

4. PRINCIPIOS EN ADQUISICIÓN DE SEÑALES

El presente capítulo pretende establecer ciertas bases teóricas para entender los procedimientos empleados para adquirir la señal electrocardiográfica emitida por el fisiógrafo.

4.1. Tipos de señales

Las señales se pueden clasificar (según la forma como se considere la escala de tiempo: continuo o discreto) en señales *análogas* y las señales *digitales*. Las señales análogas son una función continua V (voltaje, por ejemplo) de una variable continua (por lo general tiempo). Una señal digital es una función discreta V_k de una variable discreta muestreada t_k , siendo k un entero. La figura 23 (a) muestra un ejemplo de una señal análoga en su representación voltaje/tiempo, y una señal digital en tiempos discretos de muestreo (b):

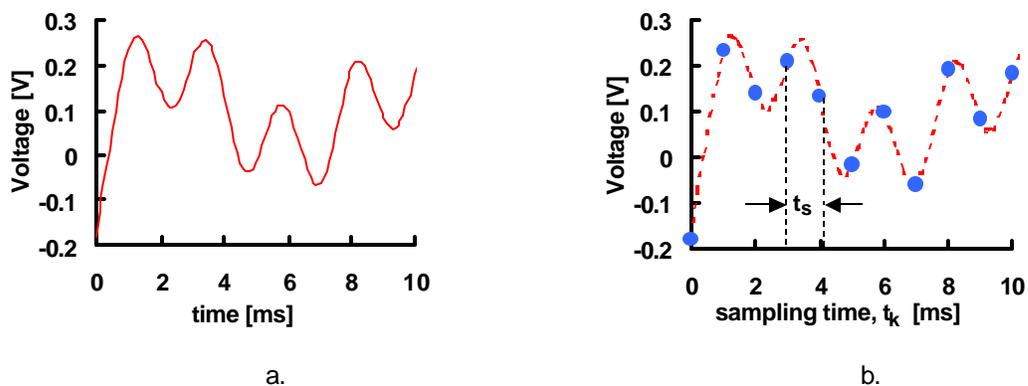


Figura 23. Tipos de señales. La figura (a) representa una señal análoga.

La figura (b) representa una señal digital.

FUENTE: WWU UNIVERSITY. Analog to Digital Conversión. Estados Unidos, 2003.

<<http://faculty.cs.wvu.edu/johnson/CS%20347/analog.digital.conversion.ppt>>

[Consulta: julio 11 de 2004]

Para realizar adquisición de señales ya sea análoga o discreta, se emplean diversos tipos de dispositivos con el fin de inducir la menor cantidad de distorsión al sistema. Los amplificadores operacionales sirven para este propósito.

4.2. Reseña sobre amplificadores operacionales:

Un amplificador operacional es un amplificador de entrada diferencial con una ganancia muy alta (mayor que 10^5 equivale a 100 dB), con una impedancia de entrada alta (orden de MΩ) y una impedancia de salida baja (menor a 100Ω). Es de tipo lineal y tiene capacidad de manejo de señal desde 0 Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante. En un amplificador operacional existen dos entradas, una es la entrada inversora (denotada con el signo “-”) y la entrada no inversora (denotada con signo “+”)

Un concepto crucial en el funcionamiento de un amplificador operacional es el de “tierra virtual”. La resistencia de entrada es muy grande y la corriente en cada entrada, sea del tipo inversora o no, es cero y como la ganancia de lazo abierto es virtualmente infinita, hace que el voltaje entre terminales sea cero. La figura 24 ilustra este concepto.

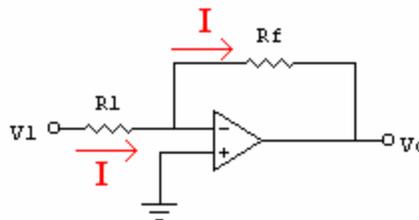


Figura 24. Disposición de corrientes en el amplificador operacional

$$I = \frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_o}{R_f} \rightarrow \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Donde I: Corriente (Amperios)

V_o : Voltaje a la salida (Voltios)

V_1, V_2, V_i : Voltaje a la(s) entrada(s) (Voltios)

R_f, R_1 : Resistencias (Ohmios)

NOTA: Esta es la misma convención que se utilizará para todas las demás ecuaciones de los amplificadores operacionales.

