

Universidad de La Habana
Facultad de Matemática y Computación



Transistor, microchip y microprocesador

Autores:

Javier E. Domínguez Hernández. C-412
David Orlando De Quesada Oliva. C-411

Fecha

20 de octubre de 2022

Resumen

Una síntesis de que personalidades participaron a lo largo de la historia en la creación del transistor, el microchip y el microprocesador, y como fue el camino para la invención de estos importantes componentes que forman parte no solo de la computadora actual, sino también de la gran mayoría de los dispositivos electrónicos que usamos en el día a día.

Abstract

A synthesis of which personalities participated throughout history in the creation of the transistor, the microchip and the microprocessor, and how was the path for the invention of these important components that are part not only of the current computer, but also the vast majority of electronic devices that we use on a daily basis.

Keywords: transistor, microchip, microprocesador, computación, descubrimiento, hardware

Índice general

1. El transistor	1
1.1. El surgimiento	2
1.2. Primeras aplicaciones	5
1.3. La transición hacia un semiconductor más conveniente: El silicio	7
2. El microchip	9
2.1. La primera solución	10
2.2. El enfoque de <i>Noyce</i>	11
2.3. Una solución pacífica al tema de las patentes	12
2.4. Primeras aplicaciones	13
3. El microprocesador	15
3.1. Surgimiento del microprocesadaor	16
3.1.1. Intel 4004	17
3.2. El arribo del primer microprocesador de 8-bits	18
Bibliografía	19

Índice de figuras

1.1.	ENIAC primera computadora que utilizó los tubos de vacío	2
1.2.	<i>John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain</i> , de izquierda a derecha en 1948.	4
1.3.	Réplica del primer transistor	4
1.4.	radio <i>Regency TR-1</i>	6
1.5.	transistor de silicio de <i>Texas Instruments</i> , anunciando su pequeño tamaño.	7
1.6.	Mineral de silicio	8
2.1.	Primer circuito integrado híbrido creado por <i>Jack Kilby</i> utilizando germanio	11
2.2.	<i>Robert Noyce</i> con el primer circuito integrado (microchip) monolítico	12
2.3.	<i>Jack Kilby</i> sosteniendo microchips y la primera calculadora presentada a <i>Pat Haggerty</i> el 29 de marzo de 1967	14
3.1.	Desde la izquierda, Federico Faggin, Ted Hoff y Stanley Mazor con procesadores Intel 4004	17
3.2.	Primer microprocesador Intel 4004	18
3.3.	Microprocesador Intel 8008	18

Capítulo 1

El transistor

Antes de la invención del primer transistor a finales de la década de 1930, ya existían dispositivos que cumplían la misma función que este pero con una menor eficiencia.

A finales del siglo XIX con el incipiente desarrollo de la tecnología de comunicación inalámbrica y la construcción de sistemas que utilizaran este método por la *compañía Marconi*, *Guglielmo Marconi* le asignó el cargo de consejero científico al físico inglés *John Ambrose Fleming*. *Marconi* necesitaba ayuda para mejorar el **detector**, que es el dispositivo que se encarga de extraer información de una corriente de radiofrecuencia modulada, y aunque ya él había desarrollado un **detector magnético**, este solo brindaba una señal de frecuencia de audio a un receptor de teléfono. Un **detector** confiable que pudiera guiar un instrumento de impresión era necesario. Fleming pudo desarrollar un **tubo al vacío** como resultado de su trabajo con **bombillas de efecto Edison**, a estas las denominó **válvulas de oscilación** ya que pasaba corriente en una sola dirección. Fleming presentó una patente para estos tubos, cedida a la *compañía Marconi* en el Reino Unido en noviembre de 1904 y esta se emitió en septiembre de 1905. Conocida más tarde como la **válvula Fleming**, la **válvula de oscilación** se desarrolló con el fin de rectificar la corriente de radiofrecuencia como componente detector de circuitos receptores de radio. [14]

En el propio siglo XIX ingenieros de telégrafos y teléfono habían reconocido la necesidad de incrementar la distancia que la señal pudiera ser transmitida. En 1906 *Robert Von Lieben* solicitó una patente para un **tubo de rayos catódicos** que usaba una bobina de deflexión magnética externa y estaba destinado a usarse como amplificador en equipos de telefonía. A *Lee de Forest* se le atribuye la invención del tubo triodo en 1907, el cual tenía la capacidad de amplificar las señales, y que fue el primero de su tipo que tuvo uso práctico. Sin embargo estos **tubos de vacío** utilizados para amplificar la música y la voz que hicieron posibles las llamadas de larga distancia, creaban mucho calor y se quemaban muy rápido, requiriendo alto mantenimiento. [14,

13]

La **ENIAC** (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) fue la primera computadora en usar los **tubos de vacío**, exactamente 18 000 de estos para poder funcionar, que hicieron que aquel dispositivo ocupara el tamaño de una habitación completa. Estos tubos permitían que las señales fueran enviadas y los cálculos realizados de forma más rápida a través del uso de conmutación eléctrica en vez de conmutación mecánica. Debido al enorme consumo de energía eléctrica de la **ENIAC**, muchas personas creyeron que esta se destruiría, sin embargo los **tubos de vacío** le permitieron soportar y funcionar. [10].

