

---

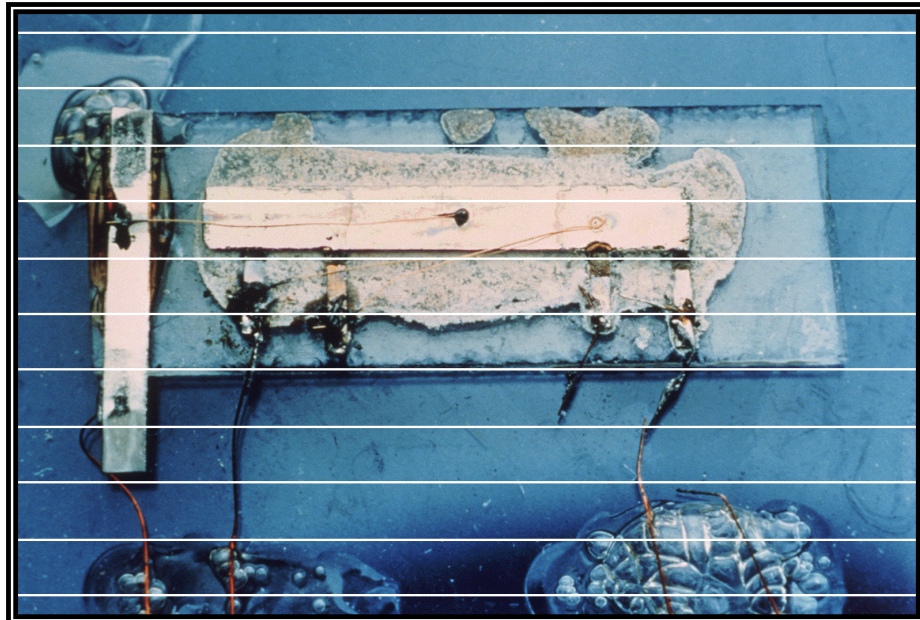
# **ELECTRONICA BASICA**

## **para**

# **INGENIEROS**

**Gustavo A. Ruiz Robredo**

---



**Primer circuito integrado. Jack Kilby. 1958.  
(Cortesía de Texas Instruments Incorporated)**



---

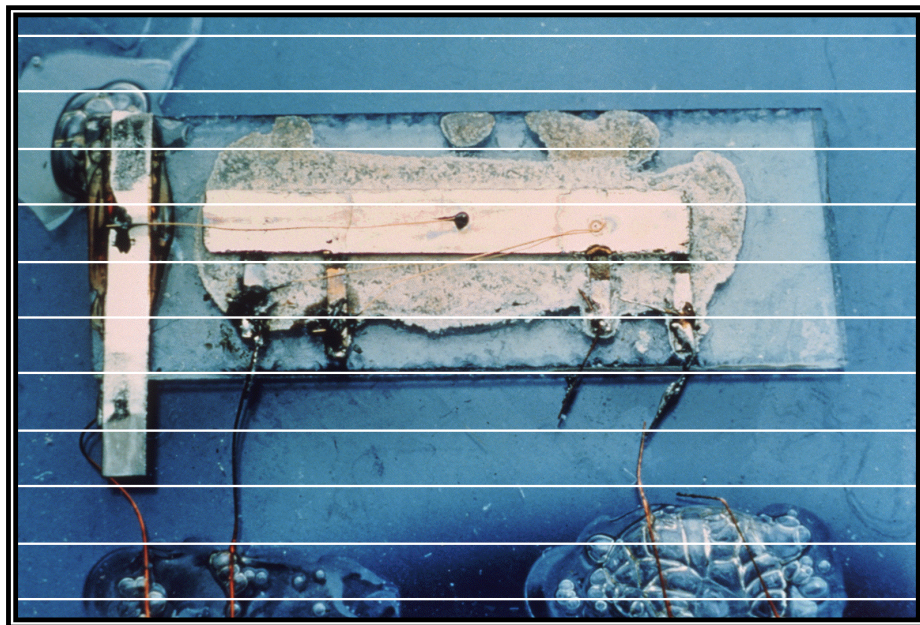
# **ELECTRONICA BASICA**

## **para**

# **INGENIEROS**

**Gustavo A. Ruiz Robredo**

---



**Primer circuito integrado. Jack Kilby. 1958.  
(Cortesía de Texas Instruments Incorporated)**

**Título:** Electrónica Básica para Ingenieros  
**Autor:** Gustavo A. Ruiz Robredo  
Dpto. Electrónica y Computadores  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Cantabria  
Avda. de Los Castros s/n  
39005-Santander  
España

**Editor:** El autor  
**1ª Edición:** Junio-2001  
© Gustavo A. Ruiz Robredo

**Impreso en:** Servicio de Reprografía  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Cantabria  
Avda. de Los Castros s/n  
39005-Santander  
España

