

Capítulo II

Manejo de Señales

“Mas del árbol de la ciencia del bien y del mal no comerás; porque el día que de él comieres, ciertamente morirás.”

Génesis 2:17

2. Manejo de señales

Introducción

El concepto de señales surge en un sin número de campos, las ideas y las técnicas asociadas con estos procesos juegan un papel importante en áreas tan diversas de la ciencia y la tecnología como las comunicaciones, la aeronáutica y la astronomía, el diseño de circuitos, la acústica, la sismología, la ingeniería biomédica, los sistemas de generación y distribución de energía, el control de procesos químicos y el procesamiento de voz.

Aun cuando el concepto de señal surge en tan variadas disciplinas, en todas ellas, las señales cuentan con dos características básicas en común. Las señales, las cuales son función de una o más variables independientes, contienen información acerca del comportamiento o la naturaleza de algún fenómeno físico. Los voltajes y las corrientes como una función del tiempo en un circuito eléctrico son ejemplos claros de señales.

Las señales pueden describir una amplia variedad de fenómenos físicos, en todos los casos la información de la señal está contenida en un patrón de variaciones que presenta alguna forma determinada. Un ejemplo de esto, podría ser el mecanismo vocal humano, el cual produce el habla mediante la creación de fluctuaciones en la presión acústica.

2.1. Señales.

Existen diferentes formas de representar las señales y cada variable física se representa de mejor forma con un determinado tipo de señal.

2.1.1. Señales continuas y discretas.

Como ya se ha mencionado las señales se encuentran en función de una o más variables independientes según sea el caso, dicho lo anterior, podemos representar a una señal como una función matemática con una o más variables independientes. Por ejemplo la señal de voz puede ser representada matemáticamente por la presión acústica en función del tiempo:

$$P(t) = \text{voz}$$

En la naturaleza existen dos tipos de señales, las señales continuas y las señales discretas. En el caso de las señales continuas la variable independiente es continua, por lo que esta señal se define para una sucesión continua de valores de la variable independiente.

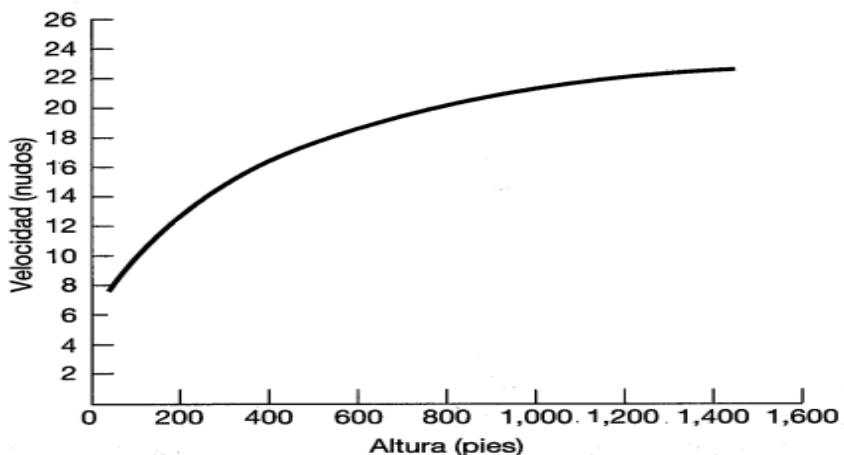


Figura 2.1. Ejemplo de señal continua (Perfil anual del viento).

Por otro lado, las señales discretas sólo están definidas en tiempos discretos y, en consecuencia, la variable independiente toma sólo un conjunto discreto de valores.

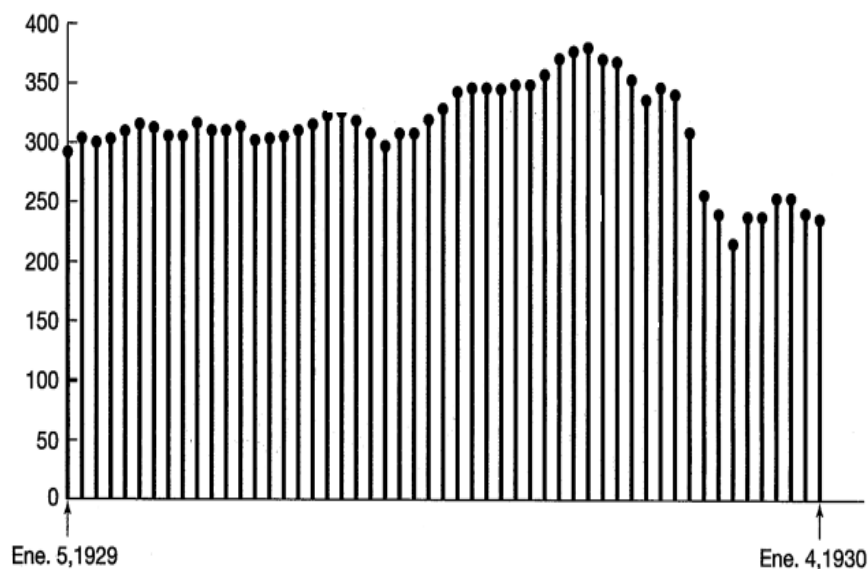


Figura 2.2 Ejemplo de señal discreta (Índice Dow-Jones).

La señal de voz como función del tiempo y la presión atmosférica como función de la altitud son ejemplos de señales continuas a su vez el índice Dow-Jones es un ejemplo de una señal discreta.

Una señal discreta puede representar un fenómeno para el cual la variable independiente es intrínsecamente discreta, las señales demográficas son un claro ejemplo de esto. Por otro lado, algunas señales discretas surgen de *muestreo* de señales continuas, es en estos casos cuando la señal discreta $x[n]$ representa muestras sucesivas de una señal $x(t)$ cuya variable independiente es continua.

Debido a la velocidad, capacidad de cómputo y flexibilidad, los procesadores digitales modernos utilizan para trabajar señales discretas, estos sistemas requieren de secuencias discretas que representan versiones obtenidas como muestra de la señal continua. No importa cuál sea el origen de los datos de la señal discreta $x[n]$, esta se define solamente para valores enteros de n . Por lo que no tiene sentido referirse al valor de la $3\frac{1}{2}$ muestra de una señal digital de voz.

2.1.2. Señales Periódicas.

Una señal periódica continua $x(t)$ tiene la característica de que existe un valor positivo T para el cual:

$$x(t) = X(t + T) \dots \text{Ecuación 1}$$

Para todos los valores de t .

