



INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DIGITALES

SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES

Introducción a los Sistemas

En una primera aproximación se puede decir que un **sistema** es un conjunto de elementos que guardan algún tipo de relación. Esta definición es tan poco concreta que sirve para cualquier tipo de sistema.

Los elementos de un **sistema** pueden tener a su vez estructura de sistema. En este caso serían **subsistemas** del sistema al que pertenecen.

De lo anterior se desprende que según la escala que se emplee en la observación de un elemento, éste puede ser considerado como un sistema o subsistema

Una primera **clasificación de los sistemas** podría ser la siguiente. Existen sistemas naturales (los generados por la naturaleza) y sistemas artificiales (hechos por el hombre). Denominamos sistema natural a aquel conjunto relacionado de elementos que surge como una propiedad de la naturaleza. Está claro que los sistemas electrónicos se encuentran dentro de los sistemas artificiales.

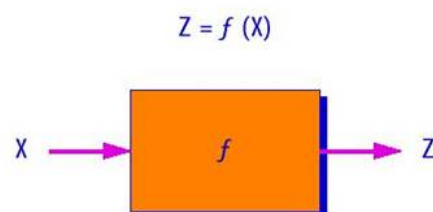
Un tema importante al hablar de sistemas es **la comunicación entre sistemas** que se produce por medio de una transferencia o intercambio de energía. Un ejemplo es la radio, donde el emisor, a través de una antena, emite energía en forma de ondas electromagnéticas que son detectadas por el receptor; en definitiva se ha producido un intercambio energético. Un sistema que no se comunica con otros no recibe ni emite energía constituye un universo o sistema cerrado; en caso contrario se dice que es abierto.

Dos aspectos fundamentales de cualquier sistema son su estructura y su comportamiento. La **estructura de un sistema** la componen los elementos que lo forman y los enlaces que relacionan a estos elementos. El **comportamiento de un sistema** hace referencia a la dependencia que existe entre los canales de salida, los canales de entrada y el estado del sistema (conjunto de situaciones internas que definen en cada momento al sistema).

Para ilustrar el concepto general de sistema, se utiliza una caja que recibe una cierta entrada **X(t)** (canal de entrada), cuyo valor puede variar en función del tiempo, y que genera una salida **Z(t)** (canal de salida), cuyo valor puede estar en general condicionado por todos los valores previos que haya tomado la entrada.

La entrada y la salida pueden ser de naturaleza muy variada, desde magnitudes físicas continuas hasta información digital representada mediante un cierto convenio.

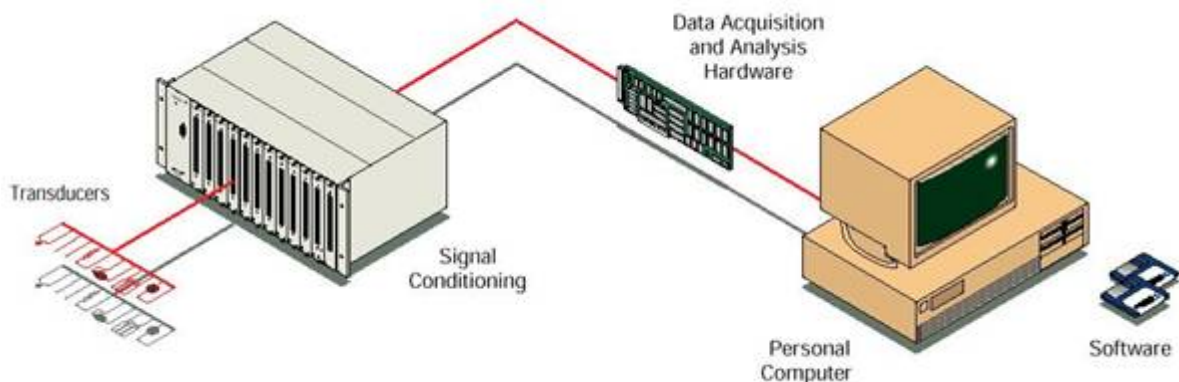
En general, las variables X y Z no tienen por qué ser escalares, sino que pueden ser vectores, lo cual permite incluir en la definición sistemas con n entradas y m salidas. Cuando un **sistema f** (ver figura) se representa mediante una caja con su entrada y su salida, se dice que se desconoce su estructura interna. Se dice por tanto que el comportamiento de un sistema está completamente especificado cuando conocidos todos los valores de X(t) en un intervalo de tiempo se puede conocer el valor de Z(t) en cualquier instante.



