

39. Funciones básicas secuenciales: biestables, contadores, registros y otros. Simbología, tipología, función y aplicación en los dispositivos digitales de los equipos.

Introducción

En el ámbito de los sistemas digitales, las funciones básicas secuenciales desempeñan un papel determinante en el control, almacenamiento y procesamiento de información binaria con dependencia temporal. A diferencia de los circuitos combinacionales, cuya salida depende únicamente del valor actual de las entradas, los circuitos secuenciales incorporan memoria, lo que permite que su salida esté condicionada por secuencias previas de estados. Esta característica los convierte en elementos imprescindibles en el diseño de sistemas automatizados, temporizadores, procesadores y dispositivos de control lógico programado.

Dentro de estas funciones secuenciales, los biestables, contadores y registros destacan como bloques funcionales fundamentales. Los biestables, o flip-flops, son elementos básicos de almacenamiento de un bit de información y constituyen la base de sistemas de memoria y temporización. Los contadores permiten registrar y secuenciar eventos en sistemas digitales, mientras que los registros almacenan y desplazan datos binarios de forma controlada. Junto a estos, existen otros componentes secuenciales que, combinados, permiten la implementación de máquinas de estados, sistemas de cronometraje, control secuencial de procesos y unidades de control de datos.

La simbología y tipología de estos elementos están estandarizadas para su uso en esquemas y documentación técnica, y su dominio es imprescindible tanto para el diseño como para la interpretación y diagnóstico de equipos electrónicos digitales. La comprensión de su función y aplicación práctica permite no solo el desarrollo de sistemas desde cero, sino también la modificación, mejora y mantenimiento de equipos existentes en sectores como la automatización industrial, la robótica, la electrónica de consumo y los sistemas embebidos.

En este contexto, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. La formación en lógica secuencial dota al alumnado de una base técnica sólida y transversal, necesaria para desenvolverse con solvencia en entornos tecnológicos que demandan habilidades en el análisis de procesos, la gestión de datos digitales y el diseño de sistemas automáticos de control.

A lo largo del tema se abordarán los fundamentos de las funciones secuenciales básicas, su simbología, sus diferentes tipos, su función operativa y su aplicación concreta en dispositivos digitales, permitiendo una comprensión integral y aplicada de su relevancia en los equipos electrónicos actuales.

Funciones básicas secuenciales

Fundamentos de la lógica secuencial

La lógica secuencial es una rama de la electrónica digital que se caracteriza por el uso de circuitos cuya salida depende no solo del estado actual de las entradas, sino también de los estados anteriores. Esto se consigue mediante la incorporación de elementos de **memoria**, capaces de almacenar información binaria. La inclusión de memoria permite implementar sistemas que evolucionan en el tiempo, reaccionando de manera diferente ante una misma entrada en función del estado previo.

Los sistemas secuenciales se dividen en dos grandes grupos:

- **Síncronos**, aquellos en los que los cambios de estado están gobernados por una señal de reloj común.
- **Asíncronos**, donde los cambios se producen en función directa de las transiciones de entrada, sin necesidad de sincronización por reloj.

Este comportamiento secuencial es fundamental para desarrollar circuitos de control, máquinas de estados, sistemas de conteo, temporizadores o elementos de almacenamiento, entre otras aplicaciones. La presencia del **tiempo como variable** transforma radicalmente el modo de análisis y diseño respecto a la lógica combinacional, exigiendo metodologías específicas.

Representación temporal y comportamiento dinámico

El análisis de los circuitos secuenciales se realiza a través de **cronogramas o diagramas temporales**, que muestran la evolución en el tiempo de las señales de entrada, salida y control (como el reloj o señales de habilitación). Estos diagramas permiten visualizar el comportamiento dinámico del circuito, identificar retardos, sincronizaciones y errores de temporización.