En otras palabras, una señal periódica tiene la propiedad de que no cambia para un corrimiento de tiempo T .

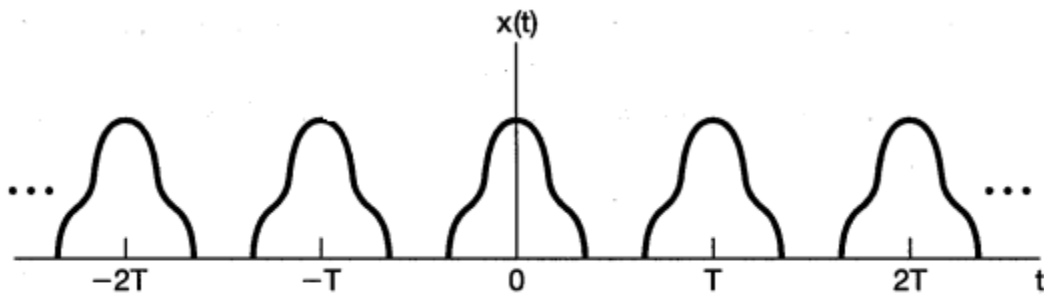


Figura 2.3 Ejemplo de una señal periódica continua.

A partir de la figura se puede deducir que si $x(t)$ es periódica con periodo T entonces $x(t) = x(t + mT)$ para toda t y para cualquier entero m , por tanto, $x(t)$ también es periódica para $T, 2T, 3T, 4T, \dots$, por lo que el periodo fundamental T de $x(t)$ es el valor positivo más pequeño de T para el cual la ecuación 1 se satisface.

Esta definición es válida excepto cuando $x(t)$ es una constante ya que $x(t)$ es periódica para cualquier valor de T .

Las señales periódicas discretas son definidas de manera análoga.

Una señal discreta $x[n]$ es periódica con periodo N , donde N es un entero positivo, si no cambia con un corrimiento de tiempo N , es decir:

$$x[n] = x[n + N] \dots \text{Ecuación 2}$$

Para todos los valores de n .

Si la ecuación 2 se satisface, entonces $x[n]$, también es periódica con periodo $N, 2N, 3N, 4N, \dots$, el periodo fundamental N es el valor mas pequeño de N para el cual la ecuación 2 se satisface.

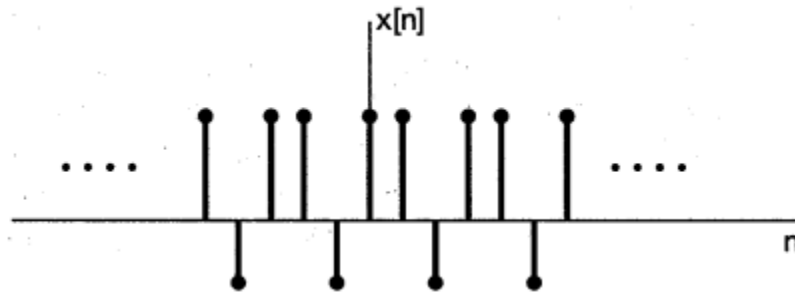


Figura 2.4 Ejemplo de señal periódica discreta con periodo $N=3$

2.1.3. Señales par e impar.

Otra de las propiedades de las señales, está ligada directamente con su simetría que esta presenta con respecto al tiempo, una señal $x(t)$ y $x[n]$ se denomina señal par si es idéntica a su contra parte invertida en el tiempo, es decir con su reflejo respecto del origen.

Una señal continua es par si y sólo si, se cumple:

$$x(-t) = x(t) \dots \text{Ecuación 3}$$

Una señal discreta es par si y sólo si, se cumple:

$$x(-n) = x(n) \dots \text{Ecuación 4}$$

A una señal se le considera impar si:

$$x(-n) = -x(n) \dots \text{Ecuación 5}$$

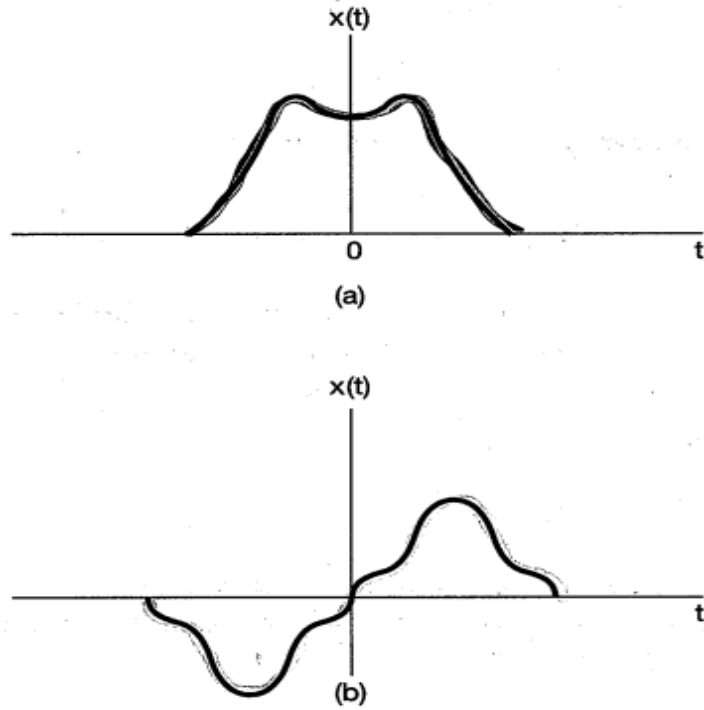


Figura 2.5 Ejemplo de una señal continua (a) Par (b) Impar.

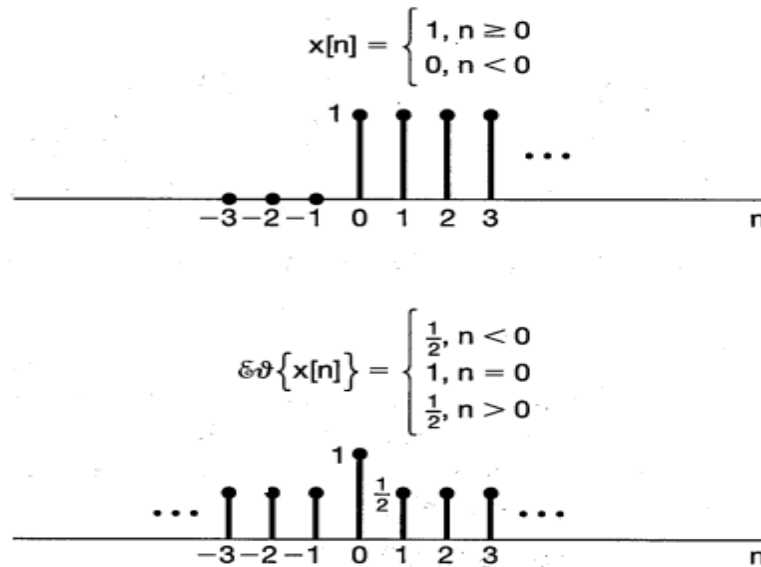


Figura 2.6 Ejemplo de una señal discreta impar y una par respectivamente.

