad_datos, formato_datos`, por ejemplo, `save, puntos, 0x809860, 100, 1` (se puede encontrar en la Ayuda del dsk3d con la tecla **F1**). Editar el archivo salvado, por ejemplo "puntos".
- 2.6. Repetir los pasos anteriores para el caso de RB=30, con lo cual

$$F_{conv} = \frac{6.25\text{MHz}}{2 * 11 * 30} \cong 9,5\text{kHz}$$

- 2.7. Verificar que la cantidad de puntos en cada caso es distinta.

## 3. Filtro anti-solapamiento.

### Objetivos:

- ★ Observar la influencia de los filtros de entrada y de salida. Programar su frecuencia de corte.

### Instrumental:

- ★ Idem anterior.

### Procedimiento:

- 3.1. Editar "muestreo.asm" en assembler para modificar los valores de los registros en el código, poniendo TA=RA=11, TB=15 y RB=30. En virtud de estos valores, la frecuencia de corte superior de los filtros y la frecuencia de muestreo y reconstrucción son

$$F_u = \frac{F_{normalizada[kHz]} F_{SCFClock}}{288\text{kHz}} = \frac{4\text{kHz} * 6,25\text{MHz}}{2 * 11 * 288\text{kHz}} \cong 4\text{kHz}$$

$$F_{conv} = \frac{6.25\text{MHz}}{2 * 11 * 15} \cong 19\text{kHz}$$

- 3.2. Verificar que el AIC tenga deshabilitado el filtro de entrada, poniendo en cero el bit 2 de C\_REG.
- 3.3. Salvar el archivo modificado, ensamblarlo, correr el depurador, reinicializarlo, cargar el archivo "muestreo.dsk" y ejecutarlo.
- 3.4. Ajustar el generador con una señal senoidal de 3 kHz. ¿Qué se observa a la salida?
- 3.5. Editar el programa "muestreo.asm" y habilitar el filtro de entrada poniendo en 1 el bit b2 de C\_REG. ¿Qué ocurre al ponerlo en funcionamiento en el DSP?
- 3.6. Editar "muestreo.asm" y variar la frecuencia de corte del filtro definiendo RA=22 y RB=15. ¿Qué ocurre al ponerlo en funcionamiento en el DSP? Para esos valores, la frecuencia de corte superior del filtro de entrada es

$$F_u = \frac{F_{normalizada[kHz]} F_{SCFClock}}{288\text{kHz}} = \frac{4\text{kHz} * 6,25\text{MHz}}{2 * 22 * 288\text{kHz}} \cong 2\text{kHz}$$

- 3.7. Editar "muestreo.asm" y quitar nuevamente el filtro de entrada sin cambiar el valor de la frecuencia de corte. ¿Qué ocurre al ponerlo en funcionamiento?

#### 4. Solapamiento.

##### Objetivos:

- ★ Verificar las limitaciones de la frecuencia de muestreo y el fenómeno de solapamiento.

##### Instrumental:

- ★ Idem. anterior.

##### Procedimiento:

- 4.1. Editar "muestreo.asm" en assembler para modificar los valores de los registros en el código, poniendo TA=RA=10, TB=RB=39. En virtud de esto, la frecuencia de muestreo y la frecuencia de corte superior del filtro de salida son

$$F_{conv} = \frac{F_{SCFClock}}{R_B} = \frac{6,25MHz}{2 * 10 * 39} \cong 8kHz$$

$$F_u = \frac{F_{normalizada[kHz]} F_{SCFClock}}{288kHz} = \frac{4kHz * 6.25MHz}{2 * 10 * 288kHz} \cong 4,3kHz$$

- 4.2. Verificar que el AIC tenga deshabilitado el filtro de entrada con el bit 2 de C\_REG nulo.
- 4.3. Salvar el archivo modificado, ensamblarlo, correr el depurador, reinicializarlo, cargar el archivo "muestreo.dsk" y ejecutarlo.
- 4.4. Ajustar el generador con una señal senoidal de 3 kHz. Observar la salida el cumplimiento del teorema del muestreo.
- 4.5. Editar "muestreo.asm" y variar la frecuencia de corte del filtro definiendo TA=RA=20 y TB=RB=39. La frecuencia de muestreo y la de corte superior del filtro de salida son

$$F_{conv} = \frac{F_{SCFClock}}{R_B} = \frac{6,25MHz}{2 * 20 * 39} \cong 4kHz$$

$$F_u = \frac{F_{normalizada[kHz]} F_{SCFClock}}{288kHz} = \frac{4kHz * 6.25MHz}{2 * 20 * 288kHz} \cong 2,2kHz$$

- 4.6. Ponerlo en funcionamiento en el DSP y observar la aparición de un alias en la primera réplica del espectro. Describir lo que ocurre.

##### Opcional:

- 4.7. Repetir los puntos anteriores pero usando una frecuencia de muestreo de 1.6 kHz con TA=RA=31 y TB=RB=63.