

Cuando se hace referencia a los conceptos de señales y sistemas, su aplicación es válida para una variedad amplia de disciplinas, tales como sismología, comunicaciones, acústica, sistemas de generación y distribución de energía, ingeniería biomédica, etc. En estos campos la naturaleza física de las señales y sistemas pueden tener matices diferentes, pero todos ellos presentan características básicas comunes siguientes: a) las señales son funciones de una o más variables independientes, y contienen información sobre la naturaleza o comportamiento de algún fenómeno. b) Los sistemas responden a señales dadas produciendo otras señales. Así se tiene que señales eléctricas, que son voltajes o corrientes función del tiempo, se aplican a sistemas eléctricos, los que responden a estas señales con voltajes o corrientes, de acuerdo a sus características. También se puede considerar el caso en que el sistema es un automóvil, donde su entrada es la presión sobre el acelerador y la respuesta del automóvil o salida es su velocidad. En este capítulo se presentan el concepto general de sistema y su aplicación a sistemas de comunicaciones, la caracterización de señales en el dominio del tiempo, consiste en la definición de ciertos parámetros, los criterios de representación de señales en el dominio de la frecuencia y la clasificación de sistemas.

1.1 DEFINICION DE SISTEMA, SEÑAL. SEÑALES ELECTRICAS. SISTEMAS DE COMUNICACIONES.

Sistema. Un sistema es un grupo de objetos que pueden interactuar armónicamente y que se combinan para lograr un determinado objetivo. Un sistema puede, a la vez, ser una parte (subsistema) de un sistema mayor. Puede establecerse una jerarquía completa de sistemas, cada una con su dominio definido .

Señal. Una señal es un suceso que sirve para iniciar una acción; es decir puede incitar a la acción. Con las restricciones de energía y potencia, el interés se centra en el concepto de señal y también en la respuesta de un sistema a una señal dada. El diagrama de la figura 1.1 muestra las funciones de la señal, el sistema y la respuesta .

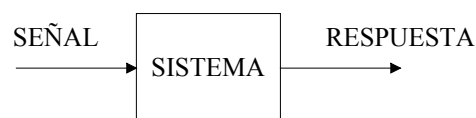


Figura 1.1 Diagrama de un Sistema

Es conveniente usar los conceptos de señal y respuesta resultante para describir las características de un sistema.

Una señal se define como una función univaluada del tiempo, es decir, a cada instante de tiempo (la variable independiente), corresponde un valor único de la función (variable dependiente). Este valor de la función puede ser real o complejo, o sea que la señal puede ser real o compleja. La variable temporal es siempre real.

La notación compleja de señales es conveniente para describir fenómenos bidimensionales, tales como el movimiento circular, la propagación de ondas en el plano, etc., en función del tiempo. Debido a la limitación a una sola variable dependiente, todas las señales que corresponden a cantidades físicamente observables deben ser de naturaleza real. Sin embargo, en muchos análisis, los modelos y cálculos matemáticos son a menudo más simples, e incluso más obvios, si se usa notación compleja. Después de efectuar todas las operaciones en notación compleja bastará considerar la parte real de la expresión resultante. Este procedimiento es válido siempre que pueda aplicarse el principio de superposición.

Las observaciones anteriores pueden aplicarse a la descripción y análisis de procesos físicos en general. Interesa restringirlas a la descripción y análisis de señales y sistemas eléctricos.

Una señal eléctrica puede ser una onda de voltaje o de corriente que puede describirse matemáticamente. El interés radica en las variaciones de las señales con el tiempo, sean éstas de voltajes o de corrientes. Luego, una señal eléctrica es simplemente una función univaluada del tiempo que puede emplearse para representar un voltaje o una corriente en una situación específica. En ocasiones pueden aparecer excepciones, particularmente en análisis que impliquen los conceptos de energía y de potencia. En este caso es conveniente considerar que la señal se aplica a un resistor de resistencia un ohm para todos los cálculos de energía y de potencia asociada a la señal, en este caso se habla de potencia o energía normalizada.

Algunas señales varían en forma continua en el tiempo, en tanto que otras señales se definen sólo en puntos discretos de tiempo. Esta distinción se aplica tanto a señales como a sistemas que responden y procesan estas señales, lo cual conduce a dos formas de análisis de señales y sistemas, uno para fenómenos y procesos que son descritos en tiempo continuo y otro para aquellos que son descritos en tiempo discreto.