2.2. Amplificación.

El concepto de amplificación está relacionado no solo con la capacidad para aumentar de tamaño una señal eléctrica (en forma de voltaje o corriente) sino con la capacidad entregarla a otra instancia (denominada carga) con más energía de la que tenía originalmente. Por ejemplo, un transformador eléctrico que reciba en el devanado primario una señal de voltaje senoidal con una amplitud de 5 volts puede entregar en la salida otra señal de voltaje senoidal con una amplitud 50 volts si el número de vueltas del devanado secundario es 10 veces mayor que el del primario. Sin embargo, esta señal de salida no contiene más energía que la señal de la entrada sino que es menor. Por esta razón el transformador no se considera un elemento de amplificación sino de transformación.

Lo que hace que el transistor sea muy importante como elemento de circuito es su capacidad de amplificar señales. A diferencia de los elementos clásicos de dos terminales (la resistencia, el capacitor y el inductor) las tres terminales del transistor lo convierten en un sistema que incluye una fuente de energía en su operación. Esta fuente, que sirve para polarizar el transistor, permiten que la corriente del colector disponga de más energía que la corriente de la base al vez que guarda una dependencia lineal con ella (el factor beta).

Existen muchas formas de configurar un transistor para que realice la función de amplificador en una forma útil. Las configuraciones más sencillas de amplificación con un transistor BJT y FET se presenta en arreglo más estandarizado que se dispone en la actualidad: el Amplificador Operacional

Hoy en día se disponen de mas elementos para realizar la amplificación de señales que los clásicos transistores BJT y FET, contamos con los amplificadores operacionales (OPAM), estos elementos por su versatilidad y fácil manejo son una fuerte respuesta al uso de transistores en los circuitos eléctricos, es el tamaño y la su capacidad de reducir corrientes parásitas así como el ruido y el bajo costo lo que hace tan poderosos electrónica-mente hablando a los OPAM.

2.2.1. Tipos de amplificadores.

Por lo general un amplificador recibe una señal de entrada que proviene de cualquier otra fuente de entrada, y como se menciono proporciona una versión más grande de la señal a un dispositivo de salida o a otra etapa de amplificación, la señal de entrada es, por lo general, pequeña (unos cuantos microvolts o milivolts), y se requiere amplificar lo suficiente para operar en dispositivos de salida tales como una bocina o cualquier otro dispositivo de potencia.

Para los amplificadores de señal pequeña, los principales factores, son la linealidad de la amplificación y la magnitud de la ganancia. Dado que el voltaje y la corriente son pequeñas en este tipo de amplificaciones y no son de consideración.

Los amplificadores de potencia proporcionan, principalmente potencia suficiente a una carga de salida para activar una bocina o algún otro dispositivo de potencia con frecuencia, en magnitud de unos watts o en decenas de estos.

2.2.2. Clases de amplificadores.

Básicamente las clases de los amplificadores se determinan por el grado en que varían las señales de salida en un ciclo de operación, para un ciclo completo de la señal de entrada.

Ⓚ Amplificador Clase A.

La señal de salida es amplificada durante los 360° completos del ciclo de la señal de entrada.

Requiere un punto de polarización **Q** en el que al menos la mitad de la excursión de la señal de salida pueda variar hacia arriba y hacia abajo sin que esta se vea saturada.

Ⓚ Amplificador Clase B.

La señal de salida varía durante la mitad del ciclo de la señal de entrada, esto es, 180° de la señal de entrada.

Por lo consiguiente, el punto de polarización de **DC** para el amplificador clase B es de 0V, entonces la señal de salida varía a partir de este punto de polarización durante medio ciclo. Obviamente la señal de salida no es una copia fiel de la señal de entrada si no solamente medio ciclo.

Ⓚ Amplificador Clase AB.

La señal de salida del amplificador clase AB entre 180° y 360° de la señal de entrada y no se trata de una amplificación clase A ni clase B.

Es posible polarizar un amplificador en un nivel de **dc** por encima del nivel de corriente base cero de la clase B y por encima de la mitad del nivel de voltaje de alimentación de la clase A, a esta condición de polarización se le denomina polarización clase AB.

Ⓚ Amplificador Clase C.

La salida del amplificador clase C se encuentra polarizada para que opere menos de 180° del ciclo de la señal de entrada y opera solamente con un circuito de sintonización (resonante), el cual proporciona un ciclo completo de operación para la frecuencia sintonizada.

Este tipo de amplificadores se utiliza principalmente en áreas específicas de circuitos de sintonía, tales como radios o sistemas de comunicaciones.

⊕ **Amplificador Clase D.**

Esta clase de amplificadores se utiliza en señales de pulso (digital), las cuales se encuentran encendidas durante un intervalo pequeño, y apagadas durante un intervalo mayor. Mediante técnicas digitales es posible obtener un circuito que varíe durante un ciclo completo (por medio de un circuito de muestreo y retención) para reconstruir la salida a partir de varios segmentos de la señal de entrada. La desventaja de estos amplificadores es que se encuentran encendidos durante periodos muy cortos de tiempo.

2.3. Procesamiento de señales.

Cuando pasamos una señal a través de un sistema, como lo sería un filtro, decimos que hemos procesado la señal. En este caso el procesamiento de la señal involucra el filtrado del ruido y la interferencia de la señal deseada. En general, los sistemas se caracterizan por el tipo de operación que le realizan a las señales. Por ejemplo en los sistemas que realizan operaciones lineales, se denominan sistemas lineales, en el caso donde no realizan operaciones lineales, se les llama sistemas no lineales. La operación de estos sistemas hace referencia al procesamiento de señales.

Decimos entonces que el procesamiento de señales es la técnica que trata sobre el manejo, interpretación y las operaciones que se realicen a las señales, estas señales pueden provenir de diversos medios y fuentes, así que, el método para procesar señales provenientes de diversos medios no es igual, si no que, para cada caso se diseñar un sistema capaz procesar estas señales, dependiendo de las características y usos de cada señal.