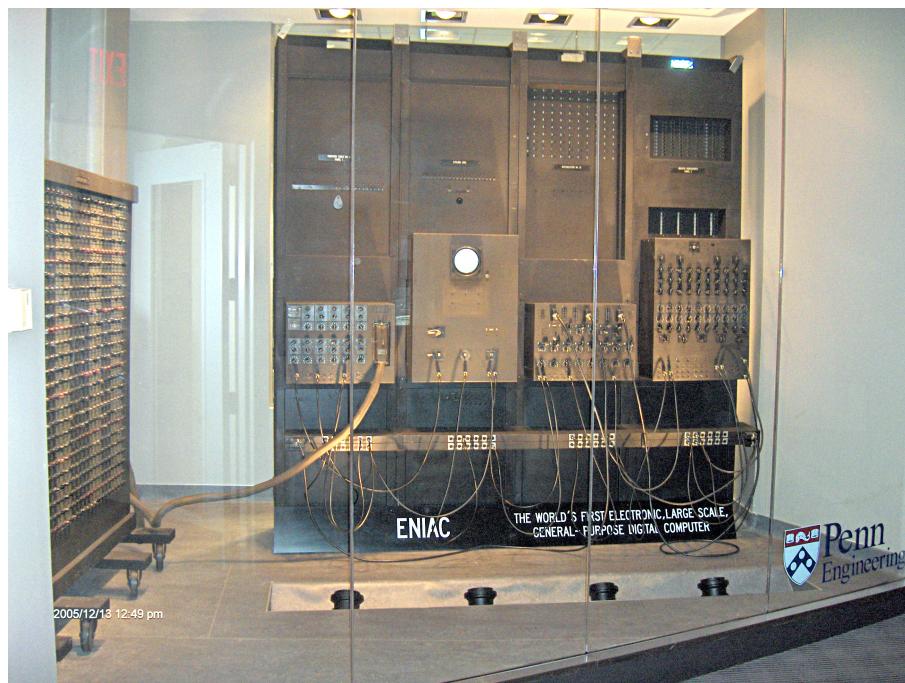


Figura 1.1: **ENIAC** primera computadora que utilizó los **tubos de vacío**.

1.1. El surgimiento

Debido a que las computadoras dependían de los **tubos de vacío** tan frágiles, grandes, costosos y con un consumo enorme de energía, solo las grandes compañías, los militares y las universidades con proyectos de investigación podían permitírselas. Por esta razón el inicio de la era digital, aquella donde los dispositivos electrónicos se convertirían en una parte indispensable en nuestro día a día, no ocurriría sino hasta

el martes 16 de diciembre de 1947. Ese día 2 científicos en los *laboratorios Bell* lograron armar un pequeño artilugio que habían inventado a partir de unas tiras de oro, papel de aluminio, un trozo de material semiconductor(**germanio**) y un sujetapapeles doblado, el cual movido a la perfección podía amplificar una corriente eléctrica y encenderla y apagarla.

Durante mucho tiempo hubo una persona encargada de encontrar un reemplazo para los **tubos de vacío**, un reemplazo menos costoso, más sólido y más barato, esa persona fue el físico experto en estado sólido *William Shockley*, graduado del **MIT**(*Massachusetts Institute of Technology*), quien fue contratado por *Mervin Kelly* jefe del departamento de **tubos al vacío** de los *laboratorios Bell* con este fin. Luego de 3 años a *Shockley* se le ocurrió que podría encontrar una solución utilizando materiales sólidos como el **silicio** en vez de los filamentos de una bombilla, "Se me ha ocurrido que es posible crear un amplificador utilizando semiconductores en vez del vacío", escribió *Shockley*. Él parecía tener la capacidad de visualizar la teoría cuántica por cómo explicaba el movimiento de los electrones. Sus colegas decían que podía mirar material semiconductor y ver los electrones. Sin embargo, para transformar su intuición en un invento real, *Shockley* necesitaba un socio que fuera un hábil experimentador, y fue *Walter Brattain* quien disfrutaba creando dispositivos con semiconductores quien se unió a *Shockley* en su tarea. Lamentablemente sus ideas tuvieron que esperar pues recién comenzó la II Guerra Mundial, y no fue hasta casi 4 años después que regresaron a su trabajo en los laboratorios que retomaron su investigación, y fueron asignados a un grupo cuyo objetivo principal era encontrar el tan buscado reemplazo sólido para los **tubos de vacío** utilizando semiconductores. Esta vez decidieron incorporar al grupo un nuevo teórico además de *Shockley*, experto en teoría cuántica, *John Bardeen*, un niño genio que se había saltado tres grados en la escuela, *Bardeen* había trabajado durante su servicio en tiempos de guerra en la Artillería Naval y discutió el diseño de torpedos con nada más ni nada menos que *Albert Einstein*. Él era uno de los mejores expertos del mundo en el uso de la teoría cuántica para comprender cómo materiales conducen la electricidad, y tenía, según sus colegas, una "capacidad genuina para colaborar fácilmente con experimentadores y teóricos". Así, ya se habían juntados los 3 hombres más importantes de este proyecto. [8]



Figura 1.2: *John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain*, de izquierda a derecha en 1948.

Las más sorprendentes ideas provinieron de las interacciones entre ellos. "La cercana y constante colaboración entre experimentalistas y teóricos se extendió a través de todas las etapas de la investigación, desde la concepción del experimento hasta los análisis de los resultados", dijo *Bardeen*. Gracias a esta estrecha colaboración fue que el 16 de diciembre de 1947 lograron crear el primer **transistor** de la historia.



