

67
2oj-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ECONOMIA

**DESARROLLO TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL DE
LA MICROELECTRONICA Y SU IMPACTO EN
LA AUTOMATIZACION DE LA FABRICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIADA EN ECONOMIA

P R E S E N T A

LETICIA PALMA CARDENAS



Ciudad Universitaria, agosto de 1992



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N T R O D U C C I O N

En la mayoría de las actividades tanto productivas, como recreativas, es cada vez más común encontrarnos, en nuestros días, con equipo electrónico muy sofisticado, por ejemplo: computadoras, calculadoras, robots industriales, videograbadoras, televisores digitales, etc. Este conjunto de aparatos que han cambiado radicalmente la vida industrial y cotidiana dependen para su funcionamiento de los dispositivos llamados circuitos integrados.

Estos dispositivos son el resultado del desarrollo de una rama de la industria electrónica surgida en la década de los cincuenta y que se basa en la miniaturización de los partes constitutivas del equipo electrónico, la industria microelectrónica. Esta rama industrial, a partir del agotamiento del ciclo expansivo del capitalismo a finales de los sesenta, comienza a tener un acelerado crecimiento, el cual se prolonga hasta esta década, provocado por su condición estratégica dentro de la reestructuración global de la economía, en tanto que constituye la principal herramienta para la obtención de ganancias extraordinarias.

Esta reestructuración de la economía está determinada por una modificación profunda de los procesos productivos en los cuales se sustenta. Este cambio productivo presenta como su principal tendencia el perfeccionamiento de la maquinaria automática mediante la incorporación de equipo electrónico (particularmente computadoras), lo cual constituye una

transformación radical del patrón tecnológico que había prevalecido desde la consolidación de la gran industria, basado en el control mecánico del proceso de trabajo.

Por lo tanto, la función de los sistemas automáticos electrónicos en esta reestructuración es central. Ahora bien, las capacidades de estos sistemas están determinadas por el desarrollo de sus componentes, dentro de los cuales los circuitos integrados son los básicos.

Por esta razón consideramos que para comprender la reestructuración productiva en curso, es necesaria la comprensión del desarrollo de estos circuitos tanto desde la perspectiva de la estructura de su industria, como desde la de su avance tecnológico concreto, ya que estos dos aspectos determinan las características de los circuitos integrados.

Sin embargo, es necesario dejar claro los límites de este trabajo. Aún cuando constantemente se destaque el lugar crucial de la microelectrónica dentro del actual proceso de automatización, no se abordarán ni directa ni ampliamente sus efectos concretos sobre el proceso de trabajo. El área de estudio queda entonces delimitada a estudiar el desarrollo técnico y económico de la microelectrónica desde sus orígenes hasta nuestros días, y al análisis de sus principales aplicaciones.

Esta investigación está dividida en dos capítulos. El primero se encarga de estudiar el impacto de la electrónica en la automatización industrial, es decir, el papel que juega el equipo electrónico al ser incorporado en los sistemas

automáticos. En primer lugar, se describirá el funcionamiento de la maquinaria automática hasta antes de la incorporación de la electrónica para poder apreciar el paso tecnológico que significa la introducción del equipo electrónico en la gran industria. Después, se analiza el desarrollo histórico y la estructura de la computadora, en tanto que ésta representa el equipo electrónico fundamental de este proceso. La observación de ésta evolución tiene como objetivo principal dejar claro el peso del desarrollo de los circuitos integrados y de su industria en el progreso del equipo electrónico. Por último se describen los sistemas automáticos de mayor influencia en la reestructuración del proceso de trabajo en la industria, así como su expansión y sus potencialidades.

El siguiente capítulo aborda el estudio de la industria microelectrónica, en términos de su estructura y la de su mercado, así como también del desarrollo tecnológico específico de los circuitos integrados; con el objetivo de conocer a quienes poseen esta tecnología estratégica y su forma particular de competencia, los cuales son en su conjunto los determinantes básicos del desarrollo de estos dispositivos. En primer lugar, se describen los antecedentes tecnológicos de esta industria. Para contextualizar la estructura actual de la microelectrónica se describe su evolución desde sus orígenes a finales de los cincuenta, pasando por dos etapas, fuertemente determinadas por los requerimientos tecnológicos de los circuitos integrados, y la

demanda por parte de la industria electrónica en expansión debido a la necesidad del resto de las ramas de la economía por modernizar sus procesos. Por último se describe esta estructura, a partir del estudio de las empresas más importantes, centrándonos en Estados Unidos y Japón, en tanto que estos dos países dominan la industria.

1. LA FUNCION DEL EQUIPO ELECTRONICO EN LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE TRABAJO.

La intensificación de la investigación científica y la aplicación cada vez mayor en la fabricación industrial de disciplinas como la mecánica, la física, la neumática (manejo de las diferencias de presión en fluidos para controlar procesos químicos) y la electricidad (como nueva fuente de energía) desde finales del siglo pasado y después, sobre todo de la electrónica, que se ocupa del manejo de la electricidad a través de ciertos dispositivos (circuitos electrónicos compuestos de tubos de vacío o transistores, etc) con el fin de utilizarla en métodos de comunicación (el telégrafo, el teléfono, la radio, la televisión, el radar) y de procesamiento de datos (la computadora), han creado las posibilidades de automatizar una gran variedad de procesos industriales.

El desarrollo de la tecnología electrónica, lo cual significa la mejora en las técnicas y medios para diseñar y fabricar tanto equipo o sistemas electrónicos (p.e. la radio) como sus componentes (p.e. transistores) -incluyendo el uso de nuevos materiales como los semiconductores- a partir de la segunda mitad de este siglo, dio las bases para que las computadoras se difundieran, resultando accesible a una gran variedad de aplicaciones. Utilizando las posibilidades ofrecidas por la electrónica, aplicada en varios dispositivos (particularmente los circuitos integrados), se incrementó la potencia de las computadoras -multiplicación de capacidades

de almacenamiento y tratamiento de información-, se redujo su tamaño y se abarató su costo. En un primer momento, la computadora está presente, por sus grandes dimensiones y altos costos de producción, como instrumento de cálculo en los laboratorios, procesando información en instituciones gubernamentales o coordinando equipo militar; al conjugar la tecnología electrónica con la de las computadoras se crearon máquinas pequeñas muy potentes, así como dispositivos de reducido tamaño que eran capaces de funcionar como las primeras computadoras (los llamados microcomputadores). Estos avances permitieron la incorporación de la tecnología de computación o informática¹ en la fábrica, las telecomunicaciones y en los bienes de consumo.

La automatización de las operaciones de producción plantea un triple problema por resolver: motorización, transmisión y operación, hasta antes de la década de los sesenta se solucionaba con los recursos ofrecidos por disciplinas tales como la mecánica y la electricidad entre otras, aplicadas en ciertos dispositivos. La incorporación de la electrónica e informática en la producción proporcionó nuevas bases y medios utilizados en los mecanismos de transmisión, significando un gran avance en el proceso de automatización industrial². La computadora digital, cuyo lenguaje es binario, es decir, que sólo entiende 0 y 1, o sea alto y bajo voltaje (señales de tipo eléctrico), además de

¹ Palabra francesa que se forma a partir de la unión de dos palabras: información y automática.

² Benjamin Coriat, "La Robótica", Madrid, Revolución, 1983, pp. 17.

tener la capacidad de realizar grandes y complejos cálculos numéricos puede controlar a la maquinaria al llevar a cabo una serie de operaciones lógicas (reglas sobre la manera correcta de funcionar de la máquina) a gran velocidad. El aumento de la cantidad de información que puede guardar y procesar la computadora, lo cual depende directamente de las mejoras en los componentes electrónicos, proporciona un control más eficaz en los sistemas automáticos presentes en la fábrica, antes coordinados mecánicamente.

Estos progresos tecnológicos proporcionan nuevas formas de automatización, ampliando los campos de aplicación. Es así, que ya se pueden encontrar sistemas automáticos cuyo control se obtiene a través de equipo electrónico, tanto en las industrias de proceso continuo -tipo petroquímica, fabricación del vidrio, del caucho, más tarde siderurgia, cemento, energía nuclear-, así como en las industrias de serie -tales como la fabricación de automóviles, electrodomésticos, aviones, confección de ropa, etc.-.

Ahora bien, hay diferencias en la automatización dependiendo del tipo de industria que se trate, lo que significa diferentes requerimientos a los medios electrónicos utilizados para este fin. En las industrias de proceso continuo (o de propiedad) el objeto de transformación consiste en cadenas de reacciones físico-químicas, por lo que la automatización se centra en el manejo de estas cadenas a través de una computadora, la cual recoge y trata informaciones sobre la naturaleza de las operaciones en

curso, dirigiendo el proceso a distancia³. Mientras que en las industrias de serie (o de forma) las operaciones consisten en imprimir formas a la materia prima, teniendo que obedecer a señalamientos precisos (espesor de secciones, porcentaje de declividad de las concavidades o de las convexidades); a través de diversas trayectorias en el espacio, la herramienta modifica el objeto. Por lo tanto, automatizar estas operaciones necesita del desarrollo de técnicas de manejo y control de esas trayectorias a ritmo regulado. Este tipo de industrias requiere de maquinaria automática más complicada ya que se incrementan las variables que hay que controlar, de dispositivos capaces de reproducir trayectorias en el espacio con varios movimientos; así encontramos máquinas controladas por computadora cuyas herramientas tienen movimientos sencillos en un espacio tridimensional (las llamadas máquinas de control numérico) hasta manipuladores que realizan operaciones de transformación más complicadas como soldar o pintar (los robots industriales más modernos), con seis diferentes movimientos.

Los sistemas automáticos controlados con equipo electrónico cuentan con los siguientes componentes, de acuerdo a las funciones que deben darse en el sistema (ver figura 1.1)⁴.

a) Sensores o detectores. Son dispositivos que reconocen

³ Ibid. p. 17-18.

⁴ Neil Schmitt y Robert F. Farwell. "A fondo: robótica y sistemas automáticos", Madrid, Ediciones Anaya Multisedia, 1989, 27-32.

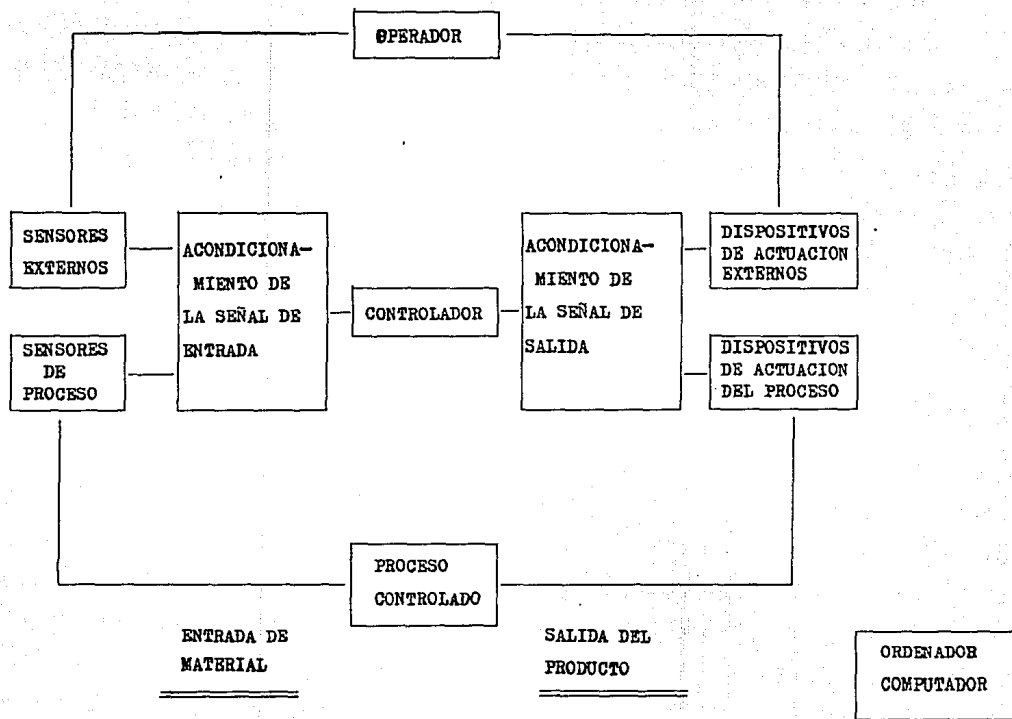


FIGURA 1.1

las condiciones procedentes del proceso y el entorno externo. Convirtiendo la información física real (presión, temperatura, tasa de flujo, posición) en señales de tipo eléctrico, para que puedan ser recibidas por el controlador como información.

La capacidad para controlar una máquina o un proceso depende, en primer lugar, de la que se tenga para detectar que está ocurriendo en cada momento.

Los tipos básicos de sensores están relacionados con las propiedades físicas que son necesarias para describir el mundo que nos rodea. Por ejemplo, en los procesos continuos, un tipo de sensores proporciona información sobre las diferentes medidas de la temperatura (el termistor), del flujo de un material (el venturi). O en las industrias de serie, en donde los sensores permiten conocer la posición de alguna parte de la maquinaria (brazo de una palanca, eje de un motor, etc) y de la pieza, tenemos los optointerruptores y los sensores de imagen.

b) Entradas externas. Es lo que se llama "relación hombre-máquina". Con la utilización de diversos tipos de interruptores, conmutadores y teclados, el operador se comunica con la máquina estableciendo condiciones de arranque o la alteración del control de un proceso.

c) Preparación de la señal. Las señales de tipo eléctrico procedentes de los sensores y del operador necesitan ser acondicionadas para que el controlador reciba esta información de la manera adecuada. Esto es, si son

débiles se amplifican; si son de tipo analógico (cierta tensión continua de electricidad que representa cierta medida) se pasan a tipo digital (combinaciones de dos estados: alguna tensión, ninguna, que en conjunto son de cierta manera un lenguaje entre máquinas eléctricas); o a la inversa. Así como también preparar las señales eléctricas procedentes del controlador para adecuarlas al modo requerido por los dispositivos de actuación.

d) Controlador. La principal función del sistema es controlar, es decir, tener la capacidad de dirigir un mecanismo. El controlador recibe la información procedente de los sensores y del operador, realiza los cálculos matemáticos y comparaciones lógicas con el fin de saber qué es lo que debe realizarse a continuación y genera las señales de tipo eléctrico correctas, dirigidas a los dispositivos de actuación, los que permiten la ejecución de dicha decisión.

La mayoría de los controladores en los actuales sistemas automáticos utilizan equipo electrónico, sobre todo computadoras, para lograr la función requerida con gran eficacia y velocidad.

a) Dispositivos de actuación (actuadores). Estos dispositivos convierten las señales de control eléctrico en una acción física, es decir, presentan la información del proceso al operador, así como también, utilizando las señales de control enviadas por el controlador ponen a funcionar la maquinaria o el proceso.

En los procesos continuos, los actuadores son válvulas

de control de flujo y bombas; en las industrias de serie son motores de velocidad variable, frenos y embrages, motores paso a paso, relés de potencia (interruptores eléctricos que se pueden accionar de forma indirecta y que resultan muy útiles para el control a distancia) y solenoides (dispositivos electromagnéticos que producen una fuerza mecánica en una dirección fija, que pueden utilizarse para mover objetos en esta misma dirección)⁵.

f) Salidas externas. Son las señales proporcionadas por el controlador que a través de pantallas, medidores, etc. van indicando al operador el estado del proceso o el valor de algunas variables del mismo (relación máquina-operador); o se dirigen directamente a una computadora para almacenamiento de datos y análisis del resultado (relación máquina máquina).

La mayoría de las funciones anteriormente explicadas ya las realizan varios sistemas automáticos de control desde principios de los setenta, estando localizados, sobre todo, en ramas como la química o la energía nuclear, el ensamblado de automóviles y en los sectores más desarrollados de la metalmecánica. Ahora bien, estos sistemas automáticos avanzados que utilizan en gran medida la tecnología electrónica y la informática en las funciones de controlar y detectar (sensores), son el resultado del progresivo desarrollo de las diferentes técnicas que se han incorporado al proceso general de automatización que da inicio con la

⁵ Ibid. p. 72.

consolidación de la gran industria. En los siguientes apartados trataremos de enmarcar a estas tecnologías en este proceso, con el objetivo de entender el gran avance que significa su incorporación al proceso de trabajo, en lo que concierne a mejorar la sustitución del trabajo directo o sea el perfeccionamiento de la automatización en los sistemas de maquinaria. Además el reconocimiento del papel del equipo electrónico en el proceso de automatización sirve de base para explicar la gran dinamismo de la industria electrónica mundial en nuestros días.

1.1. PROCESO GENERAL DE AUTOMATIZACION.

Desde el inicio de la gran industria se pueden observar los constantes adelantos en los medios de trabajo, el ejemplo ilustrativo es el paso de la máquina individual cuya fuerza motriz es el hombre y que se compone de una máquina herramienta que sustituye a la mano, a la unión de máquinas herramienta movidas por un mecanismo motor y cuyos movimientos son regulados por un mecanismo de transmisión, en un lugar de trabajo (la fábrica), lo que constituye un sistema que proporciona continuidad al proceso de trabajo, en donde el hombre no tiene casi contacto con el objeto de trabajo. Consideramos a la incorporación de esta maquinaria desarrollada en el proceso de trabajo como el inicio del proceso general de automatización. Este proceso general está determinado por el desarrollo de ese sistema de maquinaria

capaz de autorregular los movimientos necesarios para apoderarse del objeto de trabajo y modificarlo con arreglo a un fin, sin la intervención del hombre en el trabajo directo; constituido por máquinas que produzcan ininterrumpidamente, o sea un sistema automático de maquinaria*.

Antes de que se incorporaran las tecnologías electrónica e informática a este proceso general de automatización, la mayoría de los sistemas automáticos estaban compuestos por máquinas herramienta diseñadas con un mecanismo de transmisión mecánico que les imprime movimientos determinados, lo que significa que la maquinaria sólo tiene la capacidad de controlar un movimiento específico por la forma en que las distintas partes de este mecanismo trabajan conjuntamente (motor, correas de transmisión y poleas, así como el engranaje). Su buen funcionamiento depende de ciertos principios de la mecánica, así como de la vigilancia del operario.

Maquinaria automática de este tipo la podemos encontrar desde el siglo pasado en diferentes procesos de trabajo. Por ejemplo para tejer, los telares automáticos; para hacer sobres o bolsas de papel (las engomadoras); en la hilandería (máquina automática peinadora) o en la fabricación de papel y de piezas de acero (torno automático)'. Este nivel de automatización que utiliza procedimientos mecánicos para regular los movimientos de cada máquina de trabajo, tiene

* Karl Marx, "El Capital", Tono I, Cap. VIII, México, Siglo XXI, p. 464.

7 Ibid. p. 462-463.

como ejemplo ilustrativo la producción de papel de finales del siglo pasado en algunas fábricas muy desarrolladas, en donde el sistema de maquinaria lleva a cabo el siguiente proceso: cierta cantidad de trapos se introduce a la máquina trituradora, después pasa al blanqueado, el prensado (una prensa hidráulica) y el lavado; esta masa requiere de trituración más pequeña, lo cual es realizado por la máquina agramadora, resultando una pasta que pasa a la máquina que produce el papel*. Así, los sistemas de maquinaria, representativos de este nivel, están constituidos por máquinas herramienta automáticas que por lo regular llevan a cabo una forma específica de movimiento repetidas veces: triturar, prensar, etc.; lo que tenemos son máquinas herramienta especializadas, donde las trayectorias de la herramienta se reducen a uno o dos movimientos (bajar, subir o derecha, izquierda).

En estos sistemas de maquinaria, como ya lo habíamos mencionado, se requiere de la vigilancia del hombre (el operario no ha sido sustituido por dispositivos sensores), de su atención para que ante cambios en el proceso realice las correcciones necesarias de acuerdo con cierta información sensorial, de datos, de aparatos de medición y de informaciones varias y para que dirija las acciones a ejecutarse a continuación dependiendo de su conocimiento acumulado y la información recibida del proceso (función que

* Karl Marx, "Progreso técnico y desarrollo capitalista (manuscritos 1861-1863)". México, Siglo XXI, 1982, p. 144.

sustituye, en parte, el controlador). Por ejemplo en la producción de papel descrita anteriormente, se requiere de la vigilancia del operador en las diferentes etapas para detener el sistema si se percata de errores (un prensado que no reúne los parámetros señalados); o decide si continúa la elaboración ante el requerimiento de cierta consistencia de la pasta de papel, o sea, la existencia de huecos ante la demanda de continuidad del proceso de trabajo.

Es así que los sistemas de maquinaria compuestos por máquinas herramienta reguladas de manera mecánica presentan ciertos límites ante la necesidad del capital de producir bienes ininterrumpidamente. Por un lado, la maquinaria no reacciona con rapidez y precisión, ni de modo controlado y predecible, por lo que se caracteriza por su comportamiento indiferente a las alteraciones del medio; y por otro lado, sus movimientos son repetitivos y uniformes. Esto provoca posteriores desarrollos, sobre todo en lo que concierne al mecanismo de control del sistema, o sea, se inicia la búsqueda de solución tanto de los problemas presentes en el logro de un eficaz control de la maquinaria como de los que surgen al momento de requerir la alteración de los movimientos de la máquina herramienta y la realización de trayectorias más complicadas.