Además, se utilizan **tablas de transición de estado**, que muestran cómo evoluciona el sistema según las combinaciones de entrada y estado previo, y **diagramas de estados**, que representan gráficamente los distintos estados posibles y las transiciones entre ellos. Estas herramientas son fundamentales para diseñar y verificar circuitos como máquinas de Moore o de Mealy.

El comportamiento secuencial también está influido por factores como:

- **El tipo de borde del reloj** (flanco de subida o bajada).
- **Los tiempos de establecimiento y retención** (setup y hold time).
- **La propagación de señales internas**, que puede causar condiciones de carrera o glitches si no se controlan adecuadamente.

Estos aspectos hacen necesario un diseño cuidadoso, especialmente cuando se integran múltiples dispositivos o cuando el sistema funciona a altas frecuencias.

Diferencias entre funciones combinacionales y secuenciales

A nivel conceptual, las funciones secuenciales se distinguen de las combinacionales en varios aspectos:

Característica	Combinacional	Secuencial
Dependencia temporal	No	Sí
Memoria	No	Sí
Herramientas de análisis	Álgebra de Boole, tablas de verdad	Diagramas de estados, cronogramas
Aplicaciones típicas	Lógica de decisión, codificación	Control de procesos, temporización
Componentes básicos	Puertas lógicas	Biestables, registros, contadores

El diseño de sistemas digitales reales suele requerir la combinación de funciones combinacionales y secuenciales, formando estructuras mixtas capaces de realizar tareas complejas como almacenamiento, comparación, control de eventos o gestión de flujos de datos.

Aplicación formativa y profesional

En el aula de Formación Profesional, la enseñanza de funciones secuenciales permite al alumnado comprender la base del funcionamiento de numerosos dispositivos digitales utilizados en automatización, comunicaciones, electrónica de consumo o sistemas de medida. El uso de simuladores digitales, placas de prototipado o herramientas de diseño lógico programable facilita la representación de estados, la construcción de máquinas de control y el análisis de comportamiento temporal.

En el contexto profesional, las funciones secuenciales están presentes en **controladores de procesos industriales, interfaces de comunicación, unidades de procesamiento de datos y sistemas embebidos**, donde la gestión ordenada de eventos en el tiempo es imprescindible. El conocimiento de estas funciones dota al técnico de capacidades para el diseño, programación y mantenimiento de sistemas digitales con lógica secuencial, clave en el desarrollo de soluciones automatizadas eficientes.

Una vez comprendida la base funcional de la lógica secuencial, resulta esencial profundizar en los principales bloques que la componen —biestables, contadores, registros y otros— para entender su comportamiento específico y sus aplicaciones concretas.

Biestables, contadores, registros y otros

Biestables: almacenamiento básico de información

Los biestables, también conocidos como **flip-flops**, son los componentes secuenciales más elementales y se utilizan para almacenar un bit de información. Cada biestable posee dos salidas complementarias (Q y $\neg Q$) y puede permanecer indefinidamente en uno de dos estados estables hasta que una señal externa lo modifique. Su funcionamiento está gobernado por señales de control y, en la mayoría de los casos, por un reloj que sincroniza los cambios de estado.

Existen diversos tipos de biestables, entre los que destacan:

- **RS (Reset-Set):** permite establecer (set) o reiniciar (reset) el estado de salida.
- **D (Data o Delay):** transfiere el valor de entrada a la salida en el flanco del reloj; es el más utilizado en registros y memorias.
- **JK:** una mejora del RS, permite conmutar el estado si ambas entradas son altas; versátil y usado en contadores.
- **T (Toggle):** cambia de estado con cada impulso de reloj si la entrada está activa; utilizado directamente en contadores binarios.

Los biestables son la base de **registros, contadores, máquinas de estados y memorias estáticas**, y su análisis incluye la observación de cronogramas y tablas de transición para comprender su evolución temporal.

Contadores: secuenciación y control de eventos

Los contadores son circuitos secuenciales que generan una secuencia predefinida de estados binarios al recibir pulsos de entrada. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como

la temporización de procesos, la generación de señales de control, el conteo de eventos y la conversión de frecuencia.