Figura 1.3: Réplica del primer **transistor**.

Los *laboratorios Bell* fueron el fruto de un inmenso trabajo y hasta cierto punto una apuesta de la **AT&T** (*American Telephone and Telegraph Company*) que a principios de 1907 pasaba por una grave crisis, y con la guía *Alexander Graham Bell*, *Theodore Vail* y el apoyo de la junta directiva lograron salvar a la empresa de la quiebra, y a la vez juntar un gran talento en este lugar, teóricos, científicos de materiales, metalúrgicos, ingenieros e incluso escaladores de postes de **AT&T**, y fueron 3 de estos talentosos expertos los que hicieron el descubrimiento, sin embargo la invención del **transistor** no fue el resultado del trabajo de solo ellos 3, fue la mezcla del conocimiento de diversos talentos presentes desde el inicio en los *laboratorios Bell*, e incluso antes. Como escribiera *William Shockley* "Son necesarios muchos hombres de varios campos de la ciencia, juntando su talento, para poder llevar a cabo toda la investigación necesaria para el desarrollo de un nuevo dispositivo". Tiempo después, los 3 descubridores serían galardonados con el *Premio Nobel* en física por sus investigaciones con semiconductores y su descubrimiento sobre el **transistor**. [4, 8]

1.2. Primeras aplicaciones

La primera línea de producción comercial de transistores del mundo se encontraba en la planta de *Western Electric* en *Union Boulevard* en *Allentown, Pensilvania*. La producción comenzó el 1 de octubre de 1951 con el **transistor de germanio de contacto puntual**. La primera aplicación comercial de transistores en telecomunicaciones fue en el otoño de 1952 en generadores de tonos para señalización multifrecuencia del sistema de comutación de barra transversal No. 5 en la instalación de *Englewood, Nueva Jersey*, utilizada para la primera prueba de campo de marcación directa a distancia (DDD). Para 1953, el transistor se usaba en algunos productos, como audífonos y centrales telefónicas, pero aún había problemas importantes que impedían su aplicación más amplia, como la sensibilidad a la humedad y la fragilidad de los cables conectados a los cristales de **germanio**.[4]

En la primavera de 1952, *Pat Haggerty* el presidente de la compañía *Texas Instruments*, que recién había dejado el campo de la exploración de petróleo por los transistores pues su presidente estaba convencido de que cambiaría el mundo por completo, y creían que lograrían aprovechar este recién descubierto artilugio para su beneficio. El problema era que las personas en los *Laboratorios Bell* eran escépticos de si serían capaces de lograrlo, por lo que se negaban a darles una licencia para hacer uso de la nueva tecnología, al menos en un principio. Sin embargo, en la primavera de 1952 *Haggerty* logró convencerlos de que les vendieran una licencia para fabricar el **transistor**. Él también contrató a *Gordon Teal*, un investigador químico que trabajó en uno de los largos pasillos de los *Laboratorios Bell* cerca del equipo de semiconductores. *Teal* era un experto en la manipulación de **germanio**, pero cuando se unió a *Texas*

Instruments había cambiado su interés al **silicio**, un elemento más abundante que podía funcionar mejor a altas temperaturas. De esta forma en mayo de 1954, pudo fabricar un transistor de **silicio** que usaba la **unión n-p-n** arquitectura desarrollada por *Shockley*, lo que permitió, más adelante, reducir el precio de los transistores de \$16 a solo \$3, facilitando que el **transistor** pudiera llegar al mercado consumidor. Para junio de 1954 *Haggerty* había llegado a un acuerdo con una pequeña compañía de *Indianapolis* que fabriaba amplificadores para antenas, para juntos crear lo que llamarían el radio **Regency TR-1**, que salió a la venta por \$49.95. [8]



Figura 1.4: radio *Regency TR-1*.

1.3. La transición hacia un semiconductor más conveniente: El silicio

El **germanio** era difícil de purificar y tenía un rango de temperatura operativa limitado. Los científicos tenían la teoría de que el **silicio** sería más fácil de fabricar, pero pocos se molestaron en investigar esta posibilidad. *Morris Tanenbaum* y algunos colaboradores en los *Laboratorios Bell* fueron los primeros en desarrollar un **transistor** de **silicio** funcional el 26 de enero de 1954. Unos meses más tarde, *Gordon Teal*, trabajando de forma independiente en *Texas Instruments*, desarrolló un dispositivo similar.



Figura 1.5: **transistor** de **silicio** de *Texas Instruments*, anunciando su pequeño tamaño.

Ambos dispositivos se fabricaron controlando el dopaje de cristales de **silicio** individuales mientras crecían a partir de **silicio** fundido. *Morris Tanenbaum* y *Calvin S. Fuller* desarrollaron un método superior en los *Laboratorios Bell* a principios de 1955 mediante la difusión gaseosa de impurezas donantes y aceptadoras en chips de **silicio** monocrystalinos.