La ganancia de los amplificadores operacionales es muy alta y ésta varía con la frecuencia. Para hacer más manejable la ganancia del amplificador operacional, se usan elementos externos (por lo regular resistencias y condensadores) cuya función es realimentar una porción de la señal de la salida a la entrada. Con estos elementos formando realimentación, la ganancia de lazo cerrado depende exclusivamente de los elementos conectados y no de la ganancia básica de tensión del

amplificador operacional. Estos elementos, según su disposición, posibilitan al amplificador para hacer operaciones tales como sumar, restar, integrar, filtrar, comparar y amplificar.

A continuación se explican algunos modos de operación de los amplificadores operacionales:

- Modo inversor: Es un circuito de ganancia constante muy usado. La tensión de salida se obtiene de multiplicar la entrada por una ganancia fija constante establecida por la relación entre las resistencias R_f y R , saliendo invertida la señal de salida respecto a la de la entrada (Figura 25).

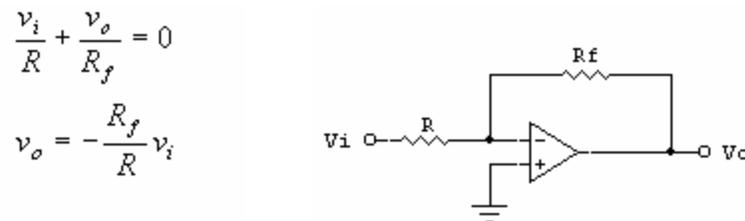


Figura 25. Configuración inversora

- Modo no inversor: La tensión a la entrada es aplicada en la terminal no inversora, y se obtiene una salida proporcional a la tensión de entrada, la fase de la entrada es la misma que la de la salida (Figura 26).

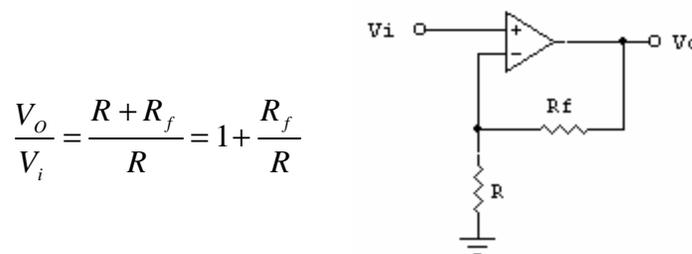


Figura 26. Configuración no inversora

FUENTE: MARTÍNEZ, Bernia y Asociados. Electrónica analógica. [En línea]. España 2000.

< <http://www.uco.es/dptos/electro/electronica/documentos/electema10.pdf>>

[Consulta: 12 de Enero de 2004]

- Modo seguidor: Este circuito proporciona una ganancia unitaria sin inversión de polaridad o fase. Se cumple que $V_o = V_i$ (Figura 27)

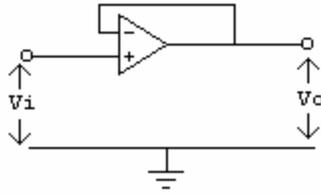


Figura 27. Configuración en modo seguidor

FUENTE: MARÍN, Julio. Electrónica aplicada. [En línea] España 1998.

< <http://www.uv.es~marinjl/electro/ao.htm>>

[Consulta: 12 de Enero de 2004]

- Modo sumador: Es un modo muy utilizado. Es un circuito que permite sumar algebraicamente voltajes, multiplicado cada uno por un factor de ganancia constante. Según el ejemplo de la figura 28, se tiene un sumador de tres entradas, así:

