

ELABORACION DE SISTEMAS INTELIGENTES DE ENSEÑANZA DE LA ELECTRONICA ASISTIDA POR COMPUTADOR

Chaljub Duarte, J.A. y Valdés Pardo, V.G..

Departamento de Electrónica.
Universidad Central de Las Villas.
Santa Clara (Cuba).

Vázquez Rodríguez, V. y Moure Rodríguez, M.J.

Instituto de Electrónica Aplicada Pedro Barrié de la Maza.
Universidad de Vigo(España).
Apartado de Correos Oficial 36200 VIGO

RESUMEN

En esta comunicación se describen las características de los entrenadores inteligentes, la metodología a utilizar para su diseño, y su aplicación a la realización del entrenador FET2 que aborda aspectos de la enseñanza del transistor de efecto de campo (FET).

1. INTRODUCCION

Un modelo de enseñanza expositiva [1] supone las siguientes fases para conseguir el aprendizaje efectivo :

- Presentación de la Información. Para enseñar algo nuevo, el profesor debe primero presentar información. Esto puede lograrse por varias vías: verbal, pictórica, o mediante reglas y ejemplos. Para enseñar habilidades el profesor debe demostrar las acciones que luego el estudiante imitará.

- Guía al Estudiante. Esa fase es interactiva, puesto que en ella intervienen tanto el estudiante como el profesor. El primero responde preguntas, aplica reglas y principios y resuelve problemas. El profesor observa al estudiante, corrige sus errores y le ofrece sugerencias. La guía es importante, debido a que los estudiantes por lo general no aprenden todo lo que se les presenta en una sola exposición, o bien no logran captar toda la información contenida en las páginas de un libro durante una sesión de trabajo independiente. De este modo, se puede afirmar que el proceso de interacción entre el estudiante que intenta encontrar soluciones y el profesor que corrige los errores, aspecto que es frecuentemente omitido,

constituye probablemente la fase más importante del proceso docente.

- **Práctica.** El proceso de enseñanza y aprendizaje no concluye cuando el estudiante demuestra por primera vez que ha comprendido y puede aplicar los nuevos conceptos. Se necesita alcanzar fluidez y rapidez, aspectos que guardan correspondencia con las características del tema bajo estudio. La práctica repetida es la vía para que el estudiante retenga la información y pueda hacer un uso fluido de ella. Durante la práctica, el énfasis se sitúa en la ejercitación y las correcciones por parte del profesor deben ser mínimas.

- **Evaluación.** La fase evaluativa suministra información sobre el aprendizaje, la calidad de la enseñanza y las correcciones y ajustes que el proceso reclama.

El modelo anteriormente descrito puede ser empleado para conformar una estrategia para la Enseñanza Asistida por Computador (EAC), en la que el ordenador constituye un elemento más del ambiente destinado a la instrucción, del cual también forman parte otros medios. Al insertar el computador dentro de este entorno, la principal ventaja que se obtiene es la interacción, ya que, permite que el estudiante participe activamente a través del diálogo. Además, las explicaciones y correcciones se hacen de manera inmediata, con lo que se eleva la efectividad pedagógica [2]. La acción del profesor queda pues, multiplicada a través del uso del ordenador, haciéndose de hecho presente por esta vía de forma simultánea, ante cada puesto de trabajo de su aula.

Por todo ello, aun cuando existen diversas metodologías para la EAC, perfectamente clasificadas por la literatura especializada, resultan de mayor interés aquellas que promueven la ejercitación, porque facilitan el paso a través de las etapas intermedias del aprendizaje y en especial de aquellas que dan la posibilidad de realizar el aprendizaje por descubrimiento, que se considera enmarcado en el contexto del modelo de enseñanza expositiva antes presentado.

Al incorporar en los últimos años a la EAC las técnicas de Inteligencia Artificial (IA), se ha pretendido aumentar la efectividad de la enseñanza logrando sistemas que se comporten de forma parecida a como lo hace un profesor, que trata de adaptarse a las características individuales de cada estudiante. Los sistemas para la enseñanza que aplican la IA, clásicamente recogidos por la literatura, tales como GUIDON, SHOPIE, SCHOLAR, etc [1], [3], al igual que otros menos divulgados [4], presentan una estructura modular en la que cada componente se especializa en la realización de un grupo de tareas. Dichos sistemas tienen aplicación en un ámbito estrecho del conocimiento, resultan caros, dada la complejidad asociada a la elaboración de los módulos, y en última instancia, salvo en los casos en los que el objetivo final sea de muy corto alcance, no logran el nivel de autonomía y dinamismo propios de un profesor.

