

# Nueva Metodología para el Aprendizaje de la Electrónica Digital

Enrique Mandado y Camilo Quintáns  
Instituto de Electrónica Aplicada  
Departamento de Tecnología Electrónica  
Universidad de Vigo  
Vigo, España

José Luís Martín y Pilar Fernández  
Departamento de Tecnología Electrónica  
Universidad del País Vasco  
Bilbao-San Sebastian, España

**Resumen**—La Electrónica Digital es una tecnología compleja que combina numerosos conceptos, lo que dificulta su aprendizaje y ha provocado que los expertos hayan desarrollado numerosas pautas para la formación de los ingenieros en esa materia. En esta comunicación se plantea, a partir de la taxonomía de Bloom, el desarrollo de una nueva taxonomía de aprendizaje de la Electrónica Digital que tiene en cuenta el carácter cíclico de las enseñanzas y las competencias profesionales que se deben adquirir. Finalmente la taxonomía desarrollada se utiliza para obtener una metodología orientada al autoaprendizaje de la Electrónica Digital.

**Palabras clave**—*electrónica digital, metodología de aprendizaje, metodología de enseñanza.*

## I. INTRODUCCIÓN

El progreso de la Tecnología Electrónica, que ha permitido colocar más de diez millones de componentes en un solo circuito integrado, ha convertido a la Electrónica Digital en una Tecnología Compleja [1] en la que se entremezclan numerosos conceptos, lo que dificulta su aprendizaje. Esto hace que, para aprenderla, se deban tener en cuenta las siguientes pautas desarrolladas por numerosos expertos en formación de ingenieros en distintas áreas de la Tecnología y por entidades dedicadas a mejorar la enseñanza de la ingeniería:

- La formación de los ingenieros se debe hacer yendo de lo particular a lo general [2]. Todo lo difícil comienza fácil y todo lo grande comienza pequeño.
- El método educativo utilizado se debe basar en la elección de los bloques adecuados y su presentación en la secuencia correcta [3].
- Hay que establecer un equilibrio adecuado entre los conceptos abstractos (teorías, fórmulas matemáticas y modelos) y los concretos (hechos, observaciones, datos experimentales y aplicaciones), para lo cual hay que proporcionar al alumno tantas demostraciones e ilustraciones visuales como sea posible [4] [5].
- Para alcanzar el adecuado nivel de competencias, definidas como el conjunto de habilidades, actitudes y responsabilidades que describen los resultados del aprendizaje de un programa educativo, hay que poner énfasis en los fundamentos y enseñar más en relación

con el diseño y las operaciones en condiciones reales y particularmente con la gestión de la calidad [6].

- Para ser capaz de progresar en el conocimiento tecnológico, que proporciona capacidad para diseñar sistemas, es necesario conocer los hitos más importantes en el desarrollo científico y muy especialmente en el tecnológico [5].

## II. ELECTRÓNICA DIGITAL PARA INGENIEROS EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Por ser la Electrónica Digital la componente básica de las Tecnologías de la Información todos los ingenieros deben alcanzar en ella los niveles de comprensión, aplicación y análisis.

Desde su creación en la década de 1950, la taxonomía de los objetivos de aprendizaje de Bloom [7] ha sido utilizada por numerosos expertos en pedagogía, pero la citada taxonomía, tanto en su versión original como en la revisada por los discípulos de Bloom [8] [9], adolece de un carácter demasiado generalista porque fue pensada para ser útil en cualquier área del conocimiento del ser humano y no se adapta a la enseñanza de la Tecnología. En los últimos años ha habido propuestas de utilización de la taxonomía de Bloom en la enseñanza de la Ingeniería [10]-[12] pero, en general, no tienen en cuenta la complejidad de las Tecnologías actuales y se basan directamente en la taxonomía de los objetivos de aprendizaje original de Bloom o en la revisada.