Como ya se ha mencionado, el procesamiento de señales, no es más que someter a la señal a un sistema que le aplicara alguna operación, como son el caso de la amplificación, el filtrado o la mezcla con otra señal, también sabemos que contamos con dos tipos de señales, las analógicas y las digitales, es por esto que, nos encontraremos con dos tipos de procesamiento de señales, el procesamiento analógico y el procesamiento digital de señales.

2.3.1. Procesamiento analógico de señales.

El procesamiento analógico de señales es cualquier proceso u operación realizada a una señal analógica. Las señales analógicas suelen representarse como voltaje, corriente eléctrica o la carga eléctrica al rededor de algún componente eléctrico.

Dentro del procesamiento analógico de señales tenemos dos tipos de operaciones lineales y operaciones no lineales, dentro de las operaciones lineales que se pueden realizar a las señales analógicas tenemos:

- ⊗ Amplificación.
- ⊗ Conversión de voltaje a corriente y corriente a voltaje.
- ⊗ Suma de señales.
- ⊗ Sustracción de señales.
- ⊗ Derivación.
- ⊗ Integración.
- ⊗ Convolución.

Operaciones no lineales que se pueden realizar a las señales analógicas:

- ⊗ Operación exponente.
- ⊗ Operación logaritmo.
- ⊗ Osciladores.
- ⊗ Filtrado de la señal.
- ⊗ Etc.

2.3.1.1. Procesamiento analógico de señales con operaciones lineales.

Se dice que un sistema es lineal, cuando cumple con los dos criterios siguientes:

1. Si una entrada X al sistema produce una salida X , entonces una entrada $2X$ producirá una salida $2X$. En otras palabras, la magnitud de la salida del sistema es proporcional a la magnitud de la entrada del sistema.
2. Si una entrada X produce una salida X , y una entrada Y produce una salida Y , entonces una entrada $X+Y$ producirá $X+Y$. En otras palabras, el sistema maneja dos entradas simultáneas de manera independiente y esas no interactúan en el sistema.

Esos criterios implican el hecho que un sistema lineal no producirá frecuencias de salida, que no estén presentes en la entrada.

Observen que no hay nada en estos criterios que diga que la salida del sistema es la misma que la entrada, o que la salida se parece a la entrada.

⊗ **Conversión de voltaje a corriente y corriente a voltaje.**

Algunas veces necesitamos convertir voltaje a corriente o viceversa, para eso recurrimos a dispositivos analógicos que procesaran nuestra señal de voltaje llevándola a una señal de corriente.

Para el caso de convertir voltaje a corriente tenemos principalmente el siguiente circuito, esto no quiere decir que sea la única forma de para llevar a cabo esta conversión:

Convertidor voltaje corriente con carga flotante.

Se denominan también como amplificadores transductancia. Estos circuitos se basan en que la corriente de salida tiene que ser función del voltaje de entrada pero independiente de la resistencia de carga.

Esta configuración se basa en un voltaje de entrada V_{in} y una corriente de salida I_s . Debido a la retroalimentación negativa tenemos un corto virtual por lo que V_{in} es igual al voltaje en R e $I_s = I_g$, por lo que:

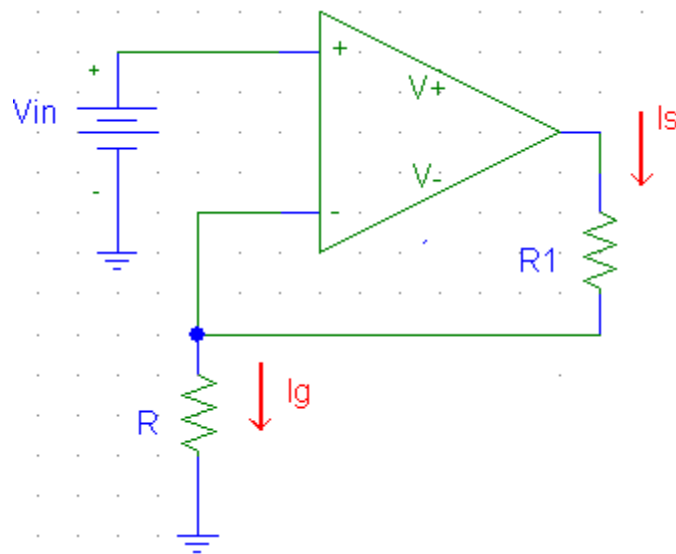


Figura 2.7. Convertidor voltaje a corriente con carga flotada

Si el voltaje en R lo denominaremos V_a .

$$V_a = \frac{I_g}{R}; \text{ y como } I_g = I_s$$

$$V_a = \frac{I_s}{R}$$

Así que no importando el valor de R_1 por ella circulara la corriente que demande la resistencia R.

Convertidor corriente voltaje.

También llamado amplificador de transresistencia. Responden a la necesidad de construir fuentes de voltaje constante independiente de la carga y controlados por corriente.

Esta configuración se basa en una fuente de corriente de entrada I_{in} y un voltaje de salida V_o , debido a la retroalimentación negativa tenemos un corto virtual por lo que el voltaje en $R1$ es igual a V_o , así que:

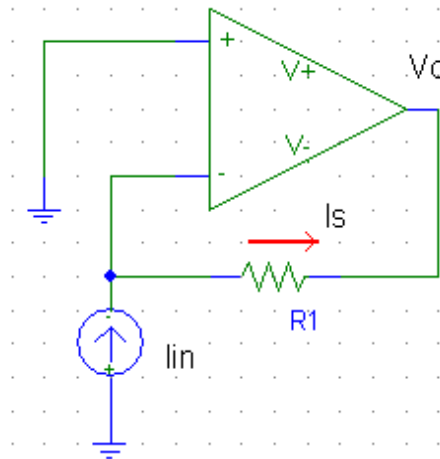


Figura 2.8. Convertidor corriente voltaje.

Del circuito podemos ver que:

$$V_o = R1I_s$$

Y como $I_s = I_{in}$.

Tenemos entonces que:

$$V_o = R1I_{in}$$

⊕ Adición de señales.

Otra de las operaciones del procesamiento analógico de señales es la de sumar una o más señales entre sí, para esto se recurre a dispositivos de electrónica analógica como lo son los amplificadores operacionales, para realizar esta operación tenemos dos tipos de circuitos los sumadores inversores, es decir aquellos que como resultado presentan la señal de salida invertida y aquellos que no la presentan así, por lo que tenemos el sumador inversor y el no inversor.

