

1. Circuitos lógicos

Los circuitos lógicos son las unidades elementales que construyen sistemas digitales para realizar operaciones aritméticas y lógicas. Estos se basan en el álgebra booleana donde “FALSO” se codifica como “0” y “Verdadero” como “1”. Estos operan con compuertas lógicas las cuales también operan con dos únicos tipos de valores, para la entrada y salida, cuyos estados codificados en binario “0” y “1”, representan un voltaje alto o bajo [1].

1.1. Tipos de circuitos lógicos

1.1.1. Circuitos secuenciales

Los circuitos lógicos secuenciales utilizan elementos de memoria como “Flip-Flops”, los cuales son un componente de memoria de 1 bit, utilizados para almacenar y procesar datos. Los circuitos secuenciales básicos como los Flip-Flop y registros juegan un papel importante en el procesamiento de la memoria. Los Flip-Flop pueden clasificarse en: SR Flip-Flop, los cuales se describen como un componente de memoria de 1 bit que tiene entradas SET y RESET, donde la entrada RESET, pone la salida en 0, y la entrada SET pone la salida en 1; los D Flip-Flop, los cuales con un reloj mantienen su entrada en el mismo estado; y los JK Flip-Flop que son similares al SR Flip-Flop con puerta y entrada de reloj adicional, diseñados para evitar escenarios de salida inválidos. Puede usarse con cuatro combinaciones diferentes “lógica 1”, “lógica 0”, “sin cambios” y “toggle” [2].

1.1.2. Circuitos combinacionales

Los circuitos lógicos combinacionales son un tipo de circuito que se forman al conectar múltiples puertas lógicas. Para que esta serie de puertas lógicas que componen un circuito combinacional funcionen correctamente deben cumplir con el requisito de la concatenabilidad. La concatenabilidad se refiere a que la salida de una puerta lógica puede alimentar circuitos combinacionales y secuenciales y realizar cálculos lógicos. Para lograr esto las variables de entrada y salida deben estar codificadas en la misma cantidad física. Por ejemplo, si la entrada se codifica en estados de voltaje, la salida también debe codificarse en estados de voltaje para poder alimentarse directamente de las o la entrada de la siguiente puerta lógica [3].

1.2. Componentes principales

1.2.1. Compuertas lógicas simples

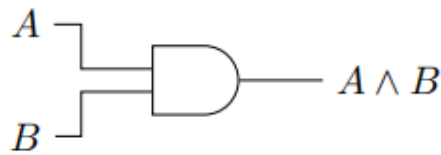
De acuerdo con [4], las compuertas lógicas simples se dividen en:

- **Puerta lógica AND:** La puerta lógica AND, puede tener dos, tres, cuatro o cualquier número (más de uno) de entradas, pero una sola salida. La salida es 1 (verdadera) si todas las entradas son 1; de lo contrario, la salida es 0 (falsa).

Tabla 1. Tabla de verdad para la compuerta lógica “AND”.

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 1. Circuito lógico de la puerta AND, representación gráfica.

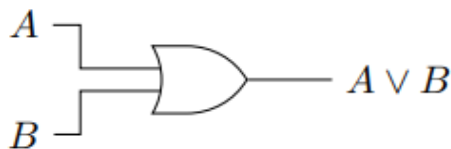


- **Puerta Lógica OR:** La puerta lógica OR, es una puerta muy importante. Puede tener cualquier número de entradas, mayores que dos, y una sola salida. La salida es 1 si al menos una de las entradas es 1, y la salida es 0 si todas las entradas son 0.

Tabla 2. Tabla de verdad para la compuerta lógica “OR”.

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figura 2. Circuito lógico de la puerta OR, representación gráfica.

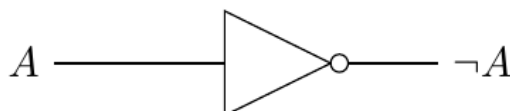


- **Puerta Lógica NOT (Inversa):** La puerta NOT, o puerta inversora, es la única puerta lógica que tiene una sola entrada y una sola salida. Su propiedad esencial es que cuando se aplica un pulso correspondiente al estado lógico 1 en la entrada, produce un estado lógico 0 en su salida, y viceversa. Como los estados lógicos 1 y 0 son complementarios también se le llama puerta de complemento.

Tabla 3. Tabla de verdad para la compuerta lógica “NOT”.

A	$\neg A$
1	0
0	1

Figura 3. Circuito lógico de la puerta NOT, representación gráfica.



1.2.2. Compuertas lógicas derivadas

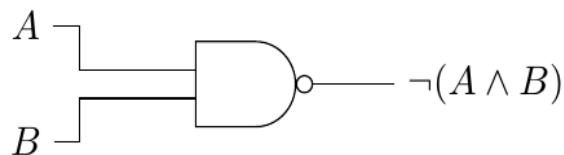
De acuerdo con [5], las compuertas lógicas derivadas se dividen en:

- **Puerta Lógica NAND:** Es una combinación entre la compuerta lógica AND y la compuerta lógica NOT. La salida de una puerta lógica NAND es el inverso de una salida AND. Por lo tanto, una puerta NAND, es una compuerta AND invertida.

Tabla 4. Tabla de verdad para la compuerta lógica “NAND”.