Las señales senoidales tienen una gran importancia en el análisis de los sistemas de comunicación. Estas señales pueden representarse como una función del tiempo de la siguiente manera

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (1.1)$$

Donde :

A : amplitud

ϕ : fase relativa

ω : rapidez del cambio de fase

En análisis de señales se usa el principio de los métodos de Fourier, el que consiste en la descomposición de las señales en sumatorias de componentes senoidales. Esto proporciona la descripción de una señal dada, en componentes senoidales, en función de la frecuencia. Un objetivo importante de la descomposición señalada, es la descripción de la distribución de la energía o de la potencia de una señal dada (y de la respuesta), en términos de tales frecuencias. Cualquier descripción de la respuesta, a una señal dada, ilustrará las características del sistema.

Conceptos Básicos en Teoría de Información. Como el concepto de sistema se aplicará al caso particular de Sistemas de Comunicaciones, es adecuado manejar algunos conceptos básicos que se manejan en tales sistemas, como por ejemplo.

Información. C. Shannon, estableció una teoría matemática de comunicaciones que representa la base de la Teoría de Información y Codificación, cuya premisa es el comportamiento probabilístico de la fuente de información. En este sentido la cantidad

de información recibida al conocer la ocurrencia de un evento está relacionada con la probabilidad de ocurrencia del mismo, o bien, desde el punto de vista del destino con la incertidumbre.

En forma intuitiva se puede decir que un mensaje con alta probabilidad de ocurrencia, conlleva menos información que uno que posea baja probabilidad de ocurrencia.

Fuentes de Información. Existen diferentes clases de fuentes de información, por lo que los mensajes aparecen en diferentes formas, tales como: una secuencia de símbolos o letras discretas (palabras escritas en forma telegráfica), una magnitud sencilla variando con el tiempo (presión acústica producida por la voz o la música), etc.. Sea cual sea la naturaleza del mensaje, el objetivo de un sistema de comunicación es proporcionar una réplica aceptable de dicho mensaje en el punto destino.

Cuando el mensaje producido por una fuente no es de naturaleza eléctrica, es necesario un transductor de entrada. Este transductor convierte el mensaje en una señal, o sea en una magnitud eléctrica variable, tal como un voltaje o corriente. En forma similar, es necesario otro transductor en el punto destino para convertir la señal de salida a la forma apropiada del mensaje.

Comunicación. Cuando entre dos entes, interlocutores, se tiene un intercambio de información se dice que existe una comunicación entre ellos, dicho de otra manera, comunicación es el proceso por medio del cual la información se transfiere de un punto llamado fuente, en espacio y tiempo, a otro punto que es el destino o usuario. Si la comunicación es eventual y en un sólo sentido se dice que se envía un mensaje; el cual es la manifestación física de la información producida por la fuente. Si es interactiva se dice que existe un diálogo compuesto de mensajes sucesivos en uno y otro sentido. Aquí cabe el siguiente concepto de la información: es la diferencia entre el conocimiento previo y posterior a la comunicación, es decir, entre la ignorancia inicial y la remanente.

Sistema de Comunicación. Es la totalidad de los mecanismos que proporcionan el enlace para la información entre fuente y destino. Un sistema de comunicación eléctrico es aquel que ejecuta esta función principal, pero no exclusivamente, por medio de dispositivos y fenómenos eléctricos.

1.1.1. Elementos de un Sistema de Comunicación. Para visualizar la relación señal – sistema, se considerará el diagrama en bloques de un sistema de comunicaciones mostrado en la Figura 1.2.

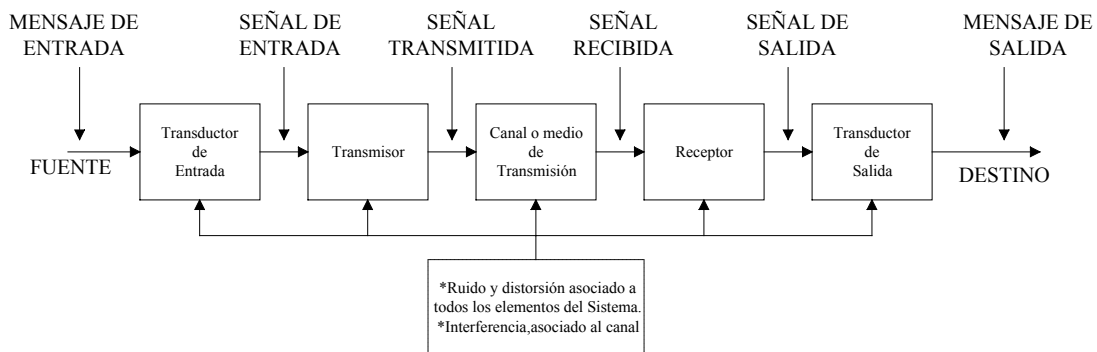


Figura. 1.2 Elementos de un Sistema de Comunicación.

