

13  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGON"

**CARACTERISTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES  
DE LOS SISTEMAS ELECTRONICOS, ANALOGICOS,  
DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA.**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

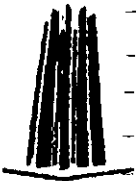
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P r e s e n t a n:

**JAIME FONSECA SOLIS**

**FERNANDO MARTINEZ MARTINEZ**

Asesor: Ing. David Moisés Teran Pérez



México 1999

27-02-99

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



REPÚBLICA NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

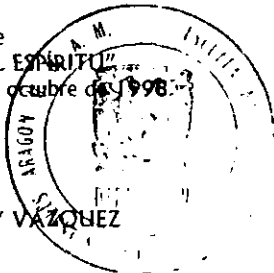
JAIME FONSECA SOLÍS  
P R E S E N T E.

En contestación a la solicitud de fecha 16 de octubre del año en curso, presentada por Fernando Martínez Martínez y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. DAVID MOISÉS TERÁN PÉREZ pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado, "CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México., 26 de octubre de 1998  
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VAZQUEZ



c c p Secretaría Académica.  
c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
c c p Asesor de Tesis.

San Juan de Aragón, Estado de México a 16 de Noviembre de 1998.

**Lic. Alberto Ibarra Rosas.**  
Jefe de la Secretaría Académica  
U N A M. Campus Aragón.

P R E S E N T E

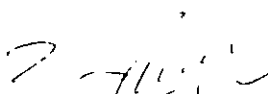
Por medio de la presente, le comunico que el Alumno **FONSECA SOLÍS JAIME** con Número de Cuenta **9463676-1** de la Carrera de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis titulado:

**" CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA "**

Dicho trabajo ha sido revisado y autorizado por el suscrito; por lo que, solicito a Usted de la manera más atenta, se autorice la Orden de impresión del mismo.

Sin otro particular, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto.

A t e n t a m e n t e



**Ing. Raúl Barrón Vera.**  
Jefe de Carrera de IME



**Ing. David Moisés Terán Pérez.**  
Asesor de Tesis.

c.c.p. **Ing. Raúl Barrón Vera.**  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
U N A M. Campus Aragón

Interesado.

Jefatura de Servicios Escolares.  
de la U N A M. Campus Aragón.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA


UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Ing. **IVÁN MUÑOZ SOLÍS**  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 9 de diciembre del año próximo pasado, por la que se comunica que los alumnos JAIME FONSECA SOLÍS y FERNANDO MARTÍNEZ MARTÍNEZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, a 13 de enero de 1999  
EL SECRETARIO

  
Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.  
c c p Interesado..

AIR/vr



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVIACIÓN DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGON - UNAM.

JEFATURA DE AREA DE INGENIERIA  
MECANICA ELECTRICA.

OFICIO: ENAR/JAME/1307/98.

ASUNTO: Revisión previa de Tesis  
antes de autorizar su  
Impresión.

ING. JESUS NUÑEZ VALADEZ  
ING. FORTUNATO CERECEDO HERNANDEZ.  
ING. JAIME ROLANDO ARROYO MORA  
ING. DAVID M. TERAN PEREZ (ASESOR)  
ING. EMILIO LUIS FLORES LOPEZ.

En forma anexa le hago entrega de un ejemplar del proyecto de Tesis  
titulado: " CARACTERISTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTE-  
MAS ELECTRONICOS, ANALOGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA"  
-del alumno: FONSECA SOLIS JAIME, con Número de Cuenta: 9463676-1.

Esto es con el fin de que sea revisada por usted, y nos dé su evalua-  
ción y comentarios por escrito, mismos que le pido me haga llegar a -  
la brevedad posible.

Agradezco de antemano la colaboración y aprovecho la ocasión para en-  
viarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

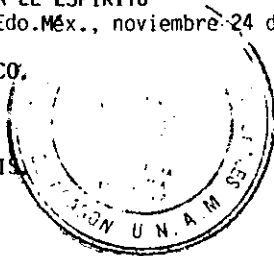
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Edo. Méx., noviembre 24 de 1998.

EL SECRETARIO TECNICO,

*F. Muñoz Solís*

ING. IVAN MUÑOZ SOLIS



c.c.p.- Alumno.

IMS/mlev\*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

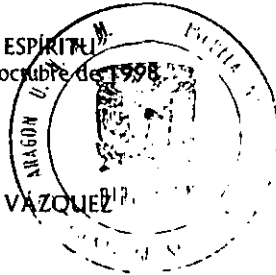
FERNANDO MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 16 de octubre del año en curso, presentada por Jaime Fonseca Solís y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. DAVID MOISÉS TERÁN PÉREZ pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado, "CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México., 26 de octubre de 1998  
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VAZQUEZ



*B*

- c c p Secretaría Académica.
- c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- c c p Asesor de Tesis.

*/*

CELV/AIR/MCA/lla.

San Juan de Aragón, Estado de México a 16 de Noviembre de 1998.

**Lic. Alberto Ibarra Rosas.**  
Jefe de la Secretaría Académica.  
U.N.A.M. Campus Aragón.

**P R E S E N T E**

Por medio de la presente, le comunico que el Alumno **MARTÍNEZ MARTÍNEZ FERNANDO** con Número de Cuenta **8912163-2** de la Carrera de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis titulado:


**" CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA "**

Dicho trabajo ha sido revisado y autorizado por el suscrito; por lo que, solicito a Usted de la manera más atenta, se autorice la Orden de impresión del mismo.

Sin otro particular, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto.

**A t e n t a m e n t e**

  
**Ing. Raúl Barrón Vera.**  
Jefe de Carrera de IME.

  
**Ing. David Moisés Terán Pérez.**  
Asesor de Tesis.

c.c.p. **Ing. Raúl Barrón Vera.**  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
U.N.A.M. Campus Aragón.

**Interesado.**

**Jefatura de Servicios Escolares.**  
de la U N A M. Campus Aragón.





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presenté.

En atención a la solicitud de fecha 9 de diciembre del año próximo pasado, por la que se comunica que los alumnos FERNANDO MARTÍNEZ MARTÍNEZ y JAIME FONSECA SOLÍS, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "CARACTERÍSTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, a 13 de enero de 1999

EL SECRETARIO



Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.  
c c p Interesado.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGON - UNAM.

JEFATURA DE AREA DE INGENIERIA  
MECANICA ELECTRICA.

OFICIO: ENAR/JAME/1308/98.

ASUNTO: Revisión previa de Tesis  
antes de autorizar su  
Impresión.

ING. JESUS NUÑEZ VALADEZ  
ING. FORTUNATO CERECEDO HERNANDEZ  
ING. JAIME ROLANDO ARROYO MORA.  
ING. DAVID M. TERAN PEREZ (ASESOR)  
ING. EMILIO LUIS FLORES LOPEZ.

En forma anexa le hago entrega de un ejemplar del proyecto de Tesis titulado; "CARACTERISTICAS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS ELECTRONICOS, ANALOGICOS, DIGITALES Y DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA" del alumno: MARTINEZ MARTINEZ FERNANDO, con Número de Cuenta: 8912163-2.

Esto es con el fin de que sea revisada por usted, y nos dé su evaluación y comentarios por escrito, mismos que le pido me haga llegar a la brevedad posible.

Agradezco de antemano la colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Edo. Méx., noviembre 24 de 1998.

EL SECRETARIO TECNICO.

ING. IVAN MUÑOZ SOLIS.

c.c.p.- Alumno.



IMS!mlev\*

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES:**

A ellos primero que a nadie, dedico este trabajo  
Porque gracias a su apoyo y sacrificio he llegado  
A la culminación de algo muy significativo para mí.

### **A MIS HERMANOS:**

Cuya presencia y cariño han servido de  
apoyo moral durante mi vida.

### **A MIS FAMILIARES, COMPAÑEROS Y AMIGOS.**

**JAIME FONSECA SOLIS.**

FERNANDO MARTINEZ MARTINEZ

## AGRADECIMIENTOS

### A MIS PADRES:

Por su cariño, comprensión y apoyo que me han brindado toda la vida, principalmente estos últimos años, sin lo cuál no hubiera podido concluir mis metas y objetivos. Gracias por todas sus enseñanzas que son para mí la mejor herencia que pueden dar unos padres a su hijo.

### A MIS HERMANOS:

Por todos los momentos que hemos vivido juntos, así como su apoyo y ayuda incondicional en todo momento que siempre los necesite, mil gracias.

### A BIBIANA:

Porque has dado un nuevo giro en mi vida así como dicha y felicidad desde el momento que te conocí, en especial estos últimos meses que han sido de lo más felices de mi vida.

## **INTRODUCCIÓN**

Prácticamente, no existe Hogar, Oficina ó un Complejo Industrial, que carezca de algún Dispositivo Electrónico: Desde un simple Reloj de Pulsera hasta un complejo Equipo d Cómputo ó un Proceso Industrial Automatizado; todos ellos funcionan gracias a la Electrónica y sus distintas áreas (Analógica, Digital y de Potencia).

El sólo mencionar artículos electrónicos nos llevaría a varias páginas e incluso libros; lo cual demuestra que un artículo electrónico ha pasado de ser un objeto de lujo a una necesidad. El Mundo sería completamente diferente si se careciera repentinamente de los Equipos Electrónicos actuales.

La Electrónica (Analógica, Digital y de Potencia) ha evolucionado y consecuentemente los equipos que la utilizan; es una tendencia actual, el sustituir elementos analógicos por elementos digitales, el uso de Circuitos Integrados (CI) se ha generalizado permitiendo que los Equipos Electrónicos reduzcan significativamente su costo y tamaño.

Los avances en la Electronica, han constituido la base sustancial para el auge expansivo de los Ordenadores, los Automatismos y las Comunicaciones. Es parte fundamental el conocimiento de la Electrónica (Analógica, Digital y de Potencia), por parte de los nuevos Ingenieros; ya que de ello depende la correcta interpretación y solución de los problemas dónde ésta se involucra.

Es por esta razón, que se ha desarrollado el presente trabajo de Tesis, buscando recopilar en él, la mayor cantidad de información acerca de los tópicos que deben ser cubiertos en la Electrónica Industrial.

## **JUSTIFICACIÓN**

Es de suma importancia para nosotros, el poder dar una razón satisfactoria, para tomar como tema de Tesis el presente trabajo. Una de las muchas causas que motivó su elaboración, es la de proporcionar en sólo volumen, lo fundamental de la Electrónica y sus diversas clasificaciones: Analógica, Digital y de Potencia.

Adicional a lo anterior, se encuentran algunas aplicaciones como es la Microelectrónica, la cual juega un papel clave es el de la Medición y Control. La Medición de una variedad de fenómenos es la clave a el Control Automático de variables y procesa la variación desde la temperatura en los hogares hasta la operación de Plantas Industriales.

Un Sistema de Instrumentación puede ser tan simple como un instrumento que mide una variable de interés y presenta el resultado como la lectura de un medidor análogo ó digital. En este Sistema se deja al Observador reaccionar según el resultado de la Medición y hacer ajustes a el Proceso que se monitorea, si tales ajustes se hacen necesarios.

Se logra un nivel mayor de complejidad haciendo que el instrumento compare el resultado de su medición con un valor ó rango de valores preajustados. Si se encuentra que el valor medido está fuera del rango preajustado, automáticamente se iza una "bandera", por ejemplo, prende una lámpara. Se deja entonces otra vez al Observador humano tomar una acción correctiva.

Se obtiene un nivel aún más alto de complejidad haciendo que el instrumento determine qué clase de acción correctiva se requiere, inicie esa acción y supervise su terminación. Un ejemplo sencillo de tal Sistema se encuentra en el termostato casero, dispositivo indudablemente familiar para la mayoría de los lectores.

Este Sistema de Control Automático se basa en un circuito de realimentación negativa. El ciclo consta esencialmente de un *Sensor* (Transductor), *Procesador* que a la fecha es más a menudo electrónico, y un *Actuador* que es un dispositivo que responde a las órdenes del Procesador y causa que la acción correctiva se realice físicamente.

Tradicionalmente, el Procesador en un Sistema de Instrumentación ha sido análogo con un creciente uso de circuitos lógicos digitales y de memoria por separado. Sólo los Sistemas más avanzados emplean un Ordenador Central para hacer el grueso de el Proceso.

Sin embargo, el advenimiento de los Microprocesadores y otros avances en los circuitos microelectrónicos analógicos y digitales, está causando un cambio más profundo que ocurra en los Sistemas de Instrumentación. Cada Sensor puede equiparse ahora con circuitos analógicos complejos tanto como un Microprocesador, así, capacitando al Sensor para que realice localmente un procesamiento considerable. Tal Sensor "ingenioso" debería ser capaz también de Tomar Decisiones en forma local.

Sería entonces necesario comunicar solamente en forma infrecuente con un Ordenador Central. Este Ordenador Central sería entonces relevado del procesamiento rutinario y podría implantar Programas de Automatización más extensivos. Se dispone ya de ciertos Sistemas de Control Automático, testificándolos el uso de Robots en la Manufactura de Automóviles.

Los avances en la Microelectrónica están influyendo también a los instrumentos sistemáticos de laboratorio como son el Osciloscopio, el Generador de Funciones, el Analizador de Espectro, el Multímetro Digital, etcétera.

Existen versiones modernas de las características de estos instrumentos que presentan tales facilidades como ajuste automático, presentación mejorada de los resultados, autocalibración y otras. El resultado es un instrumento mucho más fácil de manejar y que se basa menos en la destreza y atención de el Operador Humano. En adición estas características permiten que se efectúen muchas más mediciones en un lapso dado.

Por último, existe el área de *comprobación automática*, un aspecto esencial de una línea de ensamble. Esta área se ha beneficiado grandemente de los avances en la Microelectrónica y, en forma específica, en los de la Tecnología del Ordenador Digital. En conclusión, el área de la Instrumentación y Control es fértil para la aplicación de los últimos desarrollados en los circuitos microelectrónicos análogos y digitales.



## **PLAN PROPUESTO**

Lo que se pretende con el siguiente trabajo de Tesis, es brindar al lector, la recopilación más completa posible de información sobre la Electrónica Industrial (Analógica, Digital y de Potencia).

El objetivo anterior se pretende cubrir a cabalidad con este trabajo, ya que en la mayoría de los casos es muy difícil encontrar la información que maneja la Electrónica Industrial en un sólo volumen y en un mismo idioma; esto tiene un gran mérito, ya que la totalidad de la información se encuentra en un sólo texto como el presente.

La organización de la información contenida en este trabajo de Tesis, es de la siguiente manera:

En el Capítulo I se dan los principios fundamentales de la Electrónica, así como conceptos fundamentales que son necesarios para la correcta comprensión de la temática de la Electrónica a nivel Industrial.

Para el Capítulo II se desarrolla lo concerniente a la Teoría de Operación del Diodo y los Tiristores. Aquí se analiza su comportamiento en Corriente Continua (C-C) y Corriente Alterna (C-A). Así como sus aplicaciones más comunes dentro de la Industria.

En el Capítulo III se analiza la Teoría de Operación de los Transistores, tanto para la versión del Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) como para el Transistor de Efecto de Campo (FET); sus Modelos para Corriente Continua (C-C) y para Corriente Alterna (C-A), y las aplicaciones Industriales más relevantes.

En el Capítulo IV se analiza a detalle al Amplificador Operacional (OPAM); es decir, se estudia su Teoría de Operación así como sus configuraciones más comunes.

El desarrollo del Capítulo V se enfoca a los Circuitos Lógicos; tomando en consideración los fundamentos de el Álgebra de Boole, las compuertas lógicas y los elementos más representativos de los Circuitos Lógicos.

Finalmente, en el Capítulo VI se detallan los Sistemas Electrónicos más significativos así como su aplicación en la Electrónica Industrial.

## **OBJETIVO GENERAL**

Presentar y conocer la Teoría de Operación de los principales Elementos Electrónicos que son utilizados dentro del campo de aplicación de la Electrónica Industrial.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1.- Conocer los conceptos fundamentales de la Electrónica, así como sus aplicaciones al área Industrial.

2.- Conocer la Teoría de Operación de los Diodos y los Tiristores, sus aplicaciones y utilización en Procesos Industriales y Equipo Mecánico.

3.- Conocer la Teoría de Operación de los Transistores, tanto del Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) y el Transistor de Efecto de Campo (FET); tanto en Corriente Continua (C-C) como en Corriente Alterna (C-A). Conocer y evaluar la aplicación de estos Dispositivos dentro de los Procesos Industriales y en Equipo Mecánico.

4.- Conocer la Teoría de Operación, configuraciones básicas y aplicaciones de los Amplificadores Operacionales a los Procesos Industriales y al Equipo Mecánico.

**5.- Conocer los principios fundamentales de los Sistemas de Electrónica Digital, dentro de los circuitos combinacionales; y su aplicación dentro de el Control de los Procesos Industriales y Equipo Mecánico.**

**6.- Conocer los principios fundamentales de los Sistemas de Electrónica Digital, dentro de los circuitos secuenciales; y su aplicación dentro de el Control de los Procesos Industriales.**

## CAPÍTULO I.

### FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA.

#### *1.1.- Introducción.*

Las aplicaciones de la Electrónica, estuvieron durante mucho tiempo limitadas a las técnicas de las altas frecuencias (emisores, receptores, etcétera).

Hasta los alrededores de 1950, la Electrónica no hace su aparición en la Industria en el campo de la Regulación y mando de las Máquinas-Herramienta, calandrias, laminadoras, etcétera.

Durante estos primeros años, las posibilidades de aplicación, estaban limitadas por la falta de fiabilidad de los elementos electrónicos entonces disponibles (tubos amplificadores y rectificadores, tiratrones, resistencias, condensadores).

Esta fiabilidad era insuficiente para responder a las altas exigencias que se requerían en las nuevas aplicaciones en el campo Industrial. Con el desarrollo de componentes electrónicos especiales, de fiabilidad más elevada y de tolerancias más ajustadas, pero siempre con la base de válvulas de vacío, pudo pensarse en nuevas aplicaciones. Así nació una nueva rama de la Electrónica: "*La Electrónica Industrial*".

Gracias al descubrimiento de los semiconductores (transistores, tiristores, etcétera); elementos que respondían perfectamente a las exigencias Industriales (alta fiabilidad, dimensiones reducidas, insensibilidad a las vibraciones mecánicas), la Electrónica Industrial hizo progresos increíbles.

A partir de 1960, los semiconductores se introdujeron en el campo de la Electrónica Industrial y permitieron la realización de Dispositivos cada vez más complejos, destinados a la automatización de Procesos Industriales.