Para los fines de este trabajo sólo se presentará el circuito sumador inversor, representado en la figura 2.9. Sumador inversor.

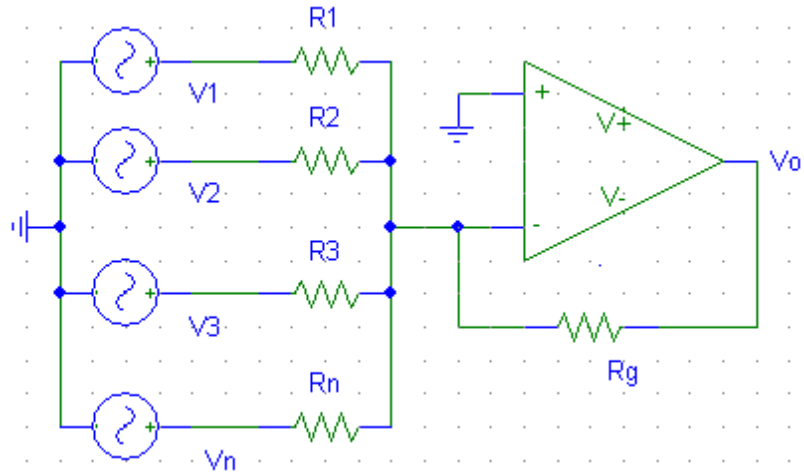


Figura 2.9. Circuito sumador inversor.

Debido a la retroalimentación negativa, el voltaje entre las terminales positiva y negativa del amplificador operacional es el mismo y como la terminal positiva esta a tierra es decir:

$$V_{+} = V_{-} = 0$$

Entonces la corriente que circula por la resistencia R_g es igual a la suma de las corrientes que circulan por R_1, R_2, R_3 y R_n .

$$I_{R_g} = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} + I_{R_n}$$

Pero:

$$I_{R_g} = -\frac{V_o}{R_g}$$

Y a su vez:

$$I_{R_1} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_{R_2} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_{R_3} = \frac{V_3}{R_3}$$

$$I_{R_n} = \frac{V_n}{R_n}$$

Tenemos entonces que:

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_n}{R_n} = -\frac{V_o}{R_g}$$

Despejando R_g :

$$V_o = -R_g \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Podemos ver entonces que V_o es la suma de los voltajes de entrada por un factor de ganancia $\frac{R_g}{R_x}$ y si $R_g=R_1=R_2=R_3=R_n$, entonces $V_o=V_1+V_2+V_3+V_n$.

⊗ **Sustracción de señales.**

Dentro del procesamiento analógico de señales se encuentra la sustracción que consiste en restar una señal a otra, para esto se recurre a amplificadores operacionales.

En el circuito que realiza la resta de dos señales nos encontramos con dos configuraciones básicas de los amplificadores operacionales, la configuración inversora y la no inversora, como se muestra en la figura 2.10. Restador de señales.

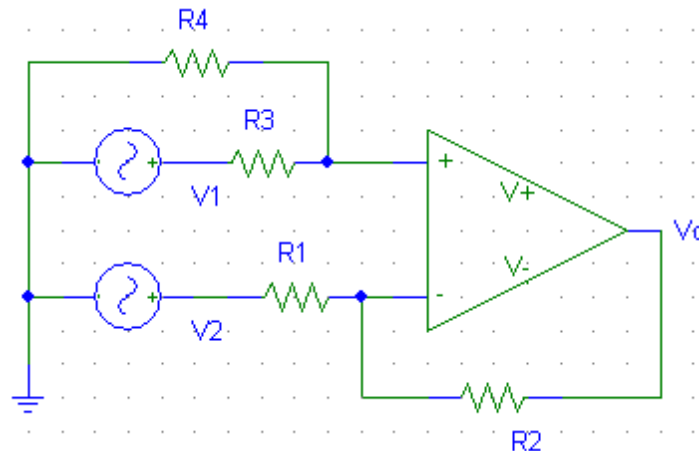


Figura 2.10. Circuito Restador de señales.

Para el caso del circuito formado por R_1 y R_2 , que es un circuito operacional inversor se cumple que:

$$V_{o2} = -\frac{V_2 R_2}{R_1}$$

Para el caso del circuito formado por R_3 y R_4 , que es un circuito operacional no inversor se cumple que:

$$V_{o1} = V_1 \left(\frac{R_2 + R_1}{R_1} \right) \left(\frac{R_3 + R_4}{R_4} \right)$$

Si ahora sumamos ambas expresiones, tenemos:

$$V_o = V_1 \left(\frac{R_2 + R_1}{R_1} \right) \left(\frac{R_3 + R_4}{R_4} \right) - V_2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Si ahora:
 $R1=R3$
 $R2=R4$

Entonces:

$$V_o = \frac{R2}{R1}(V1 - V2)$$

Para el caso en que $R2=R1$ podemos ver claramente que V_o será la resta de $V1$ y $V2$.

⊕ **Derivación de señales.**

En el circuito derivador mostrado en la figura 2.11. Circuito derivador, la señal de salida es proporcional a la derivada en el tiempo de la señal de entrada, es decir. La salida es proporcional a la velocidad de variación de la señal de entrada.

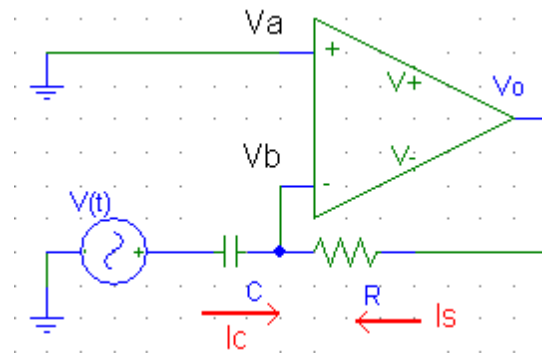


Figura 2.11. Circuito derivador.

Para analizar este circuito se tendrá en cuenta lo siguiente.

Dado que hay retroalimentación negativa
 $V_a = V_b = 0$

De esto se tiene que:
 $I_s = I_c$

Según lo anterior se puede observar que
 $V_o(t) = -I_s R$

La corriente en el capacitor C se obtiene como:

$$I_c = C \frac{dV(t)}{dt}$$

De lo anterior tenemos entonces que:

$$V_o(t) = -RC \frac{dV(t)}{dt}$$

De esta ultima ecuación podemos ver claramente que V_o es la derivada con respecto del tiempo de $V_i(t)$ afectada por el factor RC

⊕ **Integración de señales.**

En el circuito integrador, la señal de salida es proporcional a la integral en el tiempo de la señal de entrada, es decir. La salida es inversamente proporcional a la velocidad de variación de la señal de entrada.