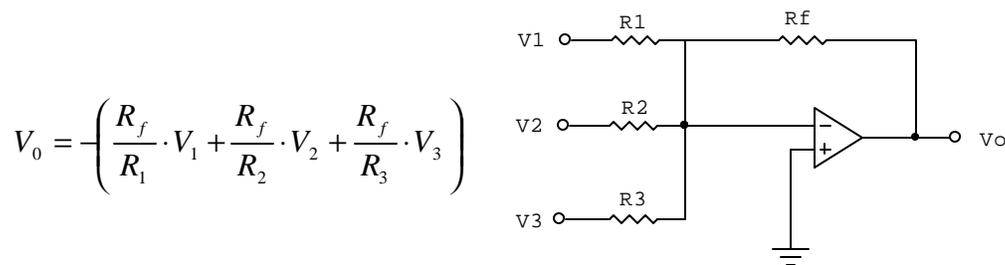


Figura 28. Modo sumador

- Modo sumador no inversor: Este modo de operación es usado para sumar algebraicamente señales pero sin cambiar la polaridad de la señal final. (Figura 29).

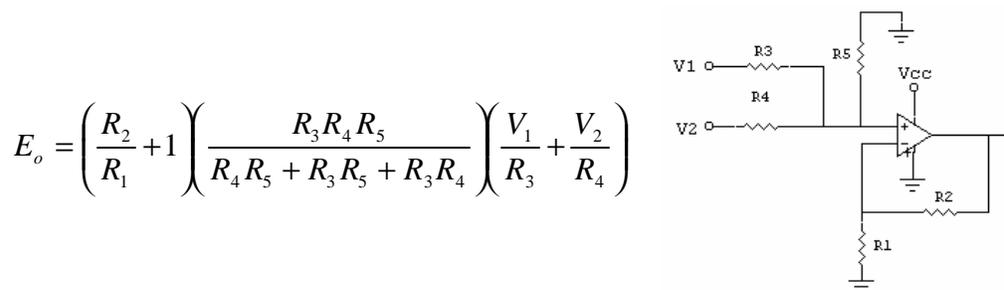


Figura 29. Sumador no inversor

FUENTE: EIE. Acondicionamiento de señales. [En línea]. 1997

< <http://eie.ucr.ac.cr/prodida/baseht/hija/499acond.htm>>

[Consulta: 25 de Enero de 2004]

- Modo integrador: En este montaje se usa un condensador en la rama de realimentación. La tensión de salida es proporcional a la integral de la señal de entrada e inversamente proporcional a la constante de tiempo (Figura 30).

$$\text{Impedancia condensador: } X_C = \frac{1}{sC}$$

$$I = \frac{V_i}{R} = -\frac{V_0}{\frac{1}{sC}} = -sC \cdot V_0 \rightarrow \frac{V_0}{V_i} = \frac{-1}{sCR}$$

$$v_0(t) = \frac{-1}{RC} \int v_i(t) \cdot dt$$

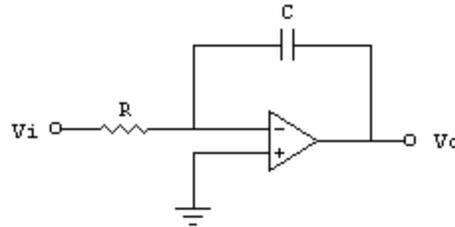


Figura 30. Modo integrador

- Modo diferenciador: Es un circuito poco usado porque ofrece variaciones en la tensión de salida ocasionadas por el ruido al cual es muy sensible. (Figura 31)

$$v_0(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt}$$

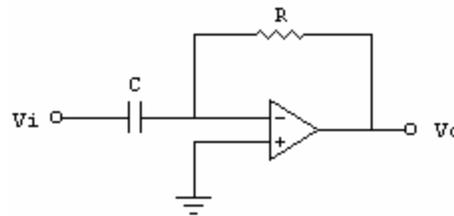


Figura 31. Modo diferenciador

4.2. Teorema del muestreo:

La señal digital se puede obtener de una señal análoga al realizar un muestreo a una frecuencia adecuada, la cual se establecerá más adelante.