**I.S.B.N.:** 84-607-1933-2  
**Depósito Legal:** SA-138-2001

# Indice

	<b>Prefacio</b>	<b>I</b>
	<b>Breve reseña histórica sobre la electrónica</b>	<b>III</b>
	<b>Principales fabricantes de componentes y sistemas electrónicos</b>	<b>IX</b>
<b>Tema 1</b>	<b>Características del transistor bipolar y FET: Polarización</b>	
	1.1.- Introducción	1
	1.2.- Corrientes en un transistor de unión o BJT	1
	1.3.- Modos de operación de un transistor bipolar	2
	1.4.- Concepto de punto de trabajo y recta de carga estática. <i>1.4.1- Potencia de disipación estática máxima (<math>P_{CMAX}</math>), 7.</i>	6
	1.5.- Circuitos de polarización de transistores bipolares	8
	1.6.- Transistores de efecto de campo	8
	1.7.- Características eléctricas del JFET	10
	1.8.- Transistores MOSFET	12
	1.9.- Polarización de los FET	15
	Problemas	17
<b>Tema 2</b>	<b>Amplificadores con transistores: Modelos de pequeña señal</b>	
	2.1.- Introducción	21
	2.2.- Teoría de redes bipuerta	21
	2.3.- Análisis de un circuito empleando parámetros {H}	22
	2.4.- Modelo híbrido {H} de un transistor bipolar	25
	2.5.- Análisis de un amplificador básico	30
	2.6.- Par Darlington <i>2.6.1 Modelo equivalente DC, 33; 2.6.2 Modelo de pequeña señal, 34.</i>	33
	2.7.- Modelo $\pi$ o de Giacoletto	35
	2.8.- Modelo de pequeña señal para transistores FET	36
	2.9.- Amplificadores multietapa	39
	Problemas	41
<b>Tema 3</b>	<b>Respuesta en frecuencia de amplificadores</b>	
	3.1.- Introducción	45
	3.2.- Consideraciones generales sobre frecuencia	46
	3.3.- Análisis de baja frecuencia: Diagrama de Bode	47
	3.4.- Respuesta a baja frecuencia de amplificadores básicos	49
	3.5.- Teorema de Miller	50
	3.6.- Respuesta a alta frecuencia de transistores <i>3.6.1.- Modelo de alta frecuencia de transistores bipolares, 52; 3.6.2.- E-C en frecuencias altas: efecto Miller, 53; 3.6.3.- E-C con resistencia de emisor en frecuencias altas, 54; 3.6.4.- C-C en frecuencias altas, 55; 3.6.5.- B-C en frecuencias altas, 56; 3.6.6.- Modelo de alta frecuencia de transistores FET, 56.</i>	51
	3.7.- Respuesta en frecuencia de amplificadores multietapa	58
	Problemas	59
<b>Tema 4</b>	<b>Amplificadores realimentados</b>	
	4.1.- Introducción	61
	4.2.- Teoría básica de realimentación <i>4.2.1.- Estabilidad de la amplificación, 62; 4.2.2.- Reducción de la distorsión, 63; 4.2.3.- Producto ganancia-ancho de banda, 63.</i>	61
	4.3.- Clasificación de los amplificadores	64
	4.4.- Configuraciones básicas de los amplificadores realimentados	67
	4.5.- Realimentación de tensión en serie <i>4.5.1.- Ejemplo de un amplificador realimentado V en serie, 71.</i>	68
	4.6.- Realimentación de corriente en paralelo <i>4.6.1.- Ejemplo de un amplificador realimentado I en paralelo, 75.</i>	73

4.7.-	Realimentación de tensión en paralelo <i>4.7.1.- Ejemplo de un amplificador realimentado de V en paralelo, 79.</i>	77
4.8.-	Realimentación de intensidad en serie <i>4.8.1.- Ejemplo de un amplificador realimentado de I en serie, 82.</i>	80
4.9.-	Tabla resumen de amplificadores realimentados	84
	Problemas	85
<b>Tema 5</b>	<b>Fuentes de corriente y cargas activas</b>	
5.1.-	Introducción	87
5.2.-	Espejo de corriente bipolar	87
5.3.-	Fuentes de corriente simples FET	90
5.4.-	Fuente de corriente Widlar	91
5.5.-	Otras fuentes de corriente <i>5.5.1.- Fuentes de corriente independientes de la tensión de polarización, 93.</i>	92
5.6.-	Fuente de corriente como carga activa	95
	Problemas	96
<b>Tema 6</b>	<b>Amplificador diferencial</b>	
6.1.-	Introducción	101
6.2.-	Análisis de un amplificador diferencial básico bipolar <i>6.2.1.- Análisis en continua, 101; 6.2.2.- Análisis de las configuraciones en modo común y diferencial, 102.</i>	101
6.3.-	Amplificador diferencial bipolar con fuente de corriente <i>6.3.1.- Amplificador diferencial con carga activa, 107; 6.3.2.- Ejemplo de un amplificador diferencial bipolar complejo, 108.</i>	105
6.4.-	Amplificadores diferenciales FET	109
	Problemas	112
<b>Tema 7</b>	<b>Etapas de salida</b>	
7.1.-	Introducción	117
7.2.-	Cálculos de potencia	118
7.3.-	Etapa de salida clase A	120
7.4.-	Etapa de salida clase B (Push-Pull) <i>7.4.1.- Potencia de salida y eficiencia de la etapa clase B, 122.</i>	121
7.5.-	Etapa de salida clase AB (Push-Pull)	124
7.6.-	Protección contra sobrecarga	125
7.7.-	Distorsión armónica	126
7.8.-	Amplificadores de potencia integrados	127
7.9.-	Consideraciones térmico-ambientales	127
7.10.-	Dispositivos de potencia <i>7.10.1.- Transistores bipolares de potencia, 132; 7.10.2.- Transistores MOS de potencia, 133; 7.10.3.- Transistores IGBT's, 134.</i>	132
	Problemas	136
<b>Tema 8</b>	<b>El amplificador operacional: Fundamentos y aplicaciones básicas</b>	
8.1.-	Introducción	139
8.2.-	El OA ideal	141
8.3.-	Configuraciones básicas del OA	142
8.4.-	Otras configuraciones básicas del OA	143
8.5.-	Limitaciones prácticas del OA <i>8.5.1.- Tensiones y corrientes "off-set" de entrada, 145; 8.5.2.- Parámetros de frecuencia, 146; 8.5.3.- Slew-Rate, 147; 8.5.4.- Otros parámetros, 148.</i>	145
	Problemas	149
<b>Tema 9</b>	<b>Comparadores de tensión</b>	
9.1.-	Introducción: El OA como comparador	157
9.2.-	Comparadores de tensión monolíticos <i>9.2.1.- Familia 311, 158; 9.2.2.- Familia 339, 160.</i>	158
9.3.-	Algunas aplicaciones de los comparadores de tensión <i>9.3.1.- Detector de nivel, 160; 9.3.2.- Detector de ventana, 161; 9.3.3.- Medidor gráfico de barras, 161.</i>	160