Con el fin de disminuir los costes, se pueden elaborar Entrenadores Inteligentes (EI) que están primordialmente orientados al desarrollo de habilidades, pues no pretenden alcanzar la dirección total del proceso de instrucción ni llevar a cabo la formación de conceptos nuevos. Solo supervisan la actividad práctica del estudiante mediante el control de los errores durante la solución de los ejercicios, brindan recomendaciones y controlan la presentación dosificada de problemas y ejercicios [2].

Los entrenadores inteligentes también inciden sobre un ámbito estrecho del conocimiento y constituyen recursos con capacidad para aportar una nueva dimensión al uso del computador en la enseñanza. Permiten además poner en práctica estrategias pedagógicas orientadas al logro de un alto grado de individualización, y hacen posible la elaboración de un diagnóstico sobre los conocimientos del alumno, hasta detectar las causas reales de sus errores.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ENTRENADORES INTELIGENTES.

Un entrenador inteligente reproduce el supuesto comportamiento de un profesor, conduciendo un diálogo con un estudiante sobre un tópico específico. En dicho diálogo se ponen a prueba, de manera implícita, hipótesis descriptivas del conocimiento del estudiante y paralelamente, con adaptaciones dinámicas, se indican ejercicios con los que se realiza el entrenamiento. En un EI es necesario por tanto disponer de una representación adecuada del conocimiento del profesor. El conocimiento es en esencia información que ha sido organizada y analizada para hacerla mas comprensible y aplicable en la solución de problemas o en la toma de decisiones [3]. Las formas mas empleadas para representar el conocimiento son:

- Reglas de producción.
- Armaduras (frames).
- Redes semánticas.
- Guiones (scripts).

Estas formas muchas veces se combinan para compensar mutuamente sus puntos débiles. Tal es el caso de las reglas de producción y las armaduras, que han sido empleadas conjuntamente en la operación de una máquina de inferencia para fines docentes desarrollada en la Universidad Central de Las Villas (MISE).

Dos alternativas para elaborar un EI son:

- a) Utilizar la programación lógica mediante el uso de un lenguaje concebido para estos fines como PROLOG.
- b) Utilizar un sistema dirigido por bases de conocimientos.

La segunda alternativa resulta generalmente sencilla y reclama menos esfuerzos de programación, por lo que se promueve su uso en éste trabajo.

Los sistemas "dirigidos por bases de conocimientos" incluyen dos partes básicas: una base de conocimientos y un mecanismo de inferencia. La base de conocimientos contiene los hechos y relaciones entre los objetos en el dominio seleccionado y constituye la fuente de inteligencia del sistema, que es utilizada por el mecanismo de inferencia para llegar a

conclusiones [5], [2].

El mecanismo de inferencia utiliza dos métodos de razonamiento:

a) El encadenamiento hacia delante (forward chaining). Este método parte de cierta información inicial y busca la posible correspondencia entre ella y las hipótesis que en cada momento están bajo consideración.

b) El encadenamiento hacia atrás (backward chaining). Este enfoque trata de poner a prueba en orden consecutivo las diferentes hipótesis que se manejan, hasta encontrar una que se cumple o agotarlas todas. Para ello se puede requerir información adicional, que se solicita al usuario.

El encadenamiento hacia atrás es de uso muy frecuente y es además el que utiliza la máquina de inferencia desarrollada en la Universidad Central de Las Villas, por lo que la exposición que sigue se hace considerando una máquina con estas características.

Resulta ventajoso, por las facilidades de ilustración que incorpora, hacer una descripción gráfica, mediante un árbol, de la relación entre los objetos que conforman el dominio para el cual se confecciona la base de conocimientos.

3. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO Y CONFECCION DE ENTRENADORES INTELIGENTES.

El método para el diseño y elaboración de EI se compone de los siguientes pasos:

a) Determinar los objetivos que justifiquen la confección del entrenador y las dimensiones del problema a resolver. Procurar en los casos mas complejos, acudir a la fragmentación del problema.

b) En correspondencia con los objetivos, determinar los temas a tratar y su estratificación de acuerdo con la relación de precedencia entre los mismos.

c) Elaborar un conjunto de preguntas sobre las temáticas que se abordan y que cumplen tareas específicas de acuerdo con los objetivos.

d) Seleccionar el subconjunto de preguntas que constituirá el banco a partir del cual se establece el diálogo y diseñar el diálogo individual de cada una de ellas.

e) Estratificar las preguntas seleccionadas para el diálogo, lo que significa organizarlas en niveles de acuerdo con la estratificación temática y la complejidad de cada caso.

f) Definir los criterios para elaborar el árbol, en los que deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Que el diálogo no comience con preguntas relacionadas con el estrato

superior, para facilitar un intervalo de adaptación a las condiciones de trabajo con mínimo riesgo de reacciones de rechazo por parte del estudiante.

