

Lutenberg, Ariel; Venturino, Gabriel. (2010). *El progreso tecnológico, atado a la evolución de la electrónica*. En: Encrucijadas, no. 50. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://http://repositorioubi.sisbi.uba.ar>>

EL DESAFÍO DEL FUTURO

El progreso tecnológico, atado a la evolución de la electrónica

Por [1]Ariel Lutenberg [2]Gabriel Venturino

[1]Doctor en Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y Profesor de la FIUBA.

[2]Profesor Titular, secretario de Posgrado de la FIUBA.

Los equipos electrónicos son cada vez más poderosos y más baratos. Por estas razones se utilizan en todo tipo de aplicaciones, como la medicina, la seguridad, las comunicaciones, los entretenimientos y hasta el control del tráfico. ¿Cómo es posible que estos sistemas logren simultáneamente una reducción en el costo y un aumento en su funcionalidad?

La máquina de vapor de James Watt fue el pilar tecnológico que posibilitó la revolución industrial del 1800. Del mismo modo, la invención del transistor es considerada por muchos el mayor invento del siglo XX y la puerta de entrada a la era de electrónica moderna.

El transistor fue desarrollado en 1947 por Shockley, Bardeen y Brattain en los Laboratorios Bell de Estados Unidos, por lo que recibieron el Premio Nobel de Física en 1956 [1]. En ese entonces ya existía la electrónica y hacía varias décadas que se fabricaban radios y televisores. Sin embargo, estos equipos se construían con válvulas y su filamento consumía mucha energía, por lo que necesitaba de cientos de Volts para funcionar. Se quemaba frecuentemente, sufría con las vibraciones, y las válvulas resultaban poco confiables.

Del mismo modo, la válvula estaba conformada por una carcasa de vidrio que contenía un gas inerte o vacío por lo que el conjunto resultaba muy voluminoso y pesado.

La invención del transistor resolvió todos estos problemas y abrió el camino hacia el desarrollo de sistemas más pequeños, confiables y baratos, que con el tiempo permitirían el desarrollo de toda la electrónica actual que emplea bajos voltajes, consume poca energía, tiene dimensiones reducidas y no tiene partes móviles o incandescentes.

El principio de funcionamiento del transistor

Los transistores se basan en materiales semiconductores, principalmente el silicio, que es muy abundante en la naturaleza ya que se encuentra en la arena, y en menor medida, en otros materiales como el germanio o el arseniuro de galio. Estos materiales tienen propiedades eléctricas muy particulares que los sitúan en una situación intermedia entre los conductores, como los metales, y los aislantes, como los plásticos.

En los semiconductores las propiedades eléctricas pueden ser fácilmente controladas durante el proceso de fabricación. Pero, además, su capacidad para conducir o aislar la corriente puede regularse dependiendo del signo y la magnitud del voltaje aplicado.

De este modo, colocando un voltaje apropiado sobre una zona del transistor se logra modificar

las propiedades de conducción en otra zona, que maneja un voltaje o una corriente más importante. Esta es la idea fundamental del principio de amplificación. Si este control se realiza en forma binaria, es decir, habilitando o deshabilitando completamente la conducción de corriente eléctrica, entonces se está en presencia de la electrónica digital, que sólo admite dos “estados lógicos”: encendido y apagado.

Del transistor al microchip

El siguiente paso en la evolución de la electrónica fue la invención en 1958 del circuito integrado, popularmente conocido como “microchip” o simplemente “chip”.

Un circuito integrado es un conjunto de transistores construidos sobre un mismo trozo de material semiconductor que generalmente están interconectados entre sí con el fin de lograr alguna funcionalidad específica. Por ejemplo, constituir el núcleo de un amplificador de audio, de un reloj o una calculadora.

Los primeros circuitos integrados fueron fabricados a principios de la década del 60, y estaban conformados por menos de una decena de transistores que tenían dimensiones típicas de alrededor de un centímetro. Es decir, el chip resultaba casi tan voluminoso como una válvula. Luego, con el advenimiento de la carrera espacial, el desarrollo del transistor recibió un gran impulso ya que, debido a su gran tamaño y elevado consumo, resultaba imposible utilizar válvulas en la computadora de control de vuelo de las naves Apollo.