Además, la miniaturización de los elementos en forma de Circuitos Integrados (CI), introducidos en el campo de la Electrónica Industrial a partir de 1970, permitió reducir el tamaño y el coste de estos Dispositivos, aumentando su fiabilidad y reduciendo el consumo de energía. Con la ayuda de estos Circuitos Integrados, se puede aumentar la perfección y la complejidad de las regulaciones y los controles.

A partir de los alrededores de 1975, se vislumbra una nueva orientación, con la aparición de los Microprocesadores en algunas aplicaciones de la Electrónica Industrial.

Estos nuevos elementos serán la base de una revolución en la concepción de regulaciones y controles industriales; los circuitos realizados y modificados según las necesidades serán cada vez más reemplazados por montajes universales, la adaptación de los cuales a una aplicación particular se hará mediante programación.

**a). Clasificación en Electrónica de Potencia y en Electrónica de Regulación y Control.**

**El campo de la Electrónica Industrial, puede dividirse esquemáticamente como se indica a continuación: Electrónica de Potencia y en Electrónica de Regulación y Control.**

**En la Electrónica de Potencia, la amplificación en potencia y la potencia de salida de los dispositivos puestos en juego son preponderantes. Partiendo de un límite inferior de algunos 100 W, la potencia de salida de los dispositivos se extiende hasta 100 MWatts para llegar a 1 000 MWatts en los casos límites.**

**Por el contrario, en la Electrónica de Regulación y Control, la transferencia y la elaboración de señales son primordiales, mientras que la potencia en juego, es pequeña e insignificante. La potencia de salida de estos dispositivos varía típicamente entre 10 microWatts y 1 Watt, y alcanza algunas veces un límite superior de algunas centenas de Watts.**

**1.1.1.- Electrónica de Potencia.-** En base de la Electrónica de Potencia, se encuentran los elementos de potencia, que pueden subdividirse en elementos rectificadores no controlables (Diodos), y en elementos rectificadores controlables (Tiristores, Triacs).

Los elementos de potencia, asociados a dispositivos auxiliares apropiados (controles de las puertas, radiadores de disipación, circuitos RC de protección), componen los módulos estándar que permiten la realización de equipos de potencia, tales como rectificadores, convertidores de corriente, convertidores de frecuencia, etcétera.

**1.1.2- Electrónica de Regulación y de Control.-** En el campo de la Electrónica de Regulación y de Control, los fabricantes han desarrollado series de módulos estándar, con el fin de facilitar la realización de dispositivos que desempeñen funciones muy variadas y de racionalizar sus gamas de producción.

Estos módulos pueden clasificarse en dos categorías distintas, según su modo de funcionamiento, a saber en módulos analógicos (funcionando de manera continua entre ciertos límites de operación), y en módulos lógicos (funcionando de manera discontinua entre dos niveles distintos).

Estos módulos estándar permiten componer órganos y equipos de control y de regulación, funcionando de manera puramente analógica (regulaciones); puramente digital (controles, regulaciones digitales); ó bién de manera híbrida, es decir, incluyendo módulos lógicos y analógicos combinados (regulaciones adaptativas, regulaciones óptimas).



**1.1.3.- Instalaciones Completas.-** La combinación de equipos de potencia con equipos de control y regulación, permite la realización de Instalaciones Completas, que suele comprender máquinas eléctricas (motores, generadores) ó a veces, máquinas hidráulicas ó térmicas (turbinas, calderas, etcétera), que son parte integrante de la instalación completa.

En el caso de instalaciones complejas, caracterizadas por exigencias de control ó de regulación elevadas, cada vez se utilizan más los calculadores de proceso, en particular los mini y Microprocesadores. Éstos, son calculadoras electrónicas digitales, que se encargan de las funciones de control y de regulación.

Los dispositivos analógicos, digitales ó híbridos, en estos casos se utilizan para la realización de conexiones y de adaptaciones necesarias entre los procesos propiamente dichos (sistema a regular ó a controlar), y los calculadores de procesos.

## **b). Aplicaciones de la Electrónica Industrial.**

El campo de aplicación de la Electrónica Industrial, se extiende a numerosos Sectores de la Industria y como ejemplo se dan los siguientes:

***1.1.4.- Accionamientos Regulados.***- Los accionamientos regulados constituyen, el campo de aplicación más amplio de la Electrónica Industrial. Se observa una gran diversidad, tanto en las máquinas eléctricas utilizadas (máquinas de corriente continua, asíncronas, síncronas), como en los equipos de potencia que se utilizan (convertidores de corriente y de frecuencia).

Además, estos accionamientos se utilizan en ramas muy variadas de la Industria, teniendo cada una sus exigencias particulares en cuanto a la naturaleza de los Equipos de Control y de Regulación, como por ejemplo las Máquinas-Herramienta, las laminadoras, etcétera.

***1.1.5.- Equipos de Tracción.***- La aplicación de la Electrónica Industrial en el campo de la tracción, es relativamente reciente y se debe a la introducción de los elementos semiconductores insensibles a las vibraciones. Los convertidores de corriente de frecuencia, permiten alimentar los motores de tracción con corriente continua ó con corriente trifásica, fácilmente regulable, y construir equipos de tracción alimentados por sistemas diferentes de corriente (monofásico 16 2/3 Hz, 50 Hz, continua 1500 V, 3000 V).

Los Equipos de Control y Regulación facilitan la tarea del equipo mecánico, con la ayuda, por ejemplo; de automatización de arranque, de controles de velocidad y de frenado, así como con dispositivos antipatinaje, parada al final y marcha con consumo mínimo.

Desde un punto de vista técnico, también es posible, realizar un control automático de marcha de un tren. Sin embargo, razones financieras de seguridad y psicológicas, impiden que esta realización se generalice.

*1.1.6.- Centrales y Redes Eléctricas.-* En el campo de las Centrales Eléctricas, la Electrónica de Potencia permite la excitación de los alternadores (máquinas síncronas), mediante medios estáticos (convertidores de corriente).

En las Redes Eléctricas, se realiza la interconexión elástica de dos redes de frecuencias diferentes; con la ayuda de convertidores de frecuencia estáticos, ó también el Transporte de Energía a Alta Tensión Continua, gracias a los convertidores estáticos que realizan la conversión de alterna a continua y viceversa.

En esta aplicación, están en juego potencias elevadas del orden de 1000 MWatts. También es posible, realizar compensadores de potencia reactiva con medios estáticos.

Además, se efectúa de manera electrónica, las regulaciones de alternadores, de turbinas y de calderas, así como las regulaciones Frecuencia-Potencia. Finalmente, se realizan dispositivos de mando (por ejemplo, el automatismo de secuenciamiento para el arranque, la vigilancia y el paro de los grupos turboalternadores) y relés de protección electrónicos.

**1.1.7.- Máquinas-Herramienta.-** En lo que concierne a las Máquina-Herramienta, la Electrónica Industrial permite realizar, además de los accionamientos regulados ya mencionados, todo tipo de controles a secuencia y Controles Numéricos. Los Controles Numéricos, permiten la fabricación automática de piezas, previa programación sobre un ordenador mediante cintas perforadas ó cintas magnéticas.

**1.1.8.- Instalaciones para la Investigación Nuclear.-** En el campo de las instalaciones para la Investigación Nuclear, la Electrónica Industrial, contribuye eficazmente a la realización de alimentaciones para imanes (aceleradores, cámaras de burbujas), con la ayuda de convertidores de corriente, así como a la realización de dispositivos de control de alta precisión, para las corrientes de excitación de estos imanes.

**1.1.9- Procesos Químicos y Metalúrgicos.-** Los recursos de la Electrónica Industrial, son igualmente puestos a disposición de los procesos químicos y metalúrgicos, por una parte para la alimentación en corriente de hornos y de baños electrolíticos, de hornos a media y alta frecuencia, y por otra parte para la regulación de reactores químicos y de hornos eléctricos, así como para la realización de controles secuenciales.

Sin embargo, la Electrónica Industrial está en competencia con otras tecnologías (dispositivos hidráulicos ó neumáticos), que reemplazan los dispositivos electrónicos.

Por el contrario, en este campo y después de mucho tiempo, los calculadores electrónicos de procesos, tienen una utilización muy extendida.

### **c). Relaciones de la Electrónica Industrial con Otras Disciplinas.**

**El contenido de lo analizado en los apartados "a" y "b" se muestra claramente, que el campo de aplicación de la Electrónica Industrial es muy amplio. Por otra parte, la elaboración técnica y la realización de instalaciones reguladas ó controladas necesitan la aportación de distintas disciplinas, de las cuales las más importantes se enumeran a continuación:**

**- Electrónica General.- Para la comprensión del funcionamiento de los módulos estándar, y el desarrollo de nuevos dispositivos.**

**- Técnica de las Medidas.- Para la selección y el desarrollo de dispositivos de medida en los circuitos de control y de regulación, así como para efectuar las medidas durante los ensayos.**

**- Instalaciones Eléctricas.- Para una ejecución y protección correcta de las instalaciones y de los cableados.**

**- Máquinas Eléctricas.- Para la comprensión de su funcionamiento estático y dinámico en los circuitos de regulación.**

**- Máquinas Mecánicas.- Para la comprensión de su funcionamiento estático y dinámico como máquina accionada, regulada ó controlada.**

**- Teoría de Sistemas.- Para un análisis teórico y una descripción matemática de los sistemas a regular.**

- Teoría de la Regulación Automática.- Para el proyecto de circuitos de regulación, análisis de estabilidad y de precisión de la regulación.

- Teoría de los Sistemas Lógicos.- Para el análisis y la síntesis teórica de los sistemas de control.

- Calculadores Digitales.- Para la programación de cálculos numéricos, así como para la comprensión del funcionamiento y la programación de los calculadores de procesos.

## 1.2 Señal Analógica y Señal Digital.

La señal de voltaje de la Fig. 1.1, se conoce como una señal analógica. El nombre se deriva del hecho que esa señal es análoga a la señal física que representa. La magnitud de una señal análoga, puede tomar cualquier valor:

Esto es, la amplitud de una señal analógica presenta una variación continua sobre su intervalo de actividad. La mayor parte de las señales en nuestro mundo son analógicas. Los circuitos electrónicos que procesan a estas señales, se conocen como circuitos analógicos.



Fig. 1.1.- Una Señal de Voltaje Arbitrario  $V(t)$ .



Otra forma de representar a una señal, es la de una sucesión de números, cada uno de ellos representando la magnitud de la señal en un instante de tiempo.

La señal resultante se denomina señal digital. Para ver cómo puede representarse una señal en esta forma; es decir, cómo pueden convertirse las señales analógicas a digitales, considérese la Fig. 1.2a. En ella, la curva representa una señal de voltaje idéntica a la de la Fig. 1.1. A iguales intervalos a lo largo del eje del tiempo, se han marcado los instantes de tiempo  $t_0, t_1, t_2$  y

así sucesivamente.

En cada uno de esos instantes de tiempo, se mide la magnitud de la señal, un proceso que se conoce como muestreo. La Fig. 1.2b, muestra una representación de la señal de la Fig. 1.2a en términos de sus muestras.

La señal de la Fig. 1.2b, se define solamente, en los instantes de muestreo; no es más una función continua de tiempo, más bién, es una señal de tiempo discreta. Sin embargo, ya que la magnitud de cada muestra puede tener cualquier valor dentro de una región continua, la señal de la Fig. 1.2b es aún una señal analógica.

Ahora, si se representa la magnitud de cada una de las muestras de señal en la Fig. 1.2b, mediante un número finito de dígitos, entonces la magnitud de la señal no será continua, se dice más bién que es cuantizada, discretizada ó digitalizada.

La señal digital que resulta entonces, será simplemente una sucesión de números que representan las magnitudes de las muestras sucesivas de la señal.

A los circuitos electrónicos que procesan señales digitales, se les llama circuitos digitales. El Ordenador Digital es un sistema que se construye a partir de circuitos digitales. El procesamiento digital de las señales, ha llegado a ser bastante popular debido, en principio, a los grandes avances que se han hecho en el diseño y en la fabricación de los circuitos digitales.

Otra razón de la popularidad del procesamiento de las señales digitales, es que en general, se prefiere trabajar con números . Por ejemplo, no hay duda que la mayoría de nosotros, lee el tiempo en forma digital (como ocurre en un reloj digital), y la considera en relación con la lectura analógica (manecillas moviéndose relativamente en una carátula graduada).

Mientras la última forma de lectura requiere de la interpretación por parte del observador, la primera se explicita, eliminando cualquier juicio subjetivo.

Este es un punto importante que quizá, se aprecie mejor en el contexto de un sistema de instrumentación, como el que se usa para detectar a través de un monitor la condición de un reactor nuclear. En ese caso, la interpretación humana de las lecturas del instrumento, y la inevitable falta de consistencia asociada, podrían representar un peligro.

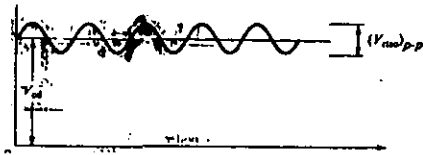
Más aún, en tal sistema de instrumentación, los resultados de las mediciones, usualmente tienen que alimentar a un Ordenador Digital para un análisis posterior. Así pues, sería más conveniente, si las señales obtenidas mediante los instrumentos de medición fueran ya en forma digital.

El procesamiento digital de las señales, es económico y confiable: Más aún, permite que se realice una gran variedad de funciones; funciones que son imposibles ó poco prácticas llevarlas a cabo por medios analógicos.

Sin embargo, como ya se mencionó, la mayor parte de las señales en el mundo físico, son analógicas. Hay aún tareas de procesamiento, que se realizan mejor mediante circuitos analógicos. De aquí se deduce que, un buen Ingeniero en Electrónica, debe ser experto en ambas formas de procesamiento de las señales.

Antes de terminar con el estudio sobre las señales, se debe hacer hincapié, en que no todas las señales con que tratan los sistemas electrónicos se originan en el mundo físico. Por ejemplo; la calculadora electrónica y el Ordenador Digital, realizan operaciones matemáticas y lógicas para la resolución de problemas.

Las señales digitales internas representan las variables y los parámetros de esos problemas y obviamente no son alimentadas directamente de señales físicas externas.



**Fig. 1.2.- Muestreo de la Señal Analógica de Tiempo Continuo en (a), Resulta como la Señal de Tiempo Discreto en (b).**

### ***1.3.- Detección, Amplificación y Procesamiento.***

**Los potenciómetros portátiles, contienen generalmente un detector de cero que es compatible con el resto del circuito. Estos detectores ó galvanómetros, incorporados usualmente, son una versión bastante ruda del bién conocido movimiento D' Arsonval y simplemente indican una condición de desbalance por medio de la deflexión de la aguja sobre un escala.**

**Los potenciómetros de precisión de los laboratorios, generalmente, no tienen un indicador incorporado y se les debe conectar externamente un galvanómetro ó un indicador de cero. Básicamente existen tres tipos de detectores de cero:**

**a).- El Galvanómetro del Tipo de Aguja, con suspensión de cinta tensada, encontrado generalmente en los instrumentos portátiles. Este es un detector de cero bastante rudo, con una sensibilidad desde 1.0 microAmpéres hasta 0.1 microAmpéres por división de la escala.**

**b).- El Galvanómetro de Deflexión, con lámpara y escala incluidas, usado típicamente en las aplicaciones de laboratorio. Este galvanómetro, tiene una gran sensibilidad, empleado en el rango de 0.1 microAmpéres a 0.01 microAmpéres por división de la escala.**

**c).- El Detector de Cero Electrónico, con circuitos de estado sólido, tiene una excelente sensibilidad con una impedancia de entrada alta, y es extremadamente fuerte, pero bastante costoso.**

En general, consiste de un amplificador de Corriente Directa de estado sólido, con un atenuador en la entrada que suministra varios rangos de entrada por medio de un interruptor selector.

Cualquier desviación, de una condición de cero señal se indica por medio de una deflexión de una aguja en un medidor con cero central colocado en la salida.

La selección del mejor tipo de detector de cero para una aplicación particular, depende de un gran número de factores. En el caso del galvanómetro de aguja ó el de deflexión, estos factores incluyen la sensibilidad del instrumento, resistencia de la bobina, período y resistencia crítica de amortiguamiento grande.

Un galvanómetro de alta sensibilidad, sin embargo, es difícil de instalar y tiende a ser inestable en su punto de deflexión nula, de tal forma que la selección del galvanómetro a menudo involucra un compromiso entre sensibilidad y facilidad de operación.

En esta sección, se presentarán dos funciones fundamentales de procesamiento de señales, las cuales en alguna medida se emplean en casi todos los sistemas electrónicos, y son: La amplificación y el filtrado.

- Amplificación de Señales.- Desde un punto de vista conceptual, la tarea más sencilla de procesamiento de señales, es la Amplificación. La necesidad de amplificación se presenta en virtud de que los transductores proporcionan señales que se les considera "débiles" ó pequeñas; es decir, del orden de los microvolts (microVolts) ó milivots (mV); y poseedores de poca energía.

Estas señales son demasiado reducidas para un procesamiento confiable, y este procesamiento es mucho más fácil si la magnitud de la señal se hace mayor. El bloque funcional que lleva a cabo esta tarea es el amplificador de señal.

En este punto conviene resaltar la necesidad de linealidad en los amplificadores. Cuando una señal se amplifica, debe tenerse cuidado para que la información contenida en la señal no cambie, ni se introduzca nueva información.

Así, cuando se alimenta la señal que muestra la Fig. 1.1 a un amplificador, es deseable que la señal de salida del amplificador sea una réplica exacta de la de entrada, excepto, desde luego, que tendrá una mayor amplitud.

En otras palabras, las variaciones en la forma de la onda de salida deben ser idénticas a las de la onda de entrada. Cualquier cambio en la forma de onda se considera "distorsión" y, obviamente es indeseable. Un amplificador que preserva los detalles de la forma de onda de la señal se caracteriza por la relación:

$$v_o(t) = A v_i(t) \quad \text{Ec. 1.1.}$$

donde :  $v_i$  = Voltaje de entrada (V).

$v_o$  = Voltaje de salida (V).

A = Ganancia del amplificador.

La ec. 1.1, es una relación lineal, en consecuencia, el amplificador que satisface a la ecuación, es un amplificador lineal. Es fácil ver, que si la relación entre  $v_o$  y  $v_i$

contiene potencias mayores de  $v_i$ , entonces la forma de onda de  $v_o$  no será idéntica a la de  $v_i$ .

El amplificador se dice entonces, que presenta distorsión no lineal.

Hasta ahora, se ha supuesto implícitamente, que los amplificadores aquí tratados, operan con señales de entrada muy pequeñas. Su propósito es hacer más grande la amplitud de la señal, y por tanto, se consideran como amplificadores de voltaje ó de tensión.