Sistemas analógicos y digitales

Los **sistemas electrónicos** procesan la **información** que les llega a sus entradas. En general, la información que llega a estas entradas proviene de magnitudes físicas del mundo real en el que vivimos. Estas magnitudes son temperatura, presión, longitud, velocidad, tensión, intensidad, etc. que tienen un carácter continuo o analógico. La utilización de alguna de estas magnitudes dependerá de la aplicación específica para la que esté diseñando mi sistema electrónico.

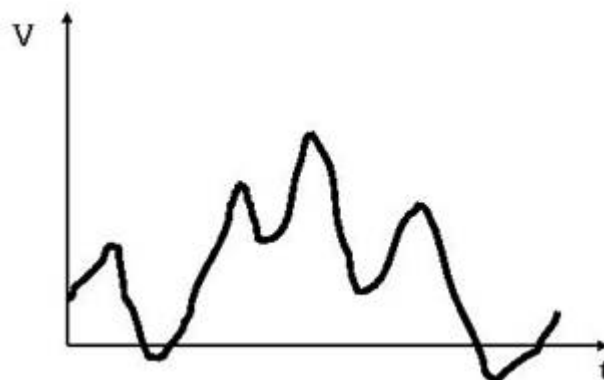
Lo que sí parece lógico pensar es que estas magnitudes físicas entrada deben llegar en forma de **señal eléctrica**. Por este motivo se suelen utilizar sensores o transductores que captan la magnitud física y la transforman en señal eléctrica para que pueda ser procesada en mi sistema electrónico. En la figura se ve un ejemplo de esta situación en un sistema de adquisición de datos de laboratorio.



Por tanto, podemos definir una **señal eléctrica** como una representación de la variación de una magnitud eléctrica (tensión o intensidad) frente al tiempo. La magnitud más utilizada es la **tensión**. Este concepto es interesante en cuanto es susceptible de **representar una información**. Un ejemplo, si medimos con un Sensor la magnitud física temperatura de una habitación, su fluctuación producirá variaciones en la tensión de salida del Sensor. Es importante comentar que para saber que temperatura tenemos en un momento dado a partir del valor de tensión de salida del Sensor, deberemos tener este calibrado, de tal forma que conozcamos la relación grados centígrados-valor de tensión para un rango determinado de temperaturas.

Según la **naturaleza de la información** que lleva la **señal eléctrica**, esta puede clasificarse en:

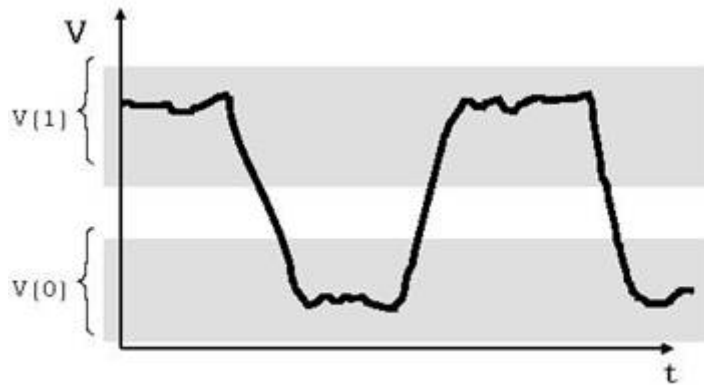
Señal analógica: el modelo matemático que la describe es una función continua, por tanto transporta una información analógica. De esta forma, puede tomar infinitos valores frente al tiempo.



señal analógica

Señal digital: el modelo matemático que la describe es una función que sólo puede tomar un conjunto finito de valores, por transporta una información digital.