Sin embargo, hasta finales de la década de 1950, el **germanio** siguió siendo el material semiconductor dominante para los transistores y otros dispositivos semiconductores. El **germanio** se consideró inicialmente el material semiconductor más eficaz, ya que podía demostrar un mejor rendimiento debido a una mayor movilidad de los portadores. La relativa falta de rendimiento en los primeros semiconductores de **silicio** se debió a que la conductividad eléctrica estaba limitada por estados superficiales cuánticos inestables, que impedían que la electricidad penetrara de manera confiable en la superficie para llegar a la capa de **silicio** semiconductor.



Figura 1.6: Mineral de silicio

En 1955, *Carl Frosch* y *Lincoln Derick* de *Bell Telephone Laboratories*(BTL) descubrieron accidentalmente que el dióxido de **silicio**(SiO₂) podía crecer sobre **silicio**. Demostraron que la capa de óxido evitaba que ciertos dopantes entraran en la oblea de **silicio**, mientras que permitía otros, descubriendo así el **efecto pasivante** de la oxidación en la superficie del semiconductor. En la década de 1950, *Mohamed Atalla*, retomó el trabajo de *Frosch* sobre la oxidación, investigó las propiedades superficiales de los semiconductores de **silicio** en los *Laboratorios Bell*, donde propuso un nuevo método de fabricación de dispositivos semiconductores, recubriendo una oblea de **silicio** con una capa aislante de óxido de **silicio** para que la electricidad podría penetrar de manera confiable en el **silicio** conductor que se encuentra debajo, superando los estados superficiales que impedían que la electricidad llegara a la capa semiconductora. Esto se conoce como **pasivación superficial**, un método que se volvió fundamental para la industria de los semiconductores, ya que más tarde hizo posible la producción en masa de circuitos integrados de **silicio**.

Capítulo 2

El microchip

Tiempo después *Shockley* dejó los *Laboratorios Bell*, y en la gala anual de la *Cámaras de Comercio de Los Ángeles* donde fue galardonado por su invención, conoció a *Arnold Beckman* para el cual comenzó a trabajar en la división *Laboratorio de semiconductores de Shockley*, parte de su empresa *Beckman Instruments*, que se ubicó en *Palo Alto*. En ese momento *Shockley* intentó reclutar a algunos de los investigadores que trabajaron con él en los *Laboratorios Bell*, pero lo conocían muy bien, su personalidad y su ego los espantaron. Por eso se dedicó a escribir una lista de los mejores ingenieros de semiconductores del país. Sus más importantes contrataciones fueron *Robert Noyce* doctor en física del *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* y el químico *Gordon Moore*. Con el paso del tiempo muchos de los expertos que contrató *Shockley* se dieron cuenta de que era un líder incompetente, que cuando se equivocaba al tomar una decisión buscaba a alguien más a quien culpar, además, su indisposición a compartir el crédito le imposibilitó crear un espíritu de colaboración entre los hombres bajo su mando. De esta forma, con el paso del tiempo la situación se hizo insostenible, hasta el punto que un grupo de trabajadores le dijeron a *Arnold Beckman* que si *Shockley* seguía, ellos renunciarían. Y así lo hicieron, ante la voluntad de *Beckman* de mantener a *Shockley* a cargo de aquella división. Entre ellos estaban *Robert Noyce* y *Gordon Moore*, y todos tenían el objetivo de crear una empresa que rivalizara con *Beckman Instruments*. Para eso eran necesarios fondos de los que no disponían, y luego de pasar mucho tiempo en búsqueda de una persona dispuesta a invertir en el negocio de los semiconductores, alguien sugirió ir a ver a *Sherman Fairchild*, quien dispuso de \$1.5 millones para la creación de la compañía, que se llamaría *Fairchild Semiconductors*.

En un artículo escrito en conmemoración del décimo aniversario del **transistor**, publicado en 1957 justo cuando se formó *Fairchild Semiconductor* y el satélite ruso *Sputnik* había sido lanzado, un ejecutivo de los *Laboratorios Bell* identificó un problema que apodado "la tiranía de los números". Como el número de componentes en un circuito

aumentó, el número de conexiones aumentó mucho más rápido. Si un sistema tenía, por ejemplo, diez mil componentes, harían falta 100.000 o más pequeños enlaces de cables en las placas de circuitos, la mayoría de las veces soldado a mano. Esta no era una receta asequible, sin embargo era una pieza fundamental para un nuevo gran descubrimiento. La necesidad de resolver un problema que iba empeorando coincidió muchos pequeños avances en formas para fabricar semiconductores. Esta combinación produjo un invento que ocurrió de forma independiente en dos lugares diferentes, *Texas Instruments* y *Fairchild Semiconductor*. [8]

2.1. La primera solución

Jack Kilby era otro de esos chicos del Medio Oeste rural que jugueteaba en el taller con su padre y construía radioaficionados. Durante una ventisca usaron un equipo radioaficionado para mantenerse en contacto con las áreas donde los clientes habían perdido el servicio telefónico, y el joven *Kilby* quedó fascinado por la importancia de tales tecnologías. "Fue durante una tormenta de hielo en mi adolescencia", le dijo a *T. R. Reid* del *Washington Post*, "que vi por primera vez cómo la radio y, por extensión, la electrónica, podrían tener un gran impacto en la vida de las personas manteniéndolos informados y conectados, y dándoles esperanza". Luego de ser rechazado por el **MIT**, fue a estudiar a la universidad de *Illinois*, pero lamentablemente sus estudios se vieron interrumpidos por la guerra luego de *Pearl Harbor* y se unió a la marina de guerra. Era un tipo gentil con una amplia sonrisa. Lo que lo hacía especial era su curiosidad insaciable sobre los inventos. Empezó a leer cada nueva patente emitida. "Tú lees todo, eso es parte del trabajo", dijo. "Acumulas todo este conocimiento, y esperas que algún día tal vez una millonésima parte sea útil".