La duda es qué tan rápido se debe muestrear una señal análoga para que se preserve su información. Múltiples personas (Whittaker, Nyquist, Shannon) establecieron que si una señal $s(t)$ tiene una frecuencia máxima f_{\max} , la señal puede ser recuperada completamente si se muestrea a una frecuencia f_s , siendo $f_s > 2f_{\max}$. Cuando la frecuencia de muestreo sea inferior a este valor, se presentará un fenómeno llamado *aliasing*. Esto se aprecia mejor con el ejemplo ilustrado en la figura 32:

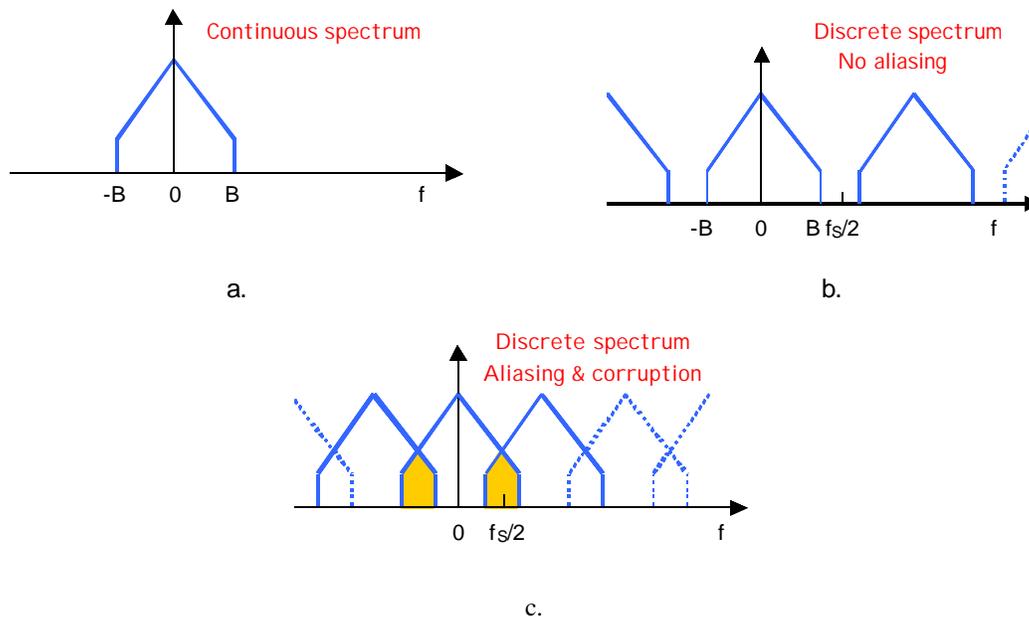


Figura 32. Espectro de una señal análoga (a), la cual se muestrea a una frecuencia que cumple con el Teorema de Nyquist (b). La figura (c) muestra el espectro de la misma señal ilustrada en (a), pero muestreada a una frecuencia que no cumple el teorema de Nyquist.

FUENTE: ANGOLETTA, Maria Elena. From Analog to Digital Domain. Génova, 2003.

<www.cern.com> [consulta: julio 11 de 2004]

En la figura 32(a) se ilustra el espectro de una señal en banda limitada. Tiene frecuencias entre $-B$ y $+B$ hertz. Por lo tanto, la $f_{\max}=B$ Hz. Si se hace un muestreo de esta señal a una frecuencia $f_s > 2B$ Hz se encuentra que los espectros generados no se solapan (no se genera *aliasing*), y se puede recuperar la señal original, tal como se muestra en la figura 32(b). En la figura 32(c), la señal análoga se muestrea a una frecuencia $f_s < 2B$ Hz. Hay problemas en el dominio de la frecuencia porque se presenta solapamiento y degradación de la señal que se vaya a querer recuperar.

4.3. Conversor análogo a digital

Un conversor análogo a digital (ADC, del inglés *Analog to Digital Converter*) es un dispositivo que permite leer una señal análoga y por medio de ciertos algoritmos de muestreo, llevarla a un formato de señal digital. Algunos parámetros de interés cuando se busca un dispositivo ADC son:

- Resolución: número de bits que usa para nombrar un umbral de voltaje
- Velocidad de conversión (*data Throughput*)
- Relación señal a ruido
- Índice de distorsión

En un conversor análogo a digital, hay dos etapas importantes, la cuantificación y la codificación. Veamos cada una de ellas:

4.3.1. Cuantificación

Consiste en representar la amplitud en un número finito de valores distintos en instantes determinados; si el convertidor es de n bits, hay 2^n valores o estados posibles. La figura 33 presenta un ejemplo de una cuantificación:

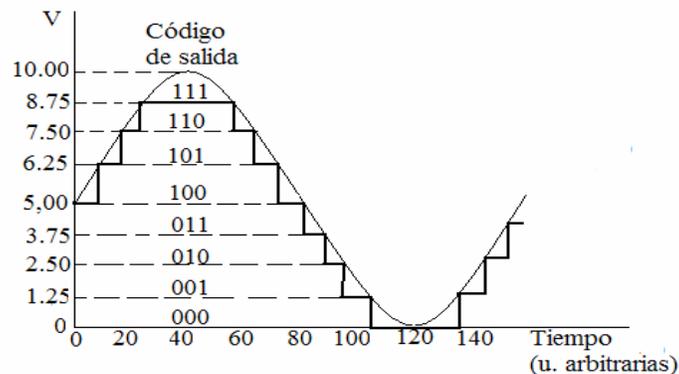


Figura 33. Cuantificación de una señal senoidal en 3 bits.

FUENTE: UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Adquisición de señales. España, 2003

<http://www.pdipas.us.es/f/frutos/diapositivas_03_04/sensores1.ppt>

[Consulta: julio 11 de 2004]

4.3.2. Codificación:

Es la representación del valor asignado a la señal, mediante combinaciones de símbolos que se representan habitualmente con dos niveles de voltaje, '1' y '0'.

4.4. Módulo ADC del microcontrolador HC08GP32 de MOTOROLA®:

Cada aplicación es diferente y según la resolución que se necesite o la velocidad de entrega de datos se selecciona un ADC de ciertas características. Para el caso de la aplicación realizada, se optó por escoger el módulo ADC que tiene interno el microcontrolador MOTOROLA HC08GP32. Las características que tiene este módulo ADC son:

- Resolución de 8 bits
- Selección de frecuencia de muestreo
- Usa la técnica de aproximación sucesiva lineal

Los pasos para hacer una conversión con este método son los siguientes:

- Primero se elige un voltaje de referencia comprendido entre 0 y 5 voltios y se compara con el voltaje a la entrada que se desea convertir.
- Se determina si el voltaje de señal a convertir se encuentra en la mitad de arriba o la mitad de abajo de la línea divisoria que se eligió anteriormente por medio del voltaje de referencia, así:
 - Si la entrada está en la mitad superior, pone en '1' lógico el bit más significativo en el registro de salida.
 - Si la entrada está en la mitad inferior, pone en '0' lógico el bit más significativo en el registro de salida.
- En el próximo ciclo de reloj, el conversor intenta acercarse más al voltaje de entrada situando su voltaje de referencia en la mitad del sector en donde anteriormente localizó la señal. Mediante el mismo razonamiento anterior, pone un '1' o un '0' lógico en el registro de salida según esté la señal de entrada.

Como se ve en el procedimiento, por cada ciclo de reloj se elimina la mitad de posibles valores que pueda tener la señal de entrada. Esto se puede ver mejor por medio de un ejemplo gráfico (figura 34):

Voltaje Máximo	1	11	111	1111	11111
				1110	11110
			110	1101	11101
				1100	11100
		10	101	1011	11011
				1010	11010
			100	1001	11001
				1000	11000
	0	01	011	0111	10111
				0110	10110
			010	0101	10101
					10100
		00	001	0011	10011
				0010	10010
			000	0001	10001
				0000	10000
			01111		
			01110		
			01101		
			01100		
			01011		
			01010		
			01010		
			00111		
			00110		
			00101		
			00100		
			00011		
			00010		
			00000		
			00000		
			00000		
Voltaje a digitalizar					01001
Voltaje Mínimo					

Figura 34. Funcionamiento del método ADC de aproximación lineal en 5 bits

El módulo ADC del microcontrolador HC08GP32 de MOTOROLA cuenta con un *buffer* a la entrada de la señal analógica. Éste tiene por función mantener el voltaje a la entrada constante mientras dura el procedimiento de conversión. El buffer es un condensador que se mantiene cargado al voltaje de entrada mientras dura la conversión.

La configuración usada del módulo ADC para la adquisición de la señal ECG se describe más adelante.