El tipo de señal con la que trabajaremos en **electrónica digital** será un caso particular de la señal digital, la **señal digital binaria**, en la que sólo son significativos los valores de tensión comprendidos en dos intervalos de tensión diferentes. A todos los valores dentro de cada uno de los intervalos se le asocia un mismo valor lógico, normalmente uno y cero.



señal digital binaria

Por lo tanto podemos concluir que:

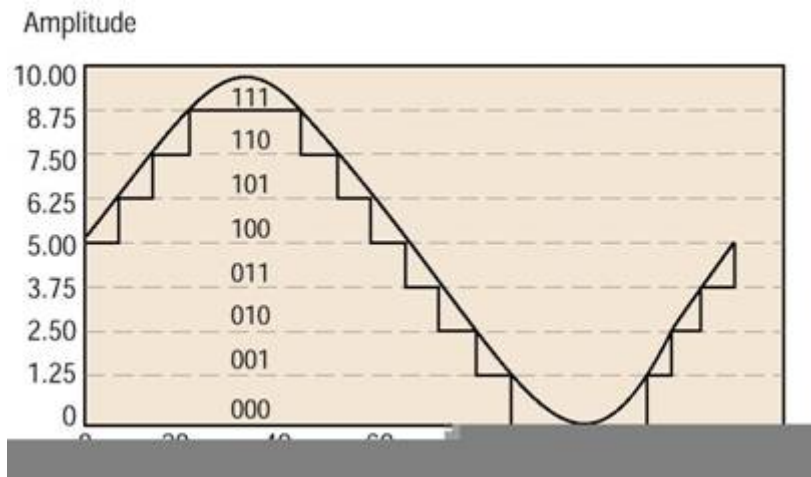
- Un sistema en el que todas sus señales son analógicas se denomina **sistema analógico**.
- Un sistema en el que todas sus señales son digitales se denomina **sistema digital**.

Ya hemos visto que las magnitudes físicas con las que convivimos son esencialmente analógicas o continuas (si no entramos en el ámbito de la física cuántica). Las variables que modelizan estas magnitudes pueden ser analógicas o digitales dependiendo de la codificación o modelo matemático de las mismas. (ejemplo hora).



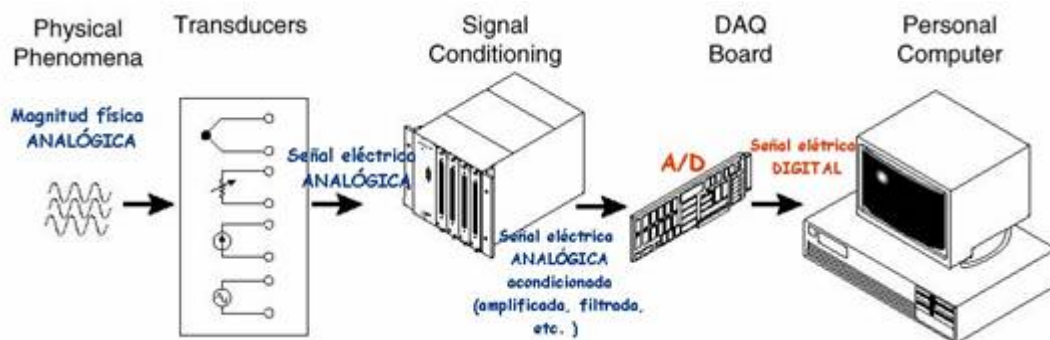
codificación analógica y digital

El proceso que consiste en convertir una señal o variable analógica en digital se denomina **digitalización**. En la siguiente figura se muestra la digitalización de una señal analógica sinusoidal con una resolución de 3 bits.