Su primer trabajo fue en *Centralab*, una empresa de *Milwaukee* que fabricaba piezas electrónicas. En este lugar se experimentó con formas de combinar los componentes utilizados para fabricar audífonos sobre una sola base de cerámica, un precursor toscó de la idea para un **microchip**. En 1952 *Centralab* fue una de las empresas que pagó \$25,000 por una licencia para fabricar transistores, y fue el beneficiaria de la voluntad de los *Laboratorios Bell* de compartir su conocimiento. *Kilby* asistió a un seminario de dos semanas en este lugar, luego del cual se dió cuenta que para estar a la vanguardia en el desarrollo de los transistores necesitaba estar en una compañía más importante. Por esta razón, luego de barajar varias opciones, en 1958 decide unirse a *Texas Instruments*, donde se pondría a trabajar con *Pat Haggerty* y su brillante equipo de investigación de transistores dirigido por *Willis Adcock*. Las primeras semanas trabajando allí *Kilby* se dedicó a experimentar que otra cosa podría hacer con el **silicio**, además de convertirlo en transistores. Sabía que si creabas un poco de **silicio** sin impurezas, actuaría como una simple **resistencia**. También se dió cuenta de que había

una manera de hacer que una **unión p-n** en una pieza de **silicio** actúe como un **capacitor**, lo que significa que podría almacenar una pequeña carga eléctrica. De hecho, podrías hacer cualquier componente electrónico de **silicio** tratado de forma diferente. De eso se le ocurrió lo que se conoció como la “idea monolítica”: se podía hacer todos estos componentes en una pieza monolítica de **silicio**, eliminando la necesidad de soldar juntos diferentes componentes en un circuito junta. *Kilby* lo describió en su cuaderno de laboratorio en una oración que luego sería citado en su mención del *Premio Nobel*, “Los siguientes elementos del circuito podrían hacerse en una sola rebanada: resistencias, condensador, condensador distribuido, **transistor**.” Luego dibujó algunos bocetos toscos de cómo construir estos componentes configurando secciones de silicio que habían sido dopadas con impurezas para tener diferentes propiedades en una sola losa. [8]

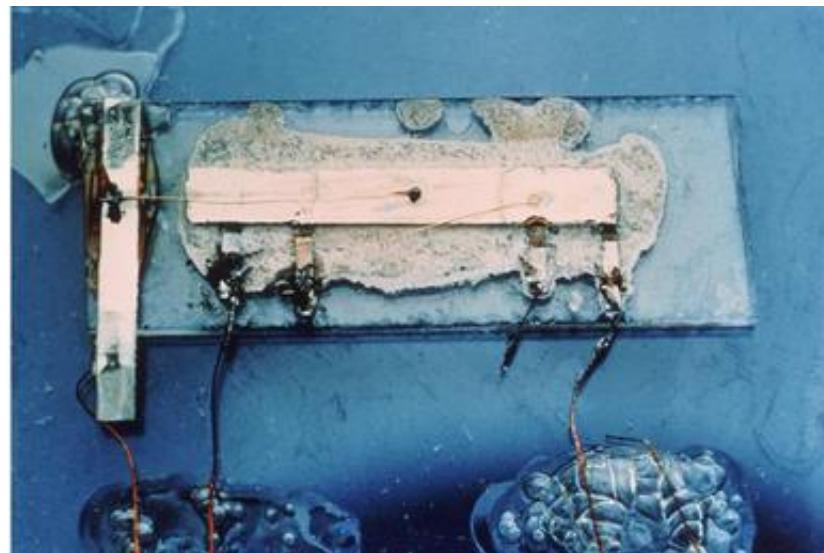


Figura 2.1: Primer circuito integrado híbrido creado por *Jack Kilby* utilizando **germanio**

2.2. El enfoque de *Noyce*

Noyce y sus colegas de *Fairchild* habían estado buscando la posibilidad de un **microchip** desde enfoque. Comenzó cuando se vieron golpeados por un problema complicado: sus transistores no funcionaban muy bien. Demasiados de ellos fallaban. Una pequeña cantidad de polvo o incluso la exposición a algunos gases podía causar que dejaran de funcionar, también lo podía causar incluso un pequeño golpe. *Jean*

Hoerni, un físico de *Fairchild* que fue uno de los ocho que abandonaron *Beckman Instruments* a causa de *Shockley*, se le ocurrió una solución ingeniosa. En la superficie de un **transistor de silicio**, él colocaría una fina capa de óxido de **silicio**, como el glaseado encima de un pastel de capas, que protegería el **silicio** de abajo. “La formación de una capa de óxido. . . en la superficie del **transistor**”, escribió en su cuaderno, “protegerá las uniones expuestas de la contaminación.” El método se denominó “el proceso plano” debido al plano de óxido que se sentó encima del **silicio**. En enero de 1959 (después de que *Kilby* ideó sus ideas pero antes de que fueran patentadas o anunciadas), *Hoerni* tuvo otra “epifanía” mientras se duchaba una mañana: minúsculas ventanas se pueden grabar en esta capa protectora de óxido para permitir que las impurezas sean difundidas en puntos precisos para crear las propiedades deseadas de los **semiconductores**. [8]