Entonces, la NASA destinó enormes presupuestos para investigar cómo miniaturizar los transistores, reducir su consumo y aumentar su confiabilidad. El resultado fue una computadora de a bordo que pesaba 25 kilos, consumía 70 Watts y estaba constituida por 5.600 circuitos integrados idénticos y elementales, cada uno compuesto por tan solo tres transistores. La interconexión de estos circuitos integrados mediante un complejo tejido de cables permitió resolver los cálculos de vuelo y llevar al hombre a la luna en 1969. Pero, sobre todo, permitió demostrar en la práctica nuevos conceptos del diseño de microcomputadoras que marcarían una tendencia en los siguientes cuarenta años [2].

Más transistores en menos espacio

El siguiente paso fue desarrollar técnicas de fabricación que permitieran aumentar la cantidad de transistores que se pudieran fabricar en cada circuito integrado.

El primer hito fue el desarrollo del microprocesador “4004” fabricado por Intel en 1971, que contenía unos 2.300 transistores de dimensiones típicas de 10 micrómetros, es decir, una centésima de milímetro (Fig. 1).

Este primer microprocesador, diseñado especialmente para ser utilizado en calculadoras, demostró su enorme potencial y abrió las puertas al desarrollo del mercado de la electrónica [3]. Resultó evidente que una miniaturización de los transistores permitía reducir el consumo y aumentar la velocidad de cálculo. Esto motivó una feroz competencia entre distintas empresas por desarrollar transistores cada vez más pequeños y circuitos integrados con un mayor número de transistores.

Se invirtieron enormes esfuerzos y el resultado fue exitoso, ya que año tras año se lograron alcanzar nuevos récords de reducción de tamaño y de aumento del número de transistores por chip.

Fue entonces que en 1975 Gordon Moore, uno de los fundadores de Intel, predijo que la capacidad de integración se duplicaría aproximadamente cada dos años. Esta progresión de crecimiento exponencial se conoce como "Ley de Moore" [4], y se ha sostenido casi inalterable hasta estos días, donde los microprocesadores contienen varios miles de millones de circuitos integrados (Fig. 2).

En la actualidad estos transistores tienen dimensiones del orden de los 45 nanómetros, es decir, alrededor de 250 veces más pequeños que los transistores que conformaban el microprocesador Intel 4004.

Esto implica que en el mismo espacio donde en 1971 cabía un solo transistor, hoy caben alrededor de 50.000. Este enorme aumento de la cantidad de transistores por unidad de superficie implica un crecimiento extraordinario en la capacidad de cálculo de los microprocesadores (ver Fig. 2), sin que eso implique un aumento en su costo [5-6].

El homo electronicus

Los sistemas electrónicos se encuentran actualmente en todo tipo de productos, desde computadoras, hasta afeitadoras, juguetes, sistemas de seguridad e incluso calzado deportivo. Además, es posible programar los circuitos que controlan estos productos directamente en lenguajes de programación de alto nivel, como Lenguaje C.

Esto reduce notablemente el tiempo de desarrollo, a la vez que aumenta la confiabilidad y la posibilidad de reutilizar los programas diseñados. Implica, además, un aumento de la ganancia y una reducción en el "time to market", es decir, el tiempo que transcurre entre que se concibe un producto hasta que es efectivamente lanzado al mercado.

En el área de las telecomunicaciones, la evolución de la electrónica implicó un aumento sustancial en la velocidad de transmisión de datos, y también en el desarrollo de teléfonos celulares pequeños que, a un bajo costo, integran receptores y transmisores multibanda con tecnología GSM, 3G, Bluetooth, WiFi, radio FM, receptor GPS, cámara de fotos, filmadora, agenda, juegos, entre otros.

Cualquiera de estos celulares modernos tiene una capacidad de cálculo varias veces superior a la computadora de vuelo del Apollo XI, y un peso y consumo cien veces menor, a la vez que cuestan varios millones de veces menos.