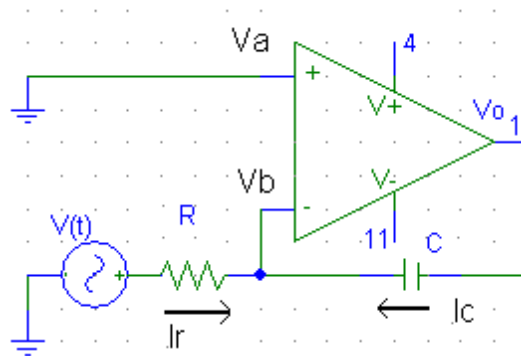


Figura 2.12. Circuito Integrador.

Dado que hay retroalimentación negativa
 $V_a = V_b = 0$

De esto se tiene que:
 $I_s = I_c$

Según lo anterior se puede observar que:

$$I_r = \frac{V(t)}{R}$$

La corriente en el capacitor C se obtiene como:

$$I_c = -C \frac{dV_o(t)}{dt}$$

De lo anterior tenemos entonces que:

$$\frac{V(t)}{R} = -C \frac{dV_o(t)}{dt}$$

Despejando V_o tenemos;

$$\frac{V(t)}{-CR} dt = dV_o(t)$$

Integrando en ambos lados:

$$-\frac{1}{RC} \int V(t) dt + V(0) = V_o(t)$$

De esta ultima ecuación podemos ver claramente que V_o es la integral con respecto del tiempo de $V_i(t)$ afectada por el factor $-1/RC$

2.3.1.2 Procesamiento analógico de señales con operaciones no lineales.

En matemáticas los sistemas no lineales representan sistemas cuyo comportamiento no es expresable como la suma de los comportamientos de sus descriptores. Más formalmente, un sistema físico, matemático o de otro tipo es no lineal cuando las ecuaciones de movimiento, evolución o comportamiento que describen el sistema son no lineales. En particular, el comportamiento de sistemas no lineales no está sujeto al principio de superposición, como lo es un sistema lineal.

Las operaciones que procesan señales y tiene un comportamiento lineal se son las siguientes:

⊗ **Operación exponencial.**

Este circuito cuenta con la característica de ser no lineal, debido a que en su configuración se encuentra un dispositivo no lineal como es el transistor.

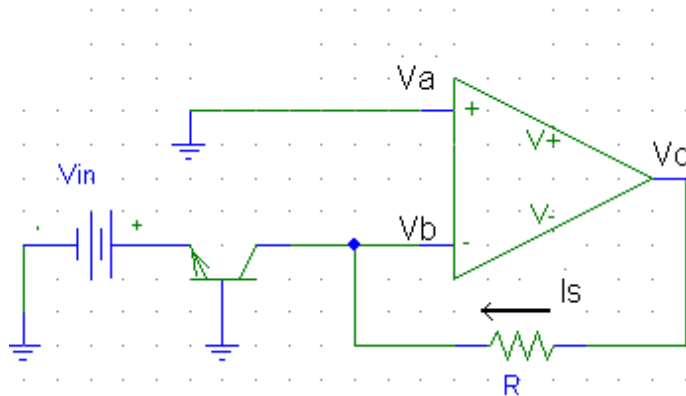


Figura 2.13. Circuito Exponenciador o Antilogaritmo

Para el análisis de este circuito se parte de que al haber retroalimentación negativa, se tiene lo siguiente:

$$V_a = V_b$$

$$V_{CE} = V_{in}$$

$$V_a = V_b = 0$$

Del circuito se puede ver que:

$$-R I_s = V_o$$

La corriente del colector es entonces:

$$I_c = I_o e^{\left(\frac{V_{CE}}{V_t}\right)}$$

V_t es la constante de Boltzmann.

Por lo que finalmente se tiene:

$$V_o = -RI_o e^{\left(\frac{V_{in}}{V_t}\right)}$$

⊕ Operación Logaritmo.

Este circuito cuenta con la característica de ser no lineal, debido a que en su configuración se encuentra un dispositivo no lineal como es el transistor.

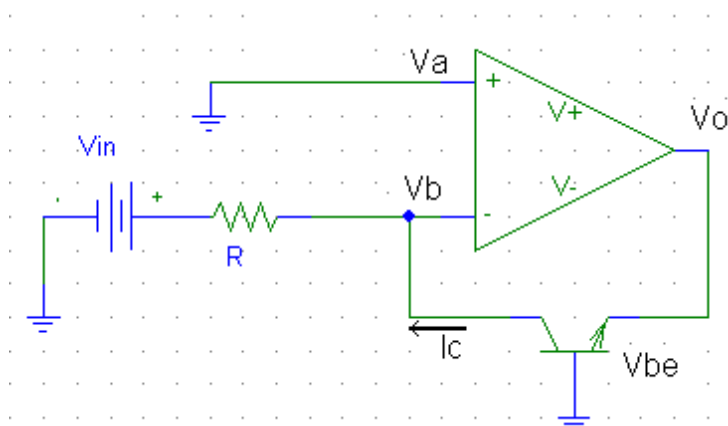


Figura 2.13. Circuito logarítmico.

Para el análisis de este circuito se parte de que al haber retroalimentación negativa, se tiene lo siguiente:

$$V_a = V_b$$

$$V_{CE} = V_o$$

$$V_a = V_b = 0$$

Del circuito se puede ver que:

$$V_{CE} = V_o$$

La corriente del colector es entonces:

$$I_c = I_R$$

$$I_R = \frac{V_{in}}{R}$$

$$I_c = I_o e^{\left(\frac{V_{CE}}{V_t}\right)}$$

Por lo que:

$$\frac{V_{in}}{R} = I_o e^{\left(\frac{V_o}{V_t}\right)}$$

Y despejando V_o

$$I_o \frac{V_{in}}{R} = e^{\left(\frac{V_o}{V_t}\right)}$$

$$\ln\left(I_o \frac{V_{in}}{R}\right) = \frac{V_o}{V_t}$$

$$V_0 = -V_t \ln \left(I_0 \frac{V_{in}}{R} \right)$$

Existen muchos otros circuitos y procesos lineales y no lineales que se pueden aplicar a las señales, analógicas pero para los fines del presente trabajo con los ejemplos mostrados es suficiente, sin embargo más adelante se hablara sobre la operación convolución y el diseño de filtros digitales y analógicos.