El preamplificador en el sistema de reproducción estereofónica, es un ejemplo de un amplificador de voltaje y normalmente, no sólo amplifica la señal; en particular le da cierta forma al espectro de frecuencia de la señal de entrada.

Se desea mencionar ahora, otro tipo de amplificador, a saber, el amplificador de potencia. Este amplificador, proporciona poca ó ninguna ganancia de voltaje, sino una sustancial ganancia de corriente. Así, mientras se absorbe poca potencia de la fuente de señal de entrada, a la cual se conecta, a menudo un preamplificador, entrega grandes cantidades de potencia a su carga.

Un ejemplo se encuentra, en el amplificador de potencia del sistema de reproducción estereofónico de una casa, cuyo propósito es proporcionar suficiente potencia para excitar al altavoz.



Aquí debe notarse, que el altavoz, es el transductor de salida del sistema estereofónico; convierte la señal eléctrica de salida del sistema en una señal acústica. Es posible lograr una apreciación más profunda de la necesidad de linealidad mediante la reflexión del amplificador de potencia.

Un amplificador lineal de potencia, causa que se reproduzcan pasajes musicales, tanto suaves como intensos, sin distorsión.

Otra tarea común en el procesamiento de señales, es la de su filtrado. Es el proceso mediante el cual la parte esencial y útil de una señal se separa de componentes extraños e indeseables, que por lo general, se conocen como ruido y que se mezclan con la señal de interés de alguna manera.

- Procesamiento.- Hoy en día, algunos problemas muy largos se descomponen en partes relativamente independientes y cada parte se resuelve en un dispositivo por separado semejante a un Ordenador; estos dispositivos, pueden estar interconectados, de manera que datos y programas puedan transferirse entre ellos. A éstos se les conoce como procesamiento en paralelo.

Después del uso inicial de los Ordenadores en problemas numéricos, los Ingenieros empezaron a explorar otras áreas de investigación.

Se observó que cualquier clase finita de objetos, podría relacionarse con los conjuntos de números que el Ordenador podría manejar, y que podrían manipularse de la misma forma. El procesamiento de datos no numéricos, se volvió importante.

El procesamiento no numérico, es básicamente similar al procesamiento numérico, ya que varios procesos lógicos ó algoritmos, que manipulan conjuntos finitos de objetos, (ya sean números u otros datos), pueden prepararse para el mismo Ordenador que se emplea para resolver problemas numéricos.

Al principio esto se consideró, como la representación numérica de datos no numéricos. El procesamiento no numérico se ha ampliado a aplicaciones, que incluyen la manipulación de cantidades matemáticas abstractas, como grupos; a los problemas de traducción de lenguaje natural, como del ruso al inglés; al procesamiento de datos gráficos ó pictóricos como como la comparación de huellas digitales ó el exámen de placas de Rayos "X", para la detección de enfermedades; al control de procesos complejos, como los que se emplean en el manejo de Refinerías Petroleras, y al control de Robots.

## CAPÍTULO II

### DIODOS Y TIRISTORES.

#### *II.1.- Funcionamiento Básico de el Diodo Rectificador.*

El Diodo es un semiconductor formado por una juntura con materiales del tipo P y N, que funciona en dos regiones de operación: *La Región Activo Directa y la Región Activo Inversa.*

Funciona tanto en Corriente Directa (C-D), como en Corriente Alterna (C-A); y para ambos casos, se debe añadir al cálculo, el valor de la Resistencia Dinámica interna de el Diodo.

a). Juntura P-N Inversamente Polarizada.- Los portadores mayoritarios se ven atraídos eléctricamente por los bornes de la fuente de poder, los electrones libres se dirigen hacia el borne positivo, y la corriente de huecos se dirige hacia el borne negativo.

Con esto se consigue un ensanchamiento de la Región Vacía proporcional a la magnitud del voltaje aplicado. El ensanchamiento de esta Región aumenta el Campo Eléctrico interno y aumenta la inclinación de la Colina de Potencial; como consecuencia se obstaculiza el tránsito de portadores libres mayoritarios a través de la juntura.

Los portadores libres minoritarios, por moverse cuesta abajo de la colina de potencial, no se ven obstaculizados por este incremento en la intensidad de Campo Eléctrico interno. En una juntura P-N Inversamente Polarizada, no existe corriente debida a portadores mayoritarios, pero existe una corriente formada por portadores minoritarios, conocida como "Corriente Inversa de Saturación", que tiene valores del orden de  $I_0 = 10E-6$  a  $10E-8$  Amperes.

0

Y depende en su magnitud esencialmente de la temperatura. El valor característico para esta corriente es:

$$I_0 = 10E-6 \text{ Amperes @ } 20^\circ\text{C}$$

0

b). Juntura P-N Directamente Polarizada.- Una juntura P-N Directamente Polarizada, presenta una disminución en el ancho de la Región Vacía, una reducción en el Campo Eléctrico interno, y una pendiente menor en la Colina de Potencial.

Esta situación facilita el tránsito de portadores mayoritarios a través de la juntura dando lugar a una corriente mayoritaria que puede ser del orden de  $10E-3$  Amperes, que depende fundamentalmente del voltaje externo aplicado.

En la juntura sigue existiendo una corriente formada por portadores minoritarios, pero por ser relativamente pequeña se considera despreciable.

c). Circuitos rectificadores.- El Diodo utilizado como rectificador, convierte la energía de una fuente de Corriente Alterna (C-A) en la energía de Corriente Directa (C-D), que se requiere para la operación de los circuitos electrónicos.

Los Circuitos Rectificadores más comunes son: el Rectificador de Media Onda, el Rectificador de Onda Completa y el Puente Rectificador. La mayoría de los Circuitos Rectificadores cuentan con un filtro capacitivo para "suavizar" la onda de la señal rectificada.

Un rectificador es un dispositivo que hace unidireccional la corriente ó el voltaje de una fuente de Corriente Alterna (C-A). El circuito típico de esta categoría se presenta en la figura II.1.

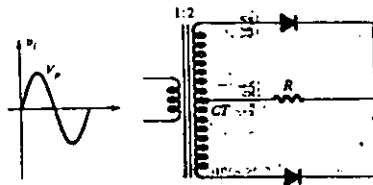


Fig. II.1 Circuito Típico Característico de un Circuito Rectificador.

## *11.2.- Operación y Modelo Ideal.*

Un Diodo es el más sencillo de los dispositivos semiconductores, pero desempeña un papel vital en los Sistemas Electrónicos, con sus características que se asemejan en gran medida a las de un sencillo interruptor.

Se encontrará en una amplia gama de aplicaciones, que se extienden desde las más simples, hasta las sumamente complejas.

Aparte de los detalles de su construcción y características; los datos y gráficas muy importantes que se encontrarán en las hojas de especificaciones, también se estudiarán para asegurar el entendimiento de la terminología empleada, y para poner de manifiesto la abundancia de información de la que por lo general se dispone y que proviene de los Fabricantes.

El Diodo Ideal es un dispositivo de dos terminales que tiene el símbolo y las características que se muestran en la Fig. 11.2a y b, respectivamente.

En la descripción de los elementos que sigue, un aspecto muy importante es la definición de los símbolos literales, las polaridades de voltaje y las direcciones de corriente.

Si la polaridad del voltaje aplicado es consistente con la que se muestra en la Fig. 11.2a, la parte de las características que se consideran en la Fig. 11.2b, se encuentra a la derecha del eje vertical.

Si se aplica un voltaje inverso, las características a la izquierda son pertinentes. En el caso de que la corriente a través de el Diodo tenga la dirección que se indica en la Fig. II.2a, la parte de las características que se considera se encuentran por encima del eje horizontal, en tanto que invertir la dirección requeriría el empleo de las características por debajo del eje. Para la mayor parte de las características de dispositivos, la ordenada será el eje de la corriente, en tanto que la abscisa corresponderá al eje del voltaje.



Fig. II.2.- Diodo Ideal: a). Símbolo; b). Característica.

Uno de los parámetros importantes para el Diodo es la resistencia en el Punto ó Región de Operación. Si consideramos la región definida por la dirección de  $i_d$

y la polaridad de  $v_d$  en la Fig. II.2a (cuadrante superior derecho

de la Fig. II.2b, encontraremos que el valor de la resistencia directa  $R_f$ ,

de acuerdo como se define la Ley de Óhm es:

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0}{2, 3, \dots, \text{ó cualquier valor positivo}} = 0 \text{ Óhms}$$

donde  $V_f$  es el voltaje en sentido directo a través de el Diodo e  $I_f$  es la corriente en sentido directo a través de el Diodo.

El Diodo Ideal, por consiguiente, es un cortocircuito para la Región Directa de conducción ( $i_d$  diferente de Cero).

Si consideramos la región del potencial aplicado negativamente (tercer cuadrante) de la Fig. II.2b.

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -20, \text{cualquier potencial inverso}}{0} = \text{Infinito}$$



donde  $V_r$  es el voltaje inverso a través de el Diodo e  $I_r$  es la corriente inversa en el Diodo.

El Diodo Ideal, en consecuencia, está en circuito abierto en la región en la que no hay conducción ( $i_d = 0$ ).

En síntesis, se aplican las condiciones que se describen en la Fig. II.3.

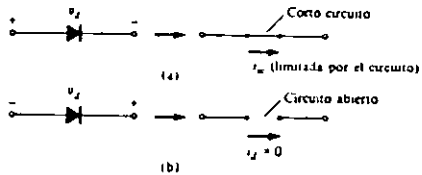


Fig. II.3.- Estados a). De Conducción y b). De no Conducción de el Diodo Ideal, Determinados por la Polarización Aplicada.

En general, es relativamente sencillo determinar si un Diodo se encuentra en la Región de Conducción ó en la Región de no Conducción observando tan sólo la dirección de la corriente  $i$  establecida por el voltaje aplicado.

d

Para el flujo convencional (opuesto al de los electrones), si la corriente resultante en el Diodo tiene la misma dirección que la de la flecha del símbolo de dicho elemento, éste opera en la Región de Conducción. Esto se representa en la Fig. II.4.

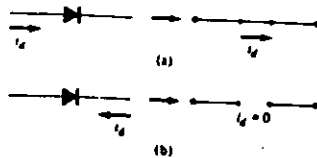


Fig. II.4.- Estados a). De Conducción y b). De no Conducción de el Diodo Ideal Determinados por la Dirección de Corriente de la Red Aplicada.

### II.3.- Aplicaciones: Rectificadores, Recortadores y Compuertas Lógicas.

a). Rectificadores: Rectificación de Media Onda.- El análisis en torno a el Diodo se extenderá para incluir funciones que varían con el tiempo como con la forma de onda senoidal y la onda cuadrada. Es claro que el grado de dificultad aumentará, pero una vez que se comprendan unos cuantos procedimientos fundamentales, el análisis será bastante directo y seguirá un camino común.

La Red más simple que puede examinarse con una señal variable en el tiempo aparece en la Fig. II.5. Por el momento se utilizará el Modelo de el Diodo Ideal para asegurar que el planteamiento no se ensombrezca por la complejidad matemática adicional.

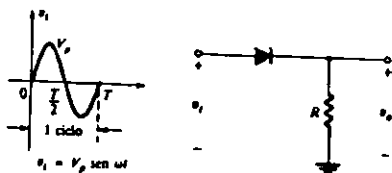


Fig. II.5.- Rectificador de Media Onda.

En un ciclo completo, definido por el período  $T$  de la Fig. II.5, el valor promedio (la suma algebraica de las áreas sobre y debajo del eje) es cero. El circuito de la Fig. II.5, llamado Rectificador de Media Onda, generará una forma de onda  $V_0$  que tendrá un valor promedio de

empleo particular en el proceso de conversión de Corriente Alterna (C-A) a Corriente Directa (C-D). Durante el intervalo  $t = 0$  a  $T/2$  en la Fig. II.5, la polaridad del voltaje de entrada  $V_i$  se muestra en la Fig. II.6.

El resultado es la polaridad que se muestra en el Diodo, proveniente del equivalente en cortocircuito que aparece en la Figura contigua. La salida está en este caso conectada directamente a la entrada, con el resultado de que para el período  $0$  a  $T/2$ ,  $V_0 = V_i$ .

En el período  $T/2$  a  $T$ , la polaridad de la entrada  $V_i$  se muestra en

la Fig. II.7 y la polaridad resultante en el Diodo Ideal produce un estado "de corte" con un equivalente en circuito abierto. El resultado es la ausencia de una trayectoria para el flujo de carga y  $V_0 = iR = (0)R = 0$  V.

para el período  $T/2$  a  $T$ . Con fines comparativos, la entrada  $V_i$  y la

salida  $V_0$  se analizarán en la Fig. II.8.

La señal de salida tiene un área positiva neta sobre el eje con respecto a un período completo, así como un valor promedio determinado por:

$$\text{promedio (valor de Corriente Directa C-D)} = \frac{0.318 V}{p} \quad \text{Ec. II.1.}$$

El proceso de la separación de una mitad de la señal para establecer un nivel de Corriente Directa (C-D) recibe con toda propiedad el nombre de Rectificación de Media Onda.

El término "Rectificación" proviene del uso del término "Rectificador" para Diodos que se emplean en fuentes de poder para el proceso de conversión de Corriente Alterna (C-A) a Corriente Directa (C-D).

El efecto de la utilización de un Diodo de Silicio con  $V_T = 0.7 V$

se demuestra en la Fig. II.9 para la Región de Polarización Directa. La entrada debe ser en este caso al menos de 0.7 V antes de que el Diodo conduzca, lo que ocasiona un nivel de salida cero hasta que ocurre la transición. Cuando conduce, la diferencia entre  $V_0$  y  $V_i$  es

fija e igual a  $V_T = 0.7 V$  y  $V_0 = V_i - V_T$  como muestra

la figura. El efecto neto es una reducción del área sobre el eje, lo cual reduce naturalmente el nivel de voltaje de Corriente Directa (C-D) resultante.

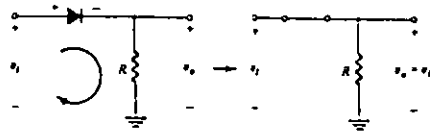


Fig. II.6.- Región de Conducción (0 a  $T/2$ ).

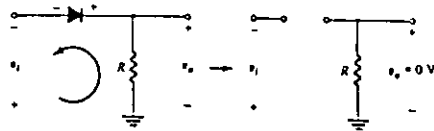


Fig. II.7 Región de no Conducción ( $T/2$  a  $T$ ).

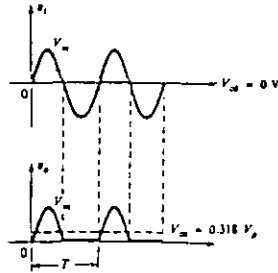


Fig. II.8.- Señal Rectificada de Media Onda.

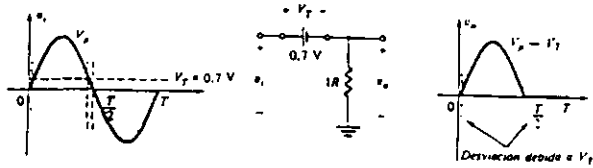


Fig. II.9.- Efecto de  $V_{T0}$  Sobre la Señal Rectificada de Media Onda.

Si  $V_p$  es mucho mayor que  $V_0$  la diferencia puede

ignorarse y se aplica la ec. II.1. Esto es;

$$V_{c-d} = 0.318 V_p \quad \text{Ec. II.2.}$$

Si  $V_p$  está relativamente cerca de  $V_T$ , una buena

aproximación consiste simplemente en utilizar la Ec. II.1, pero con un valor pico reducido por el voltaje de quiebre. La diferencia en el nivel de Corriente Directa (C-D) ocasionada por no considerar las áreas periféricas a la derecha y a la izquierda es por lo normal bastante pequeña como para causar consecuencias que deban tomarse en cuenta. Por tanto;

$$V_{c-d} + 0.318 (V_p - V_T). \quad \text{Ec. II.3.}$$

**Rectificación de Onda Completa.-** El nivel de Corriente Directa (C-D) obtenido a partir de la entrada senoidal puede mejorarse en un 100% empleando un proceso denominado Rectificación de Onda Completa.

La Red más familiar para efectuar dicha función, aparece en la Fig. II.10, con sus cuatro Diodos en una configuración Puente. Durante el período  $t = 0$  a  $T/2$  la polaridad de la entrada se muestra en la Fig. II.11.



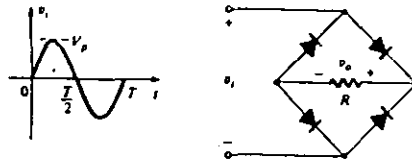


Fig. II.10.- Rectificador Puente de Onda Completa.

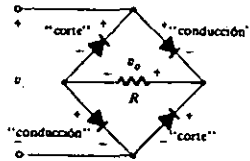


Fig. II.11.- Red de la Figura Anterior, para el Período 0 a  $T/2$  del Voltaje de Entrada  $V$ .

También en la Fig. II.11, se muestran las polaridades resultantes en los Diodos ideales para descubrir que  $D_2$  y  $D_3$  conducen, en tanto

que  $D_1$  y  $D_4$  se encuentran en estado de "corte".

El resultado neto es la configuración de la Fig. II.12, con la polaridad y la corriente en R indicadas. Como los Diodos son ideales, el voltaje de carga es  $V_0 = V_i$  como se muestra en la misma Figura.

En la región negativa de la entrada, los Diodos que conducen son  $D_1$  y  $D_4$ , lo que produce la configuración de la Fig. II.13.

El resultado importante es que la polaridad en el resistor de carga R es la misma que en la Fig. II.11, estableciendo un segundo pulso positivo, como se ilustra en la Fig. II.13. Durante un ciclo completo los voltajes de entrada y de salida aparecerán como se presenta en la Fig. II.14.

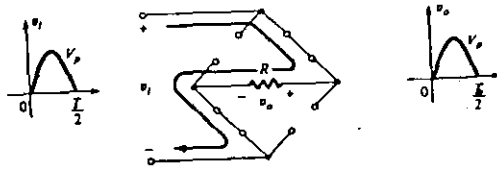


Fig. II.12.

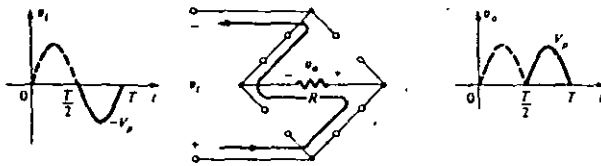


Fig. II.13.

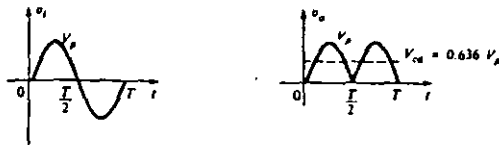


Fig. II.14.