digitalización

La mayoría de los sistemas electrónicos construidos procesan señales digitales, pero el mundo físico es fundamentalmente analógico como hemos visto. En consecuencia, un sistema digital muy a menudo debe tratar con señales analógicas en su punto de contacto con el mundo exterior (sus entradas), por lo que con frecuencia es necesario digitalizar una señal analógica o a la inversa, transformar una señal previamente tratada digitalmente en analógica, empleándose para ello conversores A/D y D/A. En la siguiente figura se identifica esta situación.



conversión Analógica/Digital

Para terminar este apartado solo queda decir que los **sistemas digitales** tienen infinitas aplicaciones y se pueden encontrar, por ejemplo, en el diseño de computadores, instrumentación, control de procesos industriales, control de semáforos, electrónica de automóviles (ABS, encendido electrónico, etc.), simuladores para pilotos de aviones, aplicaciones en medicina, electrónica de consumo (sonido y vídeo digital, TV, PC, telefonía móvil digital, etc.),

Sistemas binarios

Un sistema en el que todas sus señales son digitales binarias se denomina **sistema electrónico binario**.



DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES

Niveles de abstracción en el diseño de sistemas digitales

A la hora de abordar un diseño, el primer paso es especificar la funcionalidad que debe tener el circuito. Esta especificación es la traducción de las ideas del cliente a un lenguaje técnico que exprese con precisión el funcionamiento y las restricciones del circuito.

Una vez especificado el sistema, y en función de la complejidad del mismo, lo más habitual es emplear la técnica de "**divide y vencerás**". Así, resulta ser una buena estrategia la visión del sistema como una caja negra con su definición de entradas, salida y funcionamiento, e ir dividiendo en diferentes bloques más pequeños igualmente definidos en cuanto a entrada/salida y funcionamiento e interconectados entre sí. Esta estructuración del diseño se conoce como **diseño jerárquico** o **metodología top-down**.

En los sistemas extremadamente complejos, a la hora de analizarlo o sintetizarlo. Es posible ver al sistema como una serie de diferentes niveles, que podemos denominar **niveles de complejidad**, cada uno de los cuales se caracteriza por tipo específico de componentes y enlaces.

Para examinar la estructura interna de un componente de un determinado nivel de complejidad, debemos bajar al nivel inmediatamente inferior.

Estructura, comportamiento y síntesis

En general, un sistema con un **comportamiento** dado se puede construir de muchas formas diferentes, o sea con estructuras interiores diferentes.

El **comportamiento** de un sistema con muchos componentes puede determinarse a partir del comportamiento específico de los componentes y la estructura del sistema

La **estructura de un sistema** la componen los elementos que lo forman y los enlaces que relacionan a estos elementos. El **comportamiento de un sistema** hace referencia a la dependencia que existe entre los canales de salida, los canales de entrada y el estado del sistema (conjunto de situaciones internas que definen en cada momento al sistema).

Si consideramos un sistema electrónico a nivel de **puerta lógica**. Siendo la **puerta lógica**, un circuito electrónico con uno o varios puertos de salida que proporciona señales digitales en sus salidas cuando a sus entradas se aplican señales digitales, de forma que cada salida representa una **función booleana** (lógica) de las señales de entrada.

El estudio de sistemas tiene dos aspectos fundamentales, el **análisis** y la **síntesis**. El análisis versa sobre la determinación del comportamiento de un sistema, dados su estructura y el comportamiento de sus elementos. Recíprocamente, la **síntesis** o **diseño** es la determinación de la estructura de un sistema para que muestre un comportamiento dado.

Objetivos del diseño: costo, prestaciones, testeabilidad y consumo

El sistema debe sintetizarse utilizando diferentes tipos de componentes y de enlaces específicos, y deben encontrarse ciertos objetivos de diseño.