Clasificación según funcionamiento:

- **Contadores ascendentes:** incrementan su valor con cada pulso.
- **Contadores descendentes:** decrecen su valor con cada pulso.
- **Contadores reversibles:** pueden aumentar o disminuir según una señal de dirección.
- **Contadores síncronos:** todos los biestables cambian su estado simultáneamente, controlados por el mismo reloj.
- **Contadores asíncronos (en cascada):** el cambio de estado se propaga secuencialmente de un biestable al siguiente; más simples, pero con retardos acumulativos.

También existen **contadores preestablecidos** (con posibilidad de carga de un valor inicial) y **contadores con detección de desbordamiento**, que activan una señal al alcanzar un valor específico. Muchos de estos contadores están disponibles como **circuitos integrados estándar**, como los de la serie 74LS90 o CD4029.

Registros: almacenamiento y desplazamiento de datos

Los registros son conjuntos organizados de biestables diseñados para almacenar múltiples bits (palabras). Permiten tanto la retención como el desplazamiento de datos en diferentes configuraciones, según las necesidades del sistema.

Principales tipos de registros:

- **Registro paralelo:** todos los bits se cargan o se leen simultáneamente. Útil para memorias temporales y buses de datos.
- **Registro de desplazamiento (Shift Register):** los bits se introducen, desplazan o extraen de forma secuencial. Tipos comunes:
 - **SISO** (Serial In – Serial Out)
 - **SIPO** (Serial In – Parallel Out)
 - **PISO** (Parallel In – Serial Out)

- **PIPO** (Parallel In – Parallel Out)

Los registros de desplazamiento también se emplean en **convertidores de datos** (entre formatos serie y paralelo), **secuenciadores** y **generadores de patrones binarios**.

Otros circuitos secuenciales básicos

Además de biestables, contadores y registros, existen otros elementos secuenciales que desempeñan funciones especializadas:

- **Divisores de frecuencia:** generan señales de reloj más lentas a partir de una señal de entrada, mediante contadores o biestables T encadenados.
- **Temporizadores:** proporcionan retardos temporales controlados, muy utilizados en aplicaciones de control de procesos.
- **Memorias ROM/RAM:** aunque más complejas, comparten estructura secuencial y lógica de direccionamiento mediante registros y contadores.

Algunos dispositivos, como los **decodificadores secuenciales** o **máquinas de estados finitos**, combinan lógica secuencial y combinacional, ejecutando algoritmos de control en sistemas embebidos o automatismos industriales.

Aplicación didáctica y profesional

En el contexto educativo, el trabajo con estos elementos permite al alumnado simular, diseñar y verificar comportamientos lógicos dependientes del tiempo, construyendo sistemas como semáforos, contadores de personas, temporizadores industriales o secuencias de arranque. El uso de simuladores digitales, kits de desarrollo y placas de prototipado facilita la experimentación con biestables, contadores y registros, reforzando la comprensión de los conceptos teóricos.

A nivel profesional, estos componentes se integran en **autómatas programables**, **microcontroladores**, **interfaces de comunicación**, **controladores de procesos** y **sistemas embebidos**, donde el control temporal y la secuenciación son esenciales. El dominio de su funcionamiento, estructura y aplicación es clave para el diseño, mantenimiento y optimización de sistemas digitales complejos.

Una vez interiorizados los fundamentos y elementos básicos de la lógica secuencial, resulta imprescindible abordar su simbología, tipología, función y aplicación específica dentro de los dispositivos digitales de los equipos, permitiendo su implementación efectiva en entornos reales.

Simbología, tipología, función y aplicación en los dispositivos digitales de los equipos

Simbología normalizada de elementos secuenciales

La representación gráfica de los elementos secuenciales en esquemas electrónicos sigue normas internacionales que estandarizan la simbología para facilitar su interpretación técnica. Entre las más utilizadas se encuentran la norma **IEC 60617** y los estándares **ANSI/IEEE**, que definen los símbolos para flip-flops, contadores y registros.