9.4.-	Disparador Schmitt	162
9.4.1.-	Disparadores Schmitt monolíticos, 164.	
	Problemas	166
<b>Tema 10</b>	<b>Generadores de señal</b>	
10.1.-	Introducción	169
10.2.-	Principios básicos de los osciladores sinusoidales	169
	<i>10.2.1.- Control no-lineal de la amplitud, 171.</i>	
10.3.-	Circuitos osciladores RC-OA	172
	<i>10.3.1.- Oscilador de puente de Wien, 172; 10.3.2.- Oscilador de cambio de fase, 173.</i>	
10.4.-	Osciladores LC,	175
10.5.-	Osciladores de cristal,	176
	<i>10.5.1.- Oscilador de cristal resonante en serie, 178; 10.5.2.- Oscilador de cristal resonante en paralelo, 178.</i>	
10.6.-	Consideraciones prácticas de los osciladores sinusoidales	178
10.7.-	Multivibrador astable	179
10.8.-	Generador de una onda triangular,	180
10.9.-	Temporizadores integrados,	181
10.10.-	Generadores de señal monolíticos,	183
	Problemas	186
<b>Tema 11</b>	<b>Reguladores de tensión</b>	
11.1.-	Introducción	189
11.2.-	Reguladores de tensión con componentes discretos	190
	<i>11.2.1.- Referencias de tensión, 190; 11.2.2.- Regulación de tensión en serie, 192; 11.2.3.- Circuitos de protección, 193.</i>	
11.3.-	Reguladores de tensión monolíticos	195
	<i>11.3.1.- Reguladores de tensión fija tri-terminal, 195; 11.3.2.- Reguladores de tensión ajustable tri-terminal, 196; 11.3.3.- Especificaciones de los reguladores de tensión, 196.</i>	
11.4.-	Reguladores de conmutación y convertidores DC-DC	197
	Problemas	200
<b>Tema 12</b>	<b>Introducción a los tiristores</b>	
12.1.-	Introducción	203
12.2.-	Diodo de cuatro capas	204
	<i>12.2.1.- SIDAC, 205; 12.2.2.- SBS, 207.</i>	
12.3.-	Rectificador gobernado de silicio o SCR	207
12.4.-	Activación o disparo y bloqueo de los tiristores	209
	<i>12.4.1.- Activación o disparo de un tiristor, 209; 12.4.2.- Bloqueo de un tiristor, 210.</i>	
12.5.-	Regulación en potencia de un SCR	211
12.6.-	Variantes del SCR	212
	<i>12.6.1.- Foto-SCR o LASCR, 212; 12.6.2.- GTO, 213; 12.6.3.- PUT, 213; 12.6.4.- TRIAC, 214; 12.6.5.- TRIAC con acoplado óptico (opto coupler TRIAC), 214.</i>	
12.7.-	El transistor UJT o de uni-unión	215
	<i>12.7.1.- Funcionamiento de un UJT, 215; 12.7.2.- Oscilador de relajación con UJT, 217.</i>	
12.8.-	Algunas aplicaciones típicas de los tiristores	218
	<i>12.8.1.- Regulación de luz, 218; 12.8.2.- Control digital de potencia, 219; 12.8.3.- Control de velocidad de motores, 220; 12.8.4.- Cargador de baterías basado en un UJT, 221; 12.8.5.- Control de calor con sensor de temperatura, 222.</i>	
	Problemas	223
	<b>Bibliografía</b>	227
	<b>Apéndice</b>	
	• Transistor de pequeña señal NPN: <b>BC546/548</b>	A.1
	• Transistor de pequeña señal NPN: <b>2N3903/04</b>	A.6
	• Transistor de pequeña señal PNP: <b>2N3905/06</b>	A.12

• JFET de canal N: <b>2N5457</b>	A.17
• JFET de canal P: <b>2N5460/62</b>	A.20
• Amplificador operacional: <b>OA741</b>	A.23
• Regulador de tensión ajustable positivo: <b>LM117/317</b>	A.29
• Regulador de tensión ajustable negativo: <b>LM137/337</b>	A.33
• SIDAC: <b>MKP3V129/240</b>	A.36
• SBS: <b>MBS4991/2/3</b>	A.38
• SCR: <b>2N5060</b>	A.40
• PUT: <b>2N6027/28</b>	A.42
• UJT: <b>2N2646</b>	A.44
• TRIAC: <b>MAC218A</b>	A.45



## Prefacio

El objetivo de este libro es proporcionar una herramienta de ayuda didáctica que permita adquirir los conocimientos básicos de electrónica necesarios en los estudios de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. El libro ha sido dimensionado para que su contenido pueda ser impartido dentro de una asignatura cuatrimestral. No pretende sustituir a otros libros de consulta ya muy arraigados en el campo de la electrónica, sino resumir los conocimientos de los dispositivos semiconductores e introducir algunos de los circuitos monolíticos más significativos que existen en el mercado. El alumno adquirirá un núcleo de conocimientos básicos con una fuerte componente práctica que constituirán una base idónea para abordar una futura especialización en cualquiera de los campos de la electrónica.