Puesto que el área sobre el eje para un ciclo completo es en este caso el doble de la obtenida para el sistema de media onda, el nivel de Corriente Directa (C-D) también se ha duplicado y;

$$\text{promedio (valor de c-d)} = 0.636 \frac{V}{p} \quad \text{Ec. II.4.}$$

El efecto de  $V_0$  también se ha duplicado, como se indica

en la Fig. II.15 para Diodos de Silicio durante la fase de conducción positiva. Sin embargo, si  $V_p \gg 2V_T$ , entonces;

$$\frac{V}{\text{c-d}} + 0.626 \frac{V}{p} \quad \text{Ec. II.5.}$$

y si  $V_p$  es cercano a  $2V_T$ , entonces;

$$\frac{V}{\text{c-d}} + 0.636 \left( \frac{V}{p} - 2V_T \right) \quad \text{Ec. II.6.}$$

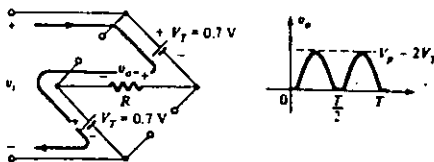


Fig. II.15.

El VPI (Voltaje de Pico Inverso), requerido de cada Diodo (ideal), puede determinarse en la Fig. II.16 obtenida en el pico de la región positiva de la señal de entrada. Para el circuito que se indica, el voltaje pico en R es  $V_p$  y, se tiene

$$V_{PI} = \frac{V_p}{2} \quad \text{Ec. II.7.}$$

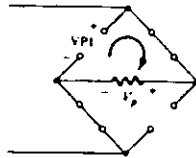


Fig. II.16.

Un segundo Rectificador común de Onda Completa aparece en la Fig. II.17 con sólo dos Diodos, pero requiere un transformador con derivación central, para establecer la señal de entrada entre cada sección del secundario del transformador. Durante la parte positiva de  $V$  aplicado al primario del transformador, la red será como se indica

en la Fig. II.18.

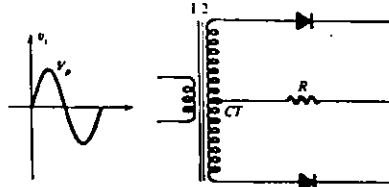


Fig. II.17.

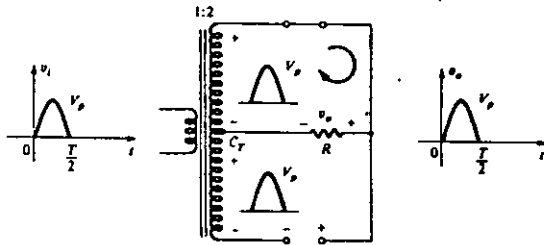


Fig. II.18.

$D_1$  asume el equivalente en cortocircuito y  $D_2$  el

equivalente en circuito abierto, de acuerdo con los voltajes en el secundario y las direcciones de las corrientes resultantes. El voltaje de salida es como se indica en la Fig. II.18.

Durante la parte negativa de la entrada, la Red aparece como se muestra en la Fig. II.19, invirtiendo los papeles de los Diodos, pero manteniendo la misma polaridad para el voltaje en el resistor de carga  $R$ . El efecto neto es la misma salida que la que aparece en la Fig. II.14 con los mismos niveles de Corriente Directa (C-D).

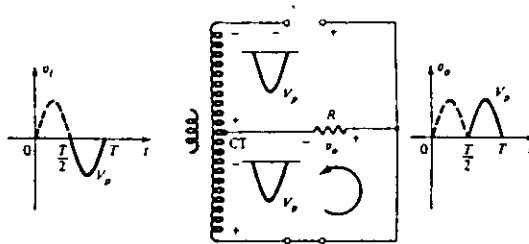


Fig. II.19.

La Red de la Fig. II.20, ayudar a determinar el VPI correspondiente a cada Diodo para este Rectificador de Onda Completa. Al incluir el voltaje pico para el voltaje secundario y establecer  $V$  mediante la malla contigua se obtendrá:

$$VPI = V_{\text{secundario}} + V_R = V_p + V_p$$

$$VPI = 2V_p \quad \text{Ec. II.8.}$$

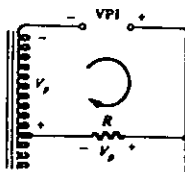


Fig. II.20.



**Recortadores.-** Existe una variedad de Redes de Diodos denominadas "recortadores", que tienen la capacidad para "recortar" una parte de la señal de entrada, sin distorsionar la parte restante de la forma de onda alterna.

El Rectificador de Media Onda es un ejemplo de la forma más sencilla de recortador de Diodo (un Resistor y un Diodo). Dependiendo de la orientación de el Diodo, se "recorta" la región positiva ó negativa de la señal de entrada.

Son dos las categorías generales de los recortadores: En serie y en paralelo. La configuración en serie se define como aquella en la que el Diodo está en serie con la carga, en tanto que la variedad paralelo, tiene el Diodo en una rama paralela a la carga.

**Recortadores en serie.-** La respuesta de la configuración en serie de la Fig. II.21a, para una diversidad de formas de ondas alternas se presenta en la Fig. II.21b. Aunque se presentó primero como un Rectificador de Media Onda (para formas de onda senoidales), no hay límites en relación con el tipo de señales que pueden aplicarse a un recortador.

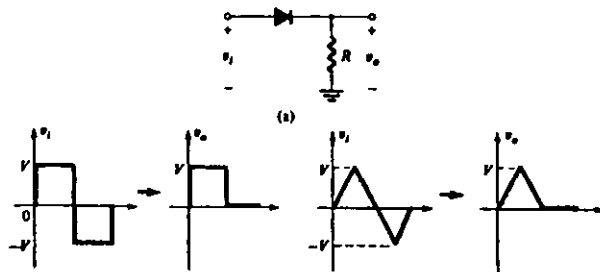


Fig. II.21.- Recortador Diodo en Serie.

La adición de una fuente de Corriente Directa (C-D), tal como la que se muestra en la Fig. II.22 puede tener un pronunciado efecto en la salida de un recortador.

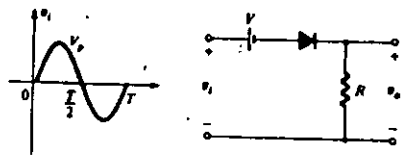


Fig. II.22.

No hay un procedimiento general para analizar Redes como las del tipo de la Fig. II.22, pero sí unas cuantas ideas que recordar cuando se busque una solución:

1.- Se bosqueja mentalmente la respuesta de la Red con base en la dirección de el Diodo y los niveles de voltaje aplicados. En la Red de la Fig. II.22, la dirección de el Diodo sugiere que la señal  $V_i$  debe ser

positiva para ponerlo en conducción. La alimentación de Corriente Directa (C-D) requiere además que el voltaje  $V_i$  es mayor que  $V_d$  volts para que el diodo conduzca.

La región negativa de la señal de entrada "forza ó fuerza" a el Diodo hacia el estado "de corte", apoyado además por la alimentación de Corriente Directa (C-D). En general, por tanto, se puede estar seguro por completo, que el Diodo está en circuito abierto (estado "de corte"), en la región negativa de la señal de entrada.

2.- Se determina el voltaje aplicado (voltaje de transición) que causará un cambio en el estado de el Diodo.

Para el Diodo ideal se empleará la condición  $i_d = 0$

ó bien  $v_d = 0$ , para determinar el nivel de  $v_i$  para

producir una transición.

La aplicación de la condición  $i_d = 0$  a  $v_d = 0$  en la en la Fig. II.22, dará como resultado la configuración de la Fig. II.23, donde se admite que el nivel de  $V_i$  que causará una transición de estado es:

$$V_i = V_{c-d} \quad \text{Ec. II.9.}$$

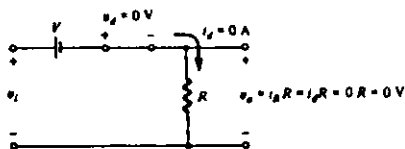


Fig. II.23.

Para una entrada de voltaje mayor que  $V$  volts, el Diodo se encuentra en el estado de cortocircuito, en tanto para voltajes menores que  $V$  volts, está en circuito abierto ó estado "de corte".

3.- Se debe tener cuidado siempre al definir las terminales y la polaridad de  $V_0$ . Cuando el Diodo está en el estado de cortocircuito, tal

como se muestra en la Fig. II.24, el voltaje de salida  $V_0$  es el

mismo en el punto (a) al (b) como se señala en la figura, y aplicando la Ley de Voltajes de Kirchhoff, se tiene;

$$V_0 = V_i - V_R \quad \text{Ec. II.10.}$$

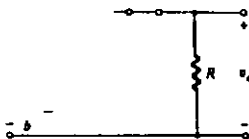


Fig. II.24

4.- Puede resultar útil dibujar la señal de entrada arriba de la señal de salida como se muestra en la Fig. II.25 y determinar la salida a los valores instantáneos de la entrada.

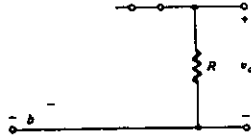


Fig. II.25

En consecuencia, es posible que el voltaje de salida pueda dibujarse a partir de los datos resultantes de  $V$ .

0

Debe recordarse que un valor instantáneo de  $V$ , a la

i

entrada puede considerarse como una alimentación de Corriente Directa (C-D) de ese valor y determinarse el valor correspondiente de Corriente Directa (C-D), (el valor instantáneo) de la salida.

Es posible aplicar el mismo procedimiento a cualquier número de puntos del voltaje de entrada hasta que se dispone de un número suficiente de puntos de salida para dibujar la curva continua para  $V$ .

0

**Recortadores en paralelo.-** La Red de la Fig. II.26, es la más simple de las configuraciones de Diodo en paralelo con la salida para las mismas entradas de la Fig. II.21.

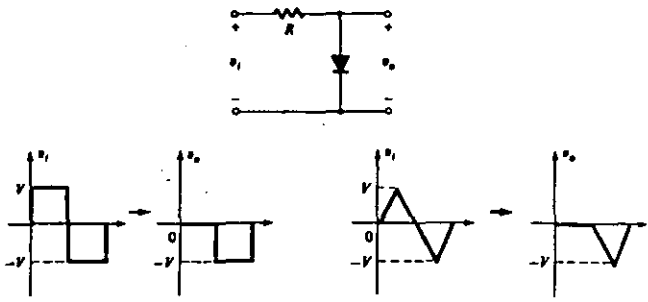
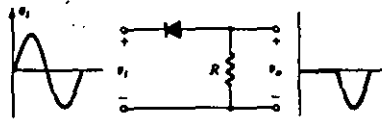


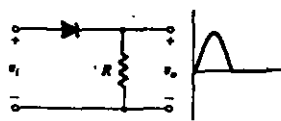
Fig. II.26

**RECORTADORES DIODO EN SERIE SIMPLES**

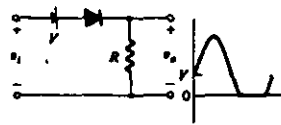
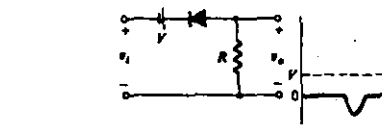
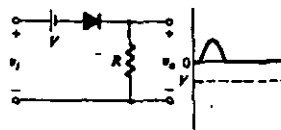
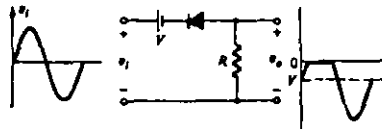
**POSITIVO**



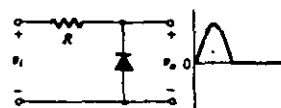
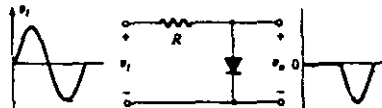
**NEGATIVO**



**RECORTADORES DIODO EN SERIE CON FUENTE**



**RECORTADORES DIODO EN PARALELO SIMPLES**



**RECORTADORES EN PARALELO CON FUENTE**

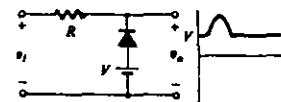
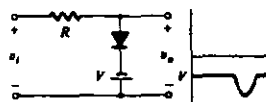
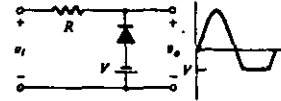
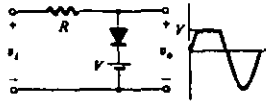


Fig. II.27.



En la Fig. II.27, se presentan diversos recortadores en serie y en paralelo con la salida resultante para la entrada senoidal. En particular, adviértase la respuesta de la última configuración, con su habilidad para recortar una sección positiva y negativa de acuerdo con la magnitud de las fuentes de Corriente Directa (C-D).

**Compuertas AND/OR.-** La Red de la Fig. II.28 es una compuerta OR con lógica positiva. Esto es, al nivel de 10 Volts en la Fig. II.28, se asigna un "1" lógico por el Álgebra de Boole, en tanto que la entrada de 0 Volts se asigna un "0" lógico.

Una compuerta OR es tal que el nivel de voltaje de salida ser un "1" lógico, si cualquiera ó ambas entradas son un "1" lógico. La salida es un "0" lógico, si ambas entradas se encuentran en el nivel "0" lógico.

El análisis de las compuertas AND/OR, se facilita usando el equivalente aproximado para el Diodo en vez del ideal, ya que se puede estipular que el voltaje en el Diodo debe ser 0.7 Volts para el Silicio ó 0.3 Volts para el Germanio; positivos para el Diodo de Silicio a fin de llevarlo al estado de "conducción".

En general, el mejor enfoque consiste simplemente en establecer un sentido de "seguridad" en relación con el estado de los Diodos observando la dirección y la "presión" establecidas por los potenciales aplicados. El análisis comprobará ó negará entonces, las suposiciones iniciales.

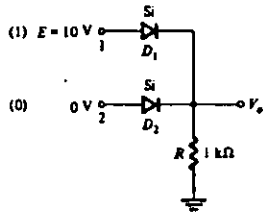


Fig. II.28.- Compuerta OR de Lógica Positiva.

#### ***II.4.- El SCR y el TRIAC, su Operación y Aplicaciones Como Rectificadores Controlados y Controladores de Voltaje.***

En la Industria hay numerosas operaciones, las cuales requieren que se entregue una cantidad de potencia eléctrica variable y controlada. La iluminación, el control de velocidad de un motor, la soldadura eléctrica y el calentamiento eléctrico; son las cuatro operaciones más comunes.

Siempre es posible controlar la cantidad de potencia eléctrica que se entrega a una carga si se utiliza un transformador variable para proporcionar un voltaje de salida variable. Sin embargo, para grandes potencias, los transformadores variables son físicamente grandes y costosos, además de necesitar un mantenimiento frecuente; estos tres factores hacen que los transformadores variables sean poco utilizados.

Otro método para controlar la potencia eléctrica que se entrega a una carga, es intercalar un reóstato en serie con la carga, para así controlar y limitar la corriente. Nuevamente, para grandes potencias, los reóstatos resultan de gran tamaño, costosos, necesitan mantenimiento y además desperdician una cantidad apreciable de energía.

Los reóstatos no son la alternativa deseable frente a los transformadores variables en el control de potencia industrial. Desde 1960, está disponible un Dispositivo Electrónico, el cual no adolece de las fallas mencionadas. El SCR es pequeño y relativamente barato, no necesita mantenimiento y su consumo de potencia es muy pequeño.

Algunos SCR modernos pueden controlar corrientes del orden de varios cientos de Amperes en circuitos que operan a voltajes tan elevados como 1 000 Volts. Por estas razones, los SCR son muy importantes en el campo de el Control Industrial Moderno.

a).- Teoría y Operación de los SCR.- Un Rectificador Controlado de Silicio (SCR, Silicon Controlled Rectifier), es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga. La Fig. II.29 muestra el símbolo esquemático de un SCR, junto con los nombres y letras de identificación de sus terminales.

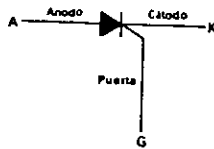


Fig. II.29.- Símbolo Esquemático y Nombres de las Terminales de un SCR.

Un SCR actúa de una manera muy similar a un interruptor. Cuando está CONDUCIENDO presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor cerrado.

Cuando está BLOQUEADO, no puede fluir corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor abierto. Debido a que es un dispositivo de estado sólido, la conmutación de un SCR es muy rápida.

El valor promedio de la corriente que fluye por la carga, puede controlarse colocando un SCR en serie con la carga. Esta disposición se muestra en la Fig. II.30. (La fuente de alimentación, generalmente es de una fuente de Corriente Alterna (C-A) de 60Hz, pero puede ser una fuente de Corriente Directa (C-D) en circuitos especiales).

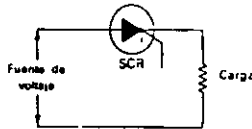


Fig. II.30.- Relación Circuital Entre la Fuente de Voltaje, un SCR y la Carga.

Si la fuente de alimentación es de Corriente Alterna (C-A), el SCR permanece una cierta porción del período en el estado de CONDUCCIÓN y el resto del período en el estado BLOQUEADO.

En una fuente de Corriente Alterna (C-A) de 60 Hz, el período es 16.67 mseg. Son estos 16.67mseg los que deben repetirse entre el estado de CONDUCCIÓN y el estado BLOQUEADO. La cantidad de tiempo que permanece en cada estado se controla por medio de la puerta.

Si el SCR permanece en el estado de CONDUCCIÓN durante una pequeña porción del período, la magnitud promedio de la corriente por la carga es pequeña.

Esto es debido a que la corriente puede fluir de la fuente a la carga y a través de el SCR solamente durante un tiempo pequeño. Si la señal de puerta se cambia de tal manera que el SCR permanece en CONDUCCIÓN durante una gran porción del período, entonces la magnitud promedio de la corriente será grande.

Esto es debido a que ahora la corriente puede fluir desde la fuente a la carga y a través del SCR durante un tiempo relativamente grande. En esta forma, la corriente por la carga puede variarse ajustando la magnitud de la porción del período en el cual el SCR está en CONDUCCIÓN.

Como su nombre lo sugiere, el SCR es un rectificador, de modo que solamente permite el paso de corriente durante el semiciclo positivo de la fuente de Corriente Alterna (C-A). El semiciclo positivo es el semiciclo en el cual el ánodo del SCR es más positivo que el cátodo.

Esto significa que el SCR de la Fig. II.30 no puede estar en CONDUCCIÓN por más de medio ciclo. Durante el otro medio ciclo, la polaridad de la fuente es negativa, y esta polaridad negativa hace que el SCR quede inversamente polarizado, lo cual impide que circule cualquier corriente hacia la carga.