Por ejemplo:

- Los **biestables tipo D, JK, T o RS** se representan mediante bloques rectangulares con entradas etiquetadas (D, J, K, T, S, R, CLK, EN) y salidas (Q, $\neg Q$).
- Los **contadores** se simbolizan como bloques con entradas de reloj (CLK), carga (LOAD), habilitación (EN) y reset (CLR), además de múltiples salidas Qn.
- Los **registros** incluyen también entradas de carga y desplazamiento (SHIFT), mostrando el flujo de datos entre entradas y salidas, sean paralelas o serie.

Conocer esta simbología permite interpretar circuitos complejos, documentar diseños y comunicar con precisión en entornos multidisciplinares de ingeniería, mantenimiento o formación técnica.

Tipología de dispositivos digitales secuenciales

Los dispositivos digitales que integran funciones secuenciales pueden clasificarse según su complejidad, su nivel de integración y su aplicación funcional:

- **Circuitos integrados estándar:** como los pertenecientes a las familias **TTL (74LS)** o **CMOS (CD4XXX)**, que contienen biestables, contadores y registros en encapsulados discretos.
- **Microcontroladores y autómatas programables:** integran registros, contadores y temporizadores en módulos funcionales internos, accesibles por programación.
- **Dispositivos lógicos programables (PLD, CPLD, FPGA):** permiten configurar de forma personalizada sistemas secuenciales y combinacionales, siendo idóneos para aplicaciones específicas y prototipado rápido.
- **Sistemas embebidos y SoC (System on Chip):** incorporan módulos secuenciales optimizados, integrando en un solo chip lógica, memoria, periféricos y unidades de

procesamiento.

La elección de un tipo u otro depende de factores como la escalabilidad, la frecuencia de operación, la complejidad del sistema, la posibilidad de reconfiguración y el entorno de trabajo (industrial, educativo, doméstico o automotriz).

Función operativa de los elementos secuenciales

Los dispositivos secuenciales permiten ejecutar funciones de **almacenamiento, secuenciación, conteo, temporización y control de flujo de datos**, esenciales para el funcionamiento de cualquier sistema digital automatizado. Entre sus principales funciones se encuentran:

- **Control de procesos secuenciales:** por ejemplo, en arranques temporizados, ciclos de producción, semáforos o sistemas de limpieza automática.
- **Gestión de memoria y registros intermedios:** usados en la transferencia de datos entre dispositivos, buses de comunicación o buffers de entrada/salida.
- **Contadores de eventos y temporizadores:** en tareas como conteo de unidades producidas, control de calidad, dosificación de materiales o activación de alarmas tras un intervalo determinado.
- **Generación y control de señales:** como divisores de frecuencia, sincronizadores o generadores de retardo.

En muchos casos, estas funciones están interrelacionadas y permiten diseñar **máquinas de estados o autómatas secuenciales** que ejecutan lógicas de control complejas de forma ordenada y eficiente.

Aplicación en dispositivos y equipos reales

Los elementos secuenciales descritos se encuentran integrados en una amplia gama de **equipos digitales** utilizados en entornos industriales y tecnológicos:

- En **autómatas programables industriales (PLC)**, los temporizadores, contadores y registros internos gestionan operaciones lógicas de control de máquinas.
- En **microcontroladores**, los registros y biestables controlan el acceso a periféricos, comunicaciones y procesamiento de datos.

- En **equipos electrónicos de medida**, los contadores se utilizan para escalado de señales, promediado o detección de eventos transitorios.
- En **equipos de climatización, ascensores o líneas de producción**, los sistemas secuenciales regulan el orden lógico de los procesos.

Desde la perspectiva educativa, el conocimiento aplicado de estos dispositivos permite al alumnado interpretar esquemas técnicos, diseñar circuitos funcionales, programar comportamientos lógicos en entornos de desarrollo y resolver averías relacionadas con la lógica secuencial. La práctica con kits de lógica, simuladores digitales o dispositivos programables favorece la adquisición de competencias profesionales en automatización, electrónica digital y sistemas embebidos.