Figura 2.2: *Robert Noyce* con el primer circuito integrado (**microchip**) monolítico

2.3. Una solución pacífica al tema de las patentes

En 1959 ambas partes solicitaron patentes. *Jack Kilby* y *Texas Instruments* recibieron la patente de EE. UU. n.º 3.138.743 para **circuitos electrónicos miniaturizados**. *Robert Noyce* y *Fairchild Semiconductor Corporation* recibieron la patente de EE. UU. n.º 2.981.877 para un **circuito integrado** basado en **silicio**. En el verano de 1966, tres años antes de la resolución judicial final sobre a quien se le atribuiría el descubrimiento, *Noyce* y sus abogados de *Fairchild* se reunieron con el presidente

y el consejo de *Texas Instruments* y elaboraron un tratado de paz. Cada empresa concedió que la otra tenía algunos derechos intelectuales y derechos de propiedad del **microchip**, y acordaron otorgar licencias cruzadas a cualquier derecho que tuvieran. Otras empresas tendrían que hacer acuerdos de licencia con ambos, por lo general pagando una tarifa que ascendió a aproximadamente 4 por ciento de sus ganancias. Las dos compañías sabiamente decidieron intercambiar licencias de sus tecnologías después de varios años de batallas legales, creando un mercado global que ahora vale alrededor de \$ 1 billón al año. [1, 8]

2.4. Primeras aplicaciones

Inicialmente, los **microchips** eran dispositivos estrictamente electrónicos. El éxito de los **microchips** ha llevado a la integración de otras tecnologías, en un intento de obtener las mismas ventajas de pequeño tamaño y bajo costo. Estas tecnologías incluyen dispositivos mecánicos, ópticos y sensores. Los dispositivos de carga acoplada y los sensores de píxeles activos estrechamente relacionados son chips que son sensibles a la luz. Han reemplazado en gran medida a la película fotográfica en aplicaciones científicas, médicas y de consumo. Miles de millones de estos dispositivos ahora se producen cada año para aplicaciones, tabletas y cámaras digitales. Los dispositivos mecánicos muy pequeños impulsados por electricidad pueden integrarse en chips, una tecnología conocida como sistemas microelectromecánicos. Estos dispositivos se desarrollaron a fines de la década de 1980 y se utilizan en una variedad de aplicaciones comerciales y militares. Los ejemplos incluyen proyectores DLP, impresoras de inyección de tinta y acelerómetros y giroscopios MEMS utilizados para desplegar las bolsas de aire de los automóviles. Desde principios de la década de 2000 , la integración de la funcionalidad óptica (computación óptica) en chips de **silicio** se ha buscado activamente tanto en la investigación académica como en la industria, lo que resultó en la comercialización exitosa de transceptores ópticos integrados basados en **silicio** que combinan dispositivos ópticos (moduladores, detectores, enrutamiento) con Electrónica basada en CMOS. También se están desarrollando circuitos fotónicos integrados que usan luz, utilizando el campo emergente de la física conocido como fotónica. También se están desarrollando **microchip** para aplicaciones de sensores en implantes médicos u otros dispositivos bioelectrónicos. Deben aplicarse técnicas de sellado especiales en dichos entornos biogénicos para evitar la corrosión o la biodegradación de los materiales semiconductores expuestos.

Los **microchips** se utilizan en muchos dispositivos electrónicos además de una computadora. En la década de 1960, la Fuerza Aérea usó **microchips** para construir el misil Minuteman II. La **NASA** compró **microchips** para su proyecto *Apolo*. Hoy en día, los **microchips** se utilizan en los teléfonos inteligentes que permiten a las personas

utilizar *Internet* y tener una videoconferencia telefónica. Los **microchips** también se utilizan en televisores, dispositivos de rastreo GPS, tarjetas de identificación y medicamentos. [2, 5]

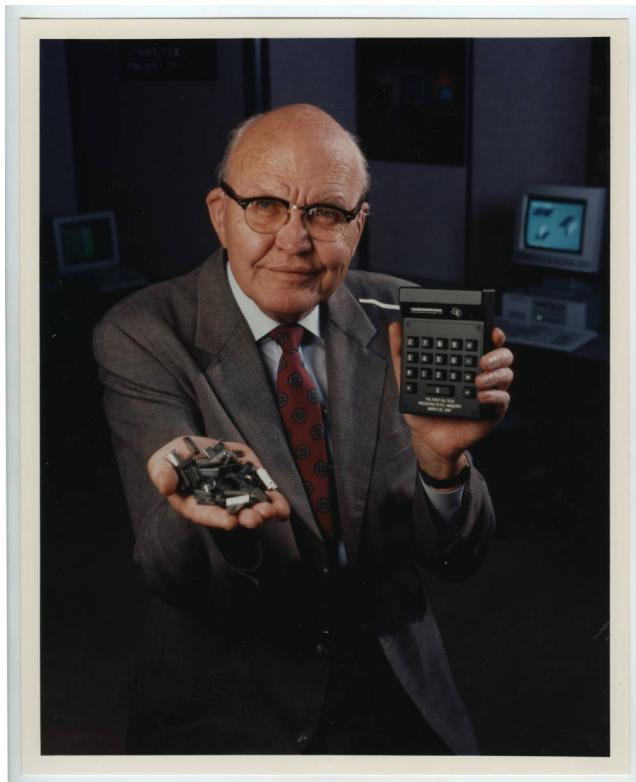


Figura 2.3: *Jack Kilby* sosteniendo **microchips** y la primera calculadora presentada a *Pat Haggerty* el 29 de marzo de 1967