Lo que tenemos son dos clases de problemas.

El primer tipo de problemas se refiere, de manera general, a que la maquinaria precisa de la vigilancia y corrección del operario, por lo que se podría decir que ésta

posee un control mecánico "torpe", sin la capacidad de tener presente el proceso y de acuerdo con esto funcionar correctamente, o sea un mecanismo que no puede "autoadaptarse" ante diferentes desequilibrios del proceso. Esto se soluciona al incorporar un mecanismo llamado realimentación a la maquinaria de transmisión, lo cual proporciona a este mecanismo la capacidad de autocorregirse. A través de parámetros señalados con anterioridad con dispositivos mecánicos o indicando las operaciones a la computadora, la maquinaria de transmisión compara el funcionamiento real del proceso con el deseado. Esta capacidad, presente en las máquinas de vapor desde el siglo pasado -incluyendo en su mecanismo de transmisión reguladores, escapes y termostatos*- se perfecciona cuando se desarrolla equipo electrónico para controlar una máquina o un proceso continuo. Este equipo por ser rápido y preciso permite que el mecanismo automático de realimentación pueda ser usado en las operaciones de control en un tiempo real. Tenemos que el controlador compara la información recibida por los sensores con la almacenada en la computadora, y si es necesario corregir, los actuadores recibirán la información correspondiente y ejecutarán el mandato a gran velocidad.

La otra clase de problemas, presente sobre todo en las industrias de serie, se da porque el mecanismo de control de esta maquinaria, al elaborarse específicamente para realizar

* Este dispositivo ofrece un ejemplo simple de realimentación ya que conectado a una fuente de calor rápido que la temperatura suba o baje del grado conveniente, donde el exceso de calor actúa interrumpiendo su generación. Comportamiento que se suele llamar "intencional o "adaptable".

ciertos movimientos (triturar, cortar, hilar, etc), se torna muy rígido al momento de querer alterar la secuencia de sus movimientos o herramientas por lo complicado y costoso que resulta cambiar tanto el mecanismo de transmisión como algunas piezas de la máquina herramienta. Automatizar la industria de serie requiere de maquinaria automática capaz de controlar una gran variedad de movimientos para llevar a cabo la transformación del objeto y de la flexibilidad de ésta ante los cambios en la demanda del producto. Las operaciones de transformación que primero se automatizaron con procedimientos mecánicos son muy sencillas -por ejemplo triturar, perforar, cortar, perforar, pegar, doblar, etc,- en donde, por lo regular, la herramienta realiza 2 o 3 movimientos específicos; mientras que las operaciones de ensamble, de pintura, por ejemplo, se mantuvieron sin automatizar hasta la incorporación de la electrónica en la maquinaria automática, ya que requieren que la herramienta sea capaz de realizar trayectorias en el espacio más complicadas. Es así que esta rigidez se soluciona con la incorporación de un mecanismo de transmisión no basado en procedimientos mecánicos sino en máquinas que realizan funciones lógicas, es decir, elaborando un sistema automático de control compuesto por máquinas herramienta y máquinas lógicas o computadoras, en donde estas últimas sean capaces de almacenar la información de los diferentes movimientos de las herramientas y decidir en su momento cual debe ocuparse, mandato que va a ser ejecutado por la máquina herramienta.

Resumiendo, se considera que la electrónica y la informática han proporcionado grandes avances, por un lado, en el mecanismo de transmisión dando a la máquina herramienta un control o regulación con capacidad de autocorregirse, y, por otro lado, brindando flexibilidad al sistema automático en el momento de necesitar de cambios en el producto. Se denomina automación a esta nueva forma de automatizar que incorpora equipo electrónico originando que el proceso de trabajo se lleve a cabo de manera más continua, lo que significa progresos en el proceso general de automatización.

1.2. AUTOMACION

La automación es definida como "un concepto y conjunto de técnicas, por medio de las cuales se construyen sistemas activos, capaces de actuar con una eficacia óptima con el uso de información recibida del medio sobre el que actúan"¹⁰. Las más importantes técnicas utilizadas para la creación de estos sistemas activos son la electrónica y la informática como ya lo habíamos mencionado arriba. Por lo que la automación se va a caracterizar por añadir estas técnicas al proceso general de automatización, beneficiando tanto a las industrias que ya tenían un alto grado de automatización como a las que no había sido posible automatizar debido a sus operaciones de producción más complejas.

El primer campo de aplicación de la automación, se dio

¹⁰ José Horta Santos, "Técnicas de automatización industrial", México, Limusa, 1982, p. 25.

en las industrias de proceso continuo. A partir de la década de los sesenta, estos procesos se automatizan, encontrándonos una computadora que dirige las operaciones en curso. Ahora bien, la automatización va a dar un gran salto cuando la automación se introduce en los talleres donde se producen formas en serie por medio de los robots industriales que son máquinas herramienta o manipuladores preregulados y reprogramables, hecho que sucede en los setenta.

Las diferencias en los ritmos de penetración de la automación se dan por los diferentes procesos de trabajo que se llevan a cabo en cada tipo de industria. Controlar cadenas de reacciones físico-químicas resulta más fácil que regular la ejecución de trayectorias con herramientas. Estas trayectorias al depender de modos operatorios efectuados por los obreros, requieren para su ejecución del conocimiento del manejo de la herramienta, de la naturaleza de la materia prima y de la relación entre herramienta y materia prima; por lo que resulta bastante complejo automatizar la manipulación (carga, descarga, etc.) pero, sobre todo, las operaciones de transformación (ensamblar, pintar, etc.)¹¹.

Los medios de trabajo que tienden a estar mejor capacitados para llevar a cabo esas complejas operaciones de producción son los robots. Estos sistemas automáticos, vistos como sistemas técnicos están compuestos por dos grandes conjuntos: un primero, mecánico, hidráulico y eléctrico, que realiza las funciones de motorización y manipulación; y el

¹¹ Coriat, p. 19.

otro, electrónico e informático que está a cargo del control y mando del robot, a través de recoger y tratar información. Las funciones de control y mando requieren de la puesta en práctica de un doble principio (como se señaló en la figura 1.1.):

a) La toma de datos físicos y químicos de las operaciones y el entorno externo y su conversión en señales eléctricas¹². Función que realizan los sensores.

b) El tratamiento de esos datos, la toma de decisiones y la transmisión de esas decisiones a la herramienta; o sea la función del controlador que es realizada por la computadora o procesadora de información.

El desarrollo de estos sistemas activos, junto con otros que se mencionarán más adelante, tiende a resolver los límites presentes en los sistemas automáticos coordinados mecánicamente. Por ejemplo, los robots tienen la capacidad de captar información sobre su entorno y al estimar si el objeto no está en su debida posición, modificar el programa de ejecución de las operaciones para las cuales ha sido inicialmente programado; o sea tendrá la capacidad de autocorrección, aportada por la electrónica y la informática¹³. Así como también está el objetivo de conseguir robots "universales", esto es, máquinas herramienta multifuncionales que mediante sencillas manipulaciones (cambio de herramientas, la introducción de discos que

¹² Ibid. p. 48.

¹³ Ibid. p. 38.

modifican los programas de operaciones) otorgarían al robot cierta "poli-actividad"¹⁴, acabando con la rigidez de los sistemas automáticos anteriores.

Con el fin de entender la automatización, momento particular del proceso general de automatización, así como para subrayar su importancia, deben ser descritos además de los robots industriales otros sistemas automáticos. Pero antes de pasar a este punto nos detendremos a estudiar brevemente a la informática que como se ha visto juega un papel central en la automatización al brindar el equipo electrónico que funciona como controlador.

I.2.1. INFORMÁTICA.

La informática abarca un conjunto de técnicas y métodos que buscan la mejor utilización de las computadoras y sistemas similares para procesar u ordenar información y conocimientos. Su evolución está caracterizada por los constantes esfuerzos por desarrollar máquinas capaces de realizar automáticamente cálculos numéricos y/u otras actividades relacionadas con ciertas funciones del cerebro humano (trabajos lógicos, diseño, traducción de idiomas, etc.).

La máquina representativa de esta disciplina es la computadora o "sistema automático de producción de

¹⁴ Ibid, p. 49.

información" que es capaz de simular algunos de los procesos mentales del ser humano, por ejemplo el pensamiento lógico, es decir, "la facultad de descomponer un problema en sus fases lógicas y desarrollarlas hasta que se resuelva el problema"¹³. Esta capacidad está determinada por las siguientes características que definen propiamente a las computadoras, a diferencia de las calculadoras:

a) Almacena datos (números, letras, imágenes gráficas o símbolos).

b) Manipula esos datos de acuerdo con programas (instrucciones) que también son almacenados en la computadora.

Estos sistemas informáticos están compuestos de cinco partes básicas que se relacionan entre sí (ver figura 1.2):

1. Procesador central. Almacena y trata instrucciones, definidas por un programa.

2. Memoria. Capacidad del procesador para almacenar información.

3. Control central y aritmética. Lleva a cabo los cálculos exigidos. Supervisa y comprueba totalmente el procedimiento.

4. Entradas. Información original, registrada de cierta manera que lee la máquina.

5. Salidas. Resultados completos que se extraen de la máquina¹⁴.

¹³ T.F. Fry, "Ordenadores", España, Alhambra, 1981, p. 34.

¹⁴ Ibid, pp. 9-10.

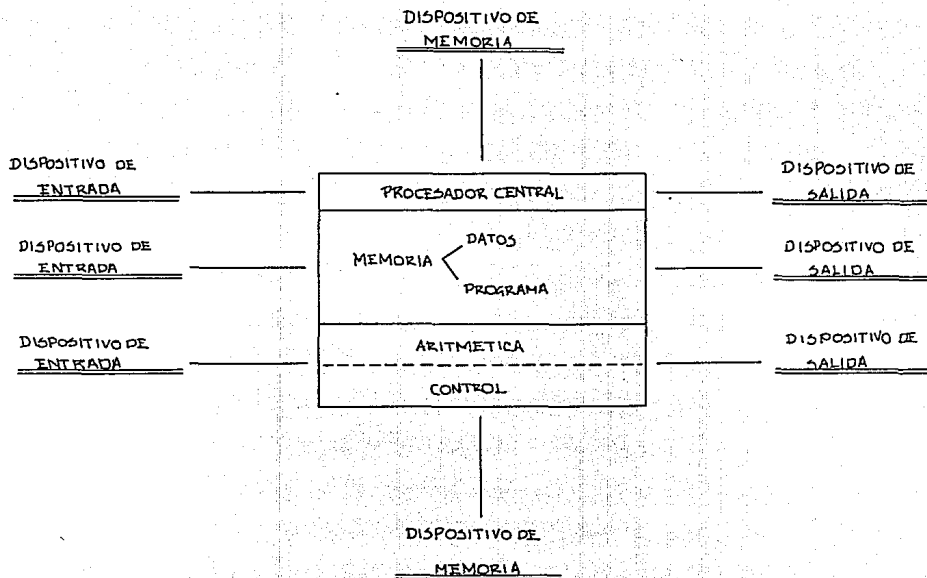


FIGURA 1.2

La estructura anterior fue concebida desde el siglo pasado y desde entonces no ha cambiado, lo que se ha desarrollado son los diferentes dispositivos utilizados en cada parte de la computadora, con el objetivo de hacerla más práctica. En el siguiente apartado se mencionarán algunos de los descubrimientos e invenciones que hicieron posible el espectacular desarrollo de la informática, a partir de la segunda mitad del siglo XX.

A) EVOLUCION

Desde siglos atrás se ha venido desarrollando la idea de crear una máquina que ayudara al trabajo intelectual ante los requerimientos de resolver cada vez más complejos cálculos en la ingeniería, la navegación, la aeronáutica, las matemáticas, la astronomía, etc.

La elaboración de instrumentos que realizan cálculos numéricos (suma, resta, multiplicación, etc.) se remonta al siglo XVII, por ejemplo con la "machina arithmetica" de Blaise Pascal o la calculadora de Gottfried Wilhelm Leibnitz, las cuales, siguiendo la tradición del modelo de engranajes en serie¹⁷, sumaban automáticamente en función de sus movimientos de rotación. Sin embargo, estos instrumentos no se pudieron generalizar por los problemas presentes al momento de la construcción (falta de materiales, retraso en la técnica, etc.).

¹⁷ La tradición de la utilización de engranajes en los instrumentos de cálculo fue creada a partir de la invención del hedómetro, el cual consistía en una rueda dentada que movida por una serie de engranajes medía la distancia recorrida.

En el siglo XIX, los progresos en el campo de la ingeniería y de la máquina herramienta posibilitaron la expansión de las calculadoras de mesa (las primeras calculadoras producidas en masa aparecieron en 1820). Aunque estos dispositivos no tienen las características de la computadora, "suministraron una experiencia y una tradición de trabajo en el amplio campo de la correspondencia mecánica con procesos del pensamiento lógico"¹⁸

Los orígenes de la computadora no tuvieron tanto que ver con la creación de instrumentos que calculan medidas cuantitativas (tratamiento de información numérica) sino con la necesidad de diseñar máquinas que elaboraran tablas numéricas. La utilización de listas de números era indispensable en la ciencia, las finanzas, la navegación o en la medición en la ingeniería, por ejemplo, tablas de raíces cuadradas, raíces cúbicas, tasas de interés, funciones exponenciales, constantes matemáticas, precios de la carne por kilo, etc; por lo que se requería de su tabulación con precisión. Escribir a mano tales tablas significaba que éstas estuvieran llenas de errores. En los años 1820-1822, un matemático inglés Charles Babbage (1792-1871), diseñó una máquina que hacía tablas numéricas, la llamó "máquina de diferencias" (calculaba progresiones numéricas por el método de diferencias constantes y las imprimía)¹⁹, de la cual sólo se construyeron partes. Sin embargo, varias máquinas de

¹⁸ Augarten, Stan. "Bit by bit...", New York, Ticknor and Fields, 1984, p. 41.

¹⁹ Ibidem.

diferencias fueron construidas en Suecia, Austria, Estados Unidos e Inglaterra, imprimiendo alrededor de 500 tablas diferentes. Aunque estas máquinas facilitaban el trabajo se requería de la atención constante y muy seguido funcionaban mal²⁰.

De 1836 a 1871, Babbage diseñó la que es considerada la primera computadora mecánica. Movido por el deseo de construir una máquina que pudiera resolver cualquier problema matemático y basándose en el conocimiento adquirido por su anterior invención, elaboró gran cantidad de anotaciones, dibujos e ilustraciones, en los que señala cómo funcionaría la llamada "máquina analítica". Esta máquina mecánica obtendría información (datos) e instrucciones por medio de tarjetas perforadas (idea surgida al observar el mecanismo de los telares automáticos para tejer seda de Joseph Marie Jacquard), calcularía, y los resultados se almacenarían en nuevas tarjetas para utilizarlas posteriormente. Esta rudimentaria computadora se podía programar (introducir instrucciones), poseía un alto grado de automatización y una modesta habilidad para tomar decisiones - esto significa que podía adoptar una de dos alternativas de una acción basadas en los resultados de sus cálculos²¹; además tenía una memoria, un procesador central (una serie de engranajes) y un control. Sin embargo, llevar a cabo la construcción de esta máquina superaba el estado de la técnica y de las máquinas

²⁰ Ibid, p. 57.

²¹ Este es un atributo importante en la computadora y es llamado "salto condicional".

herramientas²².

Otra máquina antecesora de la computadora fue la máquina tabuladora electromecánica de Herman Hollerith, la cual procesó información de algunos censos en los Estados Unidos a principios del siglo XX, utilizando tarjetas perforadas para introducir la información. Estas máquinas, junto con otras, van a tener problemas en lo que concierne a su tamaño, velocidad y precisión en los cálculos, por lo que se necesitó de otro método para transmitir la información dentro del sistema, esto es, no basado en el movimiento de levas, ruedas y engranajes sino en la codificación²³ de impulsos eléctricos, una estructura eléctrica que permitiera la comunicación entre las diferentes partes de la máquina procesadora de información, o sea, la incorporación de la electrónica a la informática.

Los desarrollos en la electrónica desde finales del siglo XIX, hicieron posibles mejores métodos de comunicación como la radio y la televisión, además permitieron su aplicación en sistemas de detección y navegación (el radar) y el avance de las calculadoras analógicas (las cuales operan con magnitudes físicas, por ejemplo variaciones de voltaje). Estos adelantos contribuyeron en gran medida al nacimiento de la computadora electrónica digital, llamada así por que la información introducida se codifica formando secuencias de

²² Ibid, p. 63.

²³ Sistema de comunicación que permite la transmisión de un mensaje desde un emisor hasta un receptor a través de una serie de señales establecidas y estructuradas en signos elementales, por ejemplo el código Morse o el binario.

dos caracteres (0 y 1), lo que facilita el manejo de los datos y las instrucciones.

En la década de los veinte, se construyó una calculadora analógica a gran escala, llamada "analizador diferencial" - diseñada por Vannevar Bush-. Este instrumento fue práctico para cálculos matemáticos aproximados y para el control y simulación de movimientos y fuerzas físicas. Al tener una estructura eléctrica, o sea, realizar sus cálculos haciendo una analogía entre las medidas físicas y el voltaje de la corriente eléctrica, fue un antecedente importante en el desarrollo de la técnica del cálculo con dispositivos eléctricos, siendo un guía en la evolución de la computadora.

En la siguiente década, los adelantos en la tecnología electrónica utilizada en la radio permitieron desarrollar dispositivos de detección. Esto llevó a la invención del radar (radio detection and ranging: detección y medición de distancia por radio) que detectaba objetos metálicos a distancia a través de ondas eléctricas. El desarrollo de este aparato mejoró la tecnología de comunicación, provocando el avance de las técnicas en el manejo de impulsos eléctricos, necesarios para el buen funcionamiento de la computadora.

La aplicación de la electrónica en el funcionamiento de máquinas calculadoras se presenta hasta la siguiente década cuando se construyen grandes calculadoras electrónicas utilizadas por instituciones gubernamentales dedicadas a desarrollar éstas máquinas para uso militar. Tenemos por ejemplo:

- La Mark 1, máquina numérica electromecánica.

- La ENIAC²⁴ una máquina lógica que empleaba tubos de vacío en los circuitos electrónicos por primera vez, los cuales realizaban sumas, restas, multiplicaciones y extraían raíces cuadradas.

Las máquinas calculadoras electrónicas sirvieron como modelo para construir las computadoras electrónicas en las siguientes dos décadas. En los años 1945-1952, un equipo de científicos, trabajando en laboratorios del gobierno norteamericano, dirigidos por un matemático llamado John von Newman, halló la conveniencia de combinar órdenes y datos en una gran memoria central dentro de la máquina - antes la teníamos en el exterior, en tarjetas perforadas, las cuales eran insertadas por el operador -. A partir de entonces se construyeron máquinas de usos generales que procesarían información integrada a éstas, lo que proporciona mayores niveles de automatización, resultando más veloces. Por máquinas (la EDVAC y la IAS) que llevan a cabo su lógica y potencias automáticas a través del control del flujo de impulsos eléctricos, son consideradas el prototipo para la mayoría de los sistemas informáticos posteriores; sobre todo la IAS (Institute of Advanced Studies) que tiene la arquitectura convencional de una computadora, por ejemplo, utiliza la representación de los números binarios (series de 1 y 0), denominadas palabras, donde éstas son manipuladas

²⁴ La ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) era automática, pesaba 30 toneladas, contenía 18 mil válvulas, ocupando una superficie de aproximadamente 1480.

simultáneamente o en paralelo.

A estas computadoras electrónicas se las suele considerar como la primera generación. En los siguientes años, hasta nuestros días, tenemos tres generaciones más, caracterizadas por los diferentes tipos de componentes electrónicos que se usan para manipular la información, logrando incrementar el poder de computar y disminuir el tamaño de estos sistemas informáticos; fenómeno originado por el gran avance de la tecnología electrónica.

Pasaremos a describir con más detalle las computadoras electrónicas con el fin de entender tanto el papel estratégico que juega la electrónica en el desarrollo de estas máquinas, como la función de éstas en la industria.

B) COMPUTADORAS ELECTRONICAS.

La informática va a tener un gran avance y mayores niveles de aplicación cuando se utiliza la electrónica para construir máquinas caracterizadas por usar impulsos eléctricos codificados de diferentes maneras en la memoria, en vez de tarjetas o cintas perforadas, lo que provoca un aumento en la capacidad de almacenamiento de datos y acelera la velocidad al realizar las operaciones.

Las computadoras electrónicas basan su lógica y potencia automáticas en el control del flujo de impulsos eléctricos, imitan el pensamiento lógico humano operando con base en: alguna tensión o ninguna (unos y ceros, respectivamente), por

lo que ejecutan una gama de operaciones trabajando con un número de técnicas lógicas (lógica de suma, de comparación, de control y de complementación o negación) que están en función de dos caracteres - gran diferencia al compararse con el cerebro humano, el cual, por ejemplo, puede manipular veintiseis caracteres del alfabeto y diez dígitos del 0 al 9 -. Esta lógica binaria (compuesta de dos elementos) tiene su origen en la disciplina matemática conocida como álgebra de Boole, desarrollada por el matemático francés George Boole (1815-1864)²⁵.