La Fig. II.31 muestra las formas de onda en un circuito de control con SCR, para dos ángulos de disparo distintos. Interpretemos primero la Fig. II.31a. Cuando el ciclo de Corriente Alterna (C-A) comienza su alternancia positiva, el SCR está bloqueado.

Por tanto, el voltaje instantáneo a través de sus terminales ánodo y cátodo, es igual al voltaje de la fuente. Esto es justamente lo que sucedería si se colocará un interruptor abierto en lugar de el SCR.

El SCR está consumiendo la totalidad del voltaje de la fuente, el voltaje a través de la carga ( $V_{\text{carga}}$ ) es cero durante este tiempo.

El extremo izquierdo de las formas de onda de la Fig. II.31a ilustra este hecho. Más adelante, a la derecha del eje horizontal, la Fig. II.31a, muestra que el voltaje de ánodo a cátodo cae a cero después de cerca de un tercio del semiciclo positivo; este es el punto correspondiente a  $60^\circ$ .

Cuando el voltaje de ánodo a cátodo cae a cero, el SCR ha sido "cebado" ó ya paso al estado de conducción. Por tanto, en este caso, el ángulo de disparo es  $60^\circ$  durante los siguientes  $120^\circ$  el SCR actúa como interruptor cerrado sin voltaje a través de sus terminales. El ángulo de conducción es  $120^\circ$ . El ángulo de disparo y el ángulo de conducción siempre totalizan  $180^\circ$ .

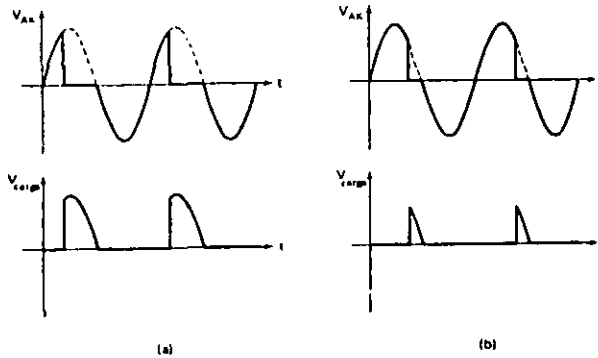
La forma de onda del voltaje en la carga en la Fig. II.31a, muestra que cuando el SCR es cebado, el voltaje de la fuente se aplica a la carga. El voltaje de la carga sigue al voltaje de la fuente por el resto del semiciclo positivo, hasta cuando el SCR se bloquea de nuevo. El bloqueo del SCR ocurre cuando el voltaje de la fuente pasa por cero.

En general, estas formas de onda muestran que antes de cebado el SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en terminales del SCR y la carga recibe cero voltaje.

Después de cebado el SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en la carga, y el SCR consume cero voltaje.

La Fig. II.31b, muestra las mismas formas de onda para un ángulo de disparo diferente. En estas formas de onda, el ángulo de disparo es del orden de  $135^\circ$ , y el ángulo de conducción del orden de  $45^\circ$ . La carga recibe el voltaje de la fuente durante un tiempo mucho más corto comparado con el de la Fig. II.31a. Como resultado, la magnitud del promedio de la corriente resultante es más pequeña.





**Fig. II.31a y b.- Formas de Onda Ideales del Voltaje en Terminales de el SCR y Voltaje en la Carga. (a) Para un Ángulo de Disparo de Cerca de  $60^\circ$ , y un Ángulo de Conducción de  $120^\circ$ . (b) Para un Ángulo de Disparo de Cerca de  $135^\circ$ , y un Ángulo de Conducción de  $45^\circ$ .**

Dentro de la familia de los Dispositivos PNP, el SCR es el de mayor interés hoy en día. Se utilizó por primera vez en 1956 en los Bell Telephonics Laboratories. Unas cuantas de las aplicaciones para SCR incluyen los controles de relevadores, los circuitos de retraso de tiempo, las fuentes de poder reguladas, los interruptores estáticos, los controles de motores, muestreadores ("Chopper's"), inversores, ciclo-convertidores, cargadores de baterías, circuitos de protección, controles de calefacción y controles de fase.

En los últimos años los SCR, se han diseñado para controlar potencias tan altas como 10 MW, con valores nominales individuales tan elevados como 2 000 A a 1 800 V.

Su intervalo de frecuencia de aplicación se ha extendido también a cerca de 50 kHz, permitiendo algunas aplicaciones de alta frecuencia, tales como calentamiento por inducción y limpieza ultrasónica.

#### b). Teoría de Operación de los TRIAC.

El comportamiento de los TRIAC es semejante al de los SCR, con la excepción de que pueden conducir en cualquiera de las dos direcciones. Estos forman parte de la familia de los tiristores. El término Tiristor incluye todos los dispositivos semiconductores los cuales presentan un funcionamiento inherente, como dispositivo de corte y conducción, en oposición a aquellos que presentan un cambio gradual en la conducción.

Todos los Tiristores son dispositivos de conmutación regenerativos, y no pueden operar en forma lineal. De este modo; un transistor no es un tiristor porque aún cuando puede operar en corte y conducción, ésta no es su naturaleza inherente. Es posible para un transistor operar linealmente.

Los TRIAC operan de manera idéntica. Otros Tiristores no pueden llevarse al estado de conducción, pero pasan a este estado cuando el voltaje aplicado alcanza un cierto valor de ruptura. Ejemplos de este tipo de Tiristor son los Diodos de Cuatro Capas y los DIAC.

Los Tiristores pequeños los cuales no conmutan la corriente principal, generalmente se denominan dispositivos de disparo. Estos dispositivos son muy útiles en circuitos de disparo de puerta de los Tiristores que conmutan grandes cargas, tales como los TRIAC.

Un TRIAC es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar el valor promedio de la corriente que fluye a una carga. Un TRIAC es diferente de un SCR en que puede conducir corriente en ambas direcciones cuando es llevado a conducción.

El símbolo esquemático de un TRIAC se muestra en la Fig. II.32a junto con los nombres y abreviaturas de sus terminales. Cuando el TRIAC es bloqueado, no puede fluir corriente entre sus terminales principales independientemente de la polaridad de la fuente externa aplicada. Por tanto, el TRIAC actúa como un interruptor abierto.

Cuando el TRIAC es llevado a conducción presenta una resistencia muy baja al paso de la corriente en el camino de un terminal principal al otro, donde el sentido del flujo depende de la polaridad de la fuente externa aplicada. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1.

Cuando el voltaje es más positivo en MT1, la corriente fluye en sentido inverso. En cualquier caso, el TRIAC actúa como un interruptor cerrado.

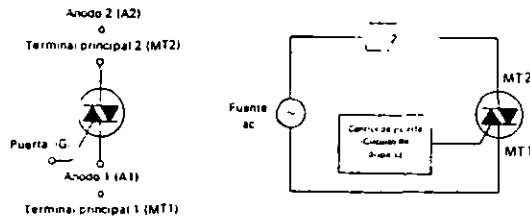


Fig. II.32(a) Símbolo Esquemático y Nombre de los Terminales de un TRIAC. (b) Circuito con TRIAC Donde se muestra Dónde se Conecta la Fuente de Voltaje, la Carga y el TRIAC.

Las relaciones circuitales entre la fuente de voltaje, el TRIAC y la carga se ilustran en la Fig. II.32b. El TRIAC está conectado en serie con la carga al igual que un SCR.

El valor promedio de la corriente que se entrega a la carga puede afectarse variando la cantidad de tiempo por ciclo que el TRIAC permanece en estado de conducción.

Si permanece en el estado de conducción durante una pequeña porción del tiempo de ciclo, el promedio de la corriente que fluye durante muchos ciclos será bajo. Si permanece en el estado de conducción durante una gran porción del tiempo de ciclo, entonces el promedio de la corriente será alto.

Un TRIAC no está limitado a  $180^\circ$  de conducción por ciclo. Con el adecuado arreglo de disparo, puede conducir por la totalidad de los  $360^\circ$  por ciclo. Entonces proporciona control de potencia de Onda Completa en lugar del control de potencia de Media Onda posible con un SCR.

Los TRIAC tienen las mismas ventajas que tienen los SCR y los Transistores sobre los Interruptores Mecánicos. No tienen el rebote de contacto, no se produce arco en contactos parcialmente abiertos, y pueden operarse mucho más rápido que los interruptores mecánicos, por tanto permiten un control de corriente más preciso.

Una aplicación fundamental del TRIAC se presenta en la Fig. II.33. En este caso, controla la potencia de Corriente Alterna (C-A) a la carga por medio de la conmutación conducción-corte, durante las regiones negativas y positivas de la señal senoidal de entrada. La acción de este circuito durante la parte positiva de la señal de entrada es muy semejante a la que se utiliza para el Diodo Shockley.

La ventaja de esta configuración es que durante la parte negativa de la señal de entrada se producirá el mismo tipo de respuesta, puesto que tanto el DIAC como el TRIAC pueden dispararse en dirección inversa.

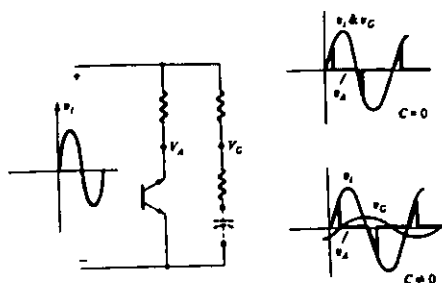


Fig.II.33 Aplicación de el TRIAC: Control de Fase (Potencia).

## **CAPÍTULO III**

### **TRANSISTORES Y APLICACIONES.**

#### ***III.1.- Funcionamiento de el Transistor de Efecto de Campo (FET).***

El nombre de Transistor de Efecto de Campo (FET) proviene del hecho de la corriente que fluye entre dos de las terminales del dispositivo, éste se controla mediante un Campo Eléctrico, que a su vez se establece mediante un voltaje aplicado a la tercera terminal.

A los Transistores de Efecto de Campo (FET) se les llama también Transistores Unipolares ó Monopolares, ya que la corriente es conducida mediante portadores de carga (electrones ó huecos) que fluyen a través de un tipo de semiconductor (tipo N en los FET de canal N y tipo P en los FET de canal P).

Esto contrasta con los Transistores Bipolares de Juntura (TBJ), en donde la corriente pasa a través de los materiales semiconductores de tipo N y de tipo P en serie.

Los MOSFET juegan un papel dominante en el diseño de los Circuitos Integrados Digitales. Ambos tipos de Transistores (FET y MOSFET), y en especial el MOSFET son más fáciles de fabricar que los TBJ (Transistor Bipolar de Juntura). Los Microprocesadores y los Circuitos Lógicos y de Memoria, fabricados utilizando Integración de Muy Grande Escala (VLSI); técnicas, que más se emplean, son para Transistores de MOS.

Los JFET son útiles en el diseño de circuitos amplificadores especiales, específicamente los de muy alta impedancia de entrada.

Los JFET pueden también combinarse con los Transistores Bipolares de Juntura (TBJ), para obtener circuitos lineales de alto rendimiento (se llaman circuito BIFET).

La estructura de un JFET que utiliza una Unión de Semiconductor-Metal (Schottky), se utiliza con arseniuro de galio para formar el MOSFET, un dispositivo adecuado para usarse en circuitos amplificadores y lógicos en la región de Gigahertz (GHz).

El JFET se utiliza también como un interruptor analógico y en una variedad de otras aplicaciones de los circuitos analógicos.

Existen dos tipos de JFET: El dispositivo de Canal N y el de Canal P. La Fig. III.1 muestra la estructura básica del JFET de Canal N el cual consta de una placa de semiconductor de material P difundido en ambos lados.

La Región N se llama el canal, mientras que las regiones de tipo P se conectan eléctricamente entre sí y forman la Compuerta (G). Los contactos metálicos se elaboran en ambos extremos del canal, con las terminales llamadas Fuente (S) y Drenaje (D).



En forma similar, un contacto metálico se elabora para la Región de tipo P para proporcionar la terminal de la Compuerta (G). Siempre se supondrá que las regiones de la Compuerta se encuentran conectadas eléctricamente entre sí.

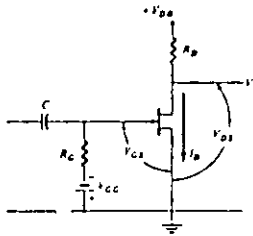


Fig. III.1. Estructura Básica de el JFET de Canal N.

La Fig. III.2. muestra el símbolo del circuito para el JFET de Canal N. Nótese que la línea de la Compuerta tiene una punta de flecha cuya dirección indica el tipo de Dispositivo (esto es, JFET de Canal N ó de Canal P). Para el Dispositivo de Canal N se consideran, los puntos de la flecha hacia el Canal N ó sea, en el sentido directo de la unión de Compuerta a Canal.

Aunque los JFET son por lo general simétricos, (esto es, el Drenaje y la Fuente son intercambiables), es conveniente en el diseño y en el análisis de los circuitos FET, indicar cuál terminal es la Fuente.

Por esta razón se distinguirá la Fuente dibujando la línea de la Compuerta más cercana a él que al Drenaje.

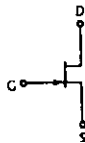


Fig. III.2. Símbolo de Circuito para el JFET de Canal N.

En la Fig. III.1 puede verse que el JFET tiene una unión P-N, la unión de Compuerta a Canal. En casi todas las aplicaciones, esta unión tendrá polarización inversa y en consecuencia solamente fluirá una pequeña corriente de fuga en la terminal de la Compuerta. Esto significa también que la impedancia de entrada que aparece hacia la Compuerta será muy alta.

Aunque existe sólo una unión P-N se verá que la operación de el JFET será dependiente del establecimiento de diferentes valores de polarización inversa en los dos extremos de esta unión. Por esta razón, en ocasiones se siente la tentación de hablar de la unión de Compuerta a Drenaje y de la unión de Compuerta a Fuente.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

### III.2.- Polarización de el Transistor de Efecto de Campo (FET).

El primer paso en el diseño de un amplificador de JFET es el establecimiento de un Punto de Operación estable y predecible de Corriente Directa (C-D).

Este Punto de Operación debe encontrarse dentro de la región activa (región de estricción) y permitirá suficiente variación de la señal sin que el dispositivo entre en la Región de Triodo ó de la Región de Corte.

Un Punto de Operación estable es casi independiente de las variaciones en los parámetros de un dispositivo  $V_p$  e  $I_{DSS}$ . Estos

parámetros varían con la temperatura. Más importante, varían en forma considerable entre las diferentes unidades que pertenecen al mismo tipo de dispositivo. Es usual consultar la hoja de datos técnicos de un JFET y ver una amplia gama especificada para  $V_p$  e  $I_{DSS}$ .

Un buen diseño de Polarización es el que asegura que  $I_D$  y  $V_{DS}$  se encontrarán siempre dentro de su valor nominal

independiente del valor de  $V_p$  e  $I_{DSS}$ .

En otras palabras, se desea encontrar un arreglo de Polarización para el cual el valor de  $I_D$  (y en consecuencia  $V_{DS}$ ) no cambie

operativamente si se reemplaza el FET en particular por otro del mismo tipo.

El procedimiento para polarizar el JFET es la aplicación de un voltaje constante de Corriente Directa (C-D) entre la Compuerta y la Fuente; sin embargo, da como resultado un comportamiento muy poco satisfactorio.

La Polarización de Corriente Directa (C-D) de un dispositivo JFET requiere establecer el voltaje Compuerta-Fuente lo cual produce la corriente de Drenaje de Corriente Alterna (C-A) deseada. En un JFET la corriente de Drenaje está limitada por la corriente de saturación,  $I_{DSS}$ . Un MOSFET de vaciamiento puede polarizarse por abajo ó

por encima de  $I_{DSS}$ . Un MOSFET de acrecentamiento requiere

polarización de un voltaje Compuerta-Fuente superior que el valor de umbral para que el dispositivo conduzca.

Como el JFET tiene una impedancia tan alta cuando se mira hacia la Compuerta (ya sea una unión P-N polarizada inversamente en un JFET ó un aislamiento mediante una capa de Dióxido de Silicio en un MOSFET de acrecentamiento) el voltaje de Corriente Directa (C-D) de la Compuerta fijado por un divisor de voltaje ó un voltaje fijo de batería no es afectado ó cargado por el JFET.

La Polarización Fija de Corriente Directa (C-D) se obtiene empleando una batería para ajustar el voltaje de polarización inverso de Compuerta-Fuente. La batería  $V_{GG}$  se utiliza para fijar el

voltaje de polarización inverso  $V_{GS}$  sin que se produzca

corriente a través de  $R_G$  ó la terminal de la Compuerta.

Puesto que la Compuerta-Fuente está polarizada en forma inversa, no hay corriente a través de esa unión. No pasa corriente Corriente Directa (C-D) por el capacitor C, de modo que no se produce corriente a través de el Resistor  $R_G$ . La batería proporciona

un voltaje  $V_{GS}$  para polarizar el JFET de Canal N, pero no se

consume ninguna corriente resultante desde la batería  $V_{GG}$ .

El Resistor  $R_G$  se incluye para permitir que cualquier

señal de Corriente Alterna (C-A) aplicada a través del capacitor C se desarrolle en  $R_G$ . En tanto que cualquier señal de Corriente Alterna

se desarrollará en  $R_G$ , la caída de voltaje de Corriente Directa (C-D) a

través de  $R_G$  es:

$$V = I \quad R = 0 \text{ Volts} \quad \text{Ec. 3.1.}$$

$$R \quad G \quad G$$

$$G$$

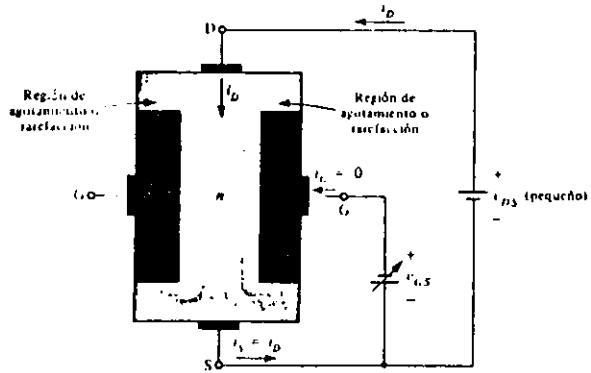


Fig. III.3. Circuito JFET que Utiliza Polarización Fija.