Capítulo 3

El microprocesador

El microprocesador es un procesador de computadora, donde la lógica del procesamiento de datos y el control están incluidos en un solo circuito integrado, o en un pequeño número de circuitos integrados. El microprocesador contiene los circuitos aritméticos, lógicos y de control necesarios para realizar las funciones de la unidad central de procesamiento de una computadora. El circuito integrado es capaz de interpretar y ejecutar instrucciones de programa y realizar operaciones aritméticas. El microprocesador es un circuito integrado digital multipropósito, controlado por reloj y basado en registros que acepta datos binarios como entrada, los procesa de acuerdo con las instrucciones almacenadas en su memoria y proporciona resultados (también en forma binaria) como salida. Un microprocesador hipotético minimamente funcional podría incluir solo una **ALU**(*arithmetic logic unit*) y una sección lógica de control. La **ALU** realiza sumas, restas y operaciones como **AND** y **OR**. Cada operación de la **ALU** establece uno o más *flags* en un registro de estados, que indican los resultados de la última operación(por ejemplo, si el resultado es cero, si es negativo, si hay desbordamiento, etc.). La lógica de control recupera los código de instrucción desde la memoria e inicia la secuencia de operaciones necesarias parar que la **ALU** lleve a cabo la instrucción[9].

Antes de los microprocesadores las computadoras pequeñas se construían utilizando *racks* de placas de circuito con muchos circuitos integrados de mediana y pequeña escala, generalmente del tipo **TTL**(*Transistor- Transistor Logic*) [12]. Los microprocesadores combinaron esto en uno o unos pocos circuitos integrados a gran escala.

El incremento continuo de las capacidades de los microprocesadores desde que se empezaron a fabricar ha dejado otras formas de computadoras casi complemtamente obsoletas, con uno o más microprocesadores usados en todo desde pequeños sistemas embebidos y dispositivos portátiles hasta los enormes *mainframes* y las supercomputadoras

3.1. Surgimiento del microporcesador

Las invenciones a veces ocurren cuando las personas se enfrentan a un problema y luchan por resolverlo. En otras ocasiones, suceden cuando las personas adoptan una meta visionaria. La historia de cómo Ted Hoff y su equipo de Intel inventaron el microporcesador es un caso de ambos [8]. Hoff, que había sido un joven profesor en Stanford, se convirtió en el duodécimo empleado de Intel, donde fue asignado para trabajar en el diseño de chips. Hoff se dio cuenta de que era un desperdicio y poco elegante diseñar muchos tipos de microchips donde cada uno tuviera una función diferente, que era lo que **Intel** estaba haciendo hasta ahora. Llegaría una empresa y le pediría que construyera un microchip diseñado para realizar una tarea específica. Hoff imaginó, al igual que Noyce y otros, un enfoque alternativo: crear un chip de propósito general que pudiera ser instruido o programado para realizar una variedad de aplicaciones diferentes según se deseé. En otras palabras, una computadora de propósito general en un chip. Esta visión coincidió con un problema que se planteó a Hoff en el verano de 1969. Una empresa japonesa llamada Busicom estaba planeando una nueva y poderosa calculadora de escritorio : la **Busicom 141-PF**, y había elaborado especificaciones para doce microchips de propósito especial para diseñar 12 chips personalizados para su nueva calculadora de impresión (diferentes para manejar pantalla, cálculos, memoria, etc.) que quería que Intel construyera. Intel estuvo de acuerdo y se fijó un precio. Noyce le pidió a Hoff que supervisara el proyecto. La cantidad de chips y su complejidad fue mucho mayor de lo que esperaba, por lo que no había forma de que **Intel** pudiera construirlos al precio acordado. Hoff propuso que Intel diseñara un solo chip lógico que pudiera realizar casi todas las tareas que quería Busicom. Para empeorar las cosas, la creciente popularidad de la calculadora de bolsillo de Jack Kilby estaba obligando a Busicom a reducir aún más su precio. Noyce le dijo a Hoff que lo intentara y tuvo que convencer a Grove del proyecto antes de venderle la idea a Busicom. En septiembre de 1969, Hoff y su colega Stan Mazor habían esbozado la arquitectura de un chip lógico de uso general que podía seguir instrucciones de programación. Sería capaz de hacer el trabajo de nueve de los doce chips que había solicitado Busicom. Se diseñaron un conjunto cuatro chips conocido como MCS-4. Incluía un chip de unidad de procesamiento central (CPU), el 4004, así como un chip de memoria de solo lectura (ROM) compatible para los programas de aplicaciones personalizadas, un chip de memoria de acceso aleatorio (RAM) para procesar datos, y un chip de registro para el puerto de entrada/salida (E/S). Cuando llegó el momento de renegociar el precio, Hoff hizo una recomendación fundamental a Noyce, que ayudó a crear un gran mercado para los chips de uso general y aseguró que Intel seguiría siendo un impulsor de la era digital. A cambio de darle a Busicom un buen precio, Noyce insistió en que Intel retuviera los derechos del nuevo chip y se le permitiera licenciarlo a otras compañías para fines distintos a la fabricación de una

calculadora. Debido a que era esencialmente un procesador de computadora en un chip, el nuevo dispositivo se denominó microprocesador. En noviembre de 1971 Intel dio a conocer el producto, el Intel 4004, al público. Este tenía un precio de salida de \$ 200 [11, 9, 3, 8].