Elementos Funcionales de un Sistema de Comunicación. Omitiendo los transductores, las partes esenciales de un Sistema de Comunicación Eléctrica son

- Transmisor
- Canal de Transmisión
- Receptor

Transmisor. El transmisor es el elemento que pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión efectiva y eficiente, en el transmisor se procesa la señal. La modulación es el proceso más común e importante, ya que determina el acoplamiento de la señal transmitida a las características del canal, por medio de una onda portadora .

Canal de Transmisión. El canal o medio de transmisión es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente entre la fuente y el destino. La naturaleza del canal de transmisión puede ser: par de alambre, cable coaxial, atmósfera, etc. Una característica importante de los canales de transmisión es la atenuación de la señal producida por él .

Receptor. La función del receptor es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Por lo general el receptor contiene etapas de filtrado, amplificación y la operación clave es la demodulación (detección), con la cual la señal vuelve a su forma original .

Distorsión. Interferencia. Ruido. Durante la transmisión de la señal se presentan efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación, la cual reduce la intensidad de la señal. Otros efectos son :

- Distorsión
- Interferencia
- Ruido

Estos efectos se manifiestan como alteraciones de la forma de señal .

Distorsión. Es la alteración de la señal debido a la respuesta imperfecta del sistema a dicha señal. La distorsión desaparece cuando la señal deja de aplicarse, no así la interferencia y el ruido.

En el diseño de sistemas se debe considerar el criterio de minimizar la distorsión. En la práctica debe permitirse una cierta distorsión dentro de límites tolerables .

Interferencia. Es la contaminación por señales extrañas, generalmente artificiales y de forma similar a la de la señal. El problema de interferencia se soluciona eliminando la señal interferente o su fuente.

Ruido. Por ruido se entiende cualquier señal aleatoria o impredecible de tipo eléctrico, originada en forma natural dentro o fuera del sistema. Debido al ruido, la información puede ser cubierta en gran parte o eliminada totalmente, haciendo imposible su recuperación en el receptor.

1.2 CLASIFICACION DE SEÑALES ELECTRICAS .

La elección del modelo matemático de una señal debe ser tal que describa lo suficientemente claro las características más relevantes de los mensajes. El análisis matemático y el procesamiento de señales requieren de la disponibilidad de una descripción matemática de las señales. Esta descripción matemática o modelo de señal conduce a la clasificación básica de las señales en : *determinísticas* y *en aleatorias*.

La Figura 1.3. ilustra en forma esquemática una primera clasificación de señales eléctricas .



Figura 1.3 . Clasificación de Señales Eléctricas

1.2.1. Señales Determinísticas. Las señales determinísticas son aquellas que pueden ser modeladas por expresiones matemáticas explícitas, como por ejemplo :

$$x(t)=220\text{sen}2\pi 50t \quad (1.2)$$

La expresión de una señal determinística puede ser todo lo complicada posible y aún en este caso podrá determinarse, para un instante cualquiera, el valor instantáneo de la señal dada .

Cualquier señal que pueda ser descrita por una expresión matemática explícita, por una tabla de datos, o por una regla bien definida es llamada *determinística*. Este término es usado para enfatizar que todos los valores pasados, presente y futuros de la señal son conocidos con precisión, sin incertidumbre .

Señales Determinísticas Estacionarias. Son aquellas señales que mantienen constante en el tiempo algún parámetro temporal significativo, como por ejemplo el valor eficaz, la componente continua, etc. El concepto estacionario se aplica al parámetro considerado.

Señales Periódicas. Son aquellas señales que presentan como característica, el hecho de que la señal en cuestión repite sus valores cada cierto intervalo de la variable independiente, intervalo que se denomina periodo.