En el área del control y automatización, la electrónica posibilitó el desarrollo de la robótica y una notable mejora de los procesos industriales.

Hoy, cualquier automóvil moderno tiene cientos de sensores que se utilizan para el control de frenado, tracción o airbags, entre otros, que están conectados entre sí y con la computadora de

a bordo mediante complejas redes de comunicaciones.

También la electrónica es utilizada en edificios inteligentes, equipados con sistemas de control de luz, aire acondicionado, sensores de humo y gas, circuitos de audio y video, sistemas de control de acceso, entre otros.

En el campo de la medicina, los sistemas de diagnóstico por imágenes como la tomografía, la resonancia magnética y las ecografías 3D son sólo posibles debido al enorme avance de la electrónica, que permite el procesamiento en tiempos breves de enormes cantidades de información. La electrónica también está presente en la medición y procesamiento de señales biológicas en equipos tales como holters y marcapasos.

Es decir, la electrónica está presente hoy no sólo en productos de consumo masivo como teléfonos celulares, computadoras, LCDs y electrodomésticos, sino también en todo tipo de aplicaciones cotidianas.

Su presencia cada vez nos resulta más indispensable, por lo que muchos tecnólogos consideran que el hombre moderno se ha convertido en el Homo Electronicus.

La microelectrónica del futuro

Los transistores están llegando a dimensiones comparables a las de unos pocos átomos. Frente a esto, surge la pregunta: ¿Existe algún límite en la miniaturización de los transistores? Y la respuesta es que sí. En transistores tan pequeños aparecen nuevos problemas de funcionamiento que prácticamente impiden su utilización.

Este límite físico se conoce como “el fin de la Ley de Moore” y desde hace décadas es pregonado por especialistas del sector. Hasta el momento, cada vez que se estuvo cerca de alcanzar un límite tecnológico, la industria introdujo novedades ingeniosas a partir de las que fue posible continuar con la miniaturización de los transistores.

Pero, aparentemente en la actualidad, se está llegando al límite último de la tecnología. Para funcionar correctamente, los transistores, tal como los conocemos, necesitan de una cierta estructura, compuesta por una cantidad mínima de átomos. Y la miniaturización está llegando al límite tal que ciertas partes de los transistores están conformadas por capas de no más de tres o cuatro átomos, por lo que ya no es posible disminuir su tamaño.

Tal vez una alternativa sea reemplazar el silicio por otro material más delgado, como podría ser el “Grafeno”. Se espera que implementando transistores con este material o mediante soluciones igualmente novedosas, sea posible sostener el ritmo de miniaturización actual hasta aproximadamente el año 2025, cuando se espera poder fabricar transistores de aproximadamente cinco nanómetros, tan pequeños que en la superficie de un virus cabrían cientos de estos transistores.

No hay ninguna certeza sobre cómo será luego la evolución de esta tecnología. Incluso puede ocurrir que sea completamente superada por alguna otra, como ocurrió hace ya 50 años con la

válvula electrónica.

Sin embargo, es seguro que cualquiera sea el desenlace, los desafíos tecnológicos a sortear son enormes y será sumamente interesante presenciar esa lucha del hombre por superar sus propios límites.

Bibliografía

- [1] "The Nobel Prize in Physics 1956". Nobelprize.org. 2 Dec 2010
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/
- [2] "M.I.T. Apollo Guidance Computer". ed-thelen.org. 2 Dec 2010
<http://ed-thelen.org/comp-hist/vs-mit-apollo-guidance.html>
- [3] "INTEL Museum – The Intel 4004". intel.com. 2 Dec 2010
<http://www.intel.com/about/companyinfo/museum/exhibits/4004/index.htm>
- [4] "Moore's Law Made real by Intel Innovations". intel.com. 2 Dec 2010
<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/>
- [5] "Transistor count". wikipedia.org. 2 Dec 2010
http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count
- [6] "Instructions per second ". wikipedia.org. 2 Dec 2010
http://en.wikipedia.org/wiki/Instructions_per_second