Las técnicas y métodos para procesar información por medio de las computadoras tuvieron un gran avance cuando se utilizó el álgebra booleana como fundamento teórico (Claude Shannon, 1938); la cual está formada por reglas para resolver problemas lógicos con matemáticas binarias, o sea, utilizando únicamente dos símbolos: cero y uno. Esta lógica se basa en la consideración de que los procesos mentales del ser humano son resultado de la asociación de elementos simples, por lo que es posible abstraerlos con base en dos alternativas, si y no²⁶. La aplicación de esta álgebra en las computadoras reduce las variables únicamente a dos condiciones posibles, verdadero y falso, o, numéricamente, 1 y 0. La mecánica para operar dentro de la computadora se organiza sobre circuitos - formados por un conjunto de componentes electrónicos que recorre una corriente eléctrica y otros dispositivos

²⁵ Fry, op. cit., p. 34.

²⁶ Richard Golob (ed). "The almanac of science and technology...", San Diego, Ca., Harcourt Brace Javanovich, 1998, p. 229.

electrónicos.

El nivel básico en la estructura de la computadora electrónica es el circuito electrónico llamado puerta lógica, el cual es un tipo de interruputor construido con un componente capaz de establecer o interrumpir un flujo de corriente eléctrica según se desee. Los primeros dispositivos utilizaban relés²⁷ pero eran muy lentos, después se usaron tubos de vacío o bulbos; a partir de la década de los sesenta se utilizaron transistores.

Los circuitos electrónicos son los bloques estructurales del sistema informático o computadora, el cual tiene las siguientes partes: el hardware y el software.

1. Hardware. Es el equipo físico que incluye tres elementos principales (ver Figura 1.3):

a) Unidad Central de proceso (CPU). Es donde se realizan las labores aritméticas, lógicas y se toman las decisiones pertinentes. Sus funciones son las siguientes²⁸:

- Capacidad de memoria que almacena y recuerda bloques de información cuando sea necesario.

- Habilidad para recordar un conjunto de instrucciones.

- Capacidad de realización de operaciones aritméticas y lógicas.

- Capacidad para comprobar, supervisar y controlar sus propias operaciones.

- Habilidad para ejecutar y recordar las instrucciones

²⁷ El relé es un interruptor que se activa mediante la aplicación de una corriente a una bobina electromagnética.

²⁸ Fry, op. cit., pp. 98-99.

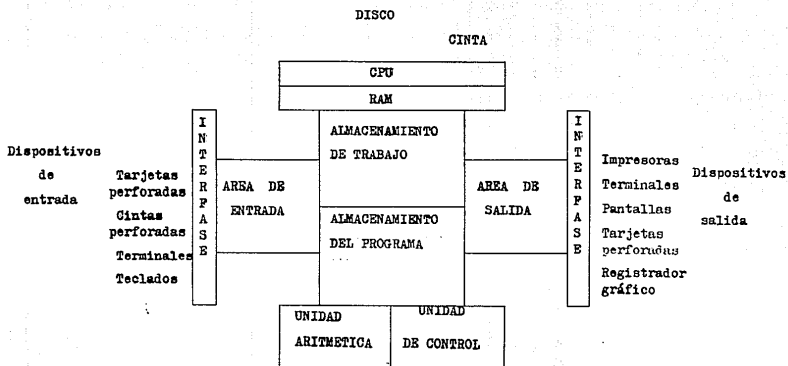


FIGURA 1.3

que le han sido dadas. La computadora es capaz de decidir que instrucciones deben llevarse a cabo y continuar este proceso sin intervención humana hasta que se concluya el objetivo de las instrucciones.

- Capacidad de transferencia de información desde los dispositivos periféricos y el procesador central en ambos sentidos, guardando dicha información en su memoria y comunicando, finalmente, los resultados de su labor.

El CPU requiere de los siguientes dispositivos para llevar a cabo las funciones mencionadas arriba:

- Memoria. Toda la información retenida en la computadora se expresa digitalmente en forma de ceros y unos, ya sea información numérica o alfabética. Por tanto, la memoria del procesador debe poseer algún tipo de dispositivo que en cualquier instante posea alguno de los siguientes dos estados: alguna tensión, ninguna (tipo interruptor), sea suficientemente estable para retener este estado indefinidamente y, al mismo tiempo, sea capaz de cambiar su estado de la representación 0 a 1 ó de la 1 a 0, según convenga. Además el tipo de dispositivo utilizado tiene que discriminar o discernir entre dos estados, de forma que pueda leerse el correspondiente estado binario representado²⁹. Este circuito electrónico es llamado flip-flop.

La memoria del procesador central o interna debe presentar dos rasgos fundamentales: acceso y velocidad, o sea, debe ser tal que pueda encontrarse cualquier bloque de

²⁹ Ibid., p. 188.

información particular siempre que sea necesario a una altísima velocidad, es ahí donde reside la potencia de una computadora.

En nuestros días, existen muchísimos modos de almacenar información. Un ejemplo muy conocido es el almacenamiento de la música en cinta o en disco, donde se puede observar las diferencias en cuanto acceso y velocidad. Para escuchar una frase seleccionada de una cinta, es necesario pasar ésta hasta alcanzar la frase deseada. En un disco, sabiendo de antemano la parte en donde se encuentra grabada la frase, basta situar la aguja en dicho punto. El primero de estos ejemplos se denomina método de acceso en serie; mientras que el segundo se denomina de acceso directo, siendo éste un método de localización muy rápido. Estas dos cualidades debe poseer la memoria del CPU, la habilidad para tener acceso de modo directo a la información deseada y habilidad para lograrlo rápidamente; lo que conduce a llamar a ésta, memoria de acceso inmediato o aleatorio (Random Access Memory, RAM)³⁸. Algunos de los dispositivos utilizados para construir este tipo de memoria interna de la computadora son los correspondientes a tambores magnéticos los cuales eran una forma de almacenamiento utilizada en las primeras computadoras; la memoria de núcleos de ferrita, los cuales operan manteniendo un sentido de la corriente originando que la ferrita tenga determinado sentido y permanezca indefinidamente en ese estado hasta que se introduzca una

³⁸ Ibid., p. 182.

fuerza capaz de cambiarlo³¹; en nuestros días, se utilizan circuitos elaborados con materiales semiconductores como memorias internas, aplicando flujos de corriente se permite representar ceros y unos. Este tipo de memoria depende de la corriente eléctrica, tan pronto se desconecta la fuente de tensión de la red, desaparece la información guardada.

Otro tipo de memoria interna es la llamada memoria de sólo lectura (Read-Only Memory, ROM) que se utiliza para almacenar información inalterable y permanente en el procesador central. Por ejemplo, determinada información de la unidad de control o de aritmética. En esta memoria también se utilizan dispositivos semiconductores, los avances en la tecnología de estos dispositivos ha permitido construir una familia de estas memorias: la memoria de sólo lectura programable (PROM) y la memoria de sólo lectura programable y borrrable (EPROM).

- Unidad aritmética. Formada con la combinación de las puertas lógicas.

b) Dispositivos y medios de entrada. Permiten introducir en el procesador central los datos correspondientes. El CPU de una computadora digital únicamente acepta, comprende y manipula información presentada en forma digital (serie de dígitos binarios, llamados bits), por lo que resulta necesario que exista un dispositivo conectado al procesador capaz de aceptar datos de otra forma y de convertirles en una

³¹ Ibid., p. 185.

serie de impulsos eléctricos.³².

Algunos de los dispositivos de entrada son los siguientes:

- Lectores de documentos. Los datos presentados en su forma inicial necesitan pasar por la etapa de preparación inicial. Tenemos los que se transcriben en un determinado medio de modo que sean aceptables, la forma más común son los medios perforados (tarjetas o cintas de papel perforados). O los que la grabación original y el modo de grabación son aceptables por la máquina, por ejemplo los caracteres con tinta magnética o caracteres ópticos.

- Dispositivos de teclado. Un tablero análogo al de una máquina de escribir, en el que se pueden introducir manualmente los datos.

- Medios magnéticos.

- Dispositivos ópticos y acústicos.

c) Dispositivos y medios de salida. Son los que permiten el proceso de comunicación de la máquina o de grabación de los resultados del procesamiento de un modo u otro. Los dispositivos más comúnmente utilizados para la salida de la información en forma comunicable son las impresoras, las tarjetas y cintas de papel perforadas y las pantallas.³³.

d) Memoria externa. Es el medio que guarda la masa de información, de manera que se pueda acudir a ella cuando sea

³² Ibid., p. 62.

³³ Ibid., p. 89.

necesario. No forma parte del CPU, sino que está directamente conectada al mismo, de modo que la información contenida en esta memoria pueda ingresar cuando se desee. La diferencia esencial entre esta forma de almacenamiento y la memoria interna reside en la velocidad y en la conveniencia de las recuperaciones.

Todos los tipos de memorias externas utilizan como base principal algún medio de registro magnético, ya que "resulta muy conveniente para almacenar números binarios, utilizando la presencia o ausencia de áreas magnetizadas"³⁴. Las principales formas de dichos medios magnéticos de uso general son:

- Memorias de acceso en serie, como las cintas magnéticas que son un modo muy conveniente de almacenar grandes volúmenes de datos en un espacio relativamente pequeño. Los datos se almacenan en carretes de cinta magnética, hecha con un material de plástico duro (p.e. el mylar).

- Memoria de acceso directo (o de acceso aleatorio). Se denominan así porque puede accederse aleatoriamente a cualquier bloque de datos con independencia de lo grabado delante o detrás, además no es necesario almacenar los bloques de datos en ningún orden particular (p.e. alfabética o numéricamente). Algunos ejemplos de los diferentes tipos enmarcados dentro de esta categoría son³⁵:

³⁴ Ibid., p. 129.

³⁵ Ibid., p. 138 y 148.

- Tambores magnéticos. Las primeras computadoras usaron esta forma de memoria externa, actualmente se utilizan todavía como memoria externa masiva. Están formados por un cilindro de metal no magnético y cuya superficie esta recubierta con una capa magnética.

- Discos magnéticos. Es la forma más popular de memoria externa RAM. Un disco tiene sobre cada lado una superficie de grabado en la que pueden magnetizarse pequeñas áreas o puntos con el fin de representar dígitos binarios.

2. Software. Es el nombre que se da al sistema y a los programas conjuntamente. El programa de las computadora, una lista de instrucciones que dice al CPU qué hacer, se conoce como sistema operativo, siendo diseñado por el fabricante para el uso de la computadora. Las instrucciones de estos programas son escritas en formato de máquina, es decir, como expresiones binarias.

La necesidad de estructurar programas en el mismo lenguaje usado para definir el problema, y utilizable por cualquier máquina, lleva a desarrollar los lenguajes universales. Estos lenguajes son independientes de la máquina y cubre importantes áreas de procesamiento. Por ejemplo, tenemos el COBOL (Common Business Oriented Language) para sistemas de gestión; el FORTRAN (Formula translation) para problemas matemáticos; el PL/1 que es capaz de tratar ambas aplicaciones: comerciales y matemáticas; y el BASIC, un lenguaje intérprete o de interrogación que permite establecer

una conversación con la computadora³⁶.

La relación entre el procesador central, los dispositivos de entrada, el programa y los dispositivos de salida con capacidad de almacenamiento; se da a través de un cierto número de "canales", por los cuales fluye la información desde el CPU a los periféricos, en ambos sentidos. Estos canales de entrada y salida son conectados a los cables de cualquier dispositivo periférico. Se denomina interfase al punto de interconexión con el procesador central (ver Figura 1.3).

El desarrollo espectacular de la tecnología electrónica, en particular de la de semiconductores, a partir de la década de los cincuenta, se plasmó en dispositivos que utilizados en cada parte del sistema informático, descritas anteriormente, posibilitaron la construcción de computadoras electrónicas digitales cada vez más veloces y que realizan operaciones más complejas; además, permitió la aplicación de la informática en una amplia gama de sectores en la sociedad, dos fenómenos que se ilustrarán en seguida.

La ENIAC fue el patrón en la construcción de la mayoría de las computadoras en los cincuenta y sesenta. Modelos gigantes de la ENIAC eran construidos y usados solamente por grandes instituciones (universidades, corporaciones, institutos de investigación y agencias gubernamentales). El principal problema, desde el punto de vista del usuario, era

³⁶ Ibid., p. 166.

la inaccesibilidad a la computadora. En los primeros centros de cómputo (donde estaban la ENIAC, EDSAC, The Manchester University MARK 1, la IAS y la UNIVAC) los usuarios corrían sus propios programas, siendo un grupo muy pequeño el que conseguía acceso directo al centro. Estos centros, cuyo costo ascendía a miles de dólares, estaban apartados en cuartos de vidrio con aire acondicionado, donde los operadores hacían uso de las computadoras.³⁷

Esta situación fue empeorando al momento de aumentar el número de usuarios, por lo que se hizo necesario experimentar con computadoras que pudieran servir a varias personas simultáneamente. A finales de los años cincuenta se implementó el sistema de tiempo compartido que consiste en una computadora enlazada con varias terminales (teletipos o monitor con teclados), cada una ocupada con un usuario. Las grandes computadoras o mainframes no podían correr diferentes programas simultáneamente pero realizaban cada tarea a gran velocidad, pudiendo atender a varios usuarios.

Para finales de los sesenta, los servicios de tiempo compartido eran el segmento en la industria de las computadoras con el más rápido crecimiento. Sin embargo, las mainframes eran costosas para comprar y mantener y aunque los servicios eran una parte importante de los negocios, estas computadoras perdieron terreno frente a una innovación tecnológica: la minicomputadora.

El avance en la tecnología de semiconductores hizo

³⁷ Augarten, op cit., pp. 233-254

posible producir en grandes volúmenes transistores, los cuales cumplen mejor la función de interruptores en las puertas lógicas o en los flip-flops que los tubos de vacío. En 1959, IBM vendió la primera computadora que usaba transistores (llamada 1790), además de núcleos magnéticos para la memoria interna, reemplazando los cilindros magnéticos; y cintas o discos para almacenamiento externo, una innovación frente a las tarjetas perforadas. Estas máquinas lógicas resultaron un adelanto muy importante en la tecnología de las computadoras, por lo que son consideradas la segunda generación. Sin embargo, una innovación más importante revolucionó a la industria de las computadoras, esta fue la producción de los circuitos integrados.

En un primer momento, la tecnología de los circuitos integrados se aplicó en los dispositivos de memoria interna. Por ejemplo, en 1964, IBM lanza el sistema 360, la primera familia de computadoras que utilizaba el mismo lenguaje de programación o sea, era compatible, siendo las primeras computadoras que usan circuitos integrados en su memoria central. Este sistema es considerado representativo de la tercera generación de computadoras.

Para 1965, con los avances logrados hasta ese momento, la firma Digital Equipment Corporation (DEC, fundada en 1957) introdujo la PDP-8, la primera minicomputadora, la cual contenía transistores y su costo era de 18 000 dólares. Esta máquina fue demandada por científicos para sus laboratorios; la marina las instaló en submarinos; en refinerías, la PDP-8

controló flujos de químicos; y en fábricas, controlaron máquinas herramienta³⁸. El éxito de estas minicomputadoras incentivó a unas cuantas decenas de firmas a fabricar estas máquinas. Al menos 65 compañías producían minicomputadoras para 1971, no incluyendo a las grandes corporaciones -IBM, Sperry Rand y Burroughs- que no vieron el potencial de las pequeñas computadoras en el mercado.

A la cuarta generación de computadoras digitales la tenemos cuando se introduce un circuito integrado más complejo, el microprocesador (1971). Desarrollando la tecnología de los circuitos integrados se pudo crear un chip (pastilla de silicio) lógico de propósito general que podía realizar cualquier tarea lógica como un procesador central de las primeras computadoras. Este procesador programable en un chip expandió las capacidades de los dispositivos y bajó los costos de su fabricación. En 1974, la compañía Texas Instruments introduce la serie de microcomputadoras en una chip, la TMS 100 que es un sistema informático completo ya que además de tener el microprocesador contiene funciones de control y de memoria. Para 1975, se encontraban 40 tipos diferentes de microprocesadores más potentes y flexibles, permitiendo la expansión de las computadoras a un gran número de usuarios al construir las computadoras personales (PC), compuestas por un microprocesador con su respectiva memoria interna y dispositivos de entrada y salida; además de aumentar el número de aplicaciones, incluyendo la

³⁸ Ibid., p. 259.

automatización industrial.

Estos sistemas informáticos que dependen del desarrollo de la microelectrónica, es decir, de la tecnología de los circuitos integrados -ya que tanto el CPU como la memoria interna son elaborados con estos dispositivos-, junto con otros componentes (amplificadores analógicos o conversores digital-analógicos) también disponibles en circuitos integrados, revolucionaron las técnicas utilizadas en los sistemas de control automático en la industria.

En la automatización, los sistemas automáticos tienen como controlador una computadora o una microcomputadora, capaz de realizar tareas de gran complejidad, siguiendo una secuencia de pasos simples. Lo que tenemos son sistemas automáticos programables, es decir, el funcionamiento de la maquinaria es controlado por un conjunto de instrucciones que se encuentran almacenadas en la memoria de la computadora. El software es responsable de que la computadora active los mecanismos de actuación en una secuencia de pasos determinada, basándose en las entradas procedentes de los sensores y en los cálculos realizados por el CPU.

En el siguiente apartado pasaremos a describir los principales sistemas automáticos ocupados en la automatización, con el fin de ilustrar la función del equipo electrónico en la automatización industrial.

1.2.2. SISTEMAS CONTROLADOS POR EQUIPO ELECTRONICO.

Los diferentes tipos de sistemas automáticos que utilizan equipo electrónico en sus mecanismos de transmisión y comunicación, considerados representativos dentro de la automatización son los siguientes:

- Máquinas herramienta de control numérico.
- Controladores programables.
- Robots industriales.
- Fabricación integrada por computadoras.

Por lo regular, el sistema automático de control que se debe utilizar depende del tipo de proceso industrial, los sistemas que pasaremos a describir intervienen principalmente en la automatización de las industrias de serie.

1. Máquinas herramienta de control numérico.

La máquina herramienta programable, o de control numérico, resultan de añadir medios numéricos de programación con las operaciones de fabricación a efectuar, a una máquina herramienta mecánica, es decir, cuando se incorpora a la máquina un conjunto de instrucciones-consistentes en una determinada disposición de letras, números y símbolos almacenados en cintas perforadas o magnéticas- que ponen en marcha las herramientas para asegurar el tipo de fabricación deseado³⁹.

Los orígenes de esta máquina automática se remontan a

³⁹ Coriat, op cit. p. 32.

principios del siglo XIX, cuando Joseph-Marie Jacquard inventó un telar automático que era controlado con tarjetas perforadas. Estas tarjetas eran extendidas en un tipo de cinta, la cual era movida para que las agujas detectaran las perforaciones, provocando los movimientos deseados de la lanzadera y del hilo, logrando el dibujo requerido.

En los años cuarenta de este siglo, este tipo de control automático sobre la máquina herramienta se logra perfeccionar, permitiendo su incorporación en más industrias, ante la necesidad de elaborar con gran precisión partes complicadas de aviones y misiles. Para 1952, se tiene una máquina cortadora de metal controlada con equipo electrónico digital, llamada máquina de control numérico. Los elementos que conforman a esta máquina programable son:

- El programa de control numérico (numerical control, NC) que es un lenguaje abstracto de descripción de los movimientos y de las trayectorias a efectuar, además de definición de la pieza a fabricar.

- El controlador de la máquina que puede ser una computadora o una microcomputadora.

- La máquina herramienta

A partir de entonces se desarrollaron máquinas NC que son elegidas para fabricar piezas a partir del mismo tipo de materia prima pero de tamaño y formas diferentes. Las operaciones que puede realizar esta máquina son cepillado, perforación, conformado, prensado, corte, control de calidad, posicionado, soldadura, remachado, lijado, fresado, estirado

y rotación⁴⁰.

El desarrollo en la tecnología de semiconductores, en particular de los circuitos integrados, también va a impactar a este tipo de sistema automático. Los primeros controladores usaban tubos de vacío para desarrollar la lógica de sus operaciones, luego fueron sustituidos por transistores y una tercera generación usaba circuitos integrados con cintas perforadas para almacenar los datos numéricos correspondientes.

La accesibilidad a los microprocesadores y microcomputadoras permitió desarrollar sistemas de control por computadora llamado CNC (Control numerical by computer), donde el programa es almacenado en la memoria de la computadora y se lee de forma electrónica. Resultando más fácil la corrección y depuración al programa y ofreciendo la capacidad de realizar operaciones de contorno más complicadas, por las grandes posibilidades que ofrece la computadora al procesar un complejo tipo de información. Además, si la máquina CNC está dotada de sensores, la computadora tendrá la capacidad de detectar fallas, o sea, tener control adaptativo.

Las máquinas CNC están capacitadas para efectuar varias operaciones diferentes modificando su programa, aunque son máquinas especializadas (taladradoras, fresadoras, etc.) a diferencia de los robots industriales⁴¹. Sin embargo, el gran

⁴⁰ Scheidt, op. cit. p. 191.