Por todo lo expuesto, los autores de esta comunicación se plantearon, a partir de la taxonomía de Bloom, el desarrollo de una nueva taxonomía basada en el carácter cíclico de la enseñanza de la ingeniería, dividida en cuatro niveles sucesivos, aunque no disjuntos, que se describen brevemente a continuación:

*Nivel de comprensión:* En Tecnología se puede decir que recordar o reconocer información es en la práctica muy difícil, por no decir imposible, sin comprender los conceptos en los que se basa. Por ello, en el primer nivel es necesario presentar los conceptos relativos a la Tecnología de que se trate, adecuadamente estructurados para facilitar su asimilación y la transferencia a la memoria de larga duración del que trata de adquirirlos. Se puede definir con los verbos recordar, reconocer y comprender.

TABLA I. TAXONOMÍA DE APRENDIZAJE DE LA INGENIERÍA.

FORMACIÓN	NIVELES		COMPETENCIAS QUE SE DEBEN ALCANZAR
Básica	Comprensión		Definir términos y conceptos, ecuaciones, modelos gráficos, y unidades de ingeniería. Identificar los instrumentos de medida. Aprender hábitos y métodos de mejora de rendimiento y estudio. Buscar información. Identificar los formatos adecuados de comunicación.
	Aplicación		Utilizar la información aprendida, los términos técnicos y las unidades para resolver problemas y expresar conceptos mediante fórmulas matemáticas. Crear diagramas y esquemas. Darse cuenta que la práctica de métodos de trabajo aumenta la eficacia. Medir y registrar datos con los instrumentos adecuados. Realizar modelos matemáticos de dispositivos físicos. Construir dispositivos simples o circuitos que realizan una función determinada. Comunicar trabajos técnicos debidamente documentados y representar sus resultados en forma de cuadros o gráficos. Reunirse activamente y funcionar bien en equipo.
	Análisis		Analizar si los resultados son válidos después de realizar un cálculo que prediga el comportamiento de un sistema con análisis de sensibilidad. Elegir entre diferentes técnicas de fabricación teniendo en cuenta sus restricciones. Analizar los resultados de las mediciones. Editar su trabajo y adaptarlo a la audiencia mediante la corrección y selección de los límites de la información.
	Sencillos	Creación de sistemas	Tomar decisiones con información incompleta. Construir, diseñar y organizar sistemas. Producir, juzgar y encontrar nuevas formas eficaces de presentar documentos y liderar los grupos de trabajo.
Especialización	Complejos		Utilizar el autoconocimiento para optimizar la eficacia personal.

*Nivel de aplicación:* En este nivel se aprende a aplicar la tecnología en situaciones reales y a diseñar sistemas sencillos lo que se puede definir mediante los verbos calcular e implementar.

*Nivel de análisis:* En este nivel se aprende a analizar y mantener sistemas complejos, lo que se puede describir mediante los verbos demostrar, interpretar, utilizar, mantener y experimentar.

*Nivel de creación de sistemas:* Este nivel corresponde al máster de ingeniería que debe proporcionar competencias para diseñar e implementar sistemas complejos, lo que se puede indicar mediante los verbos diseñar, sintetizar, desarrollar, producir, evaluar y construir. Este nivel precede al doctorado en ingeniería, que es el que consiste en desarrollar un nuevo método de diseño o una nueva forma de aplicar un método ya conocido.

Como resultado de todo ello en la Tabla I se presenta la taxonomía obtenida para establecer un modelo de aprendizaje de la ingeniería.

Para alcanzar las competencias de cada uno de los niveles que se indican en la Tabla I, es necesario diseñar un sistema educativo para cada nivel y establecer la adecuada relación entre ellos. Dicho sistema debe apoyarse en herramientas informáticas que favorezcan el trabajo autónomo del alumno.

Una herramienta, común a todos los niveles, es la hipermedia [1] [2] [13], que facilita la realización de mapas

conceptuales interactivos que permiten el acceso no secuencial a los distintos conceptos asociados con la Tecnología de que se trate.

Otras herramientas, de gran importancia, en los niveles de comprensión y aplicación, son los laboratorios virtuales.