Un objetivo de diseño convencional es minimizar **el costo** total de los componentes y enlaces utilizados para construir el sistema. Otro objetivo de diseño importante es maximizar la **eficacia de funcionamiento** o **las prestaciones** del mismo. Las prestaciones del sistema frecuentemente vienen dadas por su velocidad de funcionamiento, o su consumo de energía o de otros recursos costosos. A veces se tiene que llegar a compromisos entre coste y prestaciones.

Para poder realizar la **testeabilidad** o **comparación** de las prestaciones de los diferentes circuitos (puertas) que realizan una misma función lógica. Se utilizan una serie de **criterios** que permitan realizar esta comparación, siendo estos:

- **Características de transferencia:** dado un circuito con un puerto de entrada y otro de salida, la **característica de transferencia** consiste en representar gráficamente la tensión de salida V_o en función de la tensión de entrada V_i cuando ésta toma todos los valores de su rango de variación. Dicho rango de variación coincide normalmente con el valor de tensión V_{cc} de la fuente de alimentación del circuito.

A partir de esta característica se deducen los rangos de tensión correspondientes a los valores de 0 y 1 lógicos.

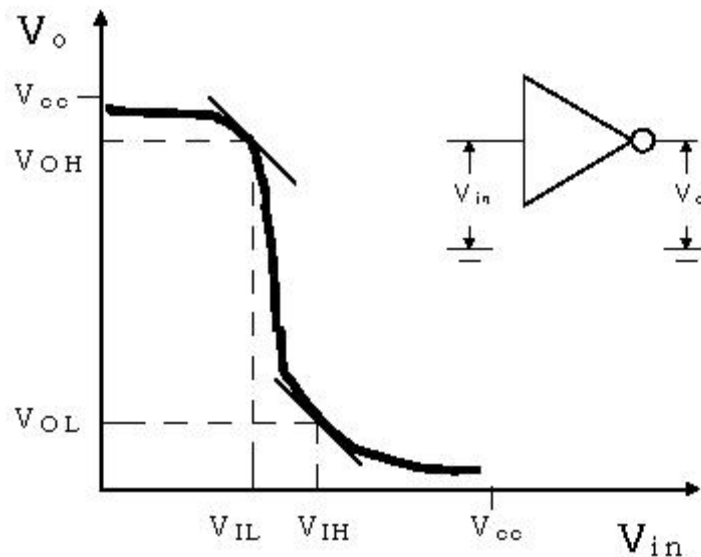


figura 10. función de transferencia

- **Características de entrada-salida:** El número de entradas que puede tener una puerta lógica no es indefinido, está limitado por un número máximo. A ese número máximo se le llama **FAN-IN** de la puerta.

En algunos circuitos, a la salida de una puerta deben conectarse varias entradas de otras puertas. El número de entradas que pueden conectarse a una misma salida está limitada por un número máximo denominado **FAN-OUT**. El fan-out debe calcularse siempre conectando puertas pertenecientes a una misma familia lógica.