⁴¹ Coriat, op. cit. p. 32.

avance de la informática ha permitido crear ciertas máquinas CNC que pueden realizar las siguientes funciones: monitoreo electrónico de la trayectoria de la herramienta, medición o supervisión del proceso en tiempo real; las cuales son llamadas centros de mecanizado⁴². La característica principal de estas máquinas es estar dotadas de cambios automáticos de herramientas y eventualmente, cambios automáticos de piezas. Una vez programado el centro de mecanizado es capaz de "transformar un cubo de acero introducido en la máquina en una pieza cualquiera obtenida por arranque de metal"⁴³.

Los centros de mecanizado son el tipo de máquina herramienta más comúnmente utilizada en las llamadas células de manufactura flexible (FMC, flexible manufacturing cells) y en los sistemas de manufactura flexible (FMS) que consisten en estos centros enlazados con una computadora de gran tamaño, ofreciendo una mayor capacidad de control y comunicación con las máquinas herramienta.

Estudios recientes estiman que en 1987, había 1200 FMS en el mundo, los cuales, al menos, tienen dos máquinas CNC, equipo y dispositivos manipuladores de material automatizado y un control central para coordinar y operar el sistema en su conjunto⁴⁴. Más del 75% de todos los FMS instaladas tienen menos de cinco años.

La mitad de estos sistemas están en la industria de

⁴² Los centros de mecanizado los encontramos, sobre todo, en Estados Unidos. En 1984, se vendieron 4,588 en este país, cuando antes de esta década había sólo varios cientos en el mundo.

⁴³ Ibidem.

⁴⁴ Estos FMS son usualmente utilizados con tres turnos al día, incluyendo uno sin la intervención del hombre, produciendo 188 variantes del producto, las cuales salen en grupos de 188 unidades.

equipo de transporte (principalmente en la producción de automóviles y tractores y en la aeroespacial). Otro tanto en la de maquinaria no eléctrica (principalmente construcción de máquinas), y, un tercer lugar, en la de maquinaria eléctrica. Aproximadamente 730 FMS están localizadas en las tres industrias mencionadas y solamente 54 en la producción de instrumentos y aparatos electrónicos. Los países que tienen el mayor número de estos sistemas son Japón y Estados Unidos, entre 150 y 200; le siguen en importancia Alemania Federal, Reino Unido y Francia con cerca de 100 FMS cada uno⁴⁹.

2. Controladores programables.

La fabricación de productos donde se requiere de la ejecución de una sucesión de operaciones, realizadas por varias máquinas -como lo que sucede por ejemplo, en el llenado de sacos o de botellas-, o sea, de la continuidad en el proceso completo sin intervención manual, se necesita de algún controlador que verifique la secuencia deseada. A finales de los sesenta se realizaba mediante un conjunto de relés conectados de modo que controlaran la tarea requerida, llamada lógica de relés. A comienzos de los años setenta, con los progresos en la microelectrónica -en los microprocesadores, principalmente-, aparece el controlador programable electrónico el cual, conectado a las máquinas, va a dirigir las operaciones ejecutadas por sus herramientas.

⁴⁹ ECE, "Annual review of engineering industries and automation, New York, United Nations, 1989, pp. 47-49.

La característica principal de los controladores programables es que están constituidos de medios de cálculo desprovistos de herramientas, siendo posible conectarlos con las máquinas, ofreciendo el control necesario con un alto nivel de confianza en su funcionamiento.

El desarrollo de la informática y microelectrónica, tecnologías básicas en la construcción del controlador programable, lo convierte en potencialmente importante en el proceso de automatización industrial, principalmente por estos puntos**:

a) Al tener la capacidad de controlar una máquina o un proceso a partir de secuencias programadas en el CPU, permite emplearlo no sólo en las industrias de serie sino también en las de proceso continuo.

b) Puede ser programado por personal no especializado en informática, es decir, el operador proporciona instrucciones directamente convertidas al lenguaje del controlador. Al poseer las funciones de "cálculo-control-conducción" se diferencia del robot ya que no está dotado de manipuladores.

c) Además de proporcionar control automático al conectarse a una máquina herramienta o un manipulador por medio de un programa, mediante procedimientos de distribución de los microprocesadores sobre un conjunto de máquinas se asegura la coordinación de la actividad de una sección de la fábrica.

** Coriat, op. cit. pp. 29-31.

3. Robots industriales o manipuladores programables.

Como ya lo habíamos dicho el robot industrial es el objeto clave de las nuevas formas de automatización que incluye la electrónica e informática en los mecanismos de transmisión y comunicación de la maquinaria, o sea en la automación. Su definición más generalizada es la siguiente:

"Es un manipulador multifuncional, programable, cuya posición es controlada automáticamente, posee diversos grados de libertad o ejes de movimientos (número de maneras en que puede moverse) y es capaz de manipular materiales, piezas, herramientas o aparatos especializados para hacerles experimentar operaciones programadas"⁴⁷.

Las funciones de motorización y manipulación las lleva a cabo con componentes de tipo mecánico, hidráulico y eléctrico. Mientras que el mando y control del robot corre por parte de equipo electrónico, el cual puede ser desde un controlador de gran simplicidad hasta una minicomputadora sofisticada.

La automatización de la posición del manipulador pone en práctica un doble principio (ver Figura 1.4):

- La compilación de datos físico-químicos de las operaciones y su conversión en impulsos eléctricos. Función llevada a cabo por los sensores.

- El tratamiento de esos datos, la toma de decisiones y la transmisión de éstas al manipulador, función realizada por las computadoras o con microprocesadores.

⁴⁷ Ibid., p. 38.

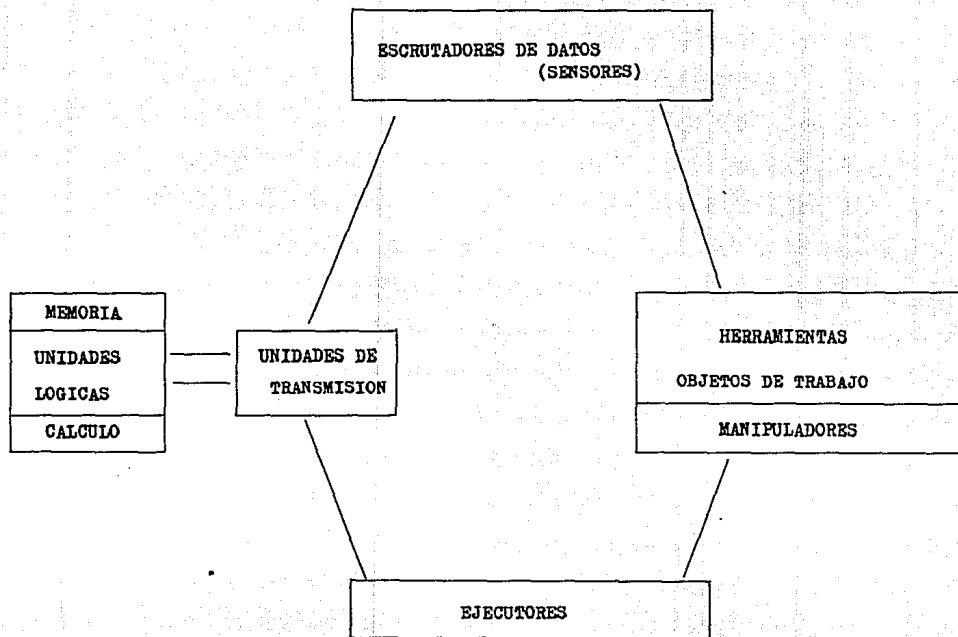


FIGURA 1.4

Hay dos tipos de robots industriales, un primero llamado manipulador controlador que es de tecnología baja o media y se utiliza fundamentalmente para el montaje o manejo de piezas de pequeño tamaño o en estaciones que alimentan material a un proceso. Un segundo tipo es el llamado robot "inteligente", el cual dispone de memoria y de cierta capacidad para la toma de decisiones de forma independiente. Estos, a su vez, son clasificados, dependiendo de su grado de inteligencia, en dispositivos de media tecnología que tienen seis ejes de movimientos y son capaces de "aprender"; y los de alta tecnología que poseen la capacidad para la toma de decisiones altamente sofisticadas, realizando tareas muy complejas, por lo que necesitan ser controlados mediante computadoras sofisticadas. Ejemplos de este tipo son los robots que pueden soldar 15 tipos diferentes de objetos y se adaptan a la velocidad de la cadena de montaje; hay otros que manejan piezas muy pequeñas con gran precisión.

Considerando las dos categorías de robots industriales se tenían contabilizados 388 mil unidades en el mundo, a finales de 1989. Donde Japón tiene el 56%, Europa occidental el 14% (Alemania 6%) y Estados Unidos el 10%. Las principales tareas que realizan los robots, hasta finales de los ochenta, son soldar, manejo de maquinaria (carga y descarga), ensamble y modelado de plástico. Las industrias consumidoras más importantes son la automotriz, la eléctrica y electrónica y la de plásticos. Las nuevas aplicaciones industriales están en la industria de alimentos (manejo de material, inspección,

y corte de carne, etc.) y en la industria química (por ejemplo en los "cuartos limpios" en la industria farmacéutica)⁴⁸.

La importancia de la robótica en el proceso de automatización se puede observar en el intento de progresar hacia robots dotados de cierta "universalidad" y en consecuencia, utilizables para usos alternativos. Aún cuando en la práctica cada variedad de robot está mejor adaptada a un tipo dado de operación (soldadura, manipulación de cargas pesadas, etc.), cada robot está concebido para alcanzar rápidamente cierta poli-actividad. Con el estado actual de las tecnologías, este objetivo es sólo teórico⁴⁹ pero esta tendencia se está reforzando, por ejemplo, con el intento de desarrollar robots móviles, aumentando los grados de libertad⁵⁰.

Otra característica tendencialmente importante de esta técnica se encuentra en la simplicidad del método de programación de los robots, lo que llega a considerarse como capacidad de aprendizaje del comportamiento tipo. Ilustraremos este rasgo con la descripción de los robots "pintores":

"La programación del robot se hace de la siguiente manera. El operador, un obrero pintor, toma el muñeco (parte del manipulador) y efectúa el trabajo de pintura exterior e interior de las cajas. El "aprendizaje" consiste en que la

⁴⁸ ECE, op. cit., pp. 52-53.

⁴⁹ Coriat, op. cit., p. 49.

⁵⁰ ECE, op. cit., p. 52.

computadora registra la posición cada 20 milésimas de segundo. En la práctica el intervalo entre dos posiciones es tan reducido que se convierte en un registro continuo, se deja entonces a un lado el muñeco y el robot estará capacitado para reproducir toda la secuencia de modos operatorios que ha sido registrada "en continuo y en tiempo real" cuando el muñeco era manejado por el obrero pintor."¹¹.

Este método de "aprendizaje" pone en evidencia la diferencia entre el robot y otro sistema automático de control, por ejemplo las máquinas NC, en lo que se refiere a los métodos de programación. Nos encontramos con dos técnicas distintas de memorizar las trayectorias de las herramientas. En el caso de las máquinas NC se describe uno a uno los movimientos que componen la trayectoria, por medio de un lenguaje abstracto y especializado. Mientras que en el robot, se procede por "registro" global de la secuencia operatoria, reproducida por la computadora. Resultando más flexible la programación del robot¹².

Los anteriores robots "inteligentes" todavía representan menos del 15% en la población mundial de robots, sin embargo, se está dando un gran desarrollo tecnológico en las computadoras y sensores, lo que posibilita la mayor difusión de este tipo de robots.

4. Fabricación integrada por computadoras (Computer-

¹¹ Coriat, op. cit., p. 51.

¹² Ibid., p. 53.

Integrated Manufacturing, CIM).

La fabricación integrada por computadoras o CIM es usualmente entendida como un sistema que integra el proceso de fabricación de los productos y los procesamientos de información con ayuda de la computadora; lo que resulta es la coordinación automática por medio de computadoras del proceso de fabricación, las operaciones de ensamble, el almacenamiento y manejo de material y la inspección; así como del funcionamiento de los negocios, el diseño del producto, la planeación y el control.

Para llegar a este nivel de automatización de la fábrica se requiere incorporar varias tecnologías explicadas anteriormente, junto con otras. Así, los sistemas CIM están basados en tecnologías centrales, computación y telecomunicaciones, las cuales, a su vez, son la base de la robótica, las máquinas CNC, el manejo automático de material, la tecnología de sensores, la producción "just-in-time" (control de inventarios por computadora), los sistemas de planeación y control de la fabricación, los sistemas CAD (Computer-aided design) y CAM (Computer-aided manufacturing)".

Tenemos que el proceso de integración implicado en los sistemas CIM se refiere a la integración tanto de los sistemas de procesamiento de material -llevado a cabo por máquinas CNC, robots industriales, sistemas CAD y CAM, entre otros-, como de los sistemas de procesamiento de información alcanzados a través de la unión de varios tipos de sistemas

²² ECE, "Annual review...", New York, United Nations, 1987, p. 48.

de computación y control vía redes locales (p.e. la LAN, Local Area Networks) o las redes públicas de comunicación de datos

Los segmentos más importantes de los sistemas CIM son los FMS, compuestos por máquinas CNC; las islas de automatización, donde los robots juegan un papel estratégico; y los sistemas CAD/CAM. Este último segmento se ha venido consolidando con un crecimiento muy rápido, paralelo al de los sistemas informáticos, ya que son programas que requieren de la potencia de las computadoras.

El sistema CAM (fabricación con ayuda de la computadora) es un programa que, colocado en una máquina CNC o en un robot, aumenta el rango de tareas que pueden realizar estos sistemas automáticos; además, ofrece una mejor fabricación del producto, al tener la capacidad de realizar secuencias alternativas de fabricación, comprobadas por medio de simulaciones en la computadora²². El software CAD (diseño con ayuda de la computadora) permite a los ingenieros crear modelos de los objetos en tercera dimensión y manipularlos de diferentes maneras, lo que es imposible con el dibujo tradicional, o sea, que automatiza varias tareas de proyección y computación que hasta la década de los setenta se habían hecho manualmente. Este software es accesible para un amplio rango de máquinas desde microcomputadoras a mainframes²³; los sistemas basados en computadoras personales

²² Robert Ayres. "La próxima revolución industrial", México, Ediciones Gernika, 1987, p. 231.

²³ Golub, op. cit., pp. 259-268.

cuentan con más del 50% de las unidades existentes de CAD en el mundo.

La difusión de los sistemas CIM todavía es muy lenta, si hay problemas en la instalación de los FMS, esto es más pronunciado en estos sistemas. Una indicación del número de CIM que hay instalados en el mundo, lo tenemos con el número de redes locales en área de fabricación, las llamadas LAN, donde las más comúnmente usadas son la MAP y la TOP, de las cuales había de 75 a 100 instalaciones a finales de 1987. Observando solamente los sistemas de cómputo usados en la producción, el mercado mundial está estimado en 52 mil millones de dólares en 1988^{**}.

Resumiendo, se considera que la utilización de equipo electrónico en los mecanismos de transmisión y comunicación de los sistemas automáticos, ofrece grandes posibilidades para el perfeccionamiento y expansión de la automatización del proceso de trabajo en la industria. Este papel central del equipo electrónico, sobre todo de los sistemas informáticos o computadoras que, como se vio, son los controladores en todos los sistemas automáticos se obtiene cuando se logra desarrollar la tecnología electrónica, principalmente en el área del diseño y la fabricación de los componentes (transistores, resistores, etc.) que constituyen los elementos de los circuitos o dispositivos tan importantes

^{**} ECE, "Annual review..", New York, United Nations, 1988, p. 51.

en la memoria central y en la lógica de la computadora.

Al incorporar la electrónica en los sistemas informáticos, resultando máquinas muy potentes, las capacidades de éstos estarán limitadas por las características de los dispositivos y componentes electrónicos, como se pudo apreciar al estudiar la evolución de las computadoras, donde la tecnología de los semiconductores fue estratégica para que estos sistemas se incorporaran en los métodos de automatización de la fábrica, así como en otros campos (bienes de consumo electrónicos, equipo de comunicación y de medición).

Por tanto, resulta que el núcleo estratégico en la informática y la electrónica y, por consiguiente, en el proceso de automatización, es la tecnología de semiconductores, y, particularmente, la de los circuitos integrados o microelectrónica. Es por esto que el estudio de esta tecnología se hace necesaria.

En el siguiente capítulo nos dedicaremos a estudiar el desarrollo de la tecnología microelectrónica y la estructura de la industria y su mercado, o sea, conocer a los principales detentadores de esta tecnología, ya que representa un área estratégica en la carrera por el dominio de las nuevas tecnologías que se están utilizando para reestructurar la economía mundial.

A partir de los setenta, la industria microelectrónica empieza a consolidarse debido a la existencia de una gran competencia por el dominio de la técnicas y los medios

(maquinaria y materia prima) más avanzados, utilizados en la producción de circuitos integrados, con el fin de participar con ventaja en los principales mercados (computadoras, telecomunicaciones, electrodomésticos y sistemas de control industrial). Una industria muy dinámica, intensiva en gastos de capital y de investigación y desarrollo (I&D), productora de innovaciones constantes, que pasaremos a describir en el periodo 1958-1990.

II. LA INDUSTRIA MICROELECTRONICA. ORIGENES Y DESARROLLO.

La industria electrónica actual fabrica una gran variedad de productos, los cuales se pueden incluir en los siguientes sectores:

a) Sistemas de procesamiento de datos. Por ejemplo:

- Las tres categorías de computadoras: mainframes y supercomputadoras, minicomputadoras, y microcomputadoras (PCs, computadoras workstations, microcomputadoras multi-usuarios)

- El equipo periférico. Por ejemplo, impresoras, pantallas, teclados, cámaras, sensores, discos, cintas, etc.

b) Bienes de consumo electrónicos o electrodomésticos. Como los radios, estereos, grabadoras, televisores, calculadoras, videograbadoras, juegos de video, etc.

c) Equipo industrial electrónico. Como los robots, los sistemas de visión artificial, sistemas para inspección, máquinas CNC, etc.

d) Equipo de comunicación. Los sistemas de comunicación por fibra óptica, el radar, los sistemas de telecomunicaciones (teléfonos públicos y privados), y equipo de televisión (p.e. transmisión por cable), entre otros.

e) Equipo de medición. Por ejemplo: anamómetros y voltímetros analógicos, equipo de prueba automático, contadores de tiempo y frecuencia, osciladores, osciloscopios, etc.

La mayoría de este equipo electrónico no existía en el

siglo pasado, y algunos ni siquiera a finales de la década de los sesentas. Su diseño y producción en gran escala fue posible, en gran medida, por el desarrollo de los dispositivos y componentes incorporados en este equipo. Esta es una característica particular de la industria electrónica, el que la capacidad de sus productos finales está limitada por las características de los dispositivos y componentes, por lo que desde sus orígenes fue necesario desarrollar, prioritariamente, al tecnología de estos dispositivos, para poder participar ventajosamente en los mercados de equipo electrónico. Resultando una industria de dispositivos y componentes muy dinámica y competitiva, que ahora pasaremos a estudiar.

La tecnología electrónica tiene que ver con la conducción y control de los flujos (corrientes) de electricidad. Esto se logra utilizando dispositivos llamados circuitos electrónicos que son formados con varios componentes electrónicos (diodos, transistores, capacitadores, etc.). Estos dispositivos tienen la capacidad de detectar, amplificar, modular y acondicionar ondas eléctricas, por lo que son considerados las unidades básicas de todos los equipos electrónicos.

Los circuitos electrónicos que se forman a partir de combinaciones de componentes simples, están destinados a conducir convenientemente la electricidad. Particularmente, estos dispositivos sirven para transformar, extraer o

presentar información en forma de señal eléctrica, por ejemplo, los circuitos que amplifican señales, usados en la radio; o que multiplican, dividen, etc., llamados puertas lógicas; o los que almacenan unidades de información binaria, los circuitos flip-flop.

Así, el avance en la tecnología electrónica está relacionado, sobre todo, con el desarrollo de los circuitos electrónicos. La evolución de estos dispositivos tiene que ver con los adelantos logrados tanto en los componentes que usa, como con los métodos de diseño, o sea, el tipo de construcción.

Antes de la década de los cincuenta, los circuitos se construían sólo en forma discreta, es decir, un número de componentes (resistores, capacitadores, bulbos) eran montados por separado en un soporte de aluminio y conectados con hilos conductores recubiertos de aislantes. En 1940, este tipo de construcción discreta mejoró cuando se fabricaron circuitos impresos, los cuales consisten en una tarjeta o tabla hecha de material aislante, donde son montados los componentes. Un número de tales dispositivos se juntaban en paquetes, creando aparatos electrónicos como la radio, la televisión y hasta una computadora.

El desarrollo de la tecnología de semiconductores o materiales de estado sólido¹ creó las condiciones para construir un circuito en forma integrada. El circuito

¹ El término semiconductor se refiere a una propiedad clave del material con el cual están hechos los componentes semiconductores. Esta se refiere a la habilidad para conducir electricidad que está ubicada entre los aislantes (p.e. el caucho) y los conductores (como el cobre).

electrónico completo está incluido en un sólo trozo de material semiconductor. Los componentes y sus conexiones constituyen un sólido bloque, a diferencia de los circuitos discretos que están formados por unidades separadas. Este circuito en una sola pieza es llamado circuito integrado (CI).