El conjunto de herramientas utilizadas en cada nivel constituye un sistema de aprendizaje integrado orientado a elevar el nivel de autodesarrollo del estudiante de ingeniería.

### III. METODOLOGÍA EDUCATIVA DE LA ELECTRÓNICA DIGITAL

La metodología que se ha desarrollado está basada en:

- La adecuada combinación de la teoría de los circuitos lógicos con los diferentes tipos de circuitos de salida y su descripción para comprender las distintas aplicaciones de los mismos.
- El aprendizaje de los fundamentos de los lenguajes de descripción del sistema físico en general y del VHDL en particular, después de analizar y comprender los circuitos digitales combinacionales.
- El aprendizaje de los sistemas secuenciales seguido del análisis de los conceptos avanzados del lenguaje VHDL y su aplicación a la descripción de los sistemas secuenciales.

- El análisis y comprensión de las diferentes tecnologías de implementación de los circuitos integrados y de su evolución.
- El análisis de los conceptos básicos de los procesadores digitales y la descripción de los principales tipos de los mismos para introducir su utilización en las aplicaciones de proceso de datos, de control de procesos y productos, y de comunicaciones digitales.
- La síntesis de los sistemas digitales mediante circuitos digitales configurables del tipo FPGA.

#### IV. RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE

A continuación se mencionan, de forma resumida, los recursos utilizados para obtener la metodología de aprendizaje que se propone:

- Libro de texto

Sigue siendo el núcleo principal del proceso. Para ello, debe contener el conocimiento que se pretende transmitir y estar diseñado por expertos en la enseñanza de la disciplina. Resulta esencial como guía en el proceso de aprendizaje y debe tener los contenidos adecuadamente secuenciados para favorecer dicho proceso.

El libro de texto utilizado se titula “Sistemas Electrónicos Digitales”, de la Editorial Marcombo, cuya décima edición se publicará el próximo mes de octubre [14].

- Colección de ejercicios de autoevaluación

Resulta fundamental que el alumno disponga de un conjunto de ejercicios para comprobar su nivel de comprensión de los temas estudiados. Se parte de la base de que el alumno debe practicar los conceptos para asimilarlos. Por la importancia de la evaluación del aprendizaje, a ella se dedica el apartado VI.

- Laboratorio virtual

Es una herramienta informática formada por un conjunto de experimentos que simulan circuitos reales y utilizan instrumentación virtual (Fig. 1). Posee las siguientes características:

- Tiene una interfaz de usuario amigable.
- Incluye instrumentos simulados cuya funcionalidad es similar a la de los instrumentos reales.
- El conjunto de experimentos relaciona los conceptos teóricos con los prácticos.
- Cada experimento es una simulación pedagógica interactiva que utiliza muy pocos recursos del computador y puede ser incluida en cualquier otro programa.
- Contiene experimentos “destructivos” que no se pueden llevar a cabo en el laboratorio

y muestran al alumno las consecuencias negativas de la mala utilización de los elementos reales.

- Posee capacidad de autoevaluación.

- Laboratorio real:

Está formado por un entrenador (*Hardware*) e instrumentación electrónica. El libro hipermedia y el laboratorio virtual son herramientas de un gran valor educativo, pero nada sustituye a la realidad mejor que ella misma. Es sencillo y económico disponer de un mínimo de materiales para realizar prácticas reales de Electrónica Digital, lo que no ocurre en otras áreas de la Tecnología. Debe tener los componentes necesarios para realizar, como mínimo, todos los experimentos que forman parte del laboratorio virtual. Como ejemplo, en la Fig. 2 se muestra el experimento virtual del funcionamiento del mismo biestable R-S que se prueba en el laboratorio real (Fig. 3).

- Colección de casos prácticos para montaje:

Está constituida por un conjunto de problemas que el alumno debe resolver antes de simularlos y de comprobar su funcionamiento mediante el laboratorio real.