El voltaje Compuerta-Fuente  $V_{GS}$  es entonces:

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{GG} - 0 = V_{GG} \quad \text{Ec. 3.2.}$$

La corriente Drenaje-Fuente  $I_D$ , se fija en consecuencia

por el voltaje Compuerta-Fuente, de acuerdo a cómo determina la Ecuación de Shockley,

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.3.}$$

Esta corriente produce entonces una caída de voltaje a través de la resistencia de

$$V_{RD} = I_D R_D \quad \text{Ec. 3.4.}$$

con el voltaje de Drenaje

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D \quad \text{Ec. 3.5.}$$



### III.3.- El Amplificador Básico con el Transistor de Efecto de Campo (FET).

Para comprender la base para la Operación de el JFET como Amplificador, se considera el circuito de la Fig. III.3. En él se muestra la Polarización Inversa de Compuerta a Fuente establecida por una batería por separado, el cual no es un buen arreglo de Polarización, pero la intención es enfocar la atención en los conceptos relativos. Superimpuesta al voltaje de polarización  $V_{GS}$  se tiene una señal  $v_{gs}$  de

esta manera el voltaje instantáneo total de Compuerta a Fuente se obtiene mediante:

$$v_{GS} = V_{GS} + v_{gs} \quad \text{Ec. 3.6.}$$

Suponiendo que el FET permanecerá en estricción todas las veces, lo que se realiza manteniendo a  $v_D$  ms alto que

$v_G$  al menos por  $V_P$ , esto es:

$$v_D \geq v_{GS} + V_P \quad \text{Ec. 3.7.}$$

se deduce entonces que:

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.8.}$$

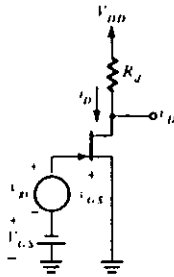


Fig. III.4.- Circuito para Establecer la Base para la Operación de el JFET Como Amplificador.

Sustituyendo para  $v_{GS}$  de la ec. 3.6 en la ec. 3.8 se

obtiene:

$$\begin{aligned}
 i_D &= I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} - \frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \\
 &= I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 - 2I_{DSS} \frac{V_{GS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \frac{v_{gs}}{V_P} + \\
 &\quad + I_{DSS} \left( \frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \qquad \qquad \qquad \text{Ec. 3.9.}
 \end{aligned}$$

Poniendo  $v_{gs} = 0$  en la ec. 3.9. se obtiene  $i_D = I_{D0}$ ,

que es la corriente de polarización de c-d,

$$I_{D0} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \qquad \text{Ec. 3.10.}$$

Sustituyendo en la ec. 3.9. da como resultado:

$$i_D = I_D + 2I_{DSS} \left[ -V_P \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) v_{gs} + I_{DSS} \left( \frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 3.11.}$$

Si nos restringimos a señales pequeñas que satisfagan la condición:

$$\frac{v_{gs}}{V_P} \ll 1 \quad \text{Ec. 3.12.}$$

puede despreciarse el último término de la ec. 3.11. y se obtiene:

$$i_D \sim I_D + 2I_{DSS} \left[ -V_P \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) v_{gs} \right] \quad \text{Ec. 3.13.}$$

de esta forma la corriente total de Drenaje consta de dos componentes:

La Polarización de Corriente Directa (C-D)  $I_D$  y una componente de

señal  $i_d$  dada por;

$$i_d = 2I_{DSS} \left[ -V_P \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) v_{gs} \right] \quad \text{Ec. 3.14.}$$

Así, la corriente de la señal se relaciona linealmente con el voltaje de señal  $v_{gs}$ , que es un requisito en un amplificador lineal.

Esta relación lineal se basa en la premisa de que la señal  $v_{gs}$  es mucho más pequeña que  $V_P$ , que se conoce como aproximación de

señal pequeña. Nótese que si la suposición de la señal pequeña no es válida el término que relaciona a  $v_{gs}$  en la ec. 3.11, tiene que ser

tomado en cuenta. Esto obviamente da por resultado que la corriente  $i_d$

tenga componentes armónicamente relacionados con la señal de entrada. Esta distorsión no-lineal es indeseable y debe minimizarse en el diseño de los amplificadores lineales.

### ***III.4.- Funcionamiento de el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).***

**La Fig. III.5 muestra una estructura ficticia para un Transistor Bipolar de Juntura (TBJ), aunque los Transistores reales no se parecen a éste, la estructura servirá para mostrar la esencia de la Operación del Transistor.**

**Las estructuras prácticas de los Transistores se describen en la tecnología de fabricación como se muestra en la Fig. III.5. El Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) consta de tres regiones semiconductoras: La Región del Emisor (Tipo N). A este Dispositivo se le llama Transistor NPN.**

**Otro Transistor, un doble para el NPN, como se muestra en la Fig. 3.6, tiene un Emisor Tipo P, una Base Tipo N , y un Colector tipo P; y apropiadamente se le llama Transistor PNP.**

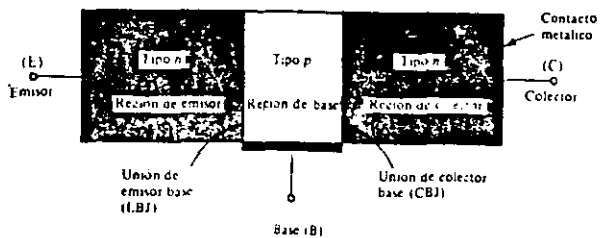


Fig. III.5.- Estructura Ficticia (Simplificada) de el Transistor NPN.

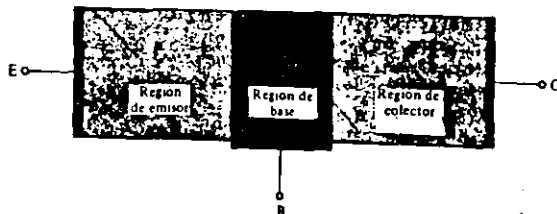


Fig. III.6.- Estructura Ficticia (Simplificada) de el Transistor PNP.

Un Transistor de Unión consiste en un cristal de Silicio (ó Germanio), en el que una Capa de Silicio Tipo N está colocada entre dos Capas de Silicio Tipo P. Un Transistor también puede estar constituido por dos Capas de material Tipo N que encierran una Capa de semiconductor Tipo P.

En el primer caso, el Transistor se define como Transistor P-N-P, y en el segundo como Transistor N-P-N. El conjunto semiconductor es extremadamente pequeño y está herméticamente protegido contra la humedad por una caja de plástico ó de metal.

Los dos tipos de Transistores están representados en la Fig. III.7a. En la Fig. III.7b se indican las representaciones esquemáticas empleadas para el caso de que los Transistores se empleen como elementos de un circuito.

Las tres partes del Transistor se conocen con los nombres de: Emisor, Base y Colector. La flecha del Emisor indica la dirección de la corriente cuando la unión Emisor-Base está polarizada en sentido directo. En todos los casos, es decir, para el Emisor, la Base ó el Colector, las corrientes  $I_E$ ,  $I_B$  e  $I_C$ , respectivamente, se considerarán

positivas cuando vayan hacia el interior del Transistor. Los símbolos  $V_{EB}$ ,  $V_{CB}$ , y  $V_{CE}$  representan las tensiones

Emisor-Base, Colector-Base y Colector-Emisor respectivamente.

(En forma más específica,  $V_{EB}$  representa la

caída de potencial desde el Emisor a la Base).



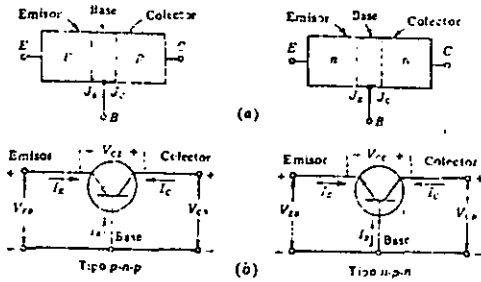


Fig. III.7 (a). Un Transistor P-N-P y uno N-P-N. La Unión del Emisor (Colector) es J (J ). (b). Circuito de los dos Tipos de Transistores. E C

### *III.5.- Polarización de el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).*

Los Transistores se emplean en una amplia variedad de aplicaciones y de diversas maneras. Sería difícil ó tal vez imposible aprender cada área de aplicación, en lugar de eso se estudia la Operación más fundamental del circuito, de modo que se sepa lo suficiente para reservar estos conocimientos, para aplicaciones diferentes en mayor ó menor grado.

Para utilizar estos dispositivos en la amplificación de voltaje ó corriente, ó como elementos de control (encendido ó apagado), se requiere primero polarizar el dispositivo. La razón usual de esta polarización es encender el dispositivo, y en particular, ponerlo a operar en la región de su característica en la que funciona con mayor linealidad.

Aunque el propósito de la Red ó Circuito de Polarización consiste en provocar que el dispositivo opere en esta región deseada de Operación lineal (la cual definen en forma más apropiada los Fabricantes de cada tipo de dispositivo), los componentes de polarización siguen siendo parte del circuito total de aplicación: Amplificador, Formador de Ondas, Circuito Lógico, etcétera.

Se puede tratar el circuito completo y considerar todos los aspectos de su Operación de una sola vez, pero sería más complejo y confuso.

La Polarización de Corriente Directa (C-D) es una Operación Estática porque se relaciona con el ajuste a un nivel fijo (Estacionario) de la corriente (a través del dispositivo), con una caída de voltaje fija deseada en el dispositivo.

La información necesaria acerca del dispositivo puede obtenerse a partir de sus características estáticas.

Puesto que la intención de la Polarización es alcanzar cierta condición de Corriente y Voltaje, llamada "Punto de Operación" (ó "Punto Q"), se brinda alguna atención a la selección de este Punto en la característica del dispositivo.

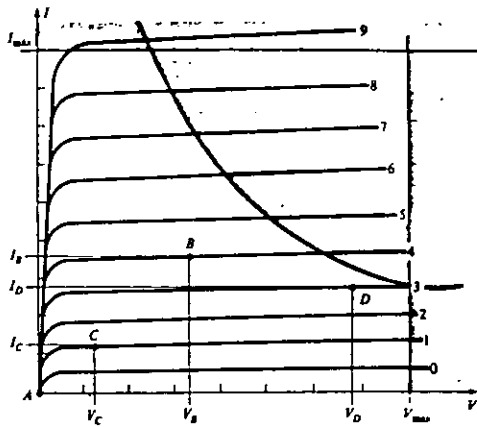
La Fig. III.8, muestra una característica de dispositivo general con cuatro Puntos de Operación indicados. El circuito de polarización puede diseñarse para fijar la Operación del dispositivo en cualquiera de estos ú otros puntos dentro de la Región de Operación.

Ésta es el área de la Corriente ó Voltaje dentro de los límites máximos correspondientes al dispositivo particular. Estos valores nominales máximos se indican sobre la característica de la Fig. III.8, mediante una línea horizontal para la corriente máxima  $I_{máx}$ , y una

línea vertical para el voltaje máximo,  $V_{máx}$ . La consideración

adicional de la potencia máxima (producto del voltaje y la corriente) debe tomarse en cuenta al definir la Región de Operación de un dispositivo particular, como ilustra la línea denotada  $P_{máx}$  en la

Fig. III.8.



**Fig. III.8. Diversos Puntos de Operación Sobre las Características Estáticas de el Dispositivo.**

El Dispositivo TBJ podría polarizarse para operar fuera de estos puntos límite máximos, pero el resultado de tal Operación causaría ya sea el acortamiento de la vida de servicio del dispositivo, ó bién su destrucción.

Si se concentra en la Región de Operación segura, es posible elegir muchas áreas ó Puntos de Operación diferentes. El Punto ó Área exacta depende a menudo del uso que se dará al circuito. No obstante, es posible considerar algunas diferencias entre la Operación en puntos diferentes de la Fig. III.8 para presentar algunas ideas básicas en cuanto a el Punto de Operación, y por ello, a el Circuito de Polarización.

Si no se utilizara la Polarización, el dispositivo estaría al principio totalmente cortado (desactivado), lo cual produciría la corriente del Punto "A", esto es, corriente cero a través del dispositivo ( y voltaje cero a través del mismo).

Es necesario polarizar el dispositivo que pueda responder ó cambiar sus valores de corriente y voltaje en todo el intervalo de una señal de entrada. En tanto que el Punto "A" no resultara apropiado, el Punto "B" proporciona esta Operación deseada.

Si se aplica una señal al circuito, además del nivel de polarización, el dispositivo variará sus valores de corriente y voltaje a partir de el Punto de Operación "B", lo que permite que el dispositivo reaccione (y posiblemente amplifique), tanto la parte positiva como la parte negativa de la señal de entrada.

Si, como podría suceder, la señal de entrada es pequeña, el voltaje y la corriente del dispositivo variarán, pero no lo suficiente como para llevarlo al nivel de Corte ó Saturación.

FALTA PAGINA

No.

98

En consecuencia, el Punto "B" aparece como el mejor Punto de Operación en términos de la ganancia lineal ó de la excursión de voltaje y corriente más grande posible. Esta es casi siempre la condición que se desea en los amplificadores de pequeña señal, pero no necesariamente para los amplificadores de potencia.

Este análisis se concentrará en la polarización del dispositivo para la Operación de amplificación de señales pequeñas. Debe considerarse otro muy importante factor de la polarización. Habiendo seleccionado y polarizado un Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) en un Punto de Operación deseado también debe tomarse en cuenta en efecto de la temperatura.

Ésta provoca cambios en las características del dispositivo tales como la ganancia de corriente y la corriente de fuga del Transistor. Las temperaturas más altas producen más corriente en el dispositivo que a la temperatura ambiente, por lo que se desajusta la condición de Operación impuesta por el circuito de Polarización.

A causa de esto, es necesario que el circuito de polarización brinde también un grado de estabilidad de temperatura al circuito, de manera que las variaciones de la misma en el dispositivo produzcan un cambio mínimo en su Punto de Operación.

Este mantenimiento de el Punto de Operación puede especificarse mediante un factor de Estabilidad "S", que indica la cantidad de cambio en la corriente del Punto de Operación debida a la temperatura. Resulta deseable un circuito altamente estable y la estabilidad de algunos circuitos de polarización básicos será comparada.

Es posible especificar la Operación de el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) en un grado suficientemente bueno mediante los parámetros del dispositivo, y las técnicas matemáticas pueden emplearse para determinar su Polarización, no obstante la característica del Transistor seguirá proporcionando una imagen conveniente para la comprensión de la Operación del dispositivo.

Para el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) que se polarizará en su Región de Operación lineal ó activa debe cumplirse lo siguiente:

1.- La unión de Base a Emisor debe estar polarizada directamente (voltaje de la Región P más positivo) con un voltaje resultante directa entre la Base y el Emisor de aproximadamente 0.6 a 0.7 V.

2.- La unión de Base a Colector debe estar polarizada inversamente (Región N más positiva), estando el voltaje de Polarización Inversa en cualquier valor dentro de los límites máximos del dispositivo.

[Nótese que en la Polarización Directa el voltaje en la unión P-N es p-positivo, en tanto que en la Polarización Inversa es opuesto (inverso) con n-positiva. El énfasis que se hace sobre la letra inicial debe brindar un medio que ayude a memorizar la Polarización del voltaje necesaria.]

La Operación en las Regiones de Corte, de Saturación y Lineal de la característica del Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) se obtienen de acuerdo con lo siguiente:

1.- Operación en la Región Lineal:

Base-Colector con Polarización Directa.

Base-Colector con Polarización Inversa.



**2.- Operación en la Región de Corte:**

**Base-Emisor con Polarización Inversa.**

**3.- Operación en la Región de Saturación:**

**Base-Emisor con Polarización Directa.  
Base-Colector con Polarización Directa.**

### III.6.- El Amplificador Básico con el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).

Con el funcionamiento lineal, es natural que el diseño del circuito de Polarización se haga operar precisamente en las regiones lineales de las curvas características. Una Red de Polarización de Corriente Continua (C-C) que toma en consideración lo anterior se ilustra en la Fig. III.9a.

Al aplicar la Ley de Voltajes de Kirchoff (LVK), a las mallas formadas por la base y emisor, y a las formadas por el colector y el emisor, se obtiene:

$$v_{BE} = V_{BB} - R_{BB} i_B \quad \text{Ec. 3.15.}$$

y

$$v_{CE} = V_{CC} - R_{CC} i_C \quad \text{Ec.3.16.}$$

Al representar gráficamente la ec.3.15 como la Línea de Carga de Corriente Continua (C-C), superpuesta a la Curva Característica Base-Emisor, y al graficar la ec.3.16 sobre las Curvas Características Colector-Emisor, se encuentran los Puntos de Operación de Corriente Continua (C-C).

$$(I_B, V_{BE} = 0.5 V, I_C, V_{CE})$$

como se muestra en la Fig. III.9b

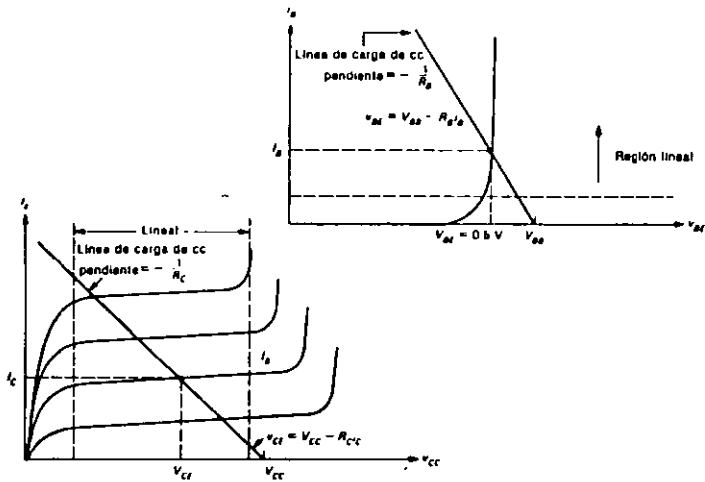


Fig. III.9 Análisis de la Línea de Carga de Corriente Continua en un Amplificador con Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).

Ahora, inclúyase una fuente de señal de Corriente Alterna (C-A) y una carga (véase Fig. III.10a).



Fig. III.10 Análisis de Señal Pequeña de Corriente Alterna (C-A) en un Amplificador con Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).

De nuevo, supóngase que el valor  $v_s(t)$  es lo

suficientemente pequeño para garantizar una operación lineal. En este caso, cada uno de los voltajes y corrientes en el circuito tendrán por superposición cierta cantidad de c-c debida a  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  y de una

cantidad delta ( $\delta$ ) de c-a

ocasionada por la fuente sinusoidal  $v_s(t)$ . Al suprimir la fuente de

Corriente Alterna (C-A), se obtiene el circuito de la Fig. III.9a. El circuito de Corriente Alterna (C-A) se consigue al colocar en cortocircuito los capacitores y, al anular las dos fuentes de Corriente Continua (C-C),  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  como se aprecia en la Fig. III.10b. De este resultado puede

verse que las cantidades de Corriente Alterna (C-A)  $dv_{CE}$  y  $di_C$  están

relacionadas por:

$$dv_{CE} = - (R_C // R_L) di_C \quad \text{Ec. 3.17.}$$

Así, las variaciones en la señal de Corriente Alterna (C-A) siguen a una línea de carga de Corriente Alterna (C-A) con una pendiente de

$$R_{C-A} = -1 / R_C // R_L \quad \text{Ec. 3.18.}$$

### *III.7.- El Transistor como Conmutador.*

En cualquier Sistema Industrial, los circuitos de control reciben y procesan Información sobre las condiciones en el Sistema.