El circuito integrado o chip palabra inglesa que quiere significa pedazo, ficha, pastilla; utilizada para denominar a este dispositivo) es fabricado con material semiconductor, un material sólido como un roca -p.e. el silicio, el germanio o el arseniuro de galio- cuyas condiciones pueden variarse mediante ciertos métodos de preparación (calentamiento o dopaje: adición de otros materiales), siendo fácil obtener las propiedades eléctricas que se deseen. En una pastilla, por ejemplo, de cristal de silicio cuyo tamaño es generalmente de alrededor de 1.2 mm cuadrados, queda integrado un circuito completo². Como el proceso de fabricación es laborioso, no se hacen uno por uno, sino que en una oblea de silicio de aproximadamente 50 mm de diámetro se hacen miles de chips en un sólo proceso.

La circuitería integrada presenta varias ventajas frente a los circuitos discretos, por ejemplo, realiza operaciones para las cuales serían necesarios muchos componentes discretos, su fiabilidad es muy alta - no será menos segura una parte que las otras del circuito porque todo es una sola pieza -, el costo es muy bajo (se fabrican miles de chips en

² I.R. Sinclair. "Circuitos integrados", España, Alhambra, 1981, p. 26.

un sólo proceso) y el tamaño muy pequeño.

A partir de la década de los sesenta, la tecnología de circuitos integrados, también llamada microelectrónica, permitió construir circuitos cada vez con mayor número de componentes, o sea, aumentar su densidad con lo que fue posible crear sistemas informáticos integrados en una sola pastilla de material semiconductor, el microprocesador. Este dispositivo, junto con otros, brindó mayores capacidades al equipo electrónico, en lo que se refiere a potencia y accesibilidad, permitiendo la gran expansión de la industria electrónica, a partir de los setenta.

II.1. ANTECEDENTES

Los orígenes tecnológicos de la microelectrónica se remontan a principios de siglo, cuando la generación de electricidad en gran escala, permite su mayor utilización en los métodos de comunicación eléctrica, por ejemplo, el telégrafo, el teléfono y la radio. Con los conocimientos acumulados sobre esta nueva fuente de energía, se construyeron componentes electrónicos que podían detectar y amplificar las señales de radio. En 1906, el físico americano Lee De Forest inventó un tubo de tres electrodos o triodo³, el cual tenía tres partes básicas: un cátodo que emite electrones (corriente negativa); un ánodo que colecta electrones (corriente positiva); y una rejilla, malla de

³ Este componente estaba basado en la técnica de vacío que consistía en poner dos o tres electrodos (metal conductor por donde sale la corriente) de aleación de níquel en un recipiente de vidrio al vacío.

alambre entre el cátodo y el ánodo; otra parte era la placa de metal que actúa como válvula (obturador), permitiendo que los electrones del cátodo salten a través del vacío hacia el ánodo. Una última parte, un filamento, también era necesaria; éste calienta al cátodo, agitando los electrones que pasan al ánodo -por lo mismo, un tubo de vacío es llamado válvula termoiónica en Inglaterra, refiriéndose a la emisión de electrones por calor-. Enlazando una antena a la rejilla, y fluctuando el voltaje de esta última, se pueden recoger señales de radio. Como los electrones son atraídos del cátodo al ánodo, parte del audio de las ondas era amplificado. El triodo hizo a la radio un medio práctico para la comunicación*, creándose una industria que forma las bases de la industria electrónica, junto con la de la televisión, donde la producción fue dominada por grandes compañías como Telefunken y Siemens de Alemania; y RCA, AT&T, General Electric y Westinghouse (estas dos últimas como abastecedoras de válvulas) de los Estados Unidos.

La tecnología de tubos electrónicos domina la industria electrónica durante la primera mitad de este siglo; la mayoría del equipo electrónico estaba constituido por circuitos electrónicos que contenían estos componentes. Una segunda etapa surge con la incorporación de materiales semiconductores en la construcción de componentes y circuitos. Los avances en esta última tecnología crean las condiciones para elaborar una de las más importantes

* Augarten, op. cit., pp. 225-226.

invenciones del siglo veinte, el transistor. En 1947, un equipo de científicos en los Laboratorios Bell (centro de investigación de la firma AT&T) inventaron el transistor, que es una sólida pieza de material con las propiedades eléctricas de un tubo de vacío. Como un tubo, este componente puede amplificar la corriente eléctrica, detectar ondas de radio, y servir como un interruptor lógico; aunque no tan frágil y delicado como su contraparte, éste prende instantáneamente, casi no genera calor, usa poco poder, no se quema, su costo es bajo, es prácticamente inmune a la vibración y las sacudidas y ocupaba tanto espacio como una goma de lápiz. Dadas estas características el transistor vino a revolucionar la electrónica³.

El desarrollo de la mecánica cuántica - relacionada con el estudio del átomo, particularmente con la energía del electrón - dio a los científicos una poderosa herramienta teórica para el análisis del fenómeno eléctrico. Estos conocimientos se aplicaron, sobre todo, en el estudio de las propiedades eléctricas de los materiales semiconductores, principalmente en la década de los veinte. Sin embargo, no se pudo avanzar, ya que los semiconductores eran altamente susceptibles a la contaminación, lo cual alteraba sus propiedades eléctricas. A principios de los treinta se tuvieron disponibles el silicio y el germanio puros. La necesidad de contar con componentes elaborados con semiconductores se presentó cuando, ocupando al radar para

³ Ibidem.

detectar objetos en el aire, los científicos se percataron de que los tubos de vacío no podían detectar ondas cortas -de gran importancia para los vuelos bajos de los aviones-; lo que motivó su cambio por semiconductores, componentes más efectivos para este fin. Los desarrollos en la investigación y aplicación de este campo se aceleraron cuando la Segunda Guerra Mundial estalló.

En 1940, Russell S. Ohl, un científico de los Laboratorios Bell, formó un bloque de silicio que estaba dividido en dos diferentes regiones eléctricas, una contenía un exceso de electrones y otra un exceso de huecos o cargas positivas (esto se logra por dopaje, es decir, añadiendo pequeñas cantidades de materiales con cargas eléctricas positivas y negativas*). Si se unen estas dos regiones en un solo cristal de silicio puede fluir la corriente eléctrica. El descubrimiento de esta unión llamada pn, fue muy importante para el avance de la tecnología de los semiconductores.

La compañía AT&T (American Telephone and Telegraph) usaba millones de tubos y dispositivos mecánicos, pero los primeros se quemaban frecuentemente y los otros funcionaban mal en ocasiones; por lo que deseaba reemplazar todas esas partes con componentes de estado sólido. En 1945, esta compañía inicia un programa de investigación sobre la física de estado sólido. Un pequeño grupo se encargó del estudio de los semiconductores, enfocándose en el silicio y el germanio

* Si al silicio o al germanio se le añaden impurezas como el antimonio, arsénico o fósforo, se crean portadores libres de corriente negativa (tipo n); y si se añaden sustancias como el indio, boro o aluminio, se crean huecos o cargas eléctricas positivas (tipo p).

para tratar de entender la naturaleza de la unión pn. Para 1947, este grupo elabora un componente amplificador, un pequeño pedazo de germanio con dos uniones pn, al cual llamaron transistor de puntas de contacto⁷.

Ante las dificultades para fabricar este transistor⁸, en 1951, se desarrolla una mejor versión, el transistor bipolar o de unión⁹ que pasa del laboratorio a la fábrica. Ambos transistores operan como un triodo, aunque en vez de un cátodo y un ánodo, un transistor tiene un emisor y un colector. Y en vez de rejilla, este tiene una base. A diferencia de las partes de un triodo, las de un transistor están fundidas en el pedazo de material semiconductor (no hay tubos de vidrio ni rejillas de metal). Esencialmente un transistor es como un emparedado eléctrico que contiene dos uniones pn, una entre el emisor y la base, otra entre la base y el colector. El emisor y el colector -el pan del emparedado- conducen corriente con polaridad negativa; y la base -la carne del emparedado- corriente positiva. Cuando un voltaje es aplicado a la base, los electrones se mueven del emisor, a través de la base, al colector, amplificando la corriente¹⁰.

Los primeros transistores se colocaron como amplificadores en los aparatos para sordos, en 1953. Los

⁷ Ibid, p. 227-228.

⁸ Este transistor se formaba con un cristal de germanio, el cual se sometía a un proceso químico para crear la unión pn, colocándose sobre un metal.

⁹ Es llamado bipolar porque la corriente está dada por huecos (polaridad positiva) y por electrones (polaridad negativa); y de unión, por estar formado por dos tipos de semiconductores tipo n y tipo p.

¹⁰ Ibid. pp. 229.

radios con transistores se construyeron al siguiente año lo que significó un gran crecimiento de la industria electrónica. En otro sector de la industria que empezaba a expandirse, las computadoras, también se interesaron en este componente, para 1957 y 1958, las firmas UNIVAC y Philco Corporation introdujeron las primeras computadoras transistorizadas. Esta nueva generación era superior a su predecesora, ya que era más pequeña, más confiable y económica, y mucho más poderosa.

Mientras que con los transistores se estaban reconstruyendo las computadoras, otra tecnología, aún más revolucionaria, estaba empezando a desarrollarse, la de los circuitos integrados.

La descripción de un moderno circuito integrado la hizo un ingeniero que trabajaba para "The Royal Radar Establishment" en Inglaterra, W. A. Dummer en 1952. Resultado de la búsqueda de solución al problema de cómo hacer un radar u otro equipo electrónico más confiable, lo que se lograba reduciendo las partes e interconexiones, o sea, mediante la miniaturización de los circuitos. Esto es, incorporando varios transistores, capacitores (que almacenan cargas), resistores y otras partes dentro de un mismo sólido, una pieza de material inseparable. Sin embargo, los problemas técnicos presentes al momento de elaborarlo -cómo se iban a aislar los componentes que no eran semiconductores y cómo podrían conectarse juntos- fueron demasiados; por lo que no se pudo llevar a cabo su construcción.

En Estados Unidos hubo una mayor aceptación a los esquemas de miniaturización. El Departamento de Defensa gastó millones de dólares en programas de investigación para elaborar componentes electrónicos más pequeños y confiables, menos costosos, y más fáciles de construir. Estos esfuerzos propiciaron una industria de tamaño considerable, y reflejaron el creciente interés militar por la tecnología electrónica; primeramente, en la Segunda Guerra Mundial, ya que todos los tipos de armas contenían equipo electrónico, y, después, para consolidar el dominio militar, el éxito de la próxima generación de armamento -misiles guiados, bombas H y computadoras- dependía del estado de esta tecnología".

Tenemos, por ejemplo, el plan llamado "proyecto tinkertoy", iniciado en 1950, cuyo objetivo fue desarrollar módulos electrónicos (unidades estandarizadas que podían ser ensambladas), compuestos por componentes discretos". O el llamado "plan micromódulos" que dio inicio en 1958, enfatizando en la miniaturización, se elaboró un dispositivo formado por transistores, resistores y otros componentes, depositados sobre una oblea delgada de cerámica, cuyo diámetro era el de un lápiz. Estas obleas eran conectadas, por medio de alambres a los lados, en un circuito impreso. Sin embargo, estos dispositivos resultaron obsoletos con la invención de los CIs.

A finales de los cincuenta, varios ingenieros eléctricos

²¹ Ibid. p. 232.

²² Este proyecto fue cancelado en 1953 por obsoleto, ya que el esquema estaba basado en tubos, en vez de transistores.

y físicos tenían la idea de circuitos electrónicos miniatura, o sea, desarrollar exitosamente alguna forma de microelectrónica. En 1958, un ingeniero de la firma Texas Instruments, Jack Kilby, elaboró el primer CI. Esta invención era anunciada para el año siguiente.

La empresa Texas Instruments, altamente productiva e innovadora en esos años, fue de las primeras productoras de transistores. En 1954, es la primera compañía que fabrica transistores de silicio, los cuales ofrecen varias ventajas en su fabricación y funcionamiento (p.e. el silicio es más resistente al calor que el germanio). Los directores de esta firma, interesados en la miniaturización, recibieron fondos iniciales del "plan micromódulos". Jack Kilby, escéptico de los micromódulos, elaboró un circuito sin componentes discretos, el CI. Sin embargo, estos circuitos eran poco confiables y difíciles de fabricar, comparados con los chips prácticos, desarrollados después por Robert Noyce, un ingeniero que trabajaba en la compañía Fairchild Semiconductor¹³.

A partir de la fabricación de los CIs en grandes volúmenes llevada a cabo, sobre todo, por Texas Instruments y Fairchild, se inicia una etapa de constantes desarrollos en la tecnología microelectrónica, consolidándose una industria estratégica para el cambio tecnológico, la cual, a través de sus constantes innovaciones, provocó un acelerado progreso en la industria electrónica, expresado en la mejora del equipo

¹³ Ibid. pp. 235-238.

existente y en la elaboración de nuevos productos.

La historia de la industria microelectrónica se caracteriza por su continuo progreso tecnológico que consiste en el incremento del grado de integración del dispositivo¹⁴, la creciente complejización de sus funciones, el aumento de su calidad y confiabilidad y el incremento en la variedad de dispositivos; este desarrollo es llevado a cabo ya sea por empresas únicamente productoras de semiconductores o por grandes compañías que controlan el proceso de producción desde la elaboración de los materiales hasta el producto acabado, es decir, integradas verticalmente, su producción principal es el equipo electrónico. Ambas van a competir por participar ventajosamente en los principales mercados por medio del desarrollo de la tecnología de circuitos integrados.

Considerando estas características, el estudio de la evolución de la industria microelectrónica hasta finales de los ochenta, se puede dividir en dos periodos, determinados por el avance en la tecnología de los circuitos integrados y por las características del mercado.

Una primera etapa de desarrollo va de 1958 a 1978. En este periodo inicial se dio un repetido progreso tecnológico, las innovaciones introducidas eran sistemáticamente sobrepasadas, ya sea en el campo de las técnicas de

¹⁴ Hasta la década de los ochentas, se han logrado cuatro etapas de integración: la SSI (small scale integration), el circuito contenía de 10 a 1,000 componentes, la MSI (medium scale integration) de 1,000 a 10,000, la LSI (large scale integration) de 10,000 a 1,000,000, y la VLSI (very large scale integration) de 1,000,000 a 1,000'000,000.

fabricación como en el diseño de los CIs. Con estas innovaciones incorporadas a la informática, se expandió el mercado de las computadoras, un mercado que se convertirá en el más importante para la industria microelectrónica.

En este periodo, las empresas de Estados Unidos van a tener una posición dominante en el diseño y la producción de los CIs. Con el apoyo financiero y la demanda por parte del gobierno, a través del Departamento de Defensa, y el dinamismo del mercado de las computadoras, se crea un ambiente favorable para el surgimiento de un gran número de empresas pequeñas productoras de semiconductores, las cuales fueron las principales participantes, siendo las encargadas de llevar a cabo una serie de importantes innovaciones.

Sin embargo, en la década de los setenta, para desarrollar la tecnología microelectrónica se comenzó a requerir de mayores gastos de I&D y de capital, esto representó un gran reto para esas pequeñas compañías productoras que eran escasas en recurso financieros, no tenían una demanda base ni fuerza de trabajo estable; características importantes para sobrevivir en la industria. Las grandes compañías se mantuvieron a través de una mayor concentración y las empresas nuevas lo lograron mediante la conquista de mercados importantes. En este periodo las empresas japonesas empezaron a dominar segmentos del mercado de CIs, los cuales al tener las características antes mencionadas, junto con otras, comenzaron a representar una amenaza para la dominante industria norteamericana.

En la siguiente década, la competencia en la industria microelectrónica, con nuevos mercados (PCs, workstations, videograbadoras, compact discs), se centró en el logro de mayores niveles de integración de los circuitos, requiriendo de más recursos para llevar a cabo estos desarrollos tecnológicos. Esto provoca un cambio en la estructura del mercado de semiconductores, que se expresa en la repartición de mercados de los diferentes tipos de CIs entre Estados Unidos y Japón, teniendo Europa un papel menor.

II.2. ETAPA INICIAL DEL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA MICROELECTRONICA, 1958-1978.

El mercado mundial de circuitos integrados estuvo dominado por los productores estadounidenses hasta 1977 (ver Cuadro 2), cuando productores japoneses capturaron el 42% del mercado de dispositivos de memoria en Estados Unidos. Desde la invención del circuito integrado en 1958, Estados Unidos dominó el desarrollo y el comercio de estos dispositivos; las firmas poseían gran ventaja competitiva en el diseño y la producción de CIs.

Las constantes innovaciones y altas tasas de crecimiento en la producción de diferentes tipos de circuitos integrados que se dieron en el periodo 1958-1978, están relacionados con diferentes factores característicos del mercado norteamericano (p.e. una gran demanda y apoyo por parte del sector militar a la tecnología electrónica; gran movilidad de personal técnico y de capital para invertir, etc.). Este

desarrollo se divide en tres fases, las cuales se determinan al observar el avance en la tecnología de circuitos integrados y las diferentes características del mercado¹⁰. Tenemos una fase inicial donde los grandes volúmenes de demanda y apoyo financiero por parte del gobierno para el sector militar consolidaron una estructura industrial muy dinámica. En la segunda fase, la difusión de la tecnología microelectrónica se realizó a través de la industria de computadoras en donde los altos niveles de competencia entre las compañías productoras de circuitos integrados provocó una reducción progresiva de costos y gran diversificación de los productos. La última fase, está asociada con la producción de circuitos con mayor número de componentes, lo que provoca que los productos cambiaran de carácter, es decir, de ser parte de un sistema, los chips pasaron a realizar las funciones de todo un sistema electrónico completo, ejemplo sobresaliente de este tipo de CI es el microprocesador. Estos dispositivos más complejos requirieron de mayores gastos en el campo de la Investigación y Desarrollo (I&D) y en el proceso de fabricación; elevados costos que sólo pudieron afrontar las grandes compañías. Por consiguiente, la estructura empresarial de la industria microelectrónica cambió en esta fase, ante la necesidad de cumplir estos nuevos requerimientos, periodo en el que las empresas japonesas conquistan sectores importantes en el mercado mundial.

¹⁰ Michael Borrus (et.al.). "U.S.-Japanese competition in the semiconductor industry...", Berkeley, CA., Institute of International Studies, University of California, s.a., pp. 11-14.

II.2.1. SECTOR MILITAR Y PRODUCTORES MERCANTILES, 1958-1965

La demanda en el mercado de defensa y aeroespacial mantuvo a la industria electrónica de Estados Unidos, en gran medida, en una trayectoria tecnológica específica, contribuyendo a conservar la posición de liderazgo y dominio tecnológico de este país en el resto del mundo. Demanda motivada por la necesidad de poseer una tecnología militar avanzada que los mantuviera en la posición hegemónica frente a su principal opositor, la URSS.

Durante la década de los cincuenta, mientras Europa y Japón se dedicaron a desarrollar y producir en masa bienes de consumo electrónico basados en transistores de germanio, la industria norteamericana, estimulada por la demanda del sector militar, demandó la miniaturización de dispositivos que funcionaran mejor y fueran más confiables, llegando a ser predominante la tecnología basada en el silicio.

La tecnología dominante en la industria de los componentes electrónicos fue, hasta los años cuarenta, la de los tubos electrónicos. La producción de estos componentes estaba dominada por grandes productores de equipo electrónico (p.e. RCA y General Electric). El cambio hacia los transistores y después al circuito integrado, provocó una reestructuración en la composición de los fabricantes de componentes, pocos de los líderes productores de tubos mantuvieron su posición tras la incorporación de estas nuevas

tecnologías. En este movimiento, el apoyo financiero del sector militar y aeroespacial creó un mercado formado por pequeñas empresas, un sector independiente de fabricantes de componentes semiconductores (las llamadas empresas mercantiles)¹⁴ (ver Cuadro 1).

El primer CI fue dado a conocer por Texas Instruments en 1958; en los dos años siguientes la Fuerza Aérea otorgó tres millones de dólares para desarrollar el CI y el proceso de manufacturación en grandes cantidades. Mientras tanto, sin fondos del gobierno para la I&D, la compañía Fairchild desarrolló el proceso planar¹⁵ que permite que los circuitos sean hechos completamente por una máquina, pasándolos del laboratorio a la fábrica.

En 1957, Robert Noyce, Jean Hoerni y otros científicos e ingenieros fundaron Fairchild semiconductor. Esta firma estuvo centrada en la producción de transistores de silicio llamados "de mesa". Este componente está formado por una base de silicio (el colector), en la que se coloca un delgado círculo plano (la mesa) y arriba de éste, un anillo semicircular que funciona como emisor. Este transistor era fabricado mediante las técnicas de fotolitografía (que significa literalmente: escribir con luz sobre una piedra), grabado y difusión¹⁶. Sin embargo, las mesas sobresalían de

¹⁴ Ibid. pp. 15-16.

¹⁵ Técnica utilizada para formar uniones semiconductoras haciendo capas de silicio diferentemente dopadas, a través de un proceso de impresión llamado fotolitografía (parecido al proceso de impresión fotográfica) que ocupa equipo de rayos ultravioleta.