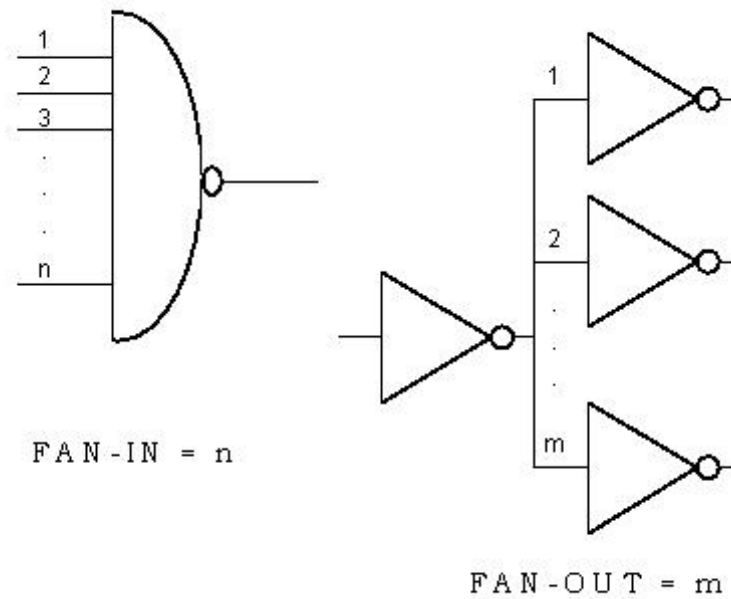


figura 11 . FAN-IN y FAN-OUT

- **Inmunidad al Ruido:** Una señal eléctrica consiste en una perturbación aleatoria, cuyo origen puede ser diverso, que puede mezclarse con una señal eléctrica portadora de información, pudiendo provocar la pérdida de información.

Las señales digitales son mucho más inmunes al ruido que las analógicas, no obstante, también pueden verse afectadas por este factor.

- **Consumo de energía:** Se evalúa calculando la potencia eléctrica consumida por una puerta en dos situaciones. Cuando se producen cambios en las entradas (potencia estática) y cuando las entradas cambian a una frecuencia determinada (potencia dinámica a esa frecuencia).

Cuanto más consume un circuito, mayor es el calor generado por el mismo, de forma que si no es disipado convenientemente, la temperatura puede elevarse por encima del límite tolerado y provocar un funcionamiento incorrecto del circuito.

- **Velocidad de operación:** En las señales digitales, las transiciones entre los valores de 0 y 1 lógicos no se producen instantáneamente, sino que transcurre un determinado intervalo de tiempo que depende del circuito que genere dichas señales. De la misma forma, la variación de la señal de salida siempre se produce de que haya cambiado la señal de entrada. Estos tiempos influyen de forma transcendental en la frecuencia máxima a que puede operar una determinada puerta lógica.
- **Flexibilidad lógica:** se refiere a que una familia lógica es más flexible cuanto más puertas que implementen funciones booleanas diferentes contenga.
- **Capacidad de integración:** tema que tratamos en apartados anteriores.

Diseño Asistido por computador

Se puede definir al **CAD** o **Diseño Asistido por Computador**, como la técnica, que basándose en el uso del computador junto con los programas adecuados, se encarga de facilitar el diseño de un producto, en este caso circuitos electrónicos.

El **CAM** o **Fabricación Asistida por Computador** está destinada a simplificar el control de procesos de fabricación (control máquinas herramientas) usando al computador. En su aplicación a la electrónica se orienta hacia el desarrollo de los planos de las tarjetas de **circuitos impresos** (PCB - Printed Circuit Board) y de la información requerida para la fabricación de **circuitos integrados** (chips) a medida.