Se parte de la idea de que el estudiante posee los conocimientos previos de las herramientas de análisis de circuitos lineales en las asignaturas de Electricidad y Magnetismo y Teoría de Circuitos, y está familiarizado con los modelos y comportamiento circuital de los principales dispositivos electrónicos más importantes en la asignatura de Componentes y Dispositivos Electrónicos y Fotónicos. De esta manera el alumno pierde la idea del dispositivo como elemento aislado y lo estudia como elemento constitutivo de un circuito más complejo y en muchos casos de un sistema integrado.

Este libro ha sido dotado de una estructura y organización adecuada que permita adquirir los conocimientos de forma lógica y ordenada. Para ello, ha sido dividido en 12 temas de acuerdo a su contenido. El tema I introduce las características eléctricas de los transistores bipolares y FET y se describen los principales circuitos de polarización. El tema 2 estudia el comportamiento de pequeña señal y frecuencias medias de los amplificadores basados en transistores así como las técnicas basadas en métodos tabulares que facilitan su resolución. El tema 3 se centra en el análisis de respuesta en frecuencia de amplificadores y modelos de alta frecuencia de los transistores que permiten determinar su ancho de banda. El tema 4 presenta los principios y ventajas de la realimentación y se describe un método sistemático que permite el análisis de las diferentes configuraciones de los amplificadores realimentados. El tema 5 introduce las fuentes de corriente como uno de los circuitos de polarización más importantes de los circuitos integrados y su utilización como cargas activas. El tema 6 aborda el amplificación diferencial y analiza amplificadores operacionales simples basados en este circuito. El tema 7 estudia las etapas de potencia que constituyen las etapas de salida de cualquier amplificador y se introducen las características de los dispositivos de potencia para aplicaciones analógicas más típicos que se pueden encontrar en el mercado. El tema 8 presenta el amplificador operacional y sus características que incluye un abundante conjunto de problemas que permite estudiar su principales aplicaciones lineales. El tema 9 estudia el amplificador operacional como comparador e introduce las familias de comparadores monolíticos más conocidas y aplicaciones prácticas de estos circuitos. El tema 10 presenta los principales osciladores sinusoidales y de relajación, temporizadores y circuitos monolíticos utilizados en la generación de señales. El tema 11 introduce los circuitos utilizados en la regulación de tensión lineal con especial énfasis en los reguladores de tensión monolíticos y sus principales aplicaciones. El tema 12 realiza una introducción a los tiristores y se analizan sus aplicaciones más típicas en el control de potencia.

Al final de cada tema se incluye un conjunto de problemas significativos que ayudan a la comprensión de los aspectos teóricos procurando utilizar valores prácticos de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por el fabricante. Por ello, el libro incluye además un apéndice con las características de los principales dispositivos electrónicos que deben ser utilizadas en la resolución de algunos problemas con objeto de adquirir una idea de

utilidad práctica de los valores de los parámetros de los dispositivos.

Por último, no puedo dejar de agradecer a Jesús García su desinteresada ayuda en la revisión de este libro y cuyas sugerencias sin duda han mejorado el contenido final del mismo.

*La finalidad del libro es didáctica y su edición se ha realizado sin ánimo de lucro. La versión electrónica es de acceso público en la siguiente dirección electrónica: <http://grupos.unican.es/dyvcil/ruizrg>*



Gustavo A. Ruiz Robredo  
Depto. de Electrónica y Computadores  
Facultad de Ciencias  
Avda. de Los Castros s/n  
39005-Santander  
España

email: [ruizrg@unican.es](mailto:ruizrg@unican.es)

## Breve reseña histórica sobre la electrónica

Las primeras observaciones relacionados con los fenómenos eléctricos son del tiempo de la Grecia Antigua (Tales de Mileto, Demócrito, etc...). Sin embargo, no es hasta el siglo XIX cuando se desarrollan algunas teorías que explican satisfactoriamente parte de dichos fenómenos. En 1893, Maxwell reunió las investigaciones en el campo de la electricidad y magnetismo de grandes científicos tales como Coulomb, Ampere, Ohm, Gauss, Faraday ..., y publicó las reglas matemáticas que rigen las interacciones electromagnéticas. Aunque Maxwell no reconoce la naturaleza corpuscular de la corriente eléctrica, sus ecuaciones son aplicables incluso después del establecimiento de la naturaleza discreta de la carga. La predicción de la existencia de ondas electromagnéticas y su posibilidad de propagación en el espacio constituye muy probablemente la base del posterior desarrollo de las comunicaciones, y en definitiva, de la Electrónica.

La Electrónica probablemente no se inicia hasta que Lorentz postuló en 1895 la existencia de cargas discretas denominadas electrones. Thompson halló experimentalmente su existencia dos años más tarde y Millikan midió con precisión la carga del electrón ya entrado el siglo XX. Hasta principios de este siglo, la Electrónica no empezó a tomar cariz tecnológico. En 1904, Fleming inventó el diodo que denominó válvula el cual consistía en un filamento caliente, emisor de electrones, situado en el vacío a una corta distancia de una placa. En función de la tensión positiva o negativa de la placa, se producía paso de corriente en una dirección. Esta válvula se empleó como detector de señales inalámbricas y vino a sustituir a los detectores de galena utilizados hasta ese momento, que eran de difícil construcción y precisaban de continuos ajustes manuales.