¹⁶ La difusión es la mezcla de una sustancia con otra y se utiliza para formar ambos tipos, n y p, de silicio. Consiste en pasar compuestos químicos en forma gaseosa sobre el silicio caliente, dejándolos estar en contacto.

CUADRO 1
GRANDES PRODUCTORES DE SEMICONDUCTORES EN EU Y JAPON
(%)

	Porcentaje del mercado domestico de semiconductores
ESTADOS UNIDOS (1960)	
Fabricantes de tubos de vacio	35
General Electric	8
RCA	7
Raytheon	4
Philco	4
Westinghouse	4
Otros	4
Nuevos fabricantes de semiconductores(*)	60
Texas Instrument	20
Transition	9
Hughes	5
Motorola	5
Fairchild camera & instrument	5
Otros	16
Western Electric (cautiva)	5
JAPON (1959)	
Fabricantes de tubos de vacio	79
Toshiba	26
Matsushita	16
Hitachi	15
NEC	15
Mitsubishi	2
Otras	5
Nuevas fabricantes de semiconductores(*)	19
Sony	11
Sanyo	2
Otras	6
Importaciones	2

*Firmas que no fabricaban tubos de vacio. Fujitsu, formada en 1968, entra en las dos categorias

Fuente: OTA. "International competitiveness in electronics", Washington DC, US Government Printing Office, p. 140.

las obleas, lo que provocaba que los transistores fueran objeto de todo tipo de contaminaciones y las conexiones se soltaran; esto originaba cortos circuitos.

A finales de 1958 y principios de 1959, uno de los científicos de esta compañía, Jean Hoerni, solucionó estos problemas. Depositó químicamente varias partes del transistor en una pieza de silicio. El resultado fue un transistor plano, sin que ninguna parte sobresaliera.

Este proceso planar fue un gran adelanto técnico que permitió la invención del CI comercialmente viable¹⁹.

En 1959, Robert Noyce desarrolló un CI basado en el proceso planar de Hoerni y en uniones pn. Para 1961, Fairchild y Texas (usando este proceso) introdujeron sus primeros chips lógicos que podían operar como puertas lógicas.

El mercado inicial de CIs para estas dos compañías en 1963, consistió en cubrir la demanda en dos grandes programas del gobierno: Texas Instruments en el sistema de misiles guiados Minuteman II, y Fairchild en la computadora guía del vuelo espacial Apolo²⁰. Entre 1963 y 1965 la industria de circuitos integrados fue apoyada por lo menos por doce contratos para sistemas electrónicos militares y espaciales. El gobierno consumió en este periodo alrededor del 80% de los CIs, apoyando la fundación de nuevas compañías como Signetics, General Microelectronics y Molectro, (empresas

¹⁹ Augarten, op.cit., pp. 241-242.

²⁰ Borrus, op.cit., p. 16.

originarias del segmento de productores mercantiles).

11.2.2. EL MERCADO DE LAS COMPUTADORAS Y LA COMPETENCIA ENTRE PRODUCTORES MERCANTILES, 1966-1972

La producción de circuitos integrados se duplicó para 1972. Esta rápida tasa de crecimiento es reflejo, en gran medida, del acelerado incremento en la demanda de CIs por parte de los productores de computadoras y equipo industrial durante los últimos años de la década de los sesenta. Para 1962, el 65% de las ventas de CIs en los Estados Unidos se destinó a estos mercados (el consumo del sector militar cayó al 25%). Lo que marcaba definitivamente el arribo de la era de la informática.²¹

En 1960, por ejemplo, una computadora grande contenía 100,000 diodos y 25,000 transistores. Este cambio a dispositivos con semiconductores discretos representó varios problemas para la industria de computadoras por lo que, a pesar de estar interesados en los circuitos integrados, los productores no intentaban rediseñar los circuitos básicos ya que resultaba muy costoso en esa época. La excepción fue en la memoria interna, la cual tenía una existencia más o menos autónoma en la computadora. Tan pronto la memoria tuvo los requerimientos operacionales apropiados, fue posible reemplazar por CIs los núcleos magnéticos.

Los ejecutivos de la compañía IBM fueron los primeros en introducir CIs en la memoria central, en el sistema 360

²¹ Ibid., p. 17.

(familia de computadoras con procesadores compatibles y paquetes de software que se adaptaban a muchas aplicaciones y tenían un bajo costo). Estos dispositivos redujeron considerablemente el precio de los equipos además de reducir el poder de consumo e incrementar la velocidad y la capacidad. Con este avance, junto con el potencial abierto por el software compatible con otros modelos, comienza la expansión del mercado comercial de computadoras.

Los competidores de IBM reaccionaron ofreciendo un hardware basado en CIs. Este dispositivo eliminó varios costos de ensamble asociados con los dispositivos discretos. Es así que compañías como RCA y Borroughs bajaron los precios de sus computadoras, originando una gran competencia en el mercado.²²

Además, los avances en la tecnología de CI y su cada vez mayor accesibilidad, ayudaron a crear un nuevo segmento en el mercado de las computadoras, el de las minicomputadoras, el cual llegó a ser muy competitivo y con altas tasas de crecimiento a principios de los setenta.

El auge de las minicomputadoras demandaba la expansión de la industria microelectrónica mercantil. Estos sistemas informáticos usaban sus respectivas "familias" de CIs, es decir, requerían de partes compatibles electrónicamente para ser interconectadas en la computadora. Así, la disputa entre las firmas mercantiles por dominar ese mercado incentivó la innovación constante de los CIs, resultando una gran variedad

²² Ibid., p. 19.

de familias de diseño bipolar y la reducción de costos

El diseño y la fabricación del CI empezó poniendo una puerta lógica básica en un chip y continuando con la miniaturización se obtuvo un subsistema completo de computadora, el microprocesador, como se verá en seguida.

En la década de los sesenta, los primeros diseños de CIs digitales incorporaban poco menos de 15 transistores por un chip de silicio. Estos dispositivos requerían ser conectados a otros para realizar las funciones de computación, por lo que cada firma lanzaba una familia de CIs con cierto diseño, o sea, con cierta composición del circuito (incluyendo transistores con diodos o con resistores).

Los primeros CIs fueron introducidos por Fairchild y Texas. La primera compañía ofreció circuitos basados en el diseño llamado "Logical transistor-resistor-capacitor" (RCTL), y la segunda firma, el diseño "Logical transistor direct double" (DCTL). Estas "familias" de CI fueron usadas en los programas militares antes señalados.

Al eliminar las deficiencias presentadas en estos CIs, se suplantaron por otros más rápidos y fáciles de fabricar. En el periodo de 1965 a 1967, Fairchild fue el líder en la industria microelectrónica, diseñando los CI bipolares basados en la composición "Logical diodo-transistor" (DTL)²³, obteniendo el 24% del mercado comercial de CI. Sin embargo, Texas recobró el mercado con la introducción de la familia de circuitos "Logical transistor-transistor", los cuales, al

²³ Este diseño permite una más fácil construcción del circuito.

tener mayor velocidad de cambio de corriente (es decir, ser mejores interruptores lógicos) fueron más atractivos para el mercado de las computadoras que los de Fairchild. Además, estos CIs realizaban funciones básicas del CPU (sumadores, codificadores, memorias de 4 bits)²⁴, esta innovación en el diseño, junto con una agresiva reducción en el precio por parte de una segunda fuente²⁵ de Texas Instrument -National Semiconductors, de reciente entrada al sector mercantil-, permitieron a la familia lógica bipolar TTL obtener una posición dominante en el diseño del hardware para 1969. En 1970, Texas sacó al mercado el TTL shottky, más veloz y de mayor densidad (mayor número de componentes) colocándose como el líder en el sector mercantil lógico bipolar en los primeros años de los sesenta.

Como se puede observar, en la evolución de los CI lógico-bipolares, el incremento de componentes proporcionó al circuito la capacidad de realizar funciones básicas que anteriormente eran realizadas solamente por los sistemas electrónicos, esto es, la influencia recíproca entre componente y sistema fue cada vez más marcada. La compañía que diseñaba un subsistema del hardware en un chip y reducía su costo en el mercado de computadoras, conseguía una posición dominante. Sin embargo, los fabricantes de

²⁴ Estos circuitos pertenecían a la era de mediana integración (medium scale integration, MSI).

²⁵ Se habla de segunda fuente en la industria cuando una firma produce un producto originalmente introducido por otra. La mayoría de los consumidores de componentes requieren de una segunda fuente para asegurar su abastecimiento. La segunda fuente se refiere a un papel específico en el mercado.

componentes no siguieron desarrollando una "versión chip" para cada sistema y subsistema electrónico en existencia; ya que los costos para el diseño de tales chips-sistema eran muy altos, además para amortizar estos costos, se requerían grandes volúmenes de producción, lo que no era posible porque varios equipos electrónicos tenían mercados pequeños.

La industria microelectrónica estaba aproximándose a otra fase de desarrollo, la de integración en gran escala (large scale integration, LSI). A los fabricantes de CIs se les presentó un dilema estratégico: o desarrollaban estrategias para satisfacer la demanda de circuitos hechos a la medida del cliente, o se dedicaban a construir circuitos estandarizados, producidos en grandes volúmenes.

El mercado para clientes especiales no fue la alternativa para la mayoría de las firmas mercantiles, sino el mercado en masa de circuitos integrados. Este se creó al elaborarse los chips especiales para calculadora y las memorias de semiconductores, innovaciones basadas en el desarrollo de una nueva técnica de construcción de CIs, la llamada MOS (Metal Oxide on Semiconductor, Metal-Oxido-Semiconductor). Este avance significó la entrada de la industria en la fase LSI.

La tecnología MOS perfeccionó un tipo diferente de circuito integrado basado en un transistor distinto del bipolar, el tipo metal-óxido-semiconductor. Este transistor, a diferencia del transistor convencional que utiliza silicio de tipo p y n como portadores de carga (dos tipos de cargas

móviles), usa solamente un tipo de material sin uniones, con un sólo signo de carga (por lo que también es llamado unipolar). A una base de silicio tipo n-p-n, se le difunde una capa de óxido como aislante y después una placa de metal, ésta última controla la corriente eléctrica para que fluya a través del silicio²⁷.

El tamaño de este transistor es mucho menor que el de un transistor bipolar (una quinta parte), de esta manera la potencia disipada es considerablemente más baja (disipa menos calor). Estas dos ventajas permiten integrar a estos transistores en altas densidades²⁸. La única desventaja de los circuitos MOS es que tienen una respuesta lenta comparado con el transistor bipolar (p.e. el TTL-shottky de Texas)²⁹.

En la era LSI los fabricantes tuvieron dos alternativas: fabricar productos LSI, ampliamente usados como componentes, o productos diseñados con suficiente flexibilidad para que pudieran ser ocupados en una variedad de sistemas³⁰. La primera alternativa originó la creación de un mercado en masa de CI MOS de bajo costo, utilizados en calculadoras (Mostek, fundada en 1969, fue la primera firma en producir una calculadora en un chip), relojes y memorias de semiconductor. La otra, se plasmó en la construcción del microprocesador (desarrollado por la firma Intel, empresa fundada en 1969) un producto flexible el cual, con un chip de memoria programado

²⁷ Sinclair, op. cit., pp. 112-113.

²⁸ La nueva familia de circuitos lógicos que se desarrollan con esta técnica es la llamada CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) desarrollada por la firma RCA en 1968.

²⁹ Sinclair, op. cit., pp. 113-117.

³⁰ Borrus, op. cit., p. 23.

se arregla para cada diferente aplicación, esto permitió a los fabricantes ampliar su campo de aplicaciones, creando nuevos mercados.

Ante la gran diversificación tecnológica ninguna de las grandes compañías pudieron explotar y desarrollar toda la potencia inmanente de estos desarrollos, lo que forzó a la expansión acelerada de la industria microelectrónica. En un ambiente de gran movilidad de capital para invertir (el llamado "capital de riesgo") y del personal técnico, entre 1966 y 1972 30 nuevas compañías entraron a esta industria, propiciando una estructura industrial altamente competitiva. En 1965, las cuatro grandes firmas mercantiles contaban con el 69% de las ventas totales. Para 1972, su porcentaje había descendido al 54%²¹.

En 1973, las principales compañías, en orden descendente por su nivel de ventas mundiales eran: Texas Instrument, Motorola, National Semiconductors, Fairchild, Signetis, Intel, American Microsystems y Mostek. (ver Cuadro 4).

II.2.3. LA ERA DE LA GRAN ESCALA DE INTEGRACION, 1972-1978.

Con el desarrollo de la tecnología de CIs se había logrado aumentar el número de transistores incluidos en una simple pastilla de silicio. La tecnología básica MOS, ofreció ventajas tecnológicas en términos de costos de producción y densidad, sobre la bipolar, difundándose rápidamente en el

²¹ Ibid, p. 25.

mercado. Sin embargo, la intensa competencia en precios y la complejización de las tecnologías de construcción de circuitos integrados, provocaron un reacomodo en la industria que se tradujo en el abandono del mercado por parte de varias compañías, ya sea desapareciendo o siendo fusionadas con compañías más grandes. En esta fase de desarrollo, las firmas japonesas entran a competir al mercado de los CI MOS, con productos de alta calidad y bajos precios, que son ofrecidos por las grandes corporaciones productoras de equipo electrónico, sobre todo, de bienes de consumo electrónicos.

Los principales segmentos que demandaron CI MOS fueron:

a) Productos de consumo. Entre 1969 y 1974, este mercado creció rápidamente (en 1974 consumía el 15% de la producción de CI). Particularmente, se demandaban chips para calculadoras y relojes. Ante el gran auge de este mercado, varias compañías de CI MOS se integraron a la producción de estos bienes finales. Sin embargo, la competencia con bajos precios y la fluctuación en la demanda del producto, provocó que varias firmas mercantiles abandonaran la línea de producción en 1977.

b) Dispositivos para la memoria central de la computadora. Los circuitos MOS³² también crearon un nuevo mercado en masa para los CIs. Este dispositivo es de gran importancia en la industria microelectrónica, porque además de representar un alto porcentaje en el consumo de los CIs,

³² Diferenciándose de los elaborados con transistores bipolares que se les suele llamar memorias flip-flop.

un tipo de memoria, los dispositivos DRAM (dynamic random access memory)³³ son considerados guías³⁴ de la tecnología microelectrónica.

Desde la introducción del dispositivo 1K DRAM (1,024 bits de RAM, almacenando 20 palabras) por parte de Intel en 1970, el rápido crecimiento de las ventas estuvo en función del incremento en la densidad del dispositivo y del decremento de los costos del chip. La capacidad de almacenamiento por CI avanzó de 1K en ese año a 4K (80 palabras) en 1972, 16K (310 palabras) en 1975 y 64K (1,250 palabras) en 1976. El precio cayó de un centavo de dólar por bit en 1970 a .05 en 1979³⁵. La intensa competencia se daba mediante la baja del precio y el aumento de la densidad a la cual sólo las compañías más aptas sobrevivieron.

c) Microprocesadores. Este dispositivo permitió la aplicación de la microelectrónica en una enorme variedad de productos. Al tener la organización típica de una computadora, un CPU que necesita de una memoria, vías de comunicación y unidades de entrada y salida, se pueden diseñar sistemas digitales como calculadoras programables, minicomputadoras de uso general, controladores para procesos industriales, etc.

Esta flexibilidad incorpora un nuevo tipo de estrategias

³³ Una de las maneras de describir un dispositivo para la memoria interna de la computadora es: si es dinámica, la información guardada tiende a desvanecerse y debe ser periódicamente renovada con corriente; o estática que retiene los datos en tanto recibe un voltaje constante. La DRAM es de menor tamaño y costo, siendo más demandada que la SRAM.

³⁴ Se les llama guías tecnológicos porque su fabricación proporciona experiencia que puede ser aplicada a otros tipos de chips o a las últimas generaciones del mismo chip.

³⁵ Borrus, op. cit. p. 29.

en el mercado, relacionadas más con el desarrollo del producto que con la baja del precio, donde las barreras para conseguir mayores aplicaciones surgen de los elevados costos para desarrollar programas del tipo específico (software).

La competencia entre los productores mercantiles de microprocesadores que se expresa en el rápido decremento de los costos del hardware y en las sucesivas generaciones cada vez más sofisticadas de estos dispositivos³⁶, se da en dos direcciones: en la expansión de nuevos mercados de aplicación, y en la integración de estos productores en los mercados de microcomputadoras, minicomputadoras, y equipo compatible para las mainframes.

Así, el microprocesador, junto con la microcomputadora colocaron a la industria en una nueva fase, la fabricación de sistemas-componentes, transformando a las firmas que producen este tipo de dispositivo en las compañías de la última generación de sistemas informáticos. Este aumento en la complejidad del producto provocó la depuración y concentración de la industria microelectrónica.

En este periodo, la estructura de la industria microelectrónica en Estados Unidos se va a conformar con los siguientes tipos de firmas que producen CIs: las compañías que continúan complejizando sus productos para los mercados de bienes que van desde calculadoras a las minicomputadoras,

³⁶ El microprocesador se va complejizando conforme aumenta el grupo de puertas lógicas que contiene, su poder se puede medir por el número de bits que puede procesar en grupo, simultáneamente, este dispositivo, que va de 8, 16 y 32 bits.

firmas mercantiles líderes en Estados Unidos: Texas Instruments, Fairchild, Intel, National Semiconductor, Motorola; las empresas que encontraron un mercado seguro (nicho) para sus chips especiales; y por último, los grandes productores de sistemas electrónicos (p.e. IBM, NCR, Hewlett Packard, Western Electric y Honeywell) que empezaron a integrarse a la producción y diseño de CI (llamado mercado cautivo), creando su propia capacidad para producir CIs o adquiriendo productores mercantiles existentes, durante el periodo 1972-1979

Por lo que concierne a las compañías japonesas productoras de semiconductores, éstas entraron a competir al mercado de las memorias MOS. En este periodo, estas corporaciones desarrollaron la tecnología LSI MOS, y dadas las características de su industria electrónica (una estructura oligopólica, con relaciones interfirma, con bancos y con el gobierno), ofrecieron CIs (16K DRAM) a bajo precio, capturando una parte importante del mercado mundial.

La industria microelectrónica japonesa tuvo un desarrollo un tanto diferente a la de Estados Unidos. Impulsadas sobre todo por el mercado de productos de consumo³⁷, las grandes compañías electrónicas desarrollaron el sector de los semiconductores, aunque no en gran escala, en la década de los sesenta.

En 1968, la industria electrónica estaba completamente dominada por la producción de los electrodomésticos, siendo

³⁷ A finales de los cincuenta, las 2/3 partes de la producción de transistores iba a los radios.

escasa la producción de estos dispositivos, la cual representaba el 9.5% de la de los semiconductores (la otra parte eran circuitos impresos), y la producción de éstos era el 1.7% del total de componentes electrónicos.

La necesidad de ofrecer productos competitivos en el mercado internacional, así como de ampliar su variedad, incluyendo el nuevo equipo electrónico (computadoras, equipo de telecomunicaciones digital, equipo electrónico industrial, etc.) motivó el desarrollo de la tecnología de los circuitos integrados en gran escala. Las más grandes compañías (NEC, Hitachi, Toshiba, Fujitsu, Matsushita y Mitsubishi) negociaron con el gobierno, a través del MITI (Ministerio de Comercio e Industria Internacional), su transición a la tecnología LSI.

La mayor parte de la tecnología incorporada en las empresas japonesas estaba basada en la tecnología que Estados Unidos había desarrollado hasta entonces. Un alto nivel de transferencia tecnológica entre Estados Unidos y Japón se llevó a cabo en la década de los setenta (p.e. la venta de la mayoría de las patentes por parte de los Laboratorios Bell, o la mitad de las de la empresa Fairchild), lo que proporcionó las bases para que la industria microelectrónica japonesa incursionara en el mercado internacional y se preparara para la siguiente fase de desarrollo.

11.3. LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL, 1979-1990.

A finales de los ochenta, la estructura del mercado mundial de semiconductores había cambiado. En 1990, de la producción mundial de semiconductores (un total de 47.8 mil millones de dólares) el 40% correspondía a Japón, el 36% a Estados Unidos, 15% a Europa Occidental y 9% a los países asiáticos (Corea del Sur, Taiwan, Hong Kong y Singapur). Por lo que corresponde a las empresas, de las diez primeras productoras de semiconductores (que contaban con el 67% del mercado mundial), seis eran compañías japonesas, ocupando tres de ellas los primeros lugares³⁰ (ver Cuadros 3 y 4).

El cambio en el mercado de los semiconductores es reflejo del reacomodo en la industria de circuitos integrados, cuya producción ha representado aproximadamente el 80% de este mercado desde principios de los ochenta (Ver Cuadro 2). De este periodo de transición resultó una nueva distribución de los diferentes segmentos de la industria microelectrónica entre Estados Unidos y Japón, quedando un mercado diferente al de las anteriores décadas. Para finales de los ochenta, el mercado de los CIs está conformado, dependiendo del tipo de dispositivo, de la siguiente manera:

a) CI lineales. Ejemplos de estos dispositivos son los amplificadores, interruptores análogos, conversores de datos, interfases, reguladores de voltaje; los cuales son utilizados en el equipo de comunicación y en los bienes de consumo

³⁰ Sin incluir la producción de semiconductores de las compañías cautivas de Estados Unidos, como IBM, la cual ocuparía el primer lugar.