- Documentación técnica de fabricantes de circuitos digitales:

Se debe tener en cuenta que el alumno alcanza el nivel de madurez adecuado cuando es capaz de enfrentarse a un problema y solucionarlo, utilizando para ello los recursos disponibles en el mercado. Por ello, desde el principio de su formación, se le debe facilitar la utilización de documentación técnica real.

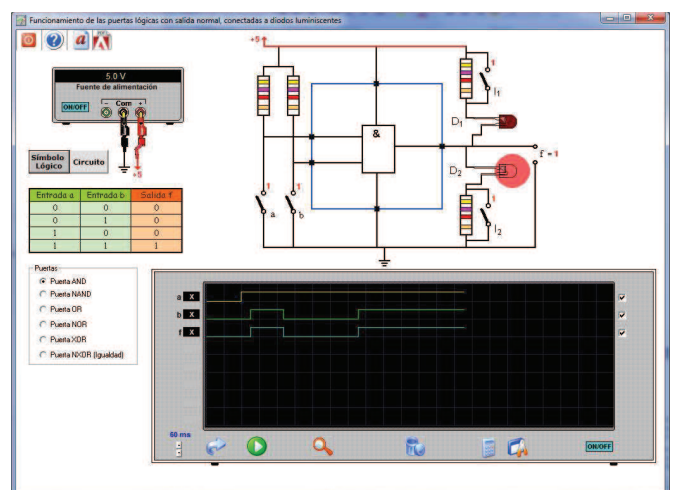


Fig. 1. Experimento del laboratorio virtual en el que el alumno comprueba el funcionamiento de las puertas lógicas.

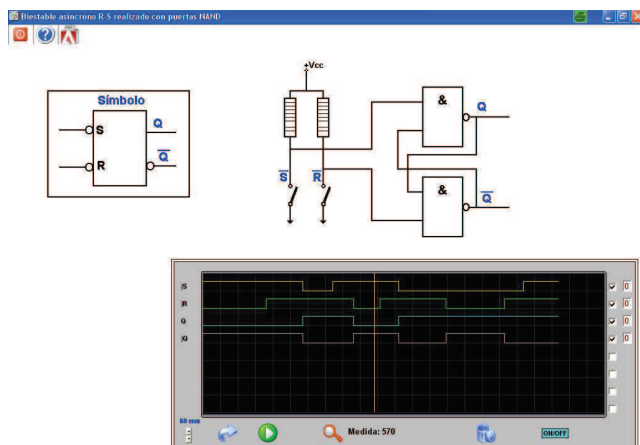


Fig. 2. Simulación del biestable asíncrono R-S de grabado prioritario.

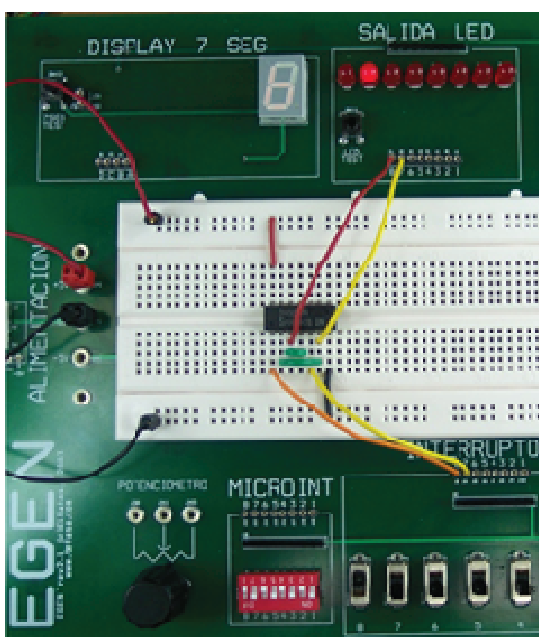


Fig. 3. Montaje del biestable R-S de grabado prioritario con puertas NAND.

## V. SECUENCIACIÓN DEL APRENDIZAJE DE LA ELECTRÓNICA DIGITAL

A continuación se presenta la secuencia de los bloques educativos divididos en temas, obtenida de acuerdo con la metodología indicada en el Apartado III.