- Que el diálogo, preferiblemente iniciado por un estrato intermedio, no acuda al principio a las preguntas que de acuerdo a la experiencia se conocen como los casos de mayor complejidad para dicho nivel.

- Que las reglas no incluyan un número elevado de tópicos, para moderar su complejidad y facilitar la actualización y mantenimiento de la base. Para ello, siempre que las características del tema reclamen la concurrencia de varios tópicos, se recomienda la creación de nodos intermedios que resuman cualidades específicas y faciliten la interpretación.

- Después de cumplir los trámites de familiarización con el tema, de acuerdo con lo indicado anteriormente, se debe conformar la trayectoria óptima como un recorrido a través del estrato superior, o a través de uno intermedio con abundantes prerequisites, con preguntas que se vuelven paulatinamente más complejas. De esta forma se agilizan las conclusiones, puesto que es evidente que el estudiante que se mantenga sobre esta trayectoria o muy cercano a ella, domina todos los contenidos ubicados en los estratos inferiores.

- Siempre que existan respuesta erróneas debe procurarse un desplazamiento hacia los estratos inferiores, buscando en los prerequisites una mayor definición para la imagen del diagnóstico.

- En el momento en que se llegue a una conclusión, debe registrarse en un fichero habilitado para ello. Se logra de esta manera que las conclusiones finales vayan conformándose paulatinamente, en la medida en que las diferentes hipótesis sobre el diagnóstico del conocimiento, implícitas en el árbol de la base, vayan siendo probadas. Hacer las conclusiones fuera del momento indicado duplica el trabajo y generalmente lo complica, puesto que el número de variables a manejar es mayor.

- En especial en aquellos nodos con un número alto de reglas debe incluirse un mecanismo de comprobación que permita detectar con facilidad el fallo ocasionado por una combinación para la que ninguna de las reglas se cumple.

- Es recomendable la creación de un fichero con la traza. En él se registran los errores que se van cometiendo y las preguntas en que éstos tienen lugar. Esta información sirve para fundamentar las conclusiones y para dar la posibilidad de que las preguntas puedan incluso ser repetidas fuera del ambiente de la base, buscando detalles que no fueron captados en una primera oportunidad.

- Entre las hipótesis que se ponen a prueba debe incluirse la que indica que la preparación es insuficiente. Su finalidad es interrumpir la sesión de trabajo lo cual se produce cuando se comprueba que no se dominan los conocimientos del estrato mas bajo.

- Es recomendable establecer un convenio al definir el intervalo de valores posibles para cada tópico. Este convenio debe permitir, con un esfuerzo mínimo, tener información de la separación entre el comportamiento del caso concreto en el proceso de

diagnóstico y entrenamiento, y la trayectoria óptima.

- Con un EI se cumplen dos funciones: consolidar la capacidad de producir a partir de la apropiación de métodos de trabajo sistemáticos y diagnosticar, para corregir la trayectoria de estudio. Cualquiera de dichas funciones puede verse favorecida por el incremento del número de trayectorias posibles. Para aumentar el número de trayectorias es preciso limitar la cantidad de nodos que incluyan trayectorias de una vía con carácter obligatorio. Las trayectorias de una vía, siempre que las condiciones lo permitan, deben ser opcionales.

- Es conveniente que el estudiante pueda abandonar en cualquier momento la sesión de trabajo, recibiendo las conclusiones parciales que se encuentren disponibles.

- Se recomienda que cada entrenador esté compuesto por más de una base de conocimientos, a fin de combatir la monotonía que puede surgir debido a su uso repetido por una misma persona. Todas las bases deben cumplir con los objetivos previstos y la decisión en un momento dado de cual de ellas es utilizada, obedece a una selección aleatoria.