C U A D R O 2
MERCADO MUNDIAL DE SEMICONDUCTORES
(millones de dolares)

AREA	1974(1)	1977	1980	1983
TOTAL(2)	4.58	7,058	13,350	15,953
Discretos	2.2	2,868	3,527	3,309
CI	2.38	4,190	9,823	12,644
ESTADOS UNIDOS				
Total	2.08	2,877	6,445	9,783
Discretos	0.88	880	1,255	1,370
CI	1.2	1,997	5,190	8,412
JAPON				
Total	1.14	2,223	4,218	3,654
Discretos	0.55	1,048	1,151	1,135
CI	0.59	1,175	3,067	2,519
EUROPA (3)				
Total	1.36	1,958	2,687	2,516
Discretos	0.77	940	1,121	804
CI	0.59	1,018	1,566	1,712

1. Las cantidades estan en mil millones de dolares
 2. La participacion de estos paises en el total mundial ha sido del 80% al 90% en el periodo estudiado.
 3. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia. que participan con el 90% de la produccion de Europa.
- FUENTE: Elaboracion propia con base en "Electronics", varios numeros.

C U A D R O 2
C O N T I N U A C I O N
(millones de dolares)

AREA	1986	1987	1988	1989	1990
TOTAL (2)	31,787	37,614	35,709	39,797	42,715
Discretos	6,085	6,185	6,362	6,721	6,886
CI	25,702	31,429	29,347	33,076	35,829
ESTADOS UNIDOS					
Total	10,915	12,900	14,030	15,484	16,716
Discretos	1,764	1,909	2,078	2,194	2,222
CI	9,151	10,991	11,952	13,290	14,494
JAPON					
Total	15,753	19,525	15,341	17,608	18,868
Discretos	3,124	3,101	3,097	3,260	3,349
CI	12,629	16,424	12,244	14,348	15,519
EUROPA (3)					
Total	5,119	5,189	6,338	6,705	7,131
Discretos	1,197	1,175	1,187	1,267	1,315
CI	3,922	4,014	5,151	5,438	5,816

1. Las cantidades estan en mil millones de dolares
 2. La participacion de estos paises en el total mundial ha sido del 80% al 90% en el periodo estudiado.
 3. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.
que participan con el 90% de la produccion de Europa.
- FUENTE: Elaboracion propia con base en "Electronics,
varios numeros.

C U A D R O 2.1
PRODUCCION MUNDIAL DE SEMICONDUCTORES
(porcentajes)

AREA	1974(1)	1977	1980	1983
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0
Discretos	100.0	100.0	100.0	100.0
CI	100.0	100.0	100.0	100.0
ESTADOS UNIDOS				
Total	45.4	40.8	48.3	61.3
Discretos	40.0	30.7	35.6	41.4
CI	50.4	47.7	52.8	66.5
JAPON				
Total	24.9	31.5	31.6	22.9
Discretos	25.0	36.5	32.6	34.3
CI	24.8	28.0	31.2	19.9
EUROPA (2)				
Total	29.7	27.7	20.1	15.8
Discretos	35.0	32.8	31.8	24.3
CI	24.8	24.3	15.9	13.5

1. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.
FUENTE: Elaboracion propia con base en "Electronics",
varios numeros.

CUADRO 2.1
CONTINUACION
(porcentajes)

AREA	1986	1987	1988	1989	1990
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Discretos	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
CI	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESTADOS UNIDOS					
Total	34.3	34.3	39.3	38.9	39.1
Discretos	29.0	30.9	32.7	32.6	32.3
CI	35.6	35.0	40.7	40.2	40.5
JAPON					
Total	49.6	51.9	43.0	44.2	44.2
Discretos	51.3	50.1	48.7	48.5	48.6
CI	49.1	52.3	41.7	43.4	43.3
EUROPA (2)					
Total	16.1	13.8	17.7	16.8	16.7
Discretos	19.7	19.0	18.7	18.9	19.1
CI	15.3	12.8	17.6	16.4	16.2

1. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.

FUENTE: Elaboración propia con base en "Electronics",
varios números.

C U A D R O 3
MERCADO MUNDIAL DE CIRCUITOS INTEGRADOS
(millones de dolares)

AREA	1986	1987	1988	1989	1990
TOTAL	24,089	26,179	28,193	31,893	34,541
ASICs	3,497	4,320	3,232	3,431	3,673
Lineales	6,354	6,570	4,499	4,897	5,361
Memorias	5,790	6,294	10,220	11,781	12,455
Microprocesadores	3,893	4,338	4,141	5,054	5,762
Fam. logicas Standard	4,555	4,657	1,928	1,946	1,960
ESTADOS UNIDOS					
Total	8,843	10,255	11,569	12,813	14,039
ASICs	1,425	1,911	2,565	2,725	2,925
Lineales	1,934	2,176	1,849	2,254	2,581
Memorias	2,491	2,697	4,108	4,466	4,870
Microprocesadores	1,568	1,879	1,983	2,321	2,599
Fam. Logicas Standard	1,425	1,592	1,064	1,047	1,064
JAPON					
Total	11,349	12,053	12,134	14,348	15,519
ASICs	1,579	1,895	n.d	n.d	n.d
Lineales	3,466	3,508	1,778	1,790	1,813
Memorias	2,525	2,749	4,798	5,895	6,120
Microprocesadores	1,679	1,837	1,385	1,879	2,256
Fam. Logicas Standard	2,100	2,064	n.d	n.d	n.d
Otros(2)	n.d	n.d	4,173	4,784	5,330
EUROPA (1)					
Total	3,897	3,871	4,490	4,732	4,983
ASICs	493	514	667	706	748
Lineales	954	886	872	853	967
Memorias	774	848	1314	1420	1465
Microprocesadores	646	622	773	854	907
Fam. Logicas Standard	1,030	1,001	864	899	896

1. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.

2. Se incluyen a los CI logicos bipolar y MOS y a los CI Híbridos.

FUENTE: Elaboracion propia con base en "Electronics", varios numeros.

electrónicos.

Su participación en el mercado de CIs disminuyó en la década de los ochenta, pasando del 26% al 16% (ver cuadros 3.1 y 3.2), al comenzar su sustitución por los CI digitales, debido a la creciente incorporación de tecnología digital en los electrodomésticos (televisiones digitales, videograbadoras, etc.) y en el equipo de comunicación. En la década de los setenta este segmento estuvo dominado por los japoneses.

b) Los ASICs (application specific integrated circuit). Los principales dispositivos de este tipo son:

- Los llamados "grupos de puertas", dispositivos digitales que están relacionados funcionalmente al microprocesador. Basados en la tecnología MOS, pueden ser arreglados para realizar diferentes funciones, requeridas por los distintos clientes. Están formados solamente por puertas lógicas y por un número restringido de componentes, utilizados como dispositivos de entrada y salida; por lo que deben ser conectados a una memoria externa.

- Las celdas standard. Estos dispositivos fueron diseñados para superar los límites de los "grupos de puertas". Un cliente puede ordenar el chip específico, que incluya puertas lógicas, memorias, y aun unidades de procesamiento completas; diciendo al fabricante las interconexiones que desea.

El mercado de los ASICs se expandió en los ochenta, ya que soluciona, relativamente, el problema de los altos costos

C U A D R O 3.1
MERCADO MUNDIAL DE CIRCUITOS INTEGRADOS
(Porcentajes por tipo de producto)

AREA	1986	1987	1988	1989	1990
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ASICs	14.5	16.5	11.5	10.8	10.6
Lineales	26.4	25.1	16.0	15.4	15.5
Memorias	24.0	24.0	36.3	36.9	36.1
Microprocesadores	16.2	16.6	14.7	15.8	16.7
Fam. logicas Standard	18.9	17.8	6.8	6.1	5.7
ESTADOS UNIDOS					
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ASICs	16.1	18.6	22.2	21.3	20.8
Lineales	21.9	21.2	16.0	17.6	18.4
Memorias	28.2	26.3	35.5	34.9	34.7
Microprocesadores	17.7	18.3	17.1	18.1	18.5
Fam. Logicas Standard	16.1	15.5	9.2	8.2	7.6
JAPON					
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ASICs	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lineales	30.5	29.1	14.7	12.5	11.7
Memorias	22.2	22.8	39.5	41.1	39.4
Microprocesadores	14.8	15.2	11.4	13.1	14.5
Fam. Logicas Standard	n.d	n.d			
Otros(2)	n.d	n.d	34.4	33.3	34.3
EUROPA (1)					
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ASICs	12.7	13.3	14.9	14.9	15.0
Lineales	24.5	22.9	19.4	18.0	19.4
Memorias	19.9	21.9	29.3	30.0	29.4
Microprocesadores	16.6	16.1	17.2	18.0	18.2
Fam. Logicas Standard	26.4	25.9	19.2	19.0	18.0

1. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.

2. Se incluyen a los CI logicos bipolar y MOS y a los CI Híbridos.

No se especifica el tipo.

FUENTE: Elaboracion propia con base en "Electronics", varios numeros.

C U A D R O 3.2
MERCADO MUNDIAL DE CIRCUITOS INTEGRADOS
(Participación por país)

AREA	1986	1987	1988	1989	1990
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ASICs	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Lineales	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Memorias	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Microprocesadores	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Fam. logicas Standard	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESTADOS UNIDOS					
Total	36.7	39.2	41.0	40.2	40.6
ASICs	40.7	44.2	79.4	79.4	79.6
Lineales	30.4	33.1	41.1	46.0	48.1
Memorias	43.0	42.9	40.2	37.9	39.1
Microprocesadores	40.3	43.3	47.9	45.9	45.1
Fam. Logicas Standard	31.3	34.2	55.2	53.8	54.3
JAPON					
Total	47.1	46.0	43.0	45.0	44.9
ASICs	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lineales	54.5	53.4	39.5	36.6	33.8
Memorias	43.6	43.7	46.9	50.0	49.1
Microprocesadores	43.1	42.3	33.4	37.2	39.2
Fam. Logicas Standard	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Otros(2)					
EUROPA (1)					
Total	16.2	14.8	15.9	14.8	14.4
ASICs	14.1	11.9	20.6	20.6	20.4
Lineales	15.0	13.5	19.4	17.4	18.0
Memorias	13.4	13.5	12.9	12.1	11.8
Microprocesadores	16.6	14.3	18.7	16.9	15.7
Fam. Logicas Standard	22.6	21.5	44.8	46.2	45.7

1. Se incluye a Alemania, Reino Unido, Francia e Italia.

2. Se incluyen a los CI logicos bipolar y MOS y a los CI Híbridos.

FUENTE: Elaboración propia con base en "Electronics", varios numeros.

del software, el cual se presenta en los sistemas basados en microprocesadores, aunque estos dispositivos no tienen la flexibilidad de éste último, en cuanto a aplicación se refiere.

Estados Unidos domina este mercado, el cual representa el segundo segmento más importante después del de memorias en este país. Aunque, recientemente, Japón está invirtiendo capital para este sector en crecimiento.

c) Familias lógicas. Este segmento pionero es el que menor participación tiene en el mercado de los CIs. Las más importantes familias demandadas son las TTL, CMOS y la ECL.

d) Microprocesadores. El desarrollo en este segmento estratégico para la industria electrónica ha permitido ofrecer chips cada vez más veloces para procesar información. El microprocesador de 16 bits (introducido por Intel en 1982) que tiene integrados 130,000 transistores, realiza un millón de instrucciones por segundo. Los microprocesadores actuales, de 32 bits (Intel, 1985), tienen 1.2 millones de transistores y ejecutan 5 millones de instrucciones por segundo³⁹

Este segmento de la industria microelectrónica está altamente monopolizado (ver Cuadro 5). La principal empresa productora de microprocesadores es Intel que ha dominado este mercado desde que lanzó el primer microprocesador (1971).

El principal mercado consumidor es el de las microcomputadoras, sobre todo las PCs. En 1990, el 93% de las PCs en el mundo (un total de 34 millones de unidades) tenían

³⁹ "Business Week", junio, 1992, p. 58.

C U A D R O 4
EMPRESAS LIDERES EN VENTAS DE SEMICONDUCTORES
(Millones de dolares)

EMPRESA	1978	1982	EMPRESA	1987	1990
Texas Inst.	921	1,300	NEC	3,193	4,898
Motorola	680	1,219	Toshiba	2,939	4,843
NEC	520	990	Hitachi	2,781	3,893
Hitachi	465	800	Intel	1,500	3,171
Toshiba	400	740	Motorola	2,450	3,694
National Semic.	376	673	Fujitsu	1,899	2,880
Intel	300	578	Texas Ins	2,125	2,574
Matsushita	225	475	Mitsubish	1,481	2,319
Fujitsu		415	Matsushit	1,479	1,942
Fairchild	358	412	Phillips	1,597	2,011

Fuente: Elaboracion propia con base en "Electronics",
varios numeros.

C U A D R O 5
MERCADO MUNDIAL DE MICROPROCESADORES
(32 BIT, 386)
(%)

EMPRESA	1991
Intel	66
Motorola	13
Advanced Microdevices	6
National Semiconductor	3
LSI Logic	3
Oki (Japon)	3

Fuente: Elaboracion propia con base en
Business Week, 1992.

incorporados los chips fabricados por Intel⁴⁰. Por tanto, abastece a las principales productoras de PCs en el mundo: IBM, NEC y Compaq⁴¹.

En los últimos años, se ha extendido un tipo especial de microprocesador más potente, los llamados RISC⁴² (reduced-instruction set computer), el cual reduce el número de funciones que realiza el chip para procesar la información. Este dispositivo que está representando una amenaza al monopolio de Intel, es demandado, sobre todo, por la industria de las workstations⁴³, mercado en expansión en los años noventa, dominado también por empresas norteamericanas (Sun Microsystems, Motorola, Hewlett-Packard).

e) Memorias. Los tipos de memoria son los RAM, cuya variedad más ampliamente usada son los DRAM, y los ROM. El tipo DRAM es considerado guía en la tecnología microelectrónica porque son CIs de alta densidad, por lo que empuja a las técnicas de fabricación a sus límites; como tienen un diseño simple y repetitivo, es fácil probarlos para encontrar defectos de fabricación; además su proceso tecnológico y equipo de fabricación es similar al requerido para otros tipos de CIs. El gran desarrollo de estos dispositivos, ilustra muy bien el avance de la tecnología microelectrónica en relación a la integración.

⁴⁰ *Electronics, noviembre, 1991, p. 39.

⁴¹ Sin contar a la compañía Apple, la segunda empresa más importante, que utiliza los microprocesadores elaborados por Motorola.

⁴² Los microprocesadores tradicionales, como los de Intel, son llamados Cisc (complex-instruction set computer).

⁴³ Computadoras diseñadas para uso individual, de reciente aparición, pero más potentes y costosas. Son usadas, por su mayor capacidad, para graficar en tercera dimensión y realizar cálculos científicos.

En 1983, la compañía Hitachi anunció el chip de memoria con capacidad de 1-megabit de DRAM, el cual almacena 8'388,608 bits (250 palabras). Para 1987, sale al mercado el chip con 4-megabit⁴⁴, y en 1989, aparece el chip 16-megabit. Se estima que para 1994, se anunciará el chip de memoria de 64-megabit de DRAM⁴⁵, cuyo costo total sera de 2 mil millones de dólares (incluyendo el diseño, la planta, y el equipo).

El segmento de memorias ha sido el más dinámico desde sus orígenes, siendo el más importante en cuanto a ventas en el mercado mundial de CIs. Su mercado, el diseño y la producción de estos dispositivos están dominados por Japón, el cual tenía el 64% de la producción mundial de DRAM en 1990 (ver cuadro 6). Sin embargo, desde finales de los ochenta, las empresas líderes japonesas (Toshiba, NEC y Fujitsu) están compitiendo contra IBM para lograr adelantarse en la producción de dispositivos cada vez más densos⁴⁶.

Esta nueva estructura del mercado de los CIs se ha venido conformando desde finales de los setenta, cuando la industria microelectrónica entra en la siguiente fase de desarrollo, considerada de maduración⁴⁷, la cual no consiste tanto en el desarrollo de innovaciones revolucionarias (p.e.

⁴⁴ El costo de la planta para fabricar estos dispositivos es de 350 millones de dólares.

⁴⁵ El tamaño del circuito de este dispositivo, será de 0.35 micrón (cuatro milésimas del diámetro de un cabello humano)

⁴⁶ Esta intensa competencia se ha convertido en alianza. En julio de 1992, Toshiba, IBM y Siemens se unieron para desarrollar los chips 256-megabits de DRAM, los cuales podrían almacenar dos copias de toda la obra de William Shakespeare. (Business Week, julio, 1992).

⁴⁷ OTA, "Making things better: competing in manufacturing". Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1990, p. 144.

C U A D R O 6
MERCADO MUNDIAL DE DRAMs
(%)

PAIS/EMPRESA	1990
PAIS	
Japon	64.5
Estados Unidos	17.2
Europa	4.2
Otros	14.0
EMPRESAS PRODUCTORAS	
Toshiba	14.0
Samsung (Corea)	12.3
Hitachi	10.2
NEC	10.0
Fujitsu	8.8
Texas Instruments	7.6
Mitsubishi	7.0
Oki	5.2
Micron Technology(EU)	4.8
Siemens	3.8
Otras	16.3

Fuente: "Financial Times", julio 14, 1992.

el transistor de silicio, el circuito integrado, la tecnología MOS y el microprocesador), sino en fabricar dispositivos con altas velocidades de procesamiento y con altas densidades de memoria.

Por tanto, la nueva distribución del mercado de CIs, donde Estados Unidos perdió el dominio absoluto que tuvo hasta mediados de los setenta, va a estar determinada por el gran avance en la tecnología microelectrónica, que se expresa en el paso a una siguiente fase de integración: la VLSI. Los métodos para construir chips VLSI son, en esencia, los mismos, sólo que la mayor densidad del circuito hace necesario utilizar maquinaria más compleja para lograr una construcción más precisa, lo que significa mayores gastos de I&D y grandes inversiones en capital. Requerimientos que demandaron una configuración industrial diferente.

II.3.1. LOS REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS.

Los dispositivos que dan inicio a la etapa VLSI son los chips de memoria con capacidad de 256K de DRAM (1981) y los microprocesadores de 32 bits (Intel y Motorola en 1986). Para la construcción de estos CIs se requiere de un gran desarrollo en las técnicas de diseño y fabricación.

La nueva fase de integración está provocando que las técnicas utilizadas en el diseño y fabricación de los chips lleguen a sus límites físicos, por lo que se están demandando nuevas, principalmente, en las siguientes áreas:

- El proceso tecnológico de fotolitografía o proceso planar. Esta técnica de fabricación, mediante la cual los circuitos son proyectados sobre una oblea de silicio^{**}, está llegando a sus límites, ya que se requiere de la impresión de circuitos menos anchos, el tamaño de los circuitos en los chips VLSI es menor a 1 micrón, es decir, a una millonésima parte de un milímetro. Nuevas técnicas de litografía se están demandando, por ejemplo, el grabado directo de los circuitos sobre una oblea a través de rayos electrónicos o rayos X, técnica que es controlada por una computadora^{**}.

- Dispositivos de dos dimensiones. Estos dispositivos tradicionales están teniendo problemas ante el requerimiento de un mayor número de funciones, por lo que se están desarrollando dispositivos de tres dimensiones.

- El silicio. Los límites de este material semiconductor ante el incremento de la densidad, está provocando que se desarrollen materiales alternativos, por ejemplo, el compuesto arseniuro de galio.

- Los semiconductores convencionales basados en la electrónica. Al demandarse mayores velocidades en el procesamiento de información, se está desarrollando una nueva clase de dispositivo: los semiconductores ópticos y optoelectrónicos, los cuales conducen luz en vez de electricidad, y pueden alcanzar velocidades hasta 100 veces

^{**} Los circuitos con sus respectivos componentes se forman por medio de la proyección de rayos ultravioleta, que pasan por unas máscaras en donde están diseñadas las partes del circuito, sobre una superficie fotosensitiva.

^{**} Howell, Thomas (et.al). "The microelectronics race...", United States, Westview Press, 1988, p. 29.

mayores que los dispositivos convencionales³⁸.

Los elevados costos de I&D y de fabricación en estas y otras tecnologías, se están financiando con los recursos de las grandes corporaciones en Estados Unidos (IBM, Texas Instruments, General Motors, entre otras) y Japón (NEC, Toshiba, Hitachi y Fujitsu), incluyendo a sus respectivos gobiernos nacionales.

La industria microelectrónica se ha caracterizado por la gran competencia, en términos del incremento en las capacidades de los dispositivos y en su calidad, y de la reducción de los costos. Lo primero se ha logrado a través del progreso constante de nuevos diseños y tecnologías de producción. La reducción de costos se ha conseguido aplicando la experiencia acumulada mediante la fabricación de nuevos dispositivos en grandes volúmenes, específicamente con los guías tecnológicos.