Esta información representa hechos tales como: Posiciones mecánicas de partes móviles, temperaturas en varios lugares, presiones existentes en tubos, ductos y cámaras; caudales; fuerzas ejercidas sobre dispositivos de detección; velocidades de desplazamiento, etcétera.

El circuito de control debe tomar toda esta información empírica y combinarla con la que le suministra el Operador. La información suministrada por éste, usualmente proviene de un conjunto de interruptores y/o potenciómetros. Esta información representa la respuesta deseada de el Sistema; es decir, el resultado esperado.

Basándose en la información suministrada por el Operador y los datos tomados del sistema, el circuito de control, toma decisiones.

Éstas son la próxima acción que debe ejecutar el Sistema, ya sea arrancar ó parar un motor, aumentar ó disminuir la velocidad de un movimiento mecánico, abrir ó cerrar una electroválvula, ó aún, parar a el Sistema completamente a causa de una condición peligrosa.

Obviamente, la decisión que toma el Sistema de Control no es una elaboración propia. Solamente es el reflejo de los deseos de el Diseñador, quien previendo todas las posibles condiciones de entrada, ha programado ó elaborado la salida apropiada de el Sistema. Sin embargo, como el circuito de control opera como lo haría su Diseñador, en iguales condiciones, es con frecuencia llamado Circuito de Toma de Decisiones ó simplemente: "Circuito Lógico".

El Circuito de Control Eléctrico de un Sistema Industrial puede dividirse en tres partes distintas a saber:

- 1.- Sección de Entrada.
- 2.- Sección Lógica.
- 3.- Sección de Salida.

La Sección de Entrada, algunas veces llamada Sección de Adquisición de Datos, está formada por los dispositivos encargados de recoger la información proveniente de el Operador y de el Sistema mismo.

Algunos de los Dispositivos usados comúnmente como entradas son: Botones pulsadores, interruptores de fin de carrera, interruptores de presión y fotoceldas.

La Sección Lógica, algunas veces llamada Sección de Tomas de Decisiones, es la parte del circuito que actúa de acuerdo con la información suministrada por la Sección de Entrada, toma decisiones con base a dicha información y envía órdenes a la Sección de Salida.

Los circuitos de la Sección Lógica son generalmente contruidos con relés magnéticos, circuitos transistorizados discretos, ó circuitos integrados.

Los dispositivos neumáticos también pueden ser usados para implantar Circuitos Lógicos pero son menos frecuentes que los Dispositivos Electrónicos y Electromagnéticos.

Aún así, los principios fundamentales de los Circuitos Lógicos son únicos y universales y no interesa qué dispositivo se use para implantarlos.

La Sección de Salida algunas veces llamada Sección Actuadora está formada por los Dispositivos que toman las señales de salida de la Sección Lógica y las convierten ó amplifican a formas utilizables.

Los más comunes son: Arrancadores de motores y contactores, solenoides y lámparas indicadoras. La Fig. III.11 ilustra la relación entre estas tres partes de un circuito de control.



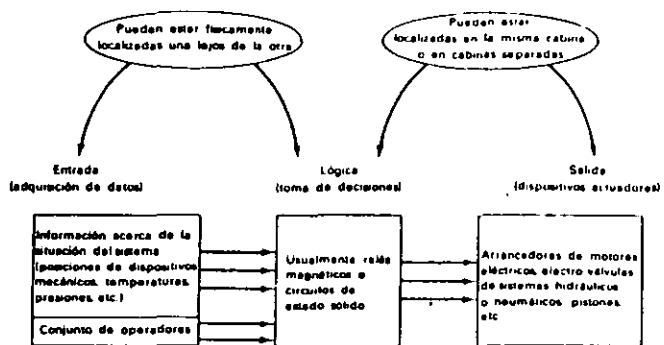


Fig. III.11. Relación entre las Tres Partes de un Sistema de Control Industrial.

## CAPÍTULO IV.

### EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

#### *IV.1.- El Modelo Ideal de el Amplificador Operacional.*

Un Amplificador Operacional (AO), es un amplificador modular de etapas múltiples, con entrada diferencial, que tiene casi la mayoría de las características del "Mítico Amplificador Ideal". Las propiedades asociadas con un amplificador ideal son las siguientes:

1.- Ganancia infinita de voltaje ( $A_v = \text{Infinito}$ ).

2.- Impedancia infinita de entrada ( $Z_{ent} = \text{Infinito}$ ).

3.- Impedancia de salida que tiende a cero ( $Z_{sal} = 0$ ).

4.- Voltaje de salida  $V_{sal} = 0$  cuando los voltajes

de entrada  $V_1 = V_2$ .

5.- Ancho de banda infinito (no hay retraso de la señal a través del amplificador).

En la práctica, no es posible lograr ninguna de esas operaciones, pero se pueden obtener con la aproximación suficiente para muchas aplicaciones. Por ejemplo, si se recurre a la realimentación para limitar a 10 la ganancia del circuito amplificador, una ganancia del amplificador (sin realimentación) de 1000 se acerca a infinito lo suficiente, para fines prácticos.

La primera etapa de un Amplificador Operacional, es un amplificador diferencial. El amplificador diferencial, proporciona una alta ganancia a señales diferenciales y baja ganancia con señales aplicadas simultáneamente a ambas entradas, conocidas como señales en modo común (estas señales son las de igual fase y amplitud aplicadas simultáneamente a ambas entradas).

El amplificador diferencial, presenta también una alta impedancia a cualquier señal de entrada que se le aplique. La etapa de entrada de un Amplificador Operacional es la más importante, porque es ahí donde se establece la impedancia de entrada y se minimizan la respuesta en modo común y los voltajes de desajuste.

(Los voltajes de desajuste son pequeñas señales no deseadas generadas internamente por el amplificador, y que producen algún voltaje de salida cuando se aplique cero voltaje a las entradas. Se deben a la igualación imperfecta de los voltajes Emisor-Base de los Transistores de entrada).

La Fig. IV.1 muestra la representación de un Amplificador Operacional típico.

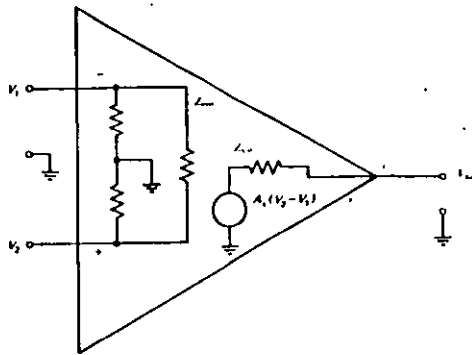


Fig. IV.1.- Representación de el Amplificador Operacional.

A la etapa de entrada, siguen una ó más etapas intermedias, para cambiar a cero el nivel del Voltaje Estático de el Punto de Operación a la salida, y proporcionar ganancia tanto de voltaje como de corriente.

Se requiere una ganancia de voltaje adicional para obtener una alta ganancia general de voltaje, y la ganancia de corriente es necesaria para suministrar corriente impulsora a la etapa de salida, sin cargar la etapa de entrada. En las etapas de amplificación intermedias se usan configuraciones tanto asimétricas como diferenciales.

La etapa de salida debe presentar una baja impedancia de salida y proporcionar corriente suficiente para impulsar la carga esperada.

Debe tener también una impedancia de entrada lo suficientemente alta para no cargar la última etapa de amplificación intermedia. La etapa de salida es normalmente un Emisor Seguidor ó una configuración complementaria.

La Fig. IV.2 muestra las terminales de un Amplificador Operacional. Estas terminales son las siguientes:

1.-  $+V$  ,  $-V$  : Terminales para los voltajes de la fuente de alimentación.

2.- *Compensación de Frecuencia* : Estas terminales (llamadas a veces de avance, de retraso ó de régimen de atenuación), sirven para impedir la oscilación de el Amplificador Operacional cuando no hay compensación interna en el amplificador.

3.- *Salida* : Donde aparece el voltaje amplificado.

4.- *Entrada inversora* : Si la entrada no inversora está puesta a Tierra y se aplica una señal a la entrada inversora, la salida estará  $180^\circ$  fuera de fase con respecto a la señal de entrada.

5.- *Entrada no inversora* : Si la entrada está puesta a Tierra y se aplica una señal a la entrada no inversora, la salida estará en fase con la señal de entrada.

Algunas de las especificaciones más importantes para los Amplificadores Operacionales se dan a continuación:

1.- Ganancia en circuito abierto ( $A_{ol}$ ): La ganancia

del amplificador sin retroalimentación. Usualmente es de varios miles. Se le llama también ganancia de voltaje de señal grande.

2.- Voltaje de desajuste de entrada ( $V_{os}$ ): Pequeños voltajes no

deseados, generados internamente por el amplificador, que dan lugar a que aparezca un voltaje de salida cuando ambas entradas están conectadas a cero volts. Se deben a falta de igualación de los voltajes Emisor-Base de los Transistores de entrada. El  $V_{os}$  es, por lo general,

de pocos milivolts.

3.- Corriente de polarización ( $I_B$ ): La corriente necesaria para

impulsar la etapa de entrada del Amplificador Operacional; es la corriente de Base que se debe suministrar al Transistor de entrada.

4.- Desajuste de entrada ( $I_{os}$ ): La diferencia en la corriente de

polarización requerida por los dos transistores de entrada de el Amplificador Operacional. Su causa es la igualación imperfecta de las betas (Beta) de los transistores de entrada. En la Fig. IV.3, si  $I_{B1}$  es la

1

corriente requerida para impulsar el Transistor de entrada inversora e  
 $I_{B2}$  es la corriente necesaria para impulsar el Transistor de entrada no  
 2

inversora,  $I_{B1} = I_{B1} - I_{B2}$

La corriente de polarización en una entrada varía a medida que  
 varía el voltaje de entrada, de manera que el desajuste variará también.  
 La  $I_{B1}$  está normalmente entre pocos y varios centenares de  
 os

nanoampéres.

5.- Resistencia de entrada : Es la resistencia del amplificador a  
 una señal de entrada ( $R_{ent}$ ).

Por lo general, es de más de 1 MÓhm; pero puede llegar a varios  
 centenares de MÓhms. Puede ser diferencial, entre las dos terminales  
 de entrada, ó de modo común, de las dos entradas a Tierra. Por lo  
 general, la hoja de especificaciones no indica de cuál se trata. Dice  
 simplemente  $R_{ent}$ .

6.- Resistencia de salida : Es la resistencia interna del  
 amplificador que encontraría un voltaje aplicado a sus salida.  
 La  $R_{ent}$  es por lo general, inferior a unos cuantos cientos de Óhms.  
 ent

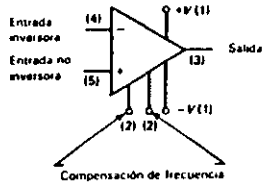


Fig. IV.2.- Terminales de un Amplificador Operacional.

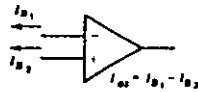


Fig. IV.3.- Definición del Desajuste de la Corriente de la Entrada.



7.- Razón de rechazo de modo común : La posibilidad de rechazar (en vez de amplificar), las señales aplicadas simultáneamente a ambas entradas.

8.- Razón de rechazo de alimentación en relación con la fuente : La variación del voltaje de salida ante una variación de 1 V en la fuente de alimentación (+V y -V juntas), se indica generalmente en  $\mu\text{V/V}$ .

9.- Capacitancia de entrada ( $C_{ent}$ ) : Capacitancia de las terminales

de entrada a tierra.

10.- Corriente de alimentación : La corriente de operación que toma el Amplificador Operacional.

11.- Consumo de potencia : La potencia de operación disipada por el Amplificador Operacional.

12.- Rapidez de cambio (S) : La pendiente máxima de "x" cambio del voltaje de salida, dada en Volts/microsegundo.

13.- Respuesta transitoria : La respuesta de un Amplificador Operacional a un voltaje escalón de entrada. El tiempo de levantamiento y el sobregiro del voltaje de salida se dan para una variación específica del voltaje de entrada.

14.- Condiciones máximas absolutas de funcionamiento : Incluyen especificaciones como estas:

- a). Disipación máxima de potencia.
- b). Límites de la temperatura de operación.
- c). Voltaje máximo de alimentación.
- d). Voltaje máximo diferencial de entrada (entre las terminales inversora y no-inversora).
- e). Voltaje máximo de entrada en modo común.
- f). Límites de temperatura de almacenamiento.

Si se exceden estas especificaciones máximas, el Amplificador Operacional se dañará.

Algunos fabricantes de Amplificadores Operacionales incluyen en sus especificaciones varias curvas de muchos parámetros del amplificador. Entre ellas se puede figurar el  $V_{sal}$  (máximo)

contra la  $R_L$ , el  $V_{sal}$  (máximo), contra el voltaje de

alimentación, el  $V_{os}$  contra la temperatura y la  $I_B$  contra la temperatura.

Es indispensable leer las especificaciones de un Amplificador Operacional para utilizarlo debidamente.

Los parámetros críticos tales como el  $V_{os}$  y la  $I_{col}$  se

dan por lo general a las temperaturas máxima y mínima de operación y a la temperatura ambiente.

*IV.2.- Aplicaciones Básicas : Inversor, No-inversor, Sumador, Derivador, Integrador, Sustractor y Comparador.*

a). Circuito Amplificador Inversor.- La Fig. IV.4, tiene conectada a Tierra la terminal no-inversora (+). Una resistencia  $R_1$  conecta la señal

de entrada, a la entrada inversora. Se conecta una resistencia de realimentación.  $R_f$  de la salida hacia la entrada inversora.

Al principio puede parecer que hay una inconsistencia en las marcas de polaridad. Se debe recordar que las marcas (-) y (+) en el Amplificador Operacional solamente designan cuál terminal es la entrada inversora (I) y cuál es la entrada no-inversora (NI).

La polaridad de  $V_i$  se determina por la polaridad del voltaje de entrada del circuito  $V_{ent}$ . La polaridad de  $V_{sal}$  es la inversa de la polaridad de  $V_{ent}$ . En consecuencia, este circuito da una inversión de  $180^\circ$  de fase a la señal. Se han colocado las notaciones de polaridad en  $V_{ent}$  y  $V_{sal}$  en forma convencional para mostrar las direcciones

relativas de la corriente. Si el Amplificador Operacional es ideal, la magnitud de  $V_i$  es 0, así mismo, su resistencia de entrada  $r_i$  es

extremadamente alta (un circuito abierto). Por lo que la corriente de entrada a el Amplificador Operacional es cero. Por lo tanto, el punto de suma A, está idealmente al potencial de Tierra. El voltaje a través de  $(R_1 + R_f)$  es  $V_{ent} + V_{sal}$  y fluye una corriente  $I$  de

la terminal de entrada a la de salida y dentro de el Amplificador Operacional. Puesto que  $V_i$  se supuso 0, entonces;

$$V_{sal} = -IR_f \quad \text{y} \quad V_{ent} = IR_1$$

si se dividen estas dos ecuaciones, se obtiene la ecuación para la ganancia del Amplificador Inversor;

$$A_v = V_{sal} / V_{ent} = -IR_f / IR_1$$

por lo tanto;

$$A_v = -R_f / R_1 \quad \text{Ec. 4.1.}$$

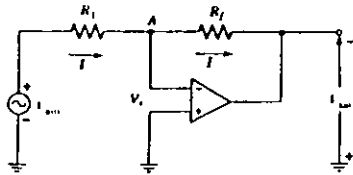


Fig. IV.4.- El Amplificador Inversor.

b). Circuito Amplificador No-inversor.

En la Fig. IV.5 se muestra el circuito para el amplificador no-inversor. Una inspección del circuito muestra que la polaridad de  $V_{sal}$  es la misma que la de  $V_{ent}$ , esto es,  $V_{sal}$  está en fase con  $V_{ent}$ .

La dirección de la corriente  $I$  a través de  $R_f$  y  $R_1$ . Se pondrán marcas de polaridad en  $R_1$  y en  $R_f$ . El voltaje de entrada al

Amplificador Operacional  $V_i$  es cero. Si se expresa  $V_i$  como

la diferencia entre los dos voltajes de entrada  $V_{ent}$  e  $IR_1$ , se tiene

$$V_i = V_{ent} - IR_1 = 0$$

ó también como;

$$V_{ent} = IR_1$$

el voltaje de salida es;

$$V_{sal} = I(R_1 + R_f)$$

dividiendo las dos ecuaciones se obtiene la ganancia  $A_v$  ;

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{I(R_1 + R_f)}{IR_1}$$

luego se tiene, entonces;

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

por lo tanto se tiene que;

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \text{Ec. 4.2.}$$

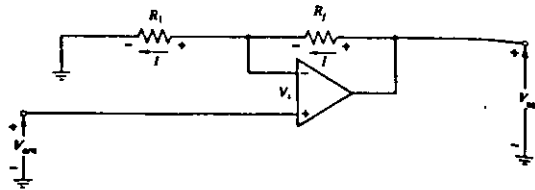


Fig. IV.5.- El Amplificador no-Inversor.

c). El circuito sumador.- En la Fig. IV.6, se muestra el circuito del sumador. Las conexiones al amplificador muestran que hay inversión de fase en el amplificador. En el amplificador ideal,  $V_i$  es cero. Puesto

que la entrada no inversora (+) está conectada directamente a Tierra y puesto que  $V_i$  es cero, el voltaje del Punto "S", el punto de suma, a

tierra debe ser OV.

Por lo tanto, el Punto "S" está efectivamente al potencial de Tierra. Se llama al Punto "S" Tierra Virtual para describir esta condición. La corriente de  $R_1$  es producida por  $V_1$  solamente.

La corriente en  $R_2$  no es afectada por  $V_1$ ,  $R_2$ ,  $V_2$  ó  $R_3$ . La salida  $V_{sal}$  es

solamente la suma de los voltajes de salida producidos por cada uno de  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ , en forma independiente.