### Bloque I. Introducción a la Electrónica Digital.

**Tema 1. Fundamentos de los sistemas digitales y códigos de numeración:** Se introducen los tipos de señales eléctricas, los formatos de representación y los distintos códigos binarios.

**Tema 2. Álgebra de Boole:** Se definen las bases matemáticas del álgebra de Boole, los sistemas de representación de las funciones lógicas y se clasifican las puertas lógicas no solo según la función que realizan sino también de acuerdo con el tipo de circuito de salida que utilizan.

**Tema 3. Circuitos combinacionales:** Se estudian los métodos básicos de diseño de circuitos que implementan funciones lógicas mediante:

- Puertas lógicas.
- Bloques funcionales: decodificadores, multiplexores, codificadores, comparadores, etc.
- Matrices lógicas programables.

**Tema 4. Operaciones y circuitos aritméticos:** Se estudian los diferentes circuitos aritméticos y lógicos, y los formatos de representación en los distintos códigos binarios.

### Bloque II. Introducción a los lenguajes HDL.

**Tema 5. Introducción a los lenguajes de descripción de los sistemas digitales:** Se introducen los lenguajes HDL en general y se explican los fundamentos del VHDL en particular. Se explican los tipos de descripciones, los elementos del lenguaje y se describen los circuitos estudiados en los temas anteriores.

### Bloque III. Circuitos secuenciales.

**Tema 6. Introducción a los sistemas secuenciales:** Se definen los distintos tipos de sistemas secuenciales y los conceptos de realimentación, memorización y evolución temporal. Se estudian los biestables, los registros de entrada y salida en paralelo, los contadores y los registros de desplazamiento.

**Tema 7. Conceptos y sentencias avanzadas del VHDL:** Se complementan los conceptos analizados en el Tema 5 y se introducen los elementos y conceptos necesarios para describir los circuitos secuenciales síncronos. Se describen diversos circuitos estudiados en el capítulo anterior.

### Bloque IV. Tecnologías digitales y memorias semiconductoras

**Tema 8. Tecnologías de implementación de los circuitos digitales:** Se explican las características externas de los circuitos lógicos básicos y su implementación interna. Se estudian los circuitos integrados diseñados a medida y los configurables; y se introducen los circuitos mixtos SOC (*System On Chip*) y sus diferentes variantes (PSOC, MPSOC, NOC y SOPC).

**Tema 9. Unidades de memoria:** Se definen las características de las memorias semiconductoras, sus tipos, su funcionamiento y su organización.

### Bloque V. Procesadores digitales

**Tema 10. Procesadores digitales secuenciales síncronos:** Se introducen las estructuras básicas de los procesadores digitales secuenciales, las estructuras de las unidades operativas y los tipos básicos de arquitecturas. Se describen los circuitos de interfaz y los modos de acoplamiento. Se termina el tema introduciendo los microcontroladores, los autómatas programables, los procesadores digitales de señales, los computadores integrados de aplicación específica y los procesadores digitales configurables.

Bloque VI. Circuitos configurables

Tema 11. Introducción a los circuitos digitales configurables y sus aplicaciones: Se amplían los conceptos estudiados en los dos primeros bloques y se describen los dispositivos lógicos programables (PLD) y los conjuntos configurables de puertas (FPGA).

VI. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

La evaluación del nivel de aprendizaje se lleva a cabo en dos etapas.

La primera constituye una evaluación formativa que ayuda al alumno a comprender mejor los temas estudiados y a comprobar su avance en el proceso de aprendizaje. Se basa en la realización de un conjunto de ejercicios prácticos, con soluciones guiadas, y de cuestiones de autoevaluación de tipo test.

La segunda es una evaluación sumativa, con tareas similares a la primera, pero que no incluye las soluciones, sino que, una vez finalizada la evaluación en el tiempo preestablecido, se dan los resultados en forma de una nota numérica.