Quizá el acontecimiento más importante en la historia primitiva de la electrónica tuvo lugar en 1906 cuando De Forest interpuso un tercer electrodo (rejilla) en una válvula de Fleming creando el tubo tríodo denominado audión. En este dispositivo, la aplicación de una pequeña tensión a la rejilla produce una alta variación de la tensión de la placa; por consiguiente, el audión fue el primer amplificador de la historia. No obstante, se necesitaron varios años para avanzar en el problema de emisión termoiónica con objeto de conseguir un elemento electrónico seguro.

El desarrollo de la electrónica en ésta época está ligado al desarrollo de la radio. Basados en tubos de vacío se construyen diferentes tipos de circuitos con aplicación en las comunicaciones por radio. Con diodos y tríodos fueron diseñados los amplificadores en cascada, amplificadores regenerativos, osciladores, el receptor heterodino, entre otros. Este desarrollo de la electrónica permitió fundar la primera emisora de radiodifusión, KDKA, construida en 1920 por la Westinghouse Electric Corporation; en 1924, ya había 500 estaciones de radio en Estados Unidos. La evolución del tríodo dio lugar a técnicas de calentamiento indirecto del cátodo y a la introducción de los tetrodos, pentodos y las ampollas de vidrio en miniatura. En 1938 se encuentra disponible del primer receptor en FM después que Armstrong en 1933 desarrolló la modulación en frecuencia. La televisión en blanco y negro surgió en 1930 y la de color alrededor de la mitad de este siglo.

La verdadera revolución tecnológica de la Electrónica surge con la invención de los dispositivos basados en semiconductores, y más en concreto, con la invención del transistor. Los primeros trabajos sobre semiconductores fueron comenzados por Hall en 1879 sobre el efecto que lleva su nombre. Los primeros rectificadores de unión metal-semiconductor se estudian entre 1920 y 1930, y es en 1938 cuando Shottky y Mott realizan separadamente un estudio sistemático sobre las propiedades de estos dispositivos, proponiendo la primera teoría del espacio de carga. En esta época, se realizan muchos estudios sobre semiconductores y se perfeccionan las técnicas de

crecimiento de cristales. En 1943, se obtiene la primera unión P-N sobre cristal único de silicio.

En 1947, se presionaron dos sondas de hilo de oro próximas entre sí sobre una superficie de un cristal de germanio. Brattain y Bardeen se dieron cuenta que era un dispositivo amplificador naciendo así el primer amplificador de estado sólido (en forma de transistor de contacto). Sin embargo, era un transistor deficiente, de poca amplitud de banda y mucho ruido, donde además los parámetros diferían ampliamente de uno a otro dispositivo. Shockley propuso el transistor de unión para mejorar las características del transistor de punta de contacto, y completó su teoría de funcionamiento. El nuevo dispositivo tenía portadores de ambas polaridades operando simultáneamente: eran dispositivos bipolares. En 1956, Bardeen, Brattain y Shockley recibieron el premio Nobel de física por sus investigaciones.

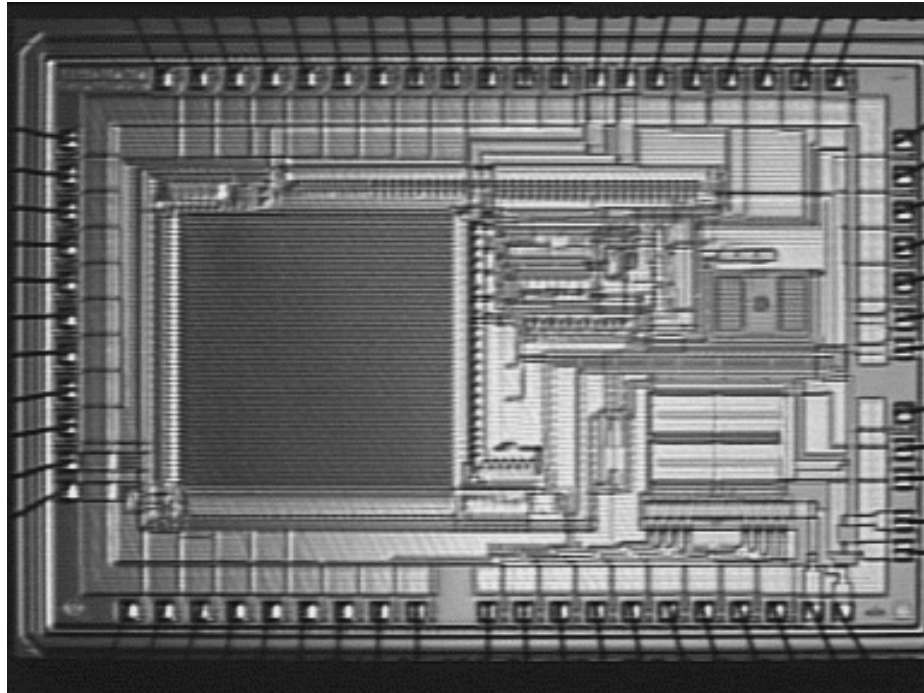
El transistor no podía ser eficiente hasta que no se dispusiese de cristales simples extraordinariamente puros. Bell Laboratories lograron formar cristales simples de germanio y silicio con impurezas muy por debajo de una parte en mil millones, y a partir de aquí, fue posible controlar el proceso de dopado de los semiconductores. Los primeros transistores de crecimiento fueron construidos en 1950, y un año después, ya se fabricaban comercialmente por RCA, Westinghouse, General Electric y Western Electric. En esta época, los componentes de estado sólido desplazaron virtualmente a las válvulas en casi todas las aplicaciones, tanto militares como comerciales.