- Es necesario definir los objetivos parciales que están relacionados con el diagnóstico y ponen a prueba hipótesis. También es necesario definir los relacionados con el entrenamiento, que propician acciones para consolidar habilidades y justifican en cualquier caso la presencia de las diferentes ramas del árbol.

g) Después de confeccionar el árbol, deben escribirse las reglas que distinguen a cada uno de los nodos, dejando definidos los mensajes que gradualmente se irán sumando a las conclusiones.

h) La programación debe realizarse en un orden que propicie en la medida en que se termina con cada nodo, la realización de pruebas de control para la corrección de errores. De acuerdo con esto, siempre que exista encadenamiento hacia atrás, es recomendable marcar los nodos terminales y desde ellos desplazarse en dirección al objetivo en un proceso en el que cada vez que se termina con un nodo puedan aplicarse las referidas pruebas. Durante esta etapa, para ahorrar tiempo, la evaluación de las reglas se debe hacer a partir de la información introducida por teclado, sin provocar el planteamiento de las preguntas como tal.

i) La programación del árbol se materializa como la suma de los programas de las diferentes ramas, combinado con la eliminación de la redundancia que pudiera aparecer como consecuencia del solapamiento de ramas. Esta etapa deb concluir con una prueba de control general, diseñada tratando de cubrir la totalidad de las trayectorias posibles.

j) Una vez concluida la programación del árbol, se añaden los mensajes del diagnóstico en los nodos correspondientes y se realizan nuevamente pruebas de control.

k) Por último se da inicio a la sustitución paulatina, con un desplazamiento que va desde los nodos terminales hacia el objetivo, de las órdenes que facilitan la comunicación a través del teclado por las que acoplan con el programa que opera como interfaz de comunicación con el estudiante (Micro-CED en el ejemplo ilustrativo). En la medida en

que se van dando estos pasos, deben realizarse pruebas de control al respecto. Una vez concluida la sustitución hay que realizar pruebas de control general.

l) La última fase consiste en someter el entrenador a la validación práctica, para comprobar si logra cumplir los objetivos para los que fue confeccionado y realizar los ajustes que se consideren necesarios.

4. DISEÑO ILUSTRATIVO DE UNA BASE DE CONOCIMIENTOS PARA UN ENTRENADOR INTELIGENTE.

Para ilustrar la aplicación de la metodología que se debe utilizar en el diseño y confección de la base de conocimientos de un EI, se utiliza el entrenador FET2, que aborda aspectos de la enseñanza del transistor de efecto de campo (FET) que se indican en sucesivos apartados

Objetivos.

El principal objetivo es ejercitar y/o determinar las causas de los errores que se producen al realizar las siguientes actividades:

- Interpretar parámetros que describen el comportamiento de los transistores de efecto de campo (FETs) con corriente directa o al aplicarles una señal en el intervalo de las frecuencias medias.
- Calcular los parámetros fundamentales representativos del comportamiento de amplificadores sencillos construidos con transistores de efecto de campo, al aplicarles una señal en el intervalo de las frecuencias medias.
- Determinar la posición del punto de operación de transistores de efecto de campo que forman parte de circuitos básicos de reducida complejidad.
- Interpretar los mecanismos que gobiernan el funcionamiento de distintos circuitos básicos construidos con transistores de efecto de campo.
- Determinar resistencias para garantizar condiciones de funcionamiento específicas, en esquemas sencillos construidos con transistores de efecto de campo.

Temas a tratar.

- Parámetros descriptivos del comportamiento de los transistores de efecto de campo ante una señal. Cálculo del punto de operación.
- Cálculo de los parámetros que representan el comportamiento de los FETs al aplicarles una señal en el intervalo de las frecuencias medias.
- Cálculo de los parámetros de los circuitos amplificadores a las frecuencias medias.

Selección de preguntas para el diálogo.

La selección de preguntas en este caso particular se hizo tomando como referencia la propuesta que hacen para ejercitar en los temas señalados en sus respectivos libros los autores J. Millman, R. Boylestad [6], M. Ghausi [7] y A. Malvino [8]. En total se incluyeron 44 preguntas de las cuales 19 conforman la trayectoria óptima o rama principal, entendiéndose como tal, la trayectoria que describe el estudiante que responde correctamente todas las preguntas que se formulan.

El orden de precedencia de los temas que se abordan deja definida la estratificación de las preguntas. Así por ejemplo al responder correctamente una pregunta en la que se solicite el voltaje de corriente directa entre la puerta y la fuente de un MOSFET de enriquecimiento (VGSQ), lleva implícita la conclusión de que ha sido capaz de interpretar la información que ofrece el parámetro voltaje umbral (VT). Igualmente, al calcular la ganancia de voltaje a las frecuencias medias de un amplificador construido con un JFET, queda implícito que sabe utilizar el circuito equivalente del dispositivo para las condiciones señaladas.