Los ejercicios prácticos con soluciones guiadas, planteados para cada tema, son de complejidad creciente y están realizados con la herramienta informática "Power Point". En la Fig. 4 se muestra el enunciado de un ejercicio sencillo de sistemas secuenciales y en la Fig. 5 el de otro de complejidad mayor. A partir del enunciado, los ejercicios consisten en una serie de diapositivas que le muestran al usuario la evolución del problema de forma interactiva.

Los test de la evaluación sumativa consisten en un total de 20 cuestiones con cinco respuestas posibles, de las cuales una de ellas es "Ninguna de las anteriores es verdadera" (Fig. 6). La puntuación total máxima es 10. Cada respuesta correcta suma 0.5 puntos y cada una incorrecta descuenta 0.25 puntos. Las respuestas en blanco no descuentan, pero no se pueden dejar más de 5 sin contestar.

EJERCICIO 3.9

Obtenga el diagrama de flujo del circuito secuencial síncrono de la figura 1 si la matriz lógica Y-programable PAL está programada tal y como se indica en la figura 2.

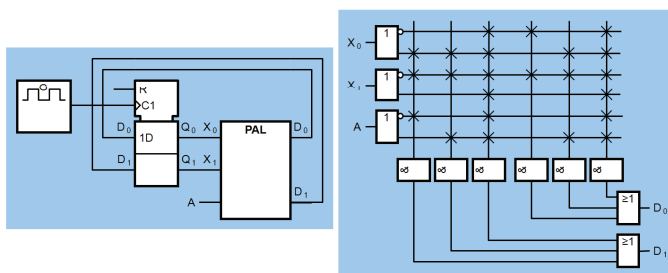


Fig. 4. Ejercicio de autoevaluación de dificultad reducida.

EJERCICIO 3.10

Dado el circuito secuencial síncrono de la figura 1, que evoluciona de acuerdo con el diagrama de flujo de la figura 2, complete la tabla de verdad de la matriz Y-programable PAL de tal forma que el contador pase al estado cero si alcanza algún estado no indicado en el citado diagrama. Obtenga también las expresiones minimizadas de las variables X3, X2, X1, X0, D3, D2, D1 y D0 e implémtelas con la matriz PAL más sencilla posible que tenga el mismo número de productos asignados a cada puerta O de salida.

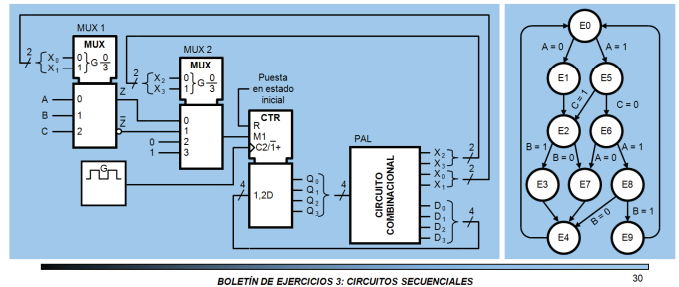


Fig. 5. Ejercicio de autoevaluación de dificultad media.

18. La matriz lógica programable de la figura genera la función:

- a.  $f = \sum (2,3,4,9,10,11,12,13)$ .
- b.  $f(a,b,c,d) = \prod (2,3,4,5,6,7,11,12,13)$ .
- c. La expresión mínima de suma de productos es:  $f = \bar{a} \bar{b} c + \bar{b} d + b \bar{c} + \bar{c} d$
- d. La expresión mínima de producto de sumas es:  $f = (\bar{c} + \bar{b})(b + c + d)(\bar{a} + \bar{c} + d)$ .
- e. Ninguna de las anteriores es verdadera.

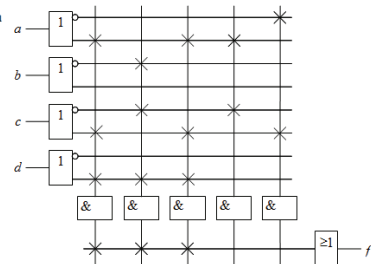


Fig. 6. Ejemplo de pregunta del test de autoevaluación.