La idea inicial de construir un circuito completo de estado sólido en un bloque semiconductor fue propuesta por Dummer en 1952. No obstante, en 1958 Kilby, poco después de incorporarse a la Texas Instrument, concibió la idea de un monolítico, es decir, construir un circuito completo en germanio o silicio. El primer circuito integrado fue un oscilador por rotación de fase que se construyó empleando como material base el germanio, y sobre él, se formaban resistencias, condensadores y transistores, utilizando cables de oro para unir estos componentes. Simultáneamente, Noyce, de Fairchild Semiconductor, tuvo también la idea de un circuito monolítico en el que aisló mediante diodos p-n los distintos dispositivos, desarrolló la fabricación de resistencias e interconectó los diferentes dispositivos mediante metal vaporizado. No obstante, el primer transistor de difusión moderno fue creado por Hoerni de Fairchild en 1958 empleando técnicas fotolitográficas y utilizando los procesos de difusión antes desarrollados por Noyce y Moore. La clave de la fabricación de circuitos integrados reside en el transistor planar y la posibilidad de fabricación en masa. En 1961, Fairchild y Texas Instrument introdujeron comercialmente los circuitos integrados.

Otro dispositivo que intervino en el avance espectacular de la Electrónica, aunque su desarrollo fue posterior al del transistor debido a problemas tecnológicos, es el transistor de efecto de campo. Antes de la invención de este transistor, numerosos investigadores ya habían estudiado la variación de conductividad de un sólido debido a la aplicación de un campo eléctrico. El transistor de unión de efecto de campo fue propuesto por Shockley en 1951, aunque problemas tecnológicos para lograr una superficie estable retrasaron su realización física. Estos problemas fueron solucionados al desarrollarse el proceso planar y la pasivación de la superficie con óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). En 1960, Kahng y Atalla, de Bell Laboratories, anunciaron el primer transistor de efecto de campo de puerta aislada. En 1962, Hofstein y Heiman emplearon la nueva tecnología MOS para fabricar un circuito integrado con más de mil elementos activos. El nuevo dispositivo MOS presentaba diversas ventajas sobre transistores bipolares y sentaba la base para el desarrollo de la alta escala de integración.

Las técnicas de integración de circuitos se beneficiaron de los avances tecnológicos. Los procesos de implantación iónica y litografía permitieron realizar líneas de conexión en la oblea de silicio con anchuras del orden de micras. Además, el avance en las tecnologías de integración introdujeron los circuitos PMOS y CMOS,

con unas características de tiempos de propagación y potencia consumida cada vez mejores. La eficiencia, velocidad y producción han mejorado continuamente en los transistores de unión y efecto de campo, a la vez que el tamaño y el costo se ha reducido considerablemente. En poco tiempo, se pasó de construir elementos discretos a sistemas integrados con más de un millón de transistores en una sola pastilla. La evolución ha sido espectacular: así, en 1951 se fabricaron los primeros transistores discretos, en 1960 se construyeron los primeros circuitos monolíticos con 100 componentes, en 1966 estos circuitos alcanzaron 1000 componentes, en 1969 se llegó a 10000, y actualmente se están fabricando circuitos integrados con varios millones de transistores.



**Microfotografía de un circuito integrado**

En un principio, los circuitos desarrollados para aplicaciones de comunicación utilizando tubos de vacío, fueron construidos con transistores discretos. Sin embargo, los investigadores de los años 60 se dieron cuenta que estos mismos circuitos no eran transplantables directamente a circuitos integrados y que era preciso diseñar estructuras nuevas. Esto potenció el desarrollo de nuevas estructuras tales como las fuentes de polarización desarrolladas por Widlar y a la introducción del primer amplificador operacional comercial ( $\mu A702$ ). En 1968, los laboratorios de Fairchild presentan el popular amplificador operacional compensado internamente  $\mu A741$ . Otros circuitos analógicos de esta época son los comparadores, reguladores de tensión, los PLL monolíticos, convertidores analógica-digital, etc...

La revolución microelectrónica introdujo una nueva industria: la computación. Esta industria surgió por la gran expansión que se produce en el campo de la electrónica digital. En 1960, Noyce y Norman introdujeron la primera familia lógica semiconductor, lógica resistencia-transistor (RTL), que sirvió de base para la construcción de los primeros circuitos integrados digitales. Seguidamente, en 1961, apareció la familia de acoplo directo (DCTL), y un año más tarde la lógica diodo transistor (DTL). En 1964, Texas Instrument presenta la lógica transistor-transistor (TTL), y la serie de circuitos integrados digitales 54/74 que han permanecido activos hasta hace poco. Motorola, en 1962 introduce la lógica de emisores acoplados (ECL) de alta velocidad y en 1968 con ésta misma lógica logra tiempos de retraso del orden del nanosegundo. En contrapartida, en 1970 se lanza la serie TTL en tecnología Shottky y en 1975 aparece la serie TTL Shottky de baja potencia con tiempos de retraso muy

próximos a la ECL. En 1972, apareció la familia lógica de inyección integrada (IIL) cuya principal característica es su alta densidad de empaquetamiento.