2.3.2. *Procesamiento digital de señales.*

El procesamiento digital de señales es un área de las ciencias que se dedica al análisis y procesamiento de señales discretas. Aunque comúnmente las señales en la naturaleza nos llegan en forma analógica, también existen casos en que estas son por su naturaleza digitales, por ejemplo, las edades de un grupo de personas, el estado de una válvula en el tiempo (abierta/cerrada), etc.

Se puede procesar una señal para obtener una disminución del nivel de ruido, para mejorar la presencia de determinados matices, como los graves o los agudos y se realiza combinando los valores de la señal para generar otros nuevos.

Este es otro tipo de procesamiento que comparado con el Analógico presenta ciertas ventajas, que por su naturaleza resultan de mucha ayuda al procesamiento de señales en general.

- ⊗ Una señal digital es más fácil de procesar que una analógica.
- ⊗ Las señales son convertidas a formato discreto (digital) para facilitar su transmisión o almacenamiento.
- ⊗ Es posible realizar mediante procesamiento digital acciones imposibles de obtener mediante el procesamiento analógico (por ejemplo, filtros con respuesta de frecuencia arbitraria).

El procesamiento se hace en forma digital porque éste es usualmente más cómodo de realizar y más barato de implementar que en el procesamiento analógico. Además las señales digitales requieren usualmente menos ancho de banda y pueden ser comprimidas. Sin embargo, hay pérdida (ruido de cuantificación) inherente al convertir la información continua en discreta; y puede haberla si las muestras se toman demasiado espaciadas (fuera de los criterios del teorema de muestreo de Nyquist-Shannon).

En el procesamiento digital de señales también se tiene operaciones básicas como ocurre en el procesamiento analógico, en este caso también tenemos operaciones lineales y no lineales en el caso del mundo digital los sistemas lineales se denominan SLITD o sistemas lineales invariantes en el tiempo discreto y estos pueden realizar alguna de las siguientes operaciones.

- ⊗ Muestreo.
- ⊗ Amplificación
- ⊗ Suma de señales.
- ⊗ Integración.
- ⊗ Filtrado
- ⊗ Transformación de señales.
- ⊗ Convolución
- ⊗ Etc.

En el caso del procesamiento digital las operaciones que se le aplican a las señales se realizan vía software, es decir no se requiere de un circuito integrado específico para cada proceso, basta con cargar el programa a un procesador digital de señales y accionarlo para ver el funcionamiento de estas operaciones.

⊗ **Muestreo.**

En el procesamiento digital de señales, el muestreo es la reducción de una señal continua en el tiempo, a una señal discreta, es decir, pasar de un punto infinito de valores que representan una señal a una cantidad discreta de puntos que representan la misma señal.

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon nos dice que:

Sea $x(t)$ una señal continua que se desea muestrear, y que el muestreo se realiza midiendo el valor de la señal continua cada T segundos, a este tiempo T se le denomina intervalo de muestreo. Así, la señal muestreada $x[n]$ está dada por:

$$x[n] = x(nT), \text{ con } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

El teorema de muestreo garantiza que las señales de limitadas en banda (es decir, las señales que tengan una frecuencia máxima f_m) se puede reconstruir a la perfección desde su versión de muestras, si la tasa de muestreo es más del doble de la frecuencia máxima $1/T > 2f_m$. La Reconstrucción en este caso se puede lograr utilizando la formula de interpolación de Whittaker-Shannon

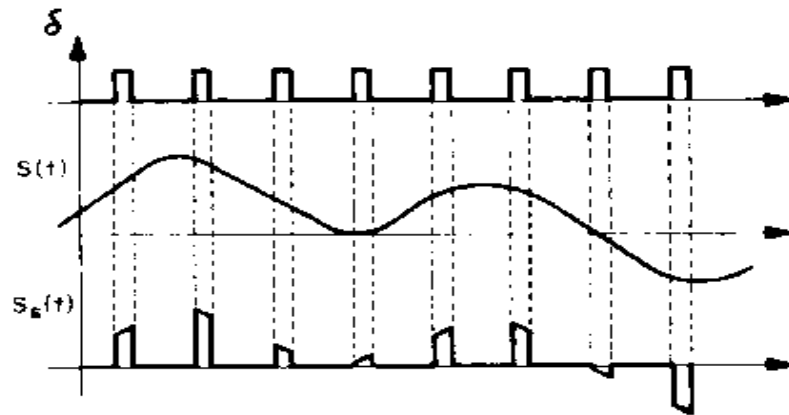


Figura 2.14. Ejemplo de Muestreo con un tren de pulsos.

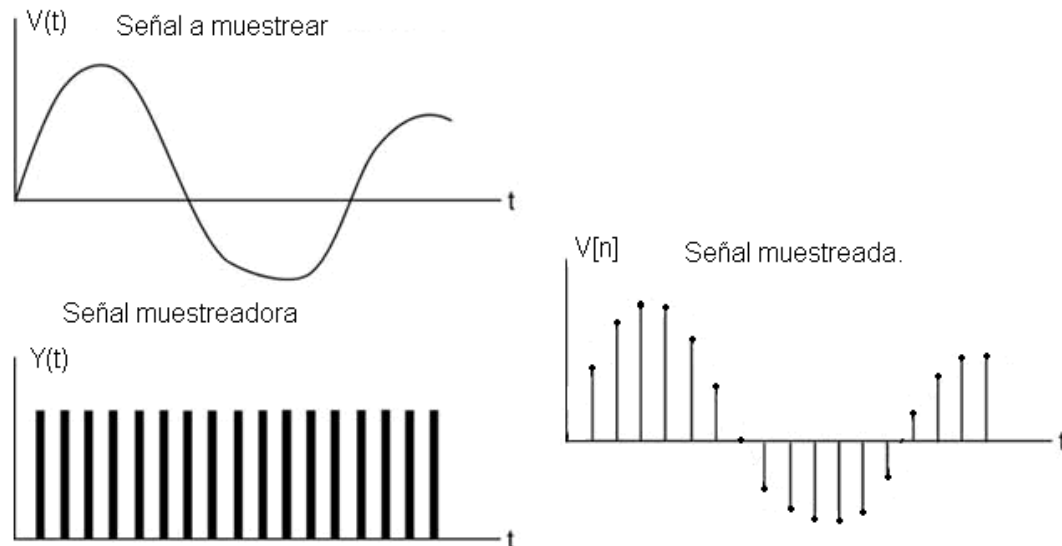


Figura 2.15. Señales necesarias para realizar un muestreo.