1.2.2. Señales Aleatorias. Las variaciones de estas señales son extremadamente complejas. Los eventos físicos que generan tales señales son de difícil predicción. Algunos de los factores que intervienen en un proceso aleatorio carecen de descripción analítica. Los procesos aleatorios pueden sin embargo, poseer alguna forma que permita

su caracterización en base a ciertos valores medios. Lo cual implica que el comportamiento de mecanismos aleatorios, puede ser predecible sobre la base de valores medios y hay una ignorancia o incertidumbre sobre su comportamiento completo. La salida de un generador de ruido, una señal sísmica, una señal de voz son ejemplos de señales aleatorias .

En Teoría de Comunicación, las señales aleatorias tienen una gran importancia. Así se tiene, que en todo canal de comunicación existe una señal de ruido aleatorio, la cual tiene por efecto la contaminación de los mensajes. Por otra parte, un mensaje solamente puede transmitir información si es impredecible; en este contexto el monto de la información es proporcional a la incertidumbre de la señal. Si un mensaje es determinístico, o sea, si es conocido completamente, se tiene que la recepción del mensaje no aporta información adicional. En Teoría de Comunicación Estadística, tanto el mensaje como el ruido son tratados como señales aleatorias, las que pueden ser descritas por sus propiedades estadísticas.

Señales Aleatorias Estacionarias. Las señales aleatorias estacionarias presentan algún aspecto o magnitud en su estructura estadística que permanece constante en el tiempo. Normalmente el concepto de estacionaria, supone que los parámetros significativos dependen sólo de la longitud del intervalo de observación y no de sus instantes final e inicial.

Procesos Ergódicos. En ciertos procesos aleatorios, llamados ergódicos, la estadística completa puede ser determinada a partir de una función muestral cualquiera. En otras palabras, cada función muestral lleva una información estadística idéntica y por lo tanto cualquier función muestral describe estadísticamente el proceso estocástico completo. Para un proceso ergódico la media temporal es idéntica a la media del conjunto .

En los procesos no ergódicos, se necesita un conjunto de funciones muestrales para obtener la estadística completa de un proceso

1.2.3. Señales Multicanal y Multidimensional. Señales de Tiempo Continuo y de Tiempo Discreto. Señales de Valores Continuos y de Valores Discretos . Como complemento a la primera clasificación presentada, se puede hacer referencia a los siguientes tipos de señales :

Señales Multicanal. Los métodos que se utilizan en el procesamiento de señales o en el análisis de la respuesta de un sistema para una señal de entrada dada dependen fuertemente de las características de la señal específica. Como hay técnicas que se aplican solamente a familias determinadas de señales, es necesario que cualquier investigación en procesamiento de señal, debería comenzar con una clasificación de las señales implicadas en la aplicación específica .

En algunas aplicaciones, las señales son generadas por fuentes múltiples o múltiples sensores. Tales señales, pueden ser representadas en forma vectorial, como por ejemplo la aceleración de la tierra debida a un temblor. Esta aceleración es el resultado de tres tipos básicos de ondas elásticas: primarias (P), secundarias (S) y superficiales .

Las fuentes múltiples o sensores múltiples generan señales escalares. Aunque tales señales no son magnitudes vectoriales desde un punto de vista físico, pueden ser tratadas como componentes de un vector por conveniencia notacional y matemática. Por ejemplo la salida de un electrocardiograma que tenga tres electrodos (sensores), puede ser representada como un vector $S_3(t)$, como

$$S_3(t) = \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ s_3(t) \end{bmatrix}$$

Tal vector de señales puede ser considerado como una Señal Multicanal .

Señales Multidimensional. Si una señal es una función de una variable independiente única, es llamada Señal Unidimensional. Por otra parte, una señal es llamada M-dimensional si su valor es una función de M variables independientes, como por ejemplo un cuadro de televisión blanco y negro puede ser representado como $I(x,y,t)$, dado a que el brillo es una función espacial y del tiempo, o sea, tridimensional .

Señales de Tiempo Continuo y de Tiempo Discreto. Las señales pueden clasificarse dependiendo de su definición en relación a la variable independiente tiempo en : Señales de Tiempo Continuo y de Tiempo Discreto .

Señales de Tiempo Continuo o Señales Análogas. Estas señales están definidas para cualquier valor de tiempo y ellas asumen sus valores en el intervalo continuo (a,b), donde a puede ser $-\infty$ y b puede ser ∞ . Matemáticamente, estas señales pueden ser descritas por funciones de una variable continua. Ejemplos de señales analógicas pueden ser : onda de voz , $x(t) = \sin \pi t$.