La electrónica digital tiene su máxima expansión con las familias lógicas basadas en el transistor MOS, debido a que su proceso de fabricación es más sencillo, permite mayor escala de integración y los consumos de potencia son más reducidos. Estas características ha dado lugar que la tecnología MOS desplace a la bipolar en la mayor parte de las aplicaciones. El proceso de miniaturización en tecnología MOS se encuentra por debajo de 1 micra aproximándose rápidamente a su límite físico. Esto ha permitido que se puedan realizar circuitos integrados que incorporan millones de dispositivos.

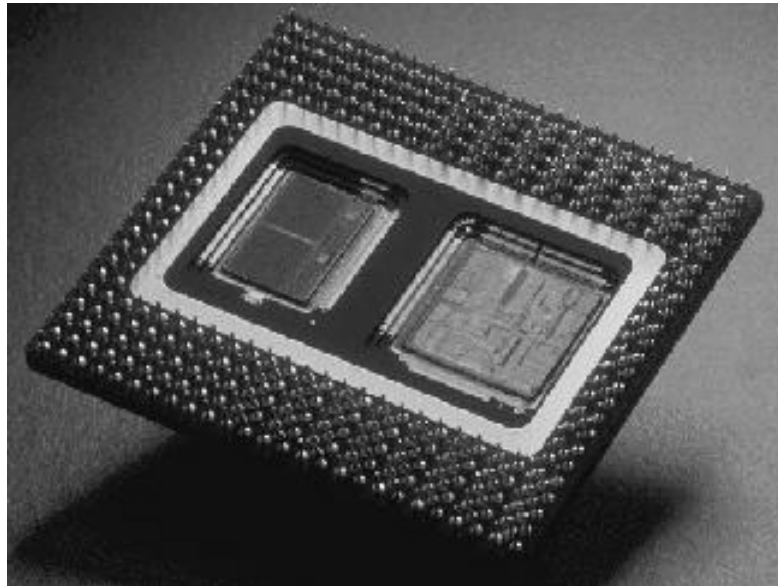
En la década de los ochenta se introducen los circuitos digitales BiCMOS que ofrecen conjuntamente el bajo consumo de la tecnología CMOS y la velocidad de las familias bipolares a costa de una mayor complejidad y coste del proceso de fabricación. También se desarrollan circuitos de alta velocidad basados en el GaAs con retrasos del orden de decenas de picosegundos. Existen muchas expectativas en el desarrollo de esta tecnología aunque problemas de fabricación no permiten actualmente alcanzar la escala de integración que se logra con el silicio.

Paralelamente, se desarrollan teorías matemáticas para análisis y diseño de sistemas electrónicos. Particularmente, el espectacular desarrollo de las computadoras digitales se debe en gran parte a los avances conseguidos en la Teoría de Conmutación, que establece modelos matemáticos para los circuitos digitales, transformando los problemas de diseño y verificación en técnicas matemáticas muy algoritmizadas e independientes en gran medida de los dispositivos físicos. El desarrollo de la Teoría de Conmutación puede decirse que empieza con los trabajos de Shannon en 1938, en los que aplica el álgebra de Boole al análisis de circuitos relevadores. El álgebra de Boole fue desarrollado en 1854 como una concreción matemática de las leyes de la lógica de predicados estudiada por los filósofos de la época. La Teoría de Conmutación se extiende principalmente a circuitos combinatoriales hasta que, a mediados de la década de los cincuenta, los trabajos de Huffman y de Moore desarrollan la teoría de los circuitos secuenciales. El carácter algorítmico de las técnicas de diseño las hace especialmente aptas para su resolución mediante computador, con lo que éste se convierte así en herramienta básica para el desarrollo de sistemas digitales en general y de nuevos computadores más potentes y sofisticados en particular.

El más significativo avance de la electrónica digital es la introducción en 1971 del microprocesador, debido a la necesidad de producir un circuito estándar de propósito general y gran flexibilidad que sirviera para las calculadoras y fuera apto a otras muchas aplicaciones. En 1971, Intel introdujo en el mercado el microprocesador de cuatro bits conocido como el modelo 4004. Era una CPU completa monolítica con 45 instrucciones en tecnología PMOS con 2300 transistores. El éxito del procesador fue inmediato y su amplia difusión supusieron el comienzo de una auténtica revolución industrial. Dos años posteriores a la presentación del primer procesador, Intel desarrolla el microprocesador de 8 bits 8008 con una velocidad de 50000 instrucciones por segundo. Este continuo desarrollo de los microprocesadores ha permitido en la actualidad construir procesadores de 32 bits con altas velocidades de procesado. La evolución de los microprocesadores es actualmente muy rápida, con creciente implantación en los procesos de automatización industrial, robótica, instrumentación inteligente, y en los elementos de sociedad de consumo, automóviles, electrodomésticos, etc. La introducción de microprocesadores más potentes ha marcado un rápido desarrollo de los microcomputadores y ordenadores personales, y su implantación es cada vez más importante en el ámbito de automatización de oficinas, comunicaciones y redes informáticas.