Una vez que la señal se a muestreado de forma correcta se dice entonces que esta digitalizada y ya se puede procesar, de forma digital, estos puntos de señal digital, es decir el conjunto de valores discretos que se obtiene del muestreo de una señal, se almacenan en un dispositivo diseñado para este fin (memoria).

Las operaciones Mencionadas anteriormente para el procesamiento digital, como lo son la amplificación, la suma, la resta, derivación, etc. se vuelven en operaciones muy sencilla en el mundo digital, ya que la amplificación es simplemente la multiplicación de factor de ampliación o atenuación por cada uno de los puntos de la señal discreta, la suma es de igual forma la suma de punto a punto de una señal discreta a otra, la integral es la suma de todos los puntos desde N_a hasta N_b siendo N_a el límite inferior y N_b el límite superior de la integral.

Pero estas no son todas las operaciones que se le pueden hacer a una señal digital, la operación principal del procesamiento de señales es la operación llamada convolución y esta puede aplicarse a señales analógicas y a señales digitales, es por eso que se le asigna un lugar especial a esta operación.

2.4. Convertidores analógico-digital y digital-analógico.

Los convertidores son usados para pasar de una tipo de señal a otra sin la preocupación de que se pierda señal o se transforme la señal con ruido, para este tipo de acción es usado el convertidor analógico-digital y digital-analógico.

2.4.1. Convertidor analógico-digital.

Un convertidor analógico-digital (CAD), (ADC) es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar señales analógicas de entrada a digitales en la salida.

Se utiliza en equipos electrónicos como ordenadores, grabadores de sonido y de vídeo, y equipos de telecomunicaciones. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo.

2.4.1.1. Modo de operación.

Estos convertidores poseen dos señales de entrada llamadas V_{ref+} y V_{ref-} y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada.

El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución. Esta resolución se puede saber, siempre y cuando conozcamos el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios. A manera de ejemplo, el convertidor análogo digital ADC0804 tiene la capacidad de convertir una muestra analógica de entre 0 y 5 volts y su resolución será respectivamente:

$$\text{Resolución} = \text{valor analógico} / (2^8)$$

$$\text{Resolución} = 5 \text{ V} / 256$$

$$\text{Resolución} = 0.0195\text{v} \text{ o } 19.5\text{mv.}$$

$$\text{Resolución} = \text{LSB}$$

Lo anterior quiere decir que por cada 19.5 milivolts que aumente el nivel de tensión entre las entradas nombradas como " V_{ref+} " y " V_{ref-} " que ofician de entrada al convertidor, éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit). Por ejemplo:

Entrada - Salida
0 V - 00000000
0.02 V - 00000001
0.04 V - 00000010
1 V - 00110011
(5 V-LSB) - 11111111

2.4.1.2. Tipos de convertidor analógico-digital.

⊗ De aproximaciones sucesivas:

Es el empleado más comúnmente, apto para aplicaciones que no necesitan grandes resoluciones ni velocidades. Debido a su bajo coste se suele integrar en la mayoría de microcontroladores permitiendo una solución de bajo coste en un único chip para numerosas aplicaciones de control. El conversor realiza una búsqueda dicotómica del valor presente en la entrada. Su principal carencia es el elevado tiempo de conversión necesario.

⊗ Flash:

Este conversor destaca por su elevada velocidad de funcionamiento. Está formado por una cadena de divisores de tensión y comparadores, realizando la conversión de manera inmediata en una única operación. Su principal desventaja es el elevado costo.

⊗ Sigma-delta:

Tienen una velocidad máxima de conversión baja pero a cambio poseen una relación señal a ruido muy elevada, la mayor de todos.

⊗ Otros tipos de conversores igualmente utilizados son:

Rampa y doble-rampa.

2.4.2. Convertidor digital-analógico.

En electrónica, dispositivo que convierte una entrada digital (generalmente binaria) a una señal analógica (generalmente voltaje o carga eléctrica). Los conversores digital-analógico son interfaces entre el mundo abstracto digital y la vida real analógica. La operación reversa es realizada por un conversor analógico-digital (ADC).

Este tipo de conversores se utiliza en reproductores de sonido de todo tipo, dado que actualmente las señales de audio son almacenadas en forma digital (por ejemplo, MP3 y CDs), y para ser escuchadas a través de los altavoces, los datos se deben convertir a una señal analógica. Los conversores digital-analógico también se pueden encontrar en reproductores de CD, reproductores de música digital, tarjetas

Los sistemas digitales emplean los valores numéricos codificados en binario, en palabras digitales compuestas por ceros y unos; ello proporciona a los sistemas digitales alta fiabilidad y precisión, conseguidas por la perfecta distinción física entre el 0 y el 1, y una gran potencia de cálculo, derivada de la utilización de un sistema de numeración y de la capacidad de integración de funciones booleanas de altísima complejidad.

2.4.2.1. Modo de operación.

Mediante una suma ponderada de los dígitos de valor 1 se consigue, en forma muy simple, un conversor digital-analógico rápido; la ponderación puede hacerse con una serie de resistencias en progresión geométrica (cada una mitad de la anterior), lo cual obliga a utilizar un amplio rango de resistencias, o bien mediante una red R-2R que efectúa sucesivas divisiones por 2.

Puede convertirse una tensión en número binario utilizando un conversor opuesto D/A, a través de la comparación entre la tensión de entrada y la proporcionada por dicho conversor D/A aplicado a un generador de números binarios; se trata de aproximar el número-resultado a aquel cuya correspondiente tensión analógica es igual a la de entrada. La aproximación puede hacerse de unidad en unidad, mediante un simple contador, o dígito a dígito mediante un circuito secuencial específico.

En los sistemas digitales la precisión viene dada por la utilización de dos símbolos 1/0 y por la separación entre las tensiones que los representan. En cambio, en el tratamiento de tensiones analógicas y, por tanto, en los conversores D/A y A/D, hemos de preocuparnos de la precisión y de las diversas causas de error que le afectan: desplazamiento del origen, linealidad, resolución, etc.

Conceptualmente la conversión analógica-digital consiste en realizar la suma ponderada de los diversos dígitos que configuran el número binario; el valor relativo de cada uno de ellos viene dado por la correspondiente potencia de 2: Esta suma puede realizarse mediante un sencillo circuito sumador con resistencias ponderadas (según la relación R, R/2, R/4, R/8, R/16...).