Arbol

Una versión simplificada del árbol aparece en la figura 1. En el árbol pueden identificarse los siguientes tipos de nodos :

- Nodo Terminal que es aquél en el que la totalidad de los nodos descendientes, evalúan su única regla mediante el intercambio de información con el exterior.
- Nodo Intermedio, que es aquél cuyos descendientes son otros nodos, ninguno de los cuales intercambia directamente información con el exterior.
- Nodo Híbrido que es aquél que tiene entre sus descendientes, al menos uno que evalúa la regla que lo caracteriza mediante el intercambio de información con el exterior. Sus restantes descendientes son nodos terminales o híbridos.

En la figura 1 se observa que de los nodos representados, es terminal solo FX1. El resto, excepto el nodo que representa el objetivo (FET2), son híbridos. Sabiendo que se utiliza el encadenamiento hacia atrás como método de razonamiento, se deduce que el diálogo comienza por P6 y P7 y que dependiendo de que las respuestas a dichas preguntas sean acertadas o no, se pasa a evaluar las reglas del nodo FX8 o las del FX6. Evidentemente, el desplazamiento hacia FX6 pone a prueba una hipótesis que señala las causas de los errores en los estratos inferiores.

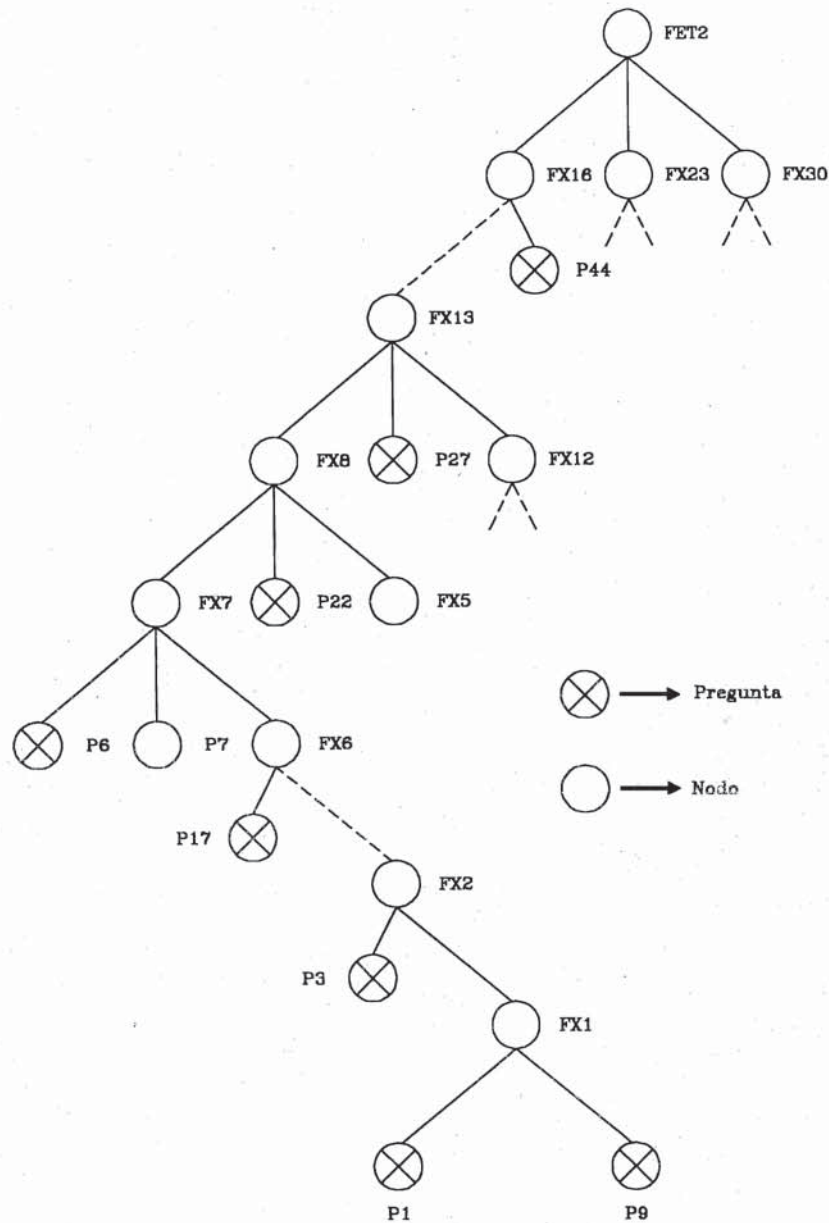


Figura 1. Estructura del árbol.