Una vez analizadas las funciones, estructuras y aplicaciones de estos dispositivos, resulta oportuno reflexionar sobre su relevancia formativa y técnica dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, así como su contribución al desarrollo profesional del alumnado en el contexto de la Formación Profesional.

Conclusión

El estudio de las funciones básicas secuenciales en electrónica digital proporciona una base sólida para comprender, diseñar y mantener sistemas digitales capaces de gestionar información en el tiempo, una competencia indispensable en el ámbito de los sistemas electrotécnicos y automáticos. Elementos como biestables, contadores, registros y otros dispositivos secuenciales permiten implementar funcionalidades complejas que van desde el almacenamiento de datos hasta el control ordenado de procesos, siendo esenciales en la automatización industrial, los sistemas embebidos y la electrónica de control.

A lo largo del tema se han abordado los principios de la lógica secuencial, diferenciándola de la lógica combinatorial, y analizando su comportamiento dinámico mediante herramientas específicas como los cronogramas o diagramas de estados. Se ha profundizado también en los componentes fundamentales que permiten estructurar circuitos secuenciales, así como en su simbología, tipología y funciones operativas, destacando su papel en dispositivos digitales como autómatas programables, microcontroladores, registros de datos y sistemas de conteo.

Este conocimiento técnico no solo facilita la interpretación y desarrollo de sistemas digitales, sino que también permite intervenir en su mantenimiento y mejora, anticipar fallos, optimizar recursos y asegurar un funcionamiento eficiente. La integración de estos dispositivos en equipos electrónicos actuales demuestra su relevancia en una amplia variedad de contextos profesionales, desde la gestión de procesos industriales hasta el diseño de interfaces inteligentes.

En el contexto de la Formación Profesional, estos contenidos favorecen la adquisición de competencias clave como el razonamiento lógico, la capacidad de abstracción, la resolución de problemas y la programación estructurada. A través del uso de metodologías activas —como el aprendizaje basado en proyectos, la simulación o el prototipado—, se fomenta un aprendizaje significativo, aplicable y alineado con las necesidades del sector productivo.

En este sentido, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. Dominar el funcionamiento, la aplicación y la integración de los circuitos secuenciales digitales contribuye directamente a preparar profesionales versátiles, capaces de dar respuesta a los desafíos tecnológicos de los entornos automatizados actuales y futuros.

Bibliografía

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 340, 30 de diciembre de 2020.

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional

Chacón de Antonio, F. J. (2003). *Electrotecnia: Fundamentos de ingeniería eléctrica*. Universidad Pontificia Comillas.

García Trasancos, J. (2020). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión* (8.^a ed.). Ediciones Paraninfo.

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas* (5.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Alcázar Ortega, M., Cañas Peñuelas, C. S., & Escrivá Escrivá, G. (2019). *Generación, transporte y distribución de energía eléctrica*. Universitat Politècnica de València (UPV).

Piedrafita Moreno, R. (2004). *Ingeniería de la automatización industrial* (2.^a ed. ampliada y actualizada). RA-MA Editorial.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.^a ed.). Pearson Educación. – Referencia esencial en teoría de control y regulación automática.

González Velasco, J. (2009). *Energías renovables*. Editorial Reverté. – Introducción exhaustiva a las distintas fuentes de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hidráulica, etc.)

Gualda Gil, J. A., & Martínez García, S. (2006). *Electrónica de potencia: Componentes, topologías y equipos*. Ediciones Paraninfo.

Gallardo Vázquez, S. (2016). *Prevención de riesgos eléctricos*. Ediciones Paraninfo.

León Blasco, A., Belenguer Balaguer, E., & Sanmartín Sáez, V. (2021). *Proyectos de instalaciones eléctricas de baja tensión: Aplicación a edificios de viviendas* (2.^a ed.). Marcombo.