Sin embargo, llevar a cabo estas estrategias para situarse ventajosamente en el mercado, está resultando cada vez más problemático, ya que en la etapa VLSI donde se requiere desarrollar rápidamente nuevos tipos de dispositivos y disponer de grandes volúmenes de producción para aventajar al competidor con dispositivos de alta calidad y bajo precio, los ciclos de vida de los productos son extraordinariamente cortos, sólo de 3 o 4 años, por tanto, las grandes inversiones deben ser recuperadas rápidamente, por lo que

³⁸ Ibid, p. 38.

invertir en estas nuevas técnicas está resultando cada vez más riesgoso".

Estos nuevos requerimientos colocaron en una etapa de transición a la industria microelectrónica desde finales de los setenta, en una carrera tecnológica en la que sólo las grandes compañías se han podido mantener. Además, resultó imposible que continuaran siendo tecnológicamente autosuficientes, siendo necesario adquirir tecnología y recursos adicionales de otras compañías, centros de investigación y gobierno. Por lo que, en esta etapa, la industria también se va a caracterizar por el gran número de alianzas interfirmas del mismo país o de diferentes países.

En el siguiente apartado, pasaremos a estudiar, brevemente, la estructura industrial japonesa y norteamericana, las principales participantes en el mercado mundial de los CIs, para entender el gran dinamismo japonés y los problemas que están enfrentando las empresas de Estados Unidos en esta fase de desarrollo VLSI.

II.3.3. UN ESBOZO DE LA INDUSTRIA EN ESTADOS UNIDOS Y JAPON.

En los Estados Unidos, la industria de semiconductores está dividida en dos partes: la mercantil y la cautiva.

El sector cautivo de la industria lo conforman compañías productoras de equipo electrónico que fabrican CIs para uso interno, es decir, los utilizan para sus productos finales

²¹ Ibid. p. 31.

que introducen al mercado. Algunas de las compañías más importantes son:

- a) Productoras de sistemas de procesamiento de datos: IBM, CDC, Honeywell, NCR, Borroughs, DEC, Data General.
- b) Equipo de comunicación: Western Electric (abastecedora de la compañía AT&T) y GTE.
- c) Equipo de medición: Hewlett-Packard, Tektronix, etc.
- d) Equipo electrónico para los automóviles: General Motors (Delco).
- e) Equipo electrónico industrial: Honeywell.

La otra parte está formada por las empresas mercantiles que se dedican, principalmente, a la producción de CIs. Las más importantes, las cuales se encuentran entre las diez primeras productoras de semiconductores, son las siguientes:

- Intel. Esta compañía nueva, comparada con las que se fundaron en los cincuenta, es la líder en la tecnología de los microprocesadores. Su principal estrategia comercial consiste en introducir los nuevos productos con elevados precios, retirándolos del mercado después, cuando otras compañías han empezado a comercializarlo a bajos precios⁸².

Sus principales mercados son el sector militar y el de computadoras. Además, ha diversificado su producción fabricando equipo electrónico. En 1989, la estructura de sus ingresos fue la siguiente: el 39% correspondió a las ventas de los microprocesadores, 39% a otros chips, el 13% de PCs, el

⁸² Nico Hazenwindus y John Tooker. "The US Microelectronics Industry...", Pergamon Press, 1982, p. 87.

7.6% al equipo periférico, y el 1.6% a supercomputadoras³³.

- Motorola. Una de las más antiguas productoras de CIs, dedicándose principalmente a los CIs para bienes de consumo electrónico, equipo de comunicación y medición. También ha desarrollado la tecnología de los microprocesadores, siendo la segunda empresa más importante en la producción de estos dispositivos.

- Texas Instruments. Esta empresa guarda una relación cercana con el sector militar. En toda su historia ha participado en diferentes contratos con el Departamento de Defensa. Líder en la industria microelectrónica mundial en los setenta, su participación ha disminuido en los años recientes; aunque es de las pocas firmas norteamericanas que participan en el mercado de las memorias.

- National Semiconductor. Esta compañía es una de las más importantes productoras de CIs de segunda fuente. Fabricando con eficacia diferentes tipos de dispositivos ha logrado mantenerse en importantes mercados, sobre todo, en el segmento de los electrodomésticos, siendo una de las líderes en los CIs lineales³⁴.

Estas empresas, junto con algunas más, incluyendo a las pequeñas empresas productoras de ASICs que han desarrollado pequeños mercados o nichos (p.e. la LSI Logic que fabrica "grupos de puertas"), constituyen el mercado abierto, el cual

³³ "Business Week", junio 1, 1992, p. 52.

³⁴ Hazenwindus, p. 87.

participa con el 70% en la producción total de semiconductores en este país.

Este sector de la industria es estructuralmente inestable y fragmentado. La mayoría de los productores mercantiles dependen, principalmente, de la ventas de semiconductores. Sin embargo, son empresas con personal muy creativo, y constantemente se están innovando los productos, por lo que juegan un papel importante en el desarrollo de dos de los más importantes segmentos en la tecnología microelectrónica: ASICs y microprocesadores. Además, hay que considerar a las grandes firmas cautivas, por ejemplo, IBM que es la única que está compitiendo en el mercado de las memorias para desarrollar estos productos.

En Japón, la industria de semiconductores funciona como un oligopolio relativamente estable. La producción de semiconductores está dominada por grandes corporaciones, diversificadas y verticalmente integradas, que usan, aproximadamente, la cuarta parte de su producción para su propio equipo electrónico, que va de computadoras, equipo de comunicación y robótica, a bienes de consumo electrónicos. Estos conglomerados son parte de grandes confederaciones de compañías (keiretsus), relacionadas con grandes bancos y otras instituciones financieras; con sus abastecedoras de material y equipo, y con el gobierno. Las más importantes corporaciones son:

- Nippon Electric Company (NEC). Es la más grande

productora de semiconductores en Japón y en el mercado mundial. Líder en la producción de equipo de comunicación y de computadoras.

- Toshiba. La producción de esta empresa está orientada al mercado de los electrodomésticos, por lo que la gran mayoría de sus ingresos vienen de las ventas de semiconductores discretos⁹⁹. En los últimos años se ha colocado en la posición líder de algunos de los mercados de memorias (1-megabit de DRAM).

- Hitachi. Fundada en 1910, esta firma es el núcleo de su propio Keiretsu (Hitachi group). Su producción de equipo está centrada en las computadoras, equipo pesado y maquinaria eléctrica.

- Fujitsu. Líder en la fabricación de computadoras mainframes en Japón, ha logrado tener una importante participación en los mercados de las memorias MOS.

Estas empresas (más Mitsubishi y Matsushita) tienen monopolizada la producción de CIs. Al contar con una demanda base para su producción, las estrategias para desarrollar y producir CIs son de largo plazo.

Además de las ventajas que proporciona la estructura oligopólica y la integración vertical de la industria microelectrónica japonesa, hay otras características que sirven para explicar la situación ventajosa de sus empresas frente a las de Estados Unidos, relacionadas con la industria

⁹⁹ Ibid, p. 183.

productora de semiconductores en Japón y en el mercado mundial. Líder en la producción de equipo de comunicación y de computadoras.

- Toshiba. La producción de esta empresa está orientada al mercado de los electrodomésticos, por lo que la gran mayoría de sus ingresos vienen de las ventas de semiconductores discretos²². En los últimos años se ha colocado en la posición líder de algunos de los mercados de memorias (1-megabit de DRAM).

- Hitachi. Fundada en 1910, esta firma es el núcleo de su propio Keiretsu (Hitachi group). Su producción de equipo está centrada en las computadoras, equipo pesado y maquinaria eléctrica.

- Fujitsu. Líder en la fabricación de computadoras mainframes en Japón, ha logrado tener una importante participación en los mercados de las memorias MOS.

Estas empresas (más Mitsubishi y Matsushita) tienen monopolizada la producción de CIs. Al contar con una demanda base para su producción, las estrategias para desarrollar y producir CIs son de largo plazo.

Además de las ventajas que proporciona la estructura oligopólica y la integración vertical de la industria microelectrónica japonesa, hay otras características que sirven para explicar la situación ventajosa de sus empresas frente a las de Estados Unidos, relacionadas con la industria

²² Ibid, p. 103.

en general¹⁴:

- El sistema de manufactura japonés, es decir, su modo específico de llevar a cabo el proceso de trabajo permite una gran habilidad para desarrollar en un ciclo corto el producto, y elaborarlo con alta calidad y confiabilidad, a un precio competitivo.

- El relativamente bajo costo del capital. Las empresas tienen condiciones favorables para invertir, otorgadas por los bancos e inversionistas de los respectivos Keiretsus.

- La contribución del gobierno japonés a la industria. Por medio de políticas industriales y comerciales, se promueven las exportaciones y se restringe la inversión extranjera, protegiendo al mercado doméstico.

Las diferentes características de la industria en Estados Unidos y Japón arriba mencionadas, ofrecen algunas bases para entender el cambio en la estructura de la industria microelectrónica mundial, expresado en una distinta distribución del mercado de semiconductores.

Se considera que por las características de la industria japonesa, las empresas están en condiciones de llevar a cabo grandes inversiones en I&D y maquinaria, con el objetivo de desarrollar y producir en gran escala CIs. Estas condiciones son necesarias en el segmento de las memorias, el cual demanda alta calidad y bajos precios, además de estar en constante desarrollo, por lo que, las empresas japonesas han

¹⁴ OTA, op. cit., p. 145.

logrado dominar este mercado desde finales de los ochenta.

Por lo que corresponde a la industria microelectrónica de Estados Unidos, que tiene una larga historia de creatividad y originalidad en el desarrollo tecnológico, se han creado las condiciones para mantener el dominio en los sectores de los microprocesadores y los ASICs, dispositivos dependientes, en gran medida, del talento creativo del personal especializado.

CONCLUSIONES

Como se ha visto, el desarrollo de la industria microelectrónica se caracteriza por su gran avance tecnológico, motivado por los altos niveles de competencia, lo que provoca que sea una industria altamente concentrada. En un principio dominada absolutamente por las empresas de Estados Unidos, ahora hay dos protagonistas, este país y Japón; cada quien dominando uno de los dos pilares de esta industria: los microprocesadores y la los chips de memoria. Una distribución explicada, sobre todo, por las características de la estructura industrial de cada país.

Este panorama, junto con otros factores, explicados en el estudio, nos dan las bases para considerar las principales tendencias de la industria microelectrónica en los años noventa.

Actualmente, el rasgo más sobresaliente de esta industria es su maduración. Por el lado de la demanda, observamos que desde finales de los ochentas, la tasa de crecimiento de las ventas de los circuitos integrados y equipo electrónico se ha reducido sensiblemente en los dos principales mercados, así como en Europa y el sudeste asiático. Aunque este comportamiento ha sido influido por la coyuntura de la recesión actual de los países centrales, lo cierto es que los mercados de ésta industria se encuentran en el punto medio de saturación, en particular el de computadoras, cuyo crecimiento siempre ha guardado una

relación directa con el de los circuitos integrados.

Por el lado de la estructura industrial, la maduración también es patente. En Estados Unidos se observa como de ser una industria caracterizada por estar formada por empresas pequeñas, basadas en capital de riesgo y que dependen únicamente de la venta de semiconductores, actualmente se ha consolidado alrededor de empresas grandes y sólidas (Intel, Motorola, y Texas Instruments), que progresivamente tienden a diversificar su mercado, particularmente produciendo equipo electrónico. Por lo que respecta a la industria japonesa se ha profundizado su patrón consistente en las relaciones profundas Keiretsus-MITI-protección del mercado doméstico, cuyas empresas son, hoy en día, las mejor situadas en el segmento de las memorias.

En este punto, es necesario plantear un problema. En el trabajo se mencionó que la industria microelectrónica estaba repartida entre Estados Unidos y Japón. Las empresas estadounidenses dominan ampliamente el mercado de los microprocesadores, mientras que las japonesas el de las memorias. Ambos dispositivos son las piezas clave en el desarrollo del equipo electrónico; no nada más de las PCs y los electrodomésticos, sino de las máquinas NC y CNC, los robots industriales, los sistemas de manufactura flexible, etc., los cuales representan la salida más viable y amplia para resarcir la productividad de la industria y solucionar la larga crisis del fordismo.

Por esta razón, es necesario conocer el juego de fuerzas

para dominar estos sectores estratégicos. Actualmente asistimos a una especie de "liderazgo compartido" por parte de las empresas de aquellos dos países, resultando difícil saber quien dominará en los próximos años. Poseer la tecnología de los microprocesadores es estratégico, en cuanto a la gran flexibilidad y potencialidad de estos dispositivos para aplicarse a una enorme variedad de sistemas, su límite principal se encuentra en los altos costos del software. En este campo, los Estados Unidos tienen ventaja tanto en lo que se refiere a las técnicas de fabricación, como en la elaboración del software. Sin embargo, desarrollar la tecnología de los dispositivos de memoria, en particular los DRAM, proporciona las condiciones necesarias para desarrollar la tecnología de los otros tipos de chips -por considerarse guías tecnológicos-, por lo que este segmento es también estratégico, en cuanto que mejora las técnicas de integración, incluyendo diseño y fabricación.

Ahora bien, las tendencias del desarrollo de esta industria en los noventa, están apuntando a la obtención de CIs más complejos que incluirían funciones relacionadas con los equipos de comunicación (principalmente la televisión), los cuales permitirán que los numerosos sistemas informáticos que a lo largo de estos años se han establecido en todas partes puedan comunicarse entre sí, esto provocará que la estructura de la industria cambie de nuevo, y el dominio será de quien logre desarrollar estos dispositivos.

La pérdida de la hegemonía absoluta en la industria

microelectrónica por parte de Estados Unidos, llevó a muchos especialistas en el tema a decir que el dominio estadounidense en la vanguardia tecnológica se había perdido. Las señales son contradictorias. A partir de mediados de la década pasada, la producción de la industria japonesa superó a la norteamericana, pero su dominio está muy marcado en sectores claves. Un factor que daría más bases para conocer la posición de este país, es la producción del equipo para producir semiconductores (sector no tratado en esta tesis), el cual estaba relativamente dominado por empresas japonesas. Datos recientes reflejan una firme recuperación de los productores de este equipo de los Estados Unidos.

Estas divisiones entre países podrían comenzar a ser engañosas. Conforme la industria entró en un etapa de profunda complejización de sus diseños y técnicas de fabricación, se ha dado un número creciente de alianzas entre firmas extranjeras que dominan una gran variedad de mercados (p.e. la alianza IBM, Toshiba y Siemens), para desarrollar nuevas tecnologías, por lo que resulta difícil hablar de liderazgo por país, cuando los requerimientos tecnológicos en la etapa VLSI, significan inversiones que ya no pueden ser cubiertas por una sola empresa, por grande que ésta sea. Por tanto, estas grandes alianzas no sólo buscan compartir los costos sino también los enormes riesgos que sus proyectos implican, garantizando un mercado para esos productos, proveniente, al menos, de la demanda de las propias firmas.

Estas asociaciones es una de las tendencias más firmes

de la industria microelectrónica para la próxima década, continuando la tendencia a la concentración y centralización del capital.

Las perspectivas de la industria microelectrónica que hemos planteado, sirven de base para hablar de las posibilidades del desarrollo de la automatización. El gran avance de la tecnología microelectrónica, en cuanto velocidad de procesamiento y densidad de memoria, a partir de la década de los ochenta, ofrece mayores capacidades al equipo electrónico que es utilizado en los sistemas automáticos programables, por ejemplo, en los robots industriales, microcomputadoras o minicomputadoras más potentes van a permitir que estos manipuladores tengan la capacidad de llevar a cabo actividades cada vez más complicadas, los sistemas de manufactura flexible que son controlados por una computadora tendrán más posibilidades de extender su control, lo mismo sucede con el resto de los sistemas automáticos, en particular con los CIM, al aumentar las capacidades de la producción y la administración y permitir la comunicación entre estas dos fases del proceso de producción.

B I B L I O G R A F I A

Augarten, Stan.

"Bit by bit. An illustrated history of computers", New York: Ticknor and Fields, 1984, 324 p.

Awad, Elías M.

"Procesamiento automático de datos. Principios y procedimientos", México, Diana, 1978, 612 p.

Ayres, Robert.

"La próxima revolución industrial", México, Gernika, 1987, 358 p.

Borrus, Michael (et al.).

"US-Japanese competition in the semiconductors industry. A study in international trade and technical development", Berkeley, CA, Institute of International Studies, University of California, s.a., 153 p.

Coriat Benjamin.

"La Robótica", Madrid, Revolución, 1985, 171 p.

Comitte to Study International Development in Computer Science and Technology (editor).

"Global Trends in Computer Technology and their impact on exports control, Washington DC, National Academy Press, 228 p.

Chelén, Ricardo.

"La competencia en la industria de circuitos integrados", Mapa Económico Internacional (México, DF), julio de 1985, Num. 4, pp. 145-152.

Dorf, Richard (editor en jefe).

"Concise international encyclopedia of robotics: application and automation", New York, John Willey and sons, 1990, 1190 p.

Economic Comission for Europe.

"Engineering Industries. Dinamic of the eighties: The long-term Assessment of the role and place of engineering industries in national and world economies 1979-1986", New York, United Nations, 1988, 289 p.

Economic Comission for Europe.

"Annual Review of Engineering Industries", New York, United Nations, varios años.

Fletcher, William.

"An engineering approach to digital design": Estados Unidos, Prentice Hall, 1980.

Forester, Tom.

"High-Tech society. The story of information technology revolution", Gran Bretaña, The MIT Press, 1987, 311 p.

Freeman, Christopher.

"The economics of industrial innovation", Cambridge, Ma., The MIT Press, 1982, 250 p.

Freiberger, Paul y Michael Swaine.

"Microinformática (orígenes -personajes- evolución y desarrollo)", España, McGraw-Hill, 1986, 302 p

Fry, T.F.

"Ordenadores", Madrid, Alhambra, 1981, 210 p..

Golob Richard y Eric Brus (editores).

"The almanac of science and technology. What's new and What's Known", San diego, CA, Harcourt Brace Javanovich, 1990, 530 p.

Gunter, Friederichs (editor).

"Microelectronics and society. For better or for worse", Oxford, Pergamon Press, 1982, 353 p.

Habicht, Frank.

"Las máquinas herramientas modernas", México, Continental, 1965, 329 p.

Hayes, John Patrick.

"Diseño de sistemas digitales y microprocesadores", México, Libros McGraw-Hill de México, 1984, 873 p.

Hazewindus, Nico y John Tooker.

"The US Microelectronic Industry. Technical Change, Industry growth and social impact", Estados Unidos, Pergamon Press, 1982, 199 p.

Howell, Thomas (et. al.).

"The microelectronics race. The impact of government policy on international competition", Estados Unidos, Westview Press, 1988, 278 p.

Horta Santos, José.

"Técnicas de automatización industrial", Mexico, Limusa, 1982, 299 p.

Juliussen, Karen y Egil Juliussen.

"The computer industry almanac 1990", New York, Brady, 1989.

Marx, Karl.

"El Capital. Crítica de la economía política", México, siglo veintiuno editores, 1978, 8 tomos, 1317 p.

Marx, Karl.

"Progreso técnico y desarrollo capitalista (manuscritos 1861-1863)", México, ediciones pasado y presente, 1982, 228p.

Minian, Isaac (coordinador).

"Industrias nuevas y estrategias de desarrollo en América Latina". México, CIDE, 1986, 387 p.

Minian, Isaac (compilador).

"Cambio estructural y producción de ventajas comparativas", México, CIDE, 1988, 214 p.

Parker, Sybil P.

"Encyclopedia of electronics and computers", Estados Unidos: McGraw-Hill, 1984, 964 p.

Polyshyn, Zenon W. (seleccionador).

"Perspectivas de la revolución de los computadores". Madrid, Alianza Editorial, 1975, 695 p.

Quellette, Robert (et. al.).

"Automation impact on industry", Ann Arbor, Michigan : Ann Arbor Science, 1983, 186 p.

Reddinhough, J.A. y I.R. Sinclair.

"Transistores". Madrid, Alhambra, 1981, 200 p.

Schmitt, Neil y Robert F. Farwell.

"A fondo: Robótica y sistemas automáticos", Madrid, Ediciones Anaya Multimedia, 1988, 299 pp.

Shallis, Michael.

"El ídolo del silicio. La 'revolución' de la informática y sus implicaciones sociales", Barcelona, Salvat editores, 1986, 234 p.

Sinclair, I.R. .

"Circuitos Integrados", España, Alhambra, 1981, 210 p.

Squires, T.L.

"Electrónica", España, Alhambra, 1981, 299 p.

US Congress, Office of Technology Assessment.

"Making things better: competing in manufacturing", Washington DC, US Government Printing Office, 1990, 241 p.

US Congress, Office of Technology Assessment.

"International competitiveness in electronics", Washington DC, US Government Printing Office, 1983, 546 p.

Williams, Trevor I.

"Historia de la tecnología", Tomo IV, México, siglo veintiuno, 1988, 293 p.

Williams, Trevor I.

"Historia de la tecnología", Tomo V, México, siglo veintiuno, 1988, 295-607 p.

Ypsilanti, Dimitri (editor).

"The semiconductor industry: trade related issues".
Paris, OCDE, 1985, 145 p.