A	B	$\neg(A \wedge B)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 4. Circuito lógico de la puerta NAND, representación gráfica

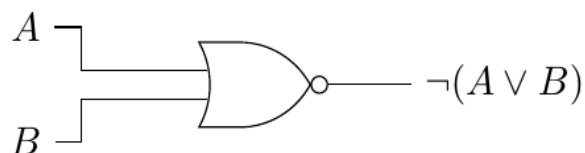


- **Puerta Lógica NOR:** Similar a la puerta NAND, una puerta NOR es también una combinación entre puertas lógicas, en este caso entre una puerta OR y una puerta NOT. La salida de una puerta NOR es esencialmente una puerta OR invertida.

Tabla 5. Tabla de verdad para la compuerta lógica “NOR”.

A	B	$\neg(A \vee B)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Figura 5. Circuito lógico de la puerta NOR, representación gráfica

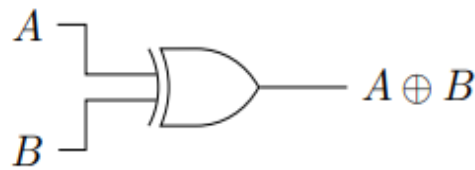


- **Puerta Lógica XOR (Exclusiva):** La puerta XOR o exclusiva produce una salida 1, si las entradas tienen fases diferentes, y una salida 0 si tienen fases idénticas.

Tabla 6. Tabla de verdad para la compuerta lógica “XOR”.

A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 6. Circuito lógico de la puerta XOR, representación gráfica



- **Puerta Lógica XNOR:** La puerta lógica XNOR, también llamada no exclusiva, produce una salida 1 si ambas entradas tienen el mismo valor, de lo contrario la salida es 0.

Tabla 7. Tabla de verdad para la compuerta lógica "XNOR".

A	B	$\neg(A \oplus B)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 7. Circuito lógico de la puerta XNOR, representación gráfica

2. Circuitos lógicos en sistemas digitales

Los circuitos lógicos son los elementos fundamentales con los que se construyen los sistemas digitales. Los sistemas digitales a su vez operan con información representada en código binario (ceros y unos). La relación jerárquica entre cómo se compone un sistema digital se da de la siguiente manera: en el nivel más bajo están los transistores que actúan como interruptores microscópicos controlados por una señal eléctrica. A partir de estos transistores se construyen puertas lógicas elementales, donde la agrupación de estas puertas lógicas permite diseñar módulos combinacionales básicos (como decodificadores y multiplexores) y luego sistemas secuenciales más complejos como (biestables, registros y contadores) [6].

Para sistemas digitales más complejos, se implementan circuitos lógicos de múltiples valores, los cuales como su nombre lo indica, abarcan valores más allá de la distinción binaria de verdadero o falso, permitiendo almacenar más información en un solo dígito. Los circuitos lógicos MVL, son útiles para sistemas más elaborados como, la óptica cuántica y distribución de clave cuántica en Red, ya que es una metodología fiable para el establecimiento de sistemas seguros de computación cuántica distribuida; también se lo puede implementar en la criptografía para Robots Móviles e Internet de las Cosas, los cuales requieren mecanismos de codificación criptográfica que integren conceptos de lógica de múltiples valores [7].

Otra implementación es mediante la Automatización del Diseño Eléctrico (EDA), la cual utiliza circuitos lógicos como base para la construcción de circuitos lógicos complejos. Tras esta complejidad han surgido soluciones basadas en aprendizaje profundo como DeepGate, que toma el primer paso hacia una representación neuronal general y efectiva de los circuitos. Lo cual permite que los sistemas complejos puedan representar sus circuitos lógicos como grafos y predecir su comportamiento lógico, permitiendo realizar tareas como estimación de energía o verificación lógica en circuitos de gran escala [8].

Bibliografía

- [1] N. I. Georgiev, V. V. Bakov, and V. B. Bojinov, "A Tutorial Review on the Fluorescent Probes as a Molecular Logic Circuit—Digital Comparator," *Molecules*, vol. 28, no. 17, 2023, doi: 10.3390/molecules28176327.
- [2] Neha M Harapanhalli, Kavipriya M, Ishwari Jigajinni, and Dr. Keerti Kulkarni, "Implementation of Combinational and Sequential Logic Circuits using Quantum Computing," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, no. June, pp. 430–439, 2023, doi: 10.32628/cseit23903106.
- [3] S. Bandyopadhyay, "Nanomagnetic Boolean Logic - The Tempered (and Realistic) Vision," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7743–7750, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3049333.
- [4] R. Prasad, *Analog and Digital Electronic Circuits: Fundamentals, Analysis, and Applications*. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-65129-9_9.
- [5] S. ji and M. Nafees, "AN INTRODUCTORY OVERVIEW: FUNDAMENTALS OF LOGIC GATES," 2023. doi: 10.52458/9788196869434.2023.eb.grf.ch-15.
- [6] M. M. Mano, *Lógica digital y diseño de computadores*. 2023. doi: https://doi.org/10.18239/manuales_2023.26.00.
- [7] C. Jin, "A review on multiple-valued logic circuits," *Appl. Comput. Eng.*, vol. 43, no. 1, pp. 322–326, 2024, doi: 10.54254/2755-2721/43/20230857.
- [8] M. Li, S. Khan, Z. Shi, N. Wang, H. Yu, and Q. Xu, "DeepGate: Learning Neural Representations of Logic Gates," *Proc. - Des. Autom. Conf.*, pp. 667–672, 2022, doi: 10.1145/3489517.3530497.