Se puede escribir inmediatamente:

$$V_{sal1} = - [R_f / R_1] V_1$$

$$V_{sal2} = - [R_f / R_2] V_2$$



$$V_{sal} = - \left[ \frac{R_f}{R_3} \right] V_3$$

Por el Teorema de Superposición el voltaje de salida es la suma de los voltajes de salida producidos por los voltajes individuales de entrada.

$$V_{sal} = V_{sal1} + V_{sal2} + V_{sal3}$$

luego;

$$V_{sal} / R_f = -V_1 / R_1 - V_2 / R_2 - V_3 / R_3$$

se resuelve para  $V_{sal}$  se tiene;

$$V_{sal} = -R_f \left[ \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right] \text{ Ec. 4.3.}$$

ó también;

$$V_{sal} = - \left[ \left( \frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left( \frac{R_f}{R_2} \right) V_2 + \left( \frac{R_f}{R_3} \right) V_3 \right]$$

La expresión anterior (Ec.4.4), se conoce como ecuación del cálculo del voltaje de salida de un Amplificador Operacional sumador.

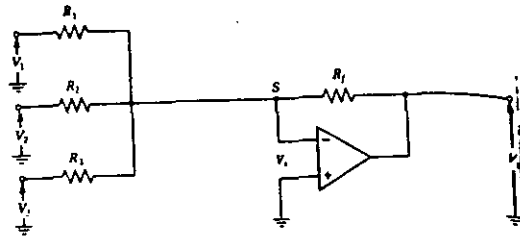


Fig. IV.6.- Circuito Sumador.

Una aplicación de este circuito es su uso como mezclador de audio. Se utilizan tres micrófonos como las entradas a  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ . La salida combinada es  $-V_{sal}$ .

salida combinada es  $-V_{sal}$ .

Otra aplicación es para un circuito de control. Tres señales de control que varían de manera continua se alimentan en  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ .

Cada entrada de control se multiplica por un factor diferente y la combinación de las señales ponderadas en la salida.

Si las tres resistencias en la entrada son iguales;

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_f$$

la salida se convierte en;

$$V_{sal} = -R_f / R (V_1 + V_2 + V_3) \quad \text{Ec. 4.5.}$$

y si  $R_f$  también es igual a  $R$ ,

$$V_{sal} = -(V_1 + V_2 + V_3) \quad \text{Ec. 4.6.}$$

si este circuito tiene "n" entradas y todas las resistencias tienen el valor  $R$ ,

$$V_{sal} = -R_f / R (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad \text{Ec. 4.7.}$$

si cada resistencia de entrada tiene el valor  $R_f$  y, si con "n" entradas,

$$R_f = R / n$$

la ec. 4.7 se convierte en;

$$V_{sal} = - (R/n) / R (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

$$V_{sal} = -V_1 + V_2 + \dots + V_n / n \quad \text{Ec. 4.8.}$$

El circuito representado por la ec. 4.8 se llama un promediador, puesto que el voltaje de salida es el valor promedio de los voltajes de entrada.

d). Circuito amplificador diferencial.- La Fig.IV.7, muestra el circuito diferencial. Si se utiliza el Teorema de Superposición, se encuentra que;

$$V_{sal} = V'_{sal} + V''_{sal}$$

donde  $V'_{sal}$  es la salida producida por  $V_1$  y  $V''_{sal}$  es la

salida producida por  $V_2$

$$V'_{sal} = A_v V_{ent} = (R_f / R_1) V_1$$

relacionando se tiene;

$$V''_{sal} = A V_{v ent} = [(1 + R_1 / R_2) V_f]$$

luego;

$$V_{sal} = V'_{sal} + V''_{sal} = -(R_1 / R_2) V_f + [(1 + R_1 / R_2) V_f]$$

$$V_{sal} = [(1 + R_1 / R_2) V_f] - (R_1 / R_2) V_f \quad \text{Ec.4.9.}$$

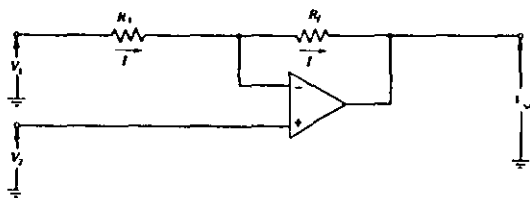


Fig. IV.7.- Circuito Amplificador Diferencial.

e). Circuito Amplificador Integrador.- En la Fig. IV.8, se muestra el circuito amplificador integrador. La corriente  $i$  en la resistencia  $R$  es;

$$i = v_{ent} / R$$

el voltaje a través del capacitor es  $v_{sal}$ . Así que, sustituyendo se tiene;

$$-v_{sal} = 1/C \int (v_{ent} / R) dt$$

por lo tanto se tiene que;

$$v_{sal} = -1/RC \int v_{ent} dt \quad \text{Ec. 4.10.}$$

Se antepone el signo (-), ya que se trata de un Amplificador Operacional Inversor.

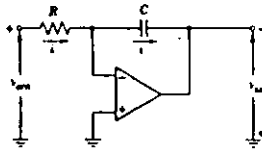


Fig. IV.8.- Circuito Amplificador Integrador.

f). Circuito Amplificador Derivador.- En la Fig. IV.9, se observa que el voltaje de salida del circuito es;

$$v_{sal} = - R i \quad \text{Ec. 4.11a.}$$

la corriente en el capacitor C producida por  $v_{ent}$  es:

$$i = C (dv_{ent} / dt) \quad \text{Ec. 4.11b.}$$

sustituyendo la ec.4.11b en la ec.4.11a se tiene que;

$$v_{sal} = -RC \left( \frac{dv_{ent}}{dt} \right) \quad \text{Ec.4.12.}$$

en la ec.4.12 muestra que la salida del circuito es la derivada de la señal de entrada. En consecuencia, el circuito se llama circuito amplificador derivador.

Éste es muy sensible a pulsos cortos de ruido y, como resultado, no es circuito preferente para utilizarse en muchas aplicaciones.

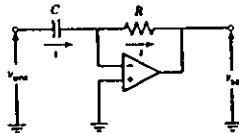


Fig. IV.9.- Circuito Amplificador Derivador.



g). Circuito Amplificador Comparador.- El circuito mostrado en la Fig. 4.10, se utiliza como un circuito amplificador comparador. El Amplificador Operacional se utiliza en malla abierta. Una señal de entrada muy pequeña lleva a la salida a saturación. Por lo tanto, la salida existe en cualquiera de los dos modos:  $+V_{sal,SAT}$  ó  $-V_{sal,SAT}$ .

En la Fig. IV.11 se muestran formas de onda comunes de los voltajes de entrada y salida. Si se introduce un voltaje de Corriente Continua (C-C) en la entrada no-inversora, como en la Fig. IV.11, los puntos de conmutación de la forma de onda en la salida cambian como se muestran en la Fig. IV.11.

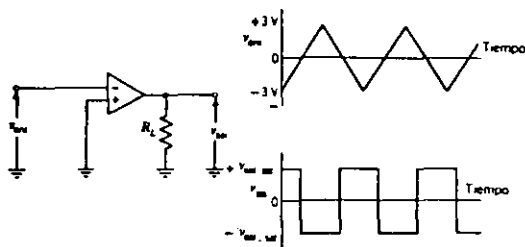


Fig. IV.10.- Circuito Amplificador comparador. (a).Circuito. (b). Formas de onda.

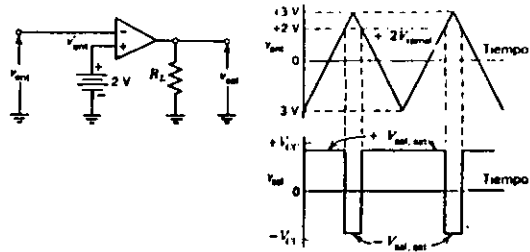


Fig. IV.11.- Circuito y Formas de Onda para el Comparador con un Voltaje en la Terminal no-Inversora.

### *IV.3.- Sistemas de Control y de Medición con Amplificadores Operacionales.*

Los sistemas analizadores son tipos especiales de sistemas de medida generalmente orientados a obtener información acerca de las partes componentes (ingredientes constituyentes) de una sustancia, un proceso, un parámetro ó un fenómeno.

Ejemplos de sistemas de análisis químico son aquéllos que se usan para determinar la riqueza relativa de los constituyentes de una mezcla, en determinar la presencia ó ausencia de un constituyente específico en una mezcla ó en examinar propiedades de una mezcla ó de uno ó más de sus ingredientes. La mezcla puede ser sólida, líquida ó gaseosa.

Ejemplos de sistemas de análisis físico son aquéllos usados en determinar la energía relativa dentro de un número de estrechas bandas de frecuencia en una onda compleja, en mostrar la distribución estadística de la amplitud de pulsos de corriente observados durante un intervalo de tiempo, ó en identificar la distribución de la amplitud de energía emitida ó absorbida en diversas direcciones.

Así, los sistemas de análisis químico considerados pueden describirse de manera general como compuestos por visualizadores de la salida de un dispositivo sensor que responde a una característica física ó química de la sustancia analizada de manera que la información deseada puede ser obtenida directamente ó a través de otras informaciones interrelacionadas.

Los sistemas de análisis físico son sistemas de medida en los que un número de medidas interrelacionadas son visualizadas en una única unidad de visualización (por ejemplo el sistema de análisis estructural) ó en los que componentes específicos de la salida de un transductor son visualizados separadamente (por ejemplo un sistema de análisis de vibraciones).

Los datos adquiridos por un sistema de medida ó de análisis requieren frecuentemente de diversas operaciones en ellos que faciliten la determinación de la información requerida (la elaboración de datos).

Puede ser precisa la utilización de amplificadores, utilizados para hacer la amplitud de fondo de escala de la salida del transductor compatible con la capacidad de un determinado sistema de visualización.

También pueden ser precisos filtros usados para rechazar ruido de la señal de ruido ó para eliminar componentes indeseables de alta (filtros pasa-bajas) ó baja (filtros pasa-altas) frecuencia, ó componentes de frecuencias comprendidas fuera de una determinada banda (filtros pasa-banda).

Para crear señales "si-no" provenientes de la función de comparación de la amplitud de la señal con un nivel de referencia pueden utilizarse discriminadores de amplitud. Los discriminadores de frecuencia (convertidores Corriente Alterna (C-A) a Corriente Continua (C-C)) convierten variaciones de frecuencia en variaciones de amplitud.

Los rectificadores convierten variaciones de amplitud de señales alternas en variaciones de amplitud de señales continuas. También pueden utilizarse redes de polarización para visualizar únicamente una porción de la señal dentro de unos niveles predefinidos.

La información puede ser almacenada en la memoria de los Ordenadores ó grabada en cintas magnéticas para su posterior procesado ó lectura (almacenamiento de datos). Los datos analógicos pueden ser digitalizados (convertidores analógicos-digitales). Los datos digitales pueden ser convertidos a la forma analógica (convertidores digitales-analógicos).

El proceso de datos digitales, como los datos de un sistema de telemetría PCM ó los datos analógicos digitalizados, es usualmente ejecutado por Ordenadores.

La accesabilidad a los Ordenadores, en un amplio rango de costos, capacidad y complejidad facilita la elaboración de datos hasta el extremo de convertirse en sistemas atractivos para los diseñadores y usuarios de sistemas, incluso de complejidad reducida, de análisis y sensores.

La trama compuesta de datos de entrada consiste usualmente de un número de datos secuenciales. Cada trama de datos comienza con una palabra de sincronización y una ó más palabras identificadoras, seguidas de las palabras de datos.

Cada palabra es un grupo de bits representante de una medida analógica digitalizada, del conteo de sucesos, ó un conjunto de estados ó indicaciones de modo. Es deseable mantener la longitud (número de bits en cada palabra) de todas las palabras de datos iguales.

La trama de datos es almacenada usualmente en una banda magnética. En algunos sistemas el proceso de los datos se produce de manera retardada de esta forma mientras los datos son almacenados, el Ordenador puede ejecutar otras funciones. La banda magnética es leída por el Ordenador en el momento apropiado (proceso de datos almacenados).

Si durante el proceso acaeciera un error ó por alguna razón se precisara procesar la información, nuevamente la consistencia magnética de la información garantiza su accesibilidad.

Los datos son presentados al Ordenador a través de la unidad de entrada de datos permitiendo su manipulación y monitoreo en dispositivos de visualización. Si la distancia entre la unidad de entrada de datos y el Ordenador es relativamente grande, es preciso considerar unidades terminales de acondicionamiento de señales.

Los Ordenadores realizan diferentes tipos de proceso en los datos, además de la visualización secuencial de los datos deconmutados. Algunos ejemplos de procesado son:

1.- La conversión del equivalente decimal correspondiente a la palabra digital procedente de la línea de transmisión Transductor-Ordenador en un equivalente decimal representativo del valor de la magnitud medida, expresada en unidades de Ingeniería en base a un registro de calibración (conversión a unidades de Ingeniería).

2.- La limitación de la visualización de cada medida a los momentos en los que el cambio del valor de dicha magnitud, comparado con sus valores previos, es significativo (por ejemplo excede de una tolerancia especificada).

Esta técnica de supresión de datos facilita la evaluación de la información por el observador en sistemas de multimedida, provocando además un registro de datos menor.

3.- Comparando cada valor de información con unos límites superior e inferior predeterminados y activando una alarma cuando se excede de dichos límites (alarma por prueba de límites).

La alarma puede venir dada por la visualización de un carácter especial (por ejemplo, un asterisco), al lado del dato visualizado. También puede venir dado por el parpadeo de una luz indicadora ó un tono audible.

4.- Acumulación de los sucesivos valores de la misma magnitud durante un período de tiempo especificado, para determinar el valor medio, visualizando este valor (análisis de valores medios).

5.- Acumulación de sucesivos valores de una misma magnitud durante un período de tiempo especificado, determinando el valor mayor de todos visualizando este valor máximo (búsqueda de picos).

6.- Realizando determinadas operaciones matemáticas a partir de una ó más magnitudes, visualizando el resultado (datos derivados por computación), como el cálculo y visualización de la potencia eléctrica a partir de las magnitudes medidas de tensión y corriente eléctrica.

7.- Comparando variaciones de una magnitud medida, sobre un intervalo especificado, con los datos almacenados en el Ordenador representativos de un "modelo" de estas variaciones, visualizando el resultado de dicha comparación.

El propósito de los sistemas de medida y análisis es el de facilitar al usuario información (datos). En sistemas de control que usen a un operador humano como parte del bucle de control manualmente (por ejemplo aumentar una temperatura, disminuir una presión, parar un flujo, llenar un tanque, cambiar de velocidad).

En los sistemas de control automático, las salidas de los dispositivos sensores y de análisis se usan para efectuar una función de control sin la intervención del operador humano. Los primeros son denominados sistemas de control en bucle abierto y los últimos sistemas de control en bucle cerrado.

Los sistemas de control automático más comúnmente utilizados son sistemas en bucle cerrado con realimentación. Un bucle de realimentación incluye un camino de señal directo, un camino de señal de realimentación y un punto de suma de señales que forman juntos un circuito cerrado.

Una magnitud específica de un sistema controlado (proceso) desea ser mantenida a un valor determinado. Esta magnitud controlada (variable controlada) es medida a partir de un sistema sensor, usualmente un transductor (transmisor).

La salida del dispositivo sensor, acondicionada ó no de alguna manera, es aplicada a un elemento de comparación ó punto de suma (punto de establecimiento) en un dispositivo de regulación (controlador).

En este punto, la señal realimentada procedente del dispositivo sensor (señal realimentada) es comparada con una señal de referencia (señal de valor establecido). Si las dos señales tienen la misma longitud, ó están dentro de una tolerancia relativamente estrecha (banda de comparación), no acontece acción alguna.

Si las dos señales difieren en un valor mayor que el tolerado, una señal de regulación se envía al dispositivo de control (elemento de control final).

Esta señal provoca en el dispositivo de control un cambio de magnitud ó condición (magnitud manipulada) (variable manipulada) en el sistema controlado. La acción de control permanece activa hasta que la magnitud controlada adopta su nivel apropiado, correspondiente a que la señal realimentada iguale a la señal de valor establecido.



Un ejemplo de un sistema de control realimentado es el de control de velocidad de un "Ingenio de Combustión Interna". Si la velocidad angular (velocidad de rotación) del eje de salida de el Ingenio es la magnitud a controlar, como elemento sensor puede usarse un tacómetro acoplado al eje.

La salida del tacómetro acoplado se compara con una salida de referencia. Diferencias entre las dos señales provocan que una válvula de aplicación admita más ó menos combustible a el Ingenio manteniendo de esta manera la velocidad angular del eje de salida al valor deseado.

Existen varios tipos de acción de control. El más simple es el control "*Todo-nada*", usado en el control de temperatura de hornos domésticos. Cuando la temperatura asciende y de nuevo alcanza el punto de inicio, el horno se desconecta.

Este tipo de control provoca típicamente notables cambios de temperatura, sobretodo si la banda de comparación del controlador es ancha. Cuando interesa que la temperatura de un dispositivo de calefacción se mantenga de una manera más exigente a un valor constante, como ocurre en determinadas aplicaciones industriales, puede usarse un control proporcional.

Esta acción de control mantiene una relación lineal continua entre la salida y la entrada del controlador. Una pequeña variación en la temperatura respecto del valor deseado, detectado por un transductor de temperatura, causa una pequeña acción reguladora para corregir la temperatura al nivel deseado.

Una variación grande causa una acción reguladora grande. De esta forma la temperatura se controla de una manera más precisa que con el control por todo ó nada.

Tipos adicionales de acción de control son el control derivativo, en donde la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la entrada y el control integral, en donde la velocidad de cambio de salida es proporcional a la entrada.

El valor establecido puede ser actuado normal, automáticamente ó en concordancia con un programa.

## CAPÍTULO V

### CIRCUITOS LÓGICOS

#### *V.1.- Sistemas de Numeración: Decimal, Binario y Hexadecimal.*

Un Sistema de Número de Base, ó Raíz, "r" es un Sistema que utiliza símbolos diferentes para "r" dígitos. Los números son representados por una hilera de símbolos ó dígitos.

Para determinar la cantidad que representa el número, es necesario multiplicar cada uno de los dígitos por una potencia entera "r" , y entonces formar la suma de todos los dígitos ponderados.

La conversión del decimal a su representación equivalente en el Sistema de Raíz "r" se lleva a cabo separando el número en sus partes enteras y fraccionarias y convirtiendo cada una de las partes separadamente.

La conversión de un entero decimal a uno de representación de Base "r" se hace por divisiones sucesivas por "r", y la acumulación de los residuos. La conversión de una fracción Decimal a Base "r" se logra por multiplicaciones sucesivas por "r" y acumulación de los dígitos enteros que se obtienen de esa manera.

La conversión de Binaria, Octal y la representación Hexadecimal, juegan una