VII. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología presentada en esta comunicación se utilizó para desarrollar SIAPE (Sistema Integrado para el Autoaprendizaje de la Electrónica General) que se utilizó en la Escuela Politécnica de San Sebastián durante los cursos 2009/2010 y 2010/11. La eficacia de SIAPE se comprobó, comparando los resultados de los alumnos de los citados cursos con los de los cursos anteriores [13].

Fueron esos resultados los que hicieron que los autores se animasen a aplicar la citada metodología al aprendizaje de la Electrónica Digital en el Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación de la Universidad de Vigo. La asignatura en la que se aplicó, que se denomina Electrónica Digital, es de 6 créditos (ECTS), se imparte en el segundo cuatrimestre del segundo curso, es de carácter general y precede a la asignatura, también general, de Circuitos Electrónicos Programables, que se imparte en el primer cuatrimestre del tercer curso.

VIII. CONCLUSIONES

Este trabajo pone en evidencia la necesidad de impulsar la utilización de las Tecnologías de la Información para desarrollar herramientas que eleven la calidad del proceso educativo y hagan que deje paulatinamente de basarse principalmente en la clase magistral. Es necesario que el desarrollo de herramientas informáticas educativas sea considerado una actividad importante y que no sólo se subvencione como actividad de I + D que es, sino que además sea valorado para conseguir sexenios.

En el caso particular de la Electrónica Digital hay que indicar que su aprendizaje no se debe basar solamente en los lenguajes de descripción sino que el alumno debe conocer las características de los dispositivos básicos utilizados en los circuitos y sistemas complejos, a fin de garantizar el correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil.

#### REFERENCIAS

- [1] M. D. Valdés, M. J. Moure y Enrique Mandado. *Hypermedia: A tool for teaching complex technologies*. *IEEE Transactions on Education*, vol. 42. 1999.
- [2] A. Salaverria. *Nueva metodología para la enseñanza asistida por ordenador de la Electrónica Aplicada*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. 2003.
- [3] L. L. Bucciarelli. *Engineering Philosophy*. Delft University Press. The Netherlands. 2003.
- [4] R. M. Felder & L. K. Silverman. *Learning and Teaching Styles in Engineering Education*. *Engineering Education*, 78 (7), 674.1988.
- [5] R. M. Felder & al. *The future of engineering education II. Teaching methods that work*. *Chemical Engineering Education*, 34, pp. 26-39. 2000.
- [6] Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). Dirección de internet: <http://www.abet.org/>. Última consulta, enero de 2013.
- [7] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, & D. R. Krathwohl. *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David McKay. 1956.
- [8] L. W. Anderson & L. Sosniak. *Bloom's Taxonomy: a Forty-year Retrospective*. University of Chicago Press. 1994.
- [9] L. W. Anderson, D. R. Krathwohl, P. Prinrich & M. Wittroc. *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives: Complete edition*. Longman. 2001.
- [10] G. K. Padmaperuma, S. Ilanko & D. Chen. *Opportunities and challenges in instructional design for teaching the flexure formula using the revised Bloom's Taxonomy*. *International Journal of Engineering Education*. Vol. 22, No. 1, pp. 148-156. 2006.
- [11] G. Spivey. *A taxonomy for learning, teaching, and assessing digital logic design*. 37th Annual Frontiers in Education Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, pp. 4-9. 2007.
- [12] A. J. Swart. *Evaluation of final examination papers in engineering: A case study using bloom's taxonomy*. *IEEE Transactions on Education* 53(2), pp. 257-264. 2010.
- [13] P. Fernández. *Nueva metodología constructivista para el autaprendizaje de la Electrónica utilizando las TIC. Aplicación a la enseñanza de la Electrónica*. Tesis doctoral. Unversidad del País Vasco. 2012.
- [14] E. Mandado y J. L. Martín. *Sistemas electrónicos digitales*. Décima edición. Editorial Marcombo. 2014.