Figura 3.1: Desde la izquierda, Federico Faggin, Ted Hoff y Stanley Mazor con procesadores Intel 4004

3.1.1. Intel 4004

Este revolucionario **microprocesador**, del tamaño de la uña del dedo meñique, entregaba la misma potencia de cómputo que la primera computadora electrónica construida en 1946, que llenó una habitación entera. El primer microprocesador Intel 4004 se fabricó en obleas de dos pulgadas, en comparación con las obleas de 12 pulgadas que se utilizan habitualmente en los productos actuales. El microprocesador Intel 4004 es único en el sentido de que es uno de los diseños de microprocesador más pequeños que alguna vez entró en producción comercial. El 4004 era un microprocesador de **4-bits**, alcanzaba una máxima velocidad de reloj 740 kHz. El ancho de línea del circuito del microprocesador Intel 4004 era de 10 micrones o 10 000 nanómetros. En 1971 el Intel 4004 contenía 2300 transistores. Para el 2010, un procesador Intel Core con matriz de procesamiento de 32 nm y tecnología de silicio de puerta metálica de alta k de segunda generación contenía 560 millones de transistores. En comparación, un cabello humano promedio tiene 100,000 nanómetros de ancho [11, 6].

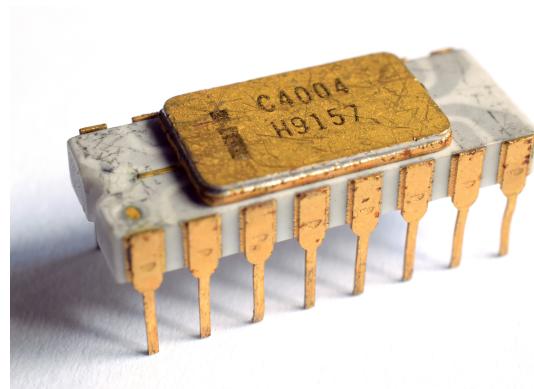


Figura 3.2: Primer microprocesador :**Intel 4004**

3.2. El arribo del primer microprocesador de 8-bits

El Intel 4004 fue seguido en 1972 por el Intel 8008, el primer microprocesador de 8 bits del mundo. Sin embargo, el 8008 no fue una extensión del diseño del 4004, sino la culminación de un proyecto de diseño separado en Intel, que surgió de un contrato con Computer Terminals Corporation, por un chip para una terminal que estaban diseñando, el Datapoint 2200: los aspectos fundamentales del diseño no provinieron de Intel sino de CTC. El 8008 salió con 3.500 transistores, tenía un bus de datos de 8 bits y un bus de direcciones de 14 bits. Este micoprocесsaddor fue la base del famoso kit de computadora "Mark-8"[7, 3].



Figura 3.3: Microprocesador **Intel 8008**

Bibliografía

- [1] Mary Bellis. *History of the Integrated Circuit (Microchip)*. Abr. de 2017. URL: <https://www.thoughtco.com/history-of-integrated-circuit-aka-microchip-1992006> (vid. pág. 13).
- [2] Mary Bellis. *Who invented the microchip?* Ene. de 2021. URL: <https://www.thoughtco.com/what-is-a-microchip-1991410> (vid. pág. 14).
- [3] Martin Campbell-Kelly y Daniel D. Garcia-Swartz. *From mainframes to smartphones*. Harvard University Press, 2015 (vid. págs. 17, 18).
- [4] *History of the transistor*. Oct. de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_transistor#Origins_of_transistor_concept (vid. pág. 5).
- [5] *Integrated Circuit*. Oct. de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit (vid. pág. 14).
- [6] *Intel 4004*. Oct. de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_4004 (vid. pág. 17).
- [7] *Intel 8008*. Sep. de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_8008 (vid. pág. 18).
- [8] Walter Isaacson. *The innovators: How a group of hackers, Geniuses, and geeks created the Digital Revolution*. Simon & Schuster, 2014 (vid. págs. 3, 5, 6, 10-13, 16, 17).
- [9] *Microprocesador*. Oct. de 2022. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Microprocesador> (vid. págs. 15, 17).
- [10] Lisa Richards. «The Vacuum Tube in computer history». En: *The History of Vacuum Tubes in Computer History* (sep. de 2022). URL: <https://www.mapcon.com/us-en/the-vacuum-tube-in-computer-history> (vid. pág. 2).
- [11] *The story of the Intel® 4004*. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-story-of-intel-4004.html> (vid. pág. 17).
- [12] *Transistor-transistor logic*. Mayo de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor%E2%80%93transistor_logic (vid. pág. 15).

- [13] *Triode*. Ago. de 2022. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Triode> (vid. pág. 2).
- [14] *Vacuum tube*. Sep. de 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_tube (vid. pág. 1).