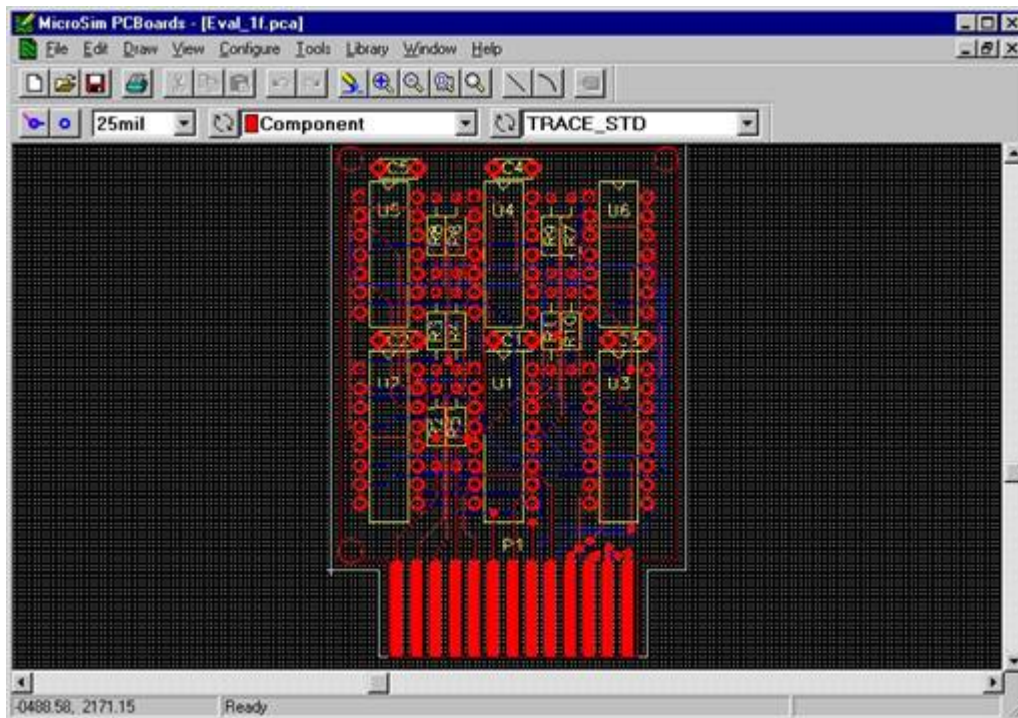


figura 12. ejemplo de diseño de una PCB con MicroSim.

La técnica de ayuda por computador en el diseño y fabricación electrónica distingue entre el concepto de **CAD** Y **CAE** (Ingeniería Asistida por Computador). Normalmente, en electrónica el **CAD** es el conjunto de herramientas informáticas destinadas a dibujar o **capturar** el esquema electrónico que se desea construir. Este bloque dispone de librerías con las características de los componentes disponibles y salidas de documentación (planos de definición de elementos, listas de material, etc.) en pantalla o por impresora.

El **CAE** se reserva a las herramientas informáticas de comprobar el funcionamiento obtenido con **CAD**. También ofrece diferentes posibilidades para obtener la información adecuada sobre el comportamiento de los circuitos, tales como tablas de la verdad, cronogramas, análisis analógico y digital de señales.

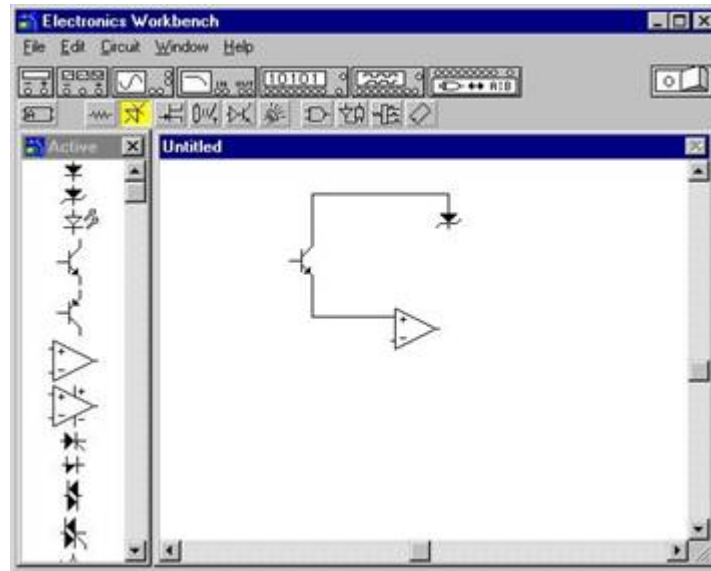


figura 13 . Electronics Workbench, ejemplo de paquete CAD/CAE

Finalmente el CAM proporciona recursos precisos para el desarrollo práctico (fabricación) del esquema probado. El CAM permite optimizar el trazado de las pistas de una PCB, eliminar pistas innecesarias, recoloca pistas, ensancha o estrecha pistas, etc. , también permiten la fabricación de circuitos integrados específicos que contengan la implementación del diseño (PLD, gate array, ASIC, etc.)