## Principales fabricantes de componentes y sistemas electrónicos

El propio proceso de automatización que ha permitido desarrollar el microprocesador, alcanza a la propia tecnología de los circuitos integrados. A partir de la década de los 80, las propias industrias dedicadas a la fabricación de circuitos integrados ofrecen la posibilidad de que los clientes diseñen sus prototipos. Es decir, con un soporte CAD adecuado, los diseñadores pueden acceder al diseño y verificación de sus propios circuitos, tarea reservada hasta entonces a unos pocos especialistas. Esto ha permitido que el diseño de circuitos integrados haya sido introducido en la Universidad surgiendo asignaturas y especialidades dedicadas exclusivamente a este tema. Sin embargo, la enorme complejidad de los circuitos integrados requiere cada vez herramientas de simulación y test más sofisticadas en todos los niveles de diseño. Han surgido técnicas de diseño estructurado (diseño para testabilidad) que imponen restricciones en la libertad del diseño como la única manera de simplificar la complejidad de los circuitos, y que constituyen una de las líneas de investigación donde más esfuerzo se está realizando tanto a nivel universitario como a nivel industrial.



**Pentium P6 (chip derecha) y memoria caché (chip izquierda)**





- Acopian Power Supplies**  
<http://www.acopian.com>
- Actel Corporation**  
<http://www.actel.com>
- Advanced Micro Devices (AMD)**  
<http://www.amd.com>
- Advanced Power Technology**  
<http://www.advancedpower.com>
- Advanced RISC Machines Inc.**  
<http://www.arm.com>
- AKM Semiconductor Inc.**  
<http://www.akm.com>
- Allegro**  
<http://www.allegromicro.com>
- Altera**  
<http://www.altera.com/>
- Analog Devices**  
<http://www.analog.com>
- Atmel**  
<http://www.atmel.com>
- Burr-Brown**  
<http://www.burr-brown.com>
- California Micro Devices**  
<http://www.camd.com>
- Central Semiconductor Cop.**  
<http://www.centralsemi.com>
- CP Clare Corp.**  
<http://www.cpclare.com>
- Crydom**  
<http://www.crydom.com>
- Cypress Semiconductor**  
<http://www.cypress.com>
- Dallas Semiconductor**  
<http://www.dalsemi.com>
- Datel**  
<http://www.datel.com>
- Elantec**  
<http://www.elantec.com>
- Ericsson**  
<http://www.ericsson.com>
- Exar**  
<http://www.exar.com>
- Fairchild Semiconductor**  
<http://www.fairchildsemi.com>
- General Semiconductor**  
<http://www.gensemi.com>
- Harris Semiconductor**  
<http://www.semi.harris.com>
- Hewlett Packard**  
<http://www.hp.com>
- Hitachi**  
<http://www.halsp.hitachi.com>
- IDT**  
<http://www.idt.com>
- Infineon Technologies Corp.**  
<http://www.infineon.com>
- Intel**  
<http://www.intel.com>
- International Rectifier**  
<http://www.irf.com>
- ITT semiconductors**  
<http://www.intermetall.de>
- Lattice**  
<http://www.latticesemi.com>
- Linear Technology**  
<http://www.linear-tech.com>
- Linfinity**  
<http://www.linfinity.com>
- Lucent Technologies**  
<http://www.lucent.com>
- Maxim**  
<http://www.maxim-ic.com>
- Micrel Semiconductor**  
<http://www.micrel.com>
- Microsemi**  
<http://www.microsemi.com>
- Mitsubishi Semiconductors**  
<http://www.mitsubishichips.com>
- Mitel Semiconductor**  
<http://www.semicon.mitel.com>
- Miteq**  
<http://www.miteq.com>
- Motorola**  
<http://www.mot-sps.com>
- National Semiconductor**  
<http://www.nsc.com>
- NEC**  
<http://www.nec.com>
- Oki semiconductors**  
<http://www.okisemi.com>
- Ohmite**  
<http://www.ohmite.com>
- Philips semiconductors**  
<http://www.semiconductors.philips.com>
- Power Innovations**  
<http://www.powinv.com>
- Quality Semiconductor, Inc.**  
<http://www.qualitysemi.com>
- Recton**  
<http://www.rectron.com>
- RFM**  
<http://www.rfm.com>
- RFMD**  
<http://www.rfmd.com>
- RICOH**  
<http://www.ricoh.co.jp/LSI/english>
- Lessey Semiconductors Inc.**  
<http://www.gpsemi.com>
- Samsung Semiconductor**  
<http://www.samsung.com>
- Sanrex**  
<http://www.sanrex.com>
- SEI**  
<http://www.sei-europe.com>
- Seiko**  
<http://www.seiko.com>
- Semikron**  
<http://www.semikron.com>
- Semitron**  
<http://www.semitron.com>
- SGS-Thomson Microelectronics**  
<http://www.st.com>
- Sharp**  
<http://www.sharp.co.jp>
- Siemens semiconductors**  
<http://www.siemens.de>

**Sony**

<http://www.sony.com>

**Sony Electronics**

<http://www.sony.co.jp>

**Ssi1**

<http://www.ssi1.com>

**Standard Microsystems (SMC)**

<http://www.smc.com>

**Supertex**

<http://www.supertex.com>

**Telcom**

<http://www.telcom-semi.com>

**Temic Seiconductors**

<http://www.temic-semi.com>

**Texas Instruments**

<http://www.ti.com>

**Toshiba Semiconductor**

<http://www.toshiba.com/>

**Unitrode**

<http://www.unitrode.com>

**Vishay**

<http://www.vishay.com>

**Westcode**

<http://www.westcode.com>

**Xicor, Inc.**

<http://www.xicor.com>

**Xilinx, Inc**

<http://www.xilinx.com>

**Zilog**

<http://www.zilog.com>