Escritura de Reglas

La escritura de las reglas de cada nodo se hace de acuerdo con la sintaxis de la máquina de inferencia que se utiliza. En este caso particular se utilizó la máquina de inferencia MISE [9] diseñada para fines docentes. Como interfaz de comunicación entre MISE y los estudiantes se ha empleado el lenguaje de autor Micro-CED [10], también desarrollado en la Universidad Central de Las Villas. A manera de ilustración véanse los siguientes mensajes utilizados para la síntesis de las conclusiones que se presentan al estudiante:

- Si al responder alguna de las preguntas señaladas en FX1, el estudiante se equivoca se visualiza el siguiente mensaje:

"Interrumpo nuestro trabajo porque he llegado a la conclusión de que no está suficientemente preparado, para que sea productiva una sesión de este tipo. Antes de volver a vernos le recomiendo que, teniendo en cuenta las sugerencias que le fui dando al concluir cada pregunta y empleando el libro de texto como fuente principal de información, confeccione resúmenes sobre los siguientes tópicos...."

- Si al responder alguna de las preguntas señaladas en FX1, el estudiante manifiesta su deseo de terminar la sesión de trabajo se visualiza el mensaje:

"Sus errores me hacen concluir que no sabe utilizar la información implícita en los parámetros que describen el comportamiento de los FETs con una corriente directa, para realizar el análisis de circuitos."

- Si en la pregunta correspondiente al nodo FX6 decide el estudiante terminar la sesión de trabajo, se visualiza el mensaje:

"Aunque no tengo suficiente información para llegar a una conclusión, me permito alertarlo ante la posibilidad de que no distinga con acierto en que situación un FET trabaja en la región óhmica y cuando lo hace en la de saturación."

- En el nodo FX16 se hace un balance de los resultados obtenidos, pudiendo quedar en las conclusiones un mensaje como el siguiente:

"Demuestra una excelente preparación para calcular la ubicación del punto de operación de los transistores de efecto de campo."

5. CONCLUSIONES

La metodología propuesta para el diseño y confección de Entrenadores Inteligentes, resulta una forma organizativa del trabajo, que aporta sistematicidad e intenta aprovechar al máximo el esfuerzo que reclama cada paso.

Los Entrenadores Inteligentes, utilizados dentro del marco de una buena estrategia pedagógica, propician la participación activa del alumno, ya que logran intensificar su actividad cognoscitiva ligada a la solución de problemas. Se posibilita que los estudiantes reflexionen y lleguen a conocer leyes y relaciones fundamentales de la temática que se aborda.

Los Entrenadores Inteligentes son además un medio para facilitar el trabajo en equipo mediante el cual, no solo existe interacción entre el estudiante y el profesor, sino también entre estudiantes, cuando estos se ubican en un mismo puesto de trabajo. Las experiencias obtenidas en la Universidad Central de Las Villas respaldan estas conclusiones.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alessi S. y Trollip S. "Computer-Based Instruction Method and Development". Segunda edición. Prentice Hall. 1991.
- [2] García Z. "Investigación y Elaboración de Sistemas de Enseñanza Inteligentes". Tesis Doctoral. Universidad Central de Las Villas. 1993.
- [3] O'Shea T. y Self J. "Enseñanza y Aprendizaje con Ordenadores". Ediciones Anaya Multimedia, S.A. 1985.
- [4] Diaz de Ilarraza A. y otros. "Diagnóstico y Estrategias de Recuperación en Sistemas ICAI aplicados a Entornos Industriales". *Congreso Informática 92*. La Habana. 1992.
- [5] Frenzel L. "Crash course in Artificial Intelligence and Expert Systems". 1987.
- [6] Boylestad R. y Nashelsky L. "Electrónica. Teoría de Circuitos". Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1988.
- [7] Ghausi M. "Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados". Nueva Editorial Interamericana S.A. 1988.
- [8] Malvino A. "Principios de Electrónica". McGraw- Hill 1991.
- [9] Ronda D. "Máquina de Inferencia Orientada a la Implementación de Sistemas de Enseñanza Dirigidos por Bases de Conocimientos". *Congreso Informática 92*. La Habana. 1992.
- [10] Valdés G. "Manual Metodológico y de Referencia del Sistema Micro-CED". Versión 2.0. 1989.