Señales de Tiempo Discreto. Estas señales están definidas solamente en valores discretos de tiempo. Estos instantes de tiempo no son necesariamente equidistantes, pero en la práctica se consideran igualmente espaciados por conveniencia computacional y manejo matemático. Como ejemplo de señal de tiempo discreto se tiene a : $x(t) = e^{-|t_n|}$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Si se usa el subíndice n de los instantes de muestreo como la variable independiente, el valor de la señal es función de una variable entera, por lo cual llega a ser una secuencia de números. Luego una señal de tiempo discreto puede ser representada matemáticamente por una secuencia de números reales o complejos. Para enfatizar la naturaleza de tiempo discreto de una señal, se denotará tal señal como $x(n)$ en lugar de $x(t)$. Si los instantes t_n están igualmente espaciados, o sea $t_n = nT$, la notación $x(nT)$ es también usada .

Las señales de tiempo discreto pueden originarse a partir de:

-Selección de valores de una señal análoga en instantes discretos de tiempo. Este proceso se conoce como muestreo de una señal análoga .

-Por acumulación de una variable sobre un período de tiempo. Por ejemplo, el conteo del número de automóviles que circulan por cada hora en una determinada calle, como también la grabación del valor diario de la Unidad de Fomento.

Señales de Valores Continuos y de Valores Discretos. Los valores de una señal de tiempo continuo o de tiempo discreto pueden ser continuos o discretos .

Señales de Valores Continuos. Si una señal toma todos los valores posibles de un rango finito o infinito de valores, se dice que es una señal de valor continuo .

Señales de Valores Discretos. En este caso la señal toma valores de un conjunto finito de los posibles valores. Usualmente, los valores finitos son equidistantes y luego pueden ser expresados como un múltiplo entero de la distancia entre dos valores sucesivos . Una señal de tiempo discreto y que tiene valores discretos se llama señal digital .

1.2.4. Señales Descritas en Términos de Energía y en Términos de Potencia

Señales de Duración Limitada. Se trata de señales que se anulan fuera de un intervalo de tiempo determinado que, comúnmente, se considera simétrico con respecto al origen.

Señales Acotadas. Son aquellas señales cuyos valores instantáneos están acotados por un número real y positivo.

Señales Descritas en Términos de Potencia. Son aquellas que tienen potencia media finita distinta de cero. Como ejemplo de este tipo de señales se tiene : las señales periódicas, las aleatorias estacionarias y las que no están limitadas en el tiempo.

Señales Descritas en Términos de Energía. Las señales que tienen energía finita son descritas en términos de energía. Este es el caso de señales de duración limitada en el tiempo, las que además tienen potencia media nula.

Señales de Energía Limitada. En este tipo de señales, su energía está acotada por un cierto número real k .

1.3. DESCRIPCION DE SEÑALES EN LOS DOMINIOS DEL TIEMPO Y DE LA FRECUENCIA

Las señales pueden estudiarse en dos ámbitos diferentes: el del tiempo, y el de la frecuencia

1.3.1. Descripción de Señales en el Dominio del Tiempo. El estudio de una señal en el dominio temporal se basa en la representación de la señal como función de la variable tiempo. Esta descripción se fundamenta en la definición de ciertos parámetros, tales como *valor máximo*, *valor máximo a máximo*, *valor medio*, *valor cuadrático medio*, *valor eficaz*, *factor de forma*, *factor de cresta*, etc.

1.3.2. Conceptos de Descripción de Señales en el Dominio de la Frecuencia. La base del tratamiento y estudio de las señales en el dominio de la frecuencia radica en la descomposición de ellas en componentes senoidales de diferentes frecuencias. En este contexto, para las señales periódicas se emplea la Serie de Fourier y para representar a las señales no periódicas la Transformada de Fourier o la Transformación Discreta. Algunos conceptos utilizados en el dominio de la frecuencia son

Espectro . La representación de las señales en el dominio de la frecuencia se denomina espectro y el tratamiento correspondiente, se denomina estudio o análisis espectral .

Dentro del análisis espectral, se determinan dos tipos de espectros: Continuo y Discreto .

Espectro Continuo. Un espectro se dice continuo si la función que lo caracteriza es una función continua de la frecuencia, tal como se ilustra en la Figura 1.4.