Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957
ISSN 2007-1957

SISTEMAS: UN ENFOQUE PRÁCTICO SOBRE SISTEMAS DIGITALES

Gelacio Castillo Cabrera
Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional
gcastilloc@ipn.mx

Martha Patricia Jiménez Villanueva
Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional
mjimenezv@ipn.mx

María del Rosario Rocha Bernabé
Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional
rrocha@ipn.mx

Adair García Torres
Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional
agarciat1800@alumno.ipn.mx

Abstract

En este artículo se presenta una revisión de los conceptos básicos de sistemas y una mención de clasificación de sistemas, con un enfoque tecnológico a los sistemas digitales. Se comienza con una revisión de la definición general de la teoría de sistema. Después se discute, de forma breve, el concepto de sistema, en general y en particular los sistemas de numeración. El objetivo es centrar la atención en los sistemas digitales y hacer énfasis en dos de sus propiedades más relevantes, su jerarquía y consistencia. Deben ser suficientemente robustos para limitar inconsistencias.

Palabras clave: Teoría de sistemas, Sistemas, Sistemas Digitales.

En los cursos curriculares de Arquitecturas de Computadoras se hace necesario, en algún momento, abordar de forma explícita o directa, el tema de los "sistemas digitales". Además, una de las carreras de la Escuela Superior de Cómputo lleva el nombre de "Ingeniería en Sistemas Computacionales", ello generó la motivación de investigar y contribuir en las definiciones de algunos tipos de sistemas. En la literatura se trata el tema de "teoría general de sistemas" proponiendo las palabras y conceptos que dan soporte a los tipos de sistemas. Se comienza por presentar definiciones generales. El primero es el concepto de Teoría: una Teoría se sustenta en un conjunto de axiomas, postulados, teoremas

Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957
ISSN 2007-1957

y principios acompañados de un vocabulario basado en definiciones de conceptos (Pekka Lahti, 2023; Arrighi, 2019; Schroeder, 2022). Por ejemplo, el principio de incertidumbre de Heisenberg en la Teoría de la mecánica cuántica (Thomas Filk, 2011), o los axiomas de Peano en la Teoría de números (Antezana, 2019), o el principio de conservación de la energía. Adicionalmente, los principios no necesitan ser demostrados. Pero en algunos casos son validados por la aceptación general (Pekka Lahti, 2023).

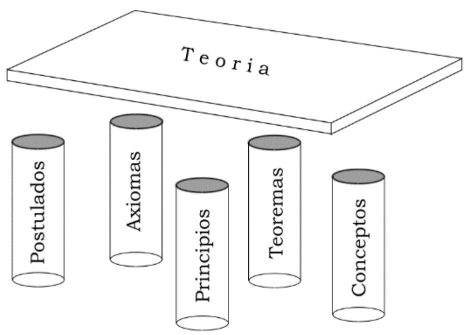

Figura 1. Representación del concepto de Teoría (Fuente: elaboración propia)

Dado lo anterior vale preguntarse ¿cuáles son los principios axiomáticos en los que se basa la Teoría de los Sistemas? La Teoría de sistemas se basa en los siguientes axiomas (Šubrt, 2019):

Jerarquía
Cooperación
Alimentación (energía)
Asociación
Mutación (Adaptación)
Abstracción
Autonomía

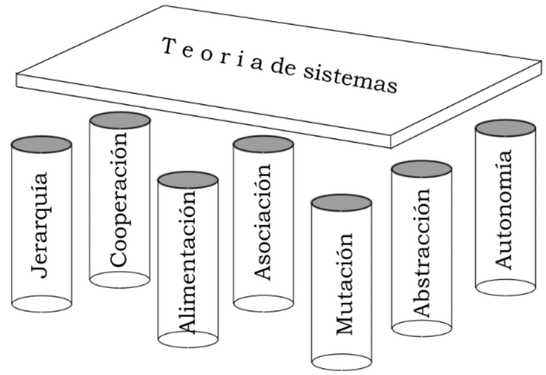

Figura 2. Representación de Teoría de sistemas (Fuente: elaboración propia)

Al respecto Luhmann (2013) establece las bases del concepto de “Teoría general de sistema” con enfoque sociológico. Pero halló su inspiración en disciplinas como la termodinámica y la biología. Aunque esta Teoría tiene su origen en múltiples contribuciones (Chih-Hui Lai, 2017), las principales se hallan con Luhmann, George Spencer-Brown, Humberto Maturana y Francisco Varela (Šubrt, 2019). El axioma de abstracción permite o facilita la apropiación pedagógica y didáctica, por una parte. Por otra parte, la apropiación cognitiva sólo da constancia del universo físico: los individuos vivos, aplicaciones tecnológicas, o los cuerpos matemáticos. En la secuencia narrativa de este trabajo, por su interés, es necesario dar paso a otro concepto relacionado, el de “Sistemas”. Un sistema es un todo compuesto de elementos de menor jerarquía interactuando con regularidad, cooperando entre sus iguales y asociándose para dar paso a la existencia del cuerpo u objeto de mayor jerarquía (Pekka & Juha-Pekka, 2023). Los cuerpos matemáticos son casos de sistemas completos, cerrados y además auto consistentes. Por otro lado, los sistemas físicos, biológicos y tecnológicos, no gozan de autonomía, es decir son abiertos. Los sistemas abiertos y cerrados tienen entradas y salidas, pero esto obedece al concepto de

Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957
ISSN 2007-1957

cooperación. Los sistemas biológicos son mutantes. El concepto de autonomía está fuertemente ligado al de abstracción, pero es de menor jerarquía. En otras palabras, los sistemas son autónomos en cuanto permanecen en ambientes controlados para sus análisis y estudio. En esta última clasificación se contemplan los sistemas físicos y tecnológicos.

Sistemas de numeración

Son casos particulares de cuerpos matemáticos y su estudio ha ocupado a muchos investigadores y civilizaciones. Los de mayor impacto tecnológico en la actualidad (Brown & Vranesic, 2014) son:

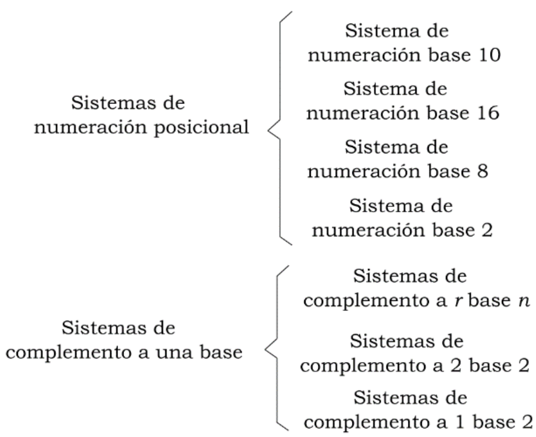

Figura 3. Diagramas de sistemas de numeración de mayor impacto tecnológico (Fuente: elaboración propia)

Sistemas binarios

Son sistemas de numeración basados en el sistema de numeración base 2.

Sistemas Digitales

Son sistemas binarios y llevan asociados de forma intrínseca dos conceptos como se muestran en la siguiente Figura.

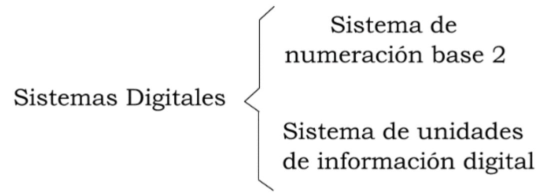

Figura 4. Diagrama de sistemas digitales (Fuente: elaboración propia)

Los sistemas digitales se clasifican de acuerdo con las unidades de información digital. Las unidades de información, entre los fabricantes, son por consenso, cadenas de unidades básicas en grupos potencia de dos, como se muestra en la Figura 5.

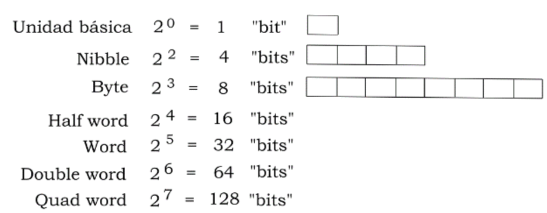

Fig. 5 Unidades de información digital (Fuente: elaboración propia)

Las unidades de información digital mostradas en la Figura 5 fueron definidas junto con las arquitecturas de procesadores de 32 bit, en los años 1980´s. Fueron usadas durante poco más de 20 años y no se han propuesto otras unidades. En general, en los procesadores actuales, cada unidad de información digital (Figura 5) define una arquitectura. Por ejemplo, en una arquitectura de 32 bits, los registros de datos e instrucciones son de 32 bits. Las unidades básicas de almacenamiento

ISSN 2007-1957

son los latch o Flip-Flop. Un latch, o un Flip-Flop, almacena una unidad de información, esto es, los dos estados posibles de un bit. Un registro es una concatenación de Flip-Flops. Los bits en un registro se ordenan con referencia al sistema posicional. Por ejemplo, el número 168 base 10 tiene su equivalente en base 2

$168_{10} \equiv 10101000_2$, donde 10101000_2 tiene su desarrollo polinomial

$1x2^7 + 0x2^6 + 1x2^5 + 0x2^4 + 1x2^3 + 0x2^2 + \cdots + 0x2^0$

el término de mayor peso o valor es $1x2^7$

Sistemas digitales signados (SDS)

Un sistema digital signado es uno con el cual se pueden realizar operaciones algebraicas. Por ejemplo, sean *a* y *b* dos números digitales, donde ambos pueden ser positivos o negativos, y además adquieren la propiedad de soportar operaciones de suma, resta, multiplicación, división, y potenciación de forma consistente. Para hacerlo posible es conveniente asumir un conjunto de convenciones para la definición del sistema.

I).- Asumir que un número entero arbitrario *a* es representado en un sistema signado.

II).- El sistema queda especificado por el número de bits, que a su vez es potencia de 2. Después de convenir el número de bits no se permite hacerle cambios a conveniencia.

III).- El bit de mayor peso queda reservado para el signo del número *a*. Si este bit es “0” se asume como positivo. Si es “1” se asume como negativo.

IV).- El complemento a 2 es parte de la definición del sistema signado ya que permite trasladar un número positivo a su contraparte negativa. Excepto el menor valor negativo.

Por ejemplo, asumir que el sistema seleccionado es de 4 bits.

B3	b2	b1	b0

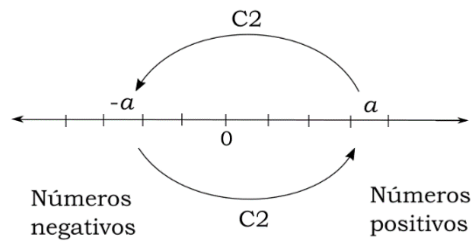

Figura 6.- Representación gráfica de la implicación de la operación de complemento a 2 (Fuente: elaboración propia)

Todas las combinaciones o valores en el sistema son consistentes con el complemento a 2, excepto el valor

1	0	0	0

El cual por convención es *-8*, trasladado a base 10. Continuando con un sistema de 4 bits, el complemento a 2 de forma práctica se obtiene a través de los dos siguientes pasos.

1.- Hallar el complemento a 1 del número binario dado.

2.- Sumar 1 (uno) al complemento a 1. El resultado obtenido es el complemento a 2.

Como se mencionó previamente, el valor de -8 es una excepción al complemento a 2 y por convención su equivalente en base 2 es 1000, en el sistema de 4 bit. Por otra parte, para un sistema de 8 bit la excepción es -128 y por convención su equivalente en base 2 es 10000000. De igual forma si el sistema es de mayor número de bits. La regla general que determina el intervalo de valores permitidos para un sistema de n bits es como se muestra en la Figura 7

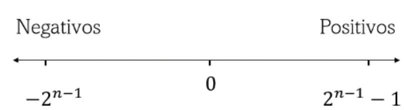

Figura 7. Intervalo de valores permitidos para un sistema de n bits (Fuente: Elaboración propia).

Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957
ISSN 2007-1957

En la siguiente tabla se presentan todos los posibles valores de un sistema signado de 4 bits

Tabla 1. Sistema digital signado de 4 bit

Binario signado	Decimal signado
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	-8
1001	-7
1010	-6
1011	-5
1100	-4
1101	-3
1110	-2
1111	-1

Es conveniente recordar también que después de definido el número de bits para el sistema no es conveniente agrandarlo. Excepto si se conservan las convenciones. En un sistema de 4 bit, el universo de valores permitidos es el mostrado en la Tabla 1. Si el resultado de una operación de suma o substracción cae fuera de este intervalo se define como desbordamiento. Por ejemplo, véanse los siguientes casos.

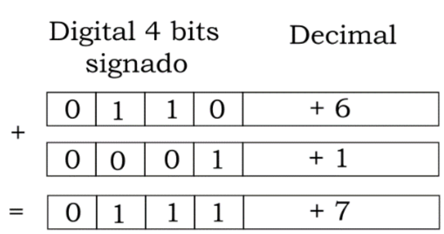

Figura 8.- Suma sin desbordamiento

En esta operación de adición los dos últimos acarreos son *iguales* y el resultado es correcto porque está contenido en la Tabla 1. Ahora véase el siguiente ejercicio:

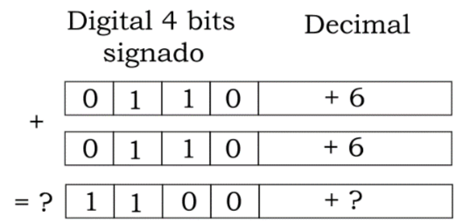

Figura 9.- Suma con desbordamiento

En esta operación de adición los dos últimos acarreos son *diferentes* y el resultado es incorrecto en el sistema de 4 bits. Esta es una regla general y cuando los acarreos son diferentes se dice que hay desbordamiento ya que el 12 no existe en la Tabla 1. Además, el bit de mayor peso, el de la izquierda, está reservado para el signo en un sistema signado. A continuación, se expone un caso de complemento a 2. Dado un número en un sistema dado, primero se obtiene su complemento a 1, y a continuación se agrega un 1 para obtener su complemento a 2.

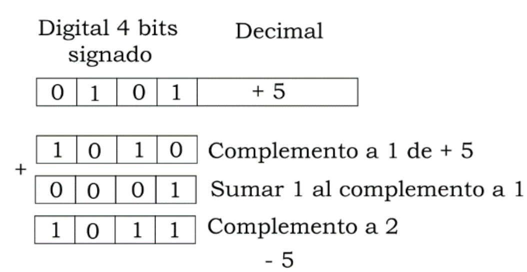

Figura 10.- Complemento a 2 de un número

El resultado mostrado en la Figura 9 es consecuente con la Tabla 1 y con la Figura 6. Para hacer una substracción, primero se halla el complemento a 2 del sustraendo y el resultado se suma al minuendo. Por ejemplo,

Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957
ISSN 2007-1957

	Digital 4 bits signado				Decimal
	0	1	1	0	+ 6
–	0	1	0	1	+ 5

Figura 11.- Substracción de dos números

El complemento a 2 del sustraendo es el mostrado en la Figura 9. Se aplica la regla y

	Digital 4 bits signado				Decimal
	0	1	1	0	+ 6
+	1	0	1	1	- 5
=	0	0	0	1	+ 1

Figura 12.- Operación de substracción

De la substracción de los números de la Figura 10 se espera un 1. Además, si se comparan los dos últimos acarreos de la Figura 11 son iguales. Por lo que se concluye que el resultado es correcto. Estas son las reglas que siguen los sistemas digitales para las operaciones de suma y substracción.

Conclusiones

Los sistemas digitales signados son cruciales en el desempeño de los sistemas digitales. Son robustos y consistentes. Son tan simples que las operaciones se llevan a cabo con puertas lógicas basadas en transistores. En la última parte se presentan casos para un sistema de 4 bits. Pero el mismo análisis se extiende a sistemas de mayor longitud, 8, 16, 32 o 128 bits. Al inicio del trabajo se presenta una breve revisión sobre Teoría de Sistemas y sobre el concepto de Sistemas con dos propósitos en mente. Primero para darle formalidad al concepto de los sistemas digitales, el segundo es para validar que los sistemas digitales están basados en reglas como lo establece la teoría de sistemas. Un propósito adicional, es brindar un apoyo adicional, al hallado en la literatura, para los estudiantes de todos los niveles educativos. Así también mencionar, que son los sistemas digitales que se han usado y se usan actualmente en las computadoras.

Referencias

Antezana, I. R. (2019). Demostración de teoremas de números naturales en el sistema axiomático de Giuseppe Peano. *Horizonte de la Ciencia, 9*(16). doi:https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2019.16.473

Arrighi, P. (2019). An overview of quantum cellular automata. *Natural Computing*, 18:885-899.

Brown, S., & Vranesic, Z. (2014). *Fundamentals of digital logic with verilog design* (Third Edition ed.). Mc Graw Hill.

Chih-Hui Lai, S. H. (2017). *Systems Theory*. (C. R. Lewis, Ed.) John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781118955567.wbieoc203

Cordon, C. P. (2013). System Theories: An Overview of Various System Theories and Its Application in Healthcare. *American Journal of Systems Science*, 10.

Luhmann, N. (2013). *Introduction to Systems Theory*. Cambridge: Polity Press.

Pekka, L., & Juha-Pekka, P. (2023). An Attempt to Understand Relational Quantum Mechanics.

International Journal of Theoretical Physics, 62(170). doi:https://doi.org/10.1007/s10773-023-05416-7

Schroeder, D. V. (January de 2022). *Notes on Quantum Mechanics*. Obtenido de Quantum Mechanics (Physics 4610), Weber State University: https://physics.weber.edu/schroeder/quantum/

Šubrt, J. (2019). Niklas Luhmann's system theory: A critical analysis. *RUDN Journal of Sociology, 19*(4), 607—616. doi:10.22363/2313-2272-2019-19-4-607-616

Thomas Filk, H. R. (2011). Generalized Quantum Theory: Overview and Latest Developments. *Axiomathes: Springer Science+Business Media B.V. 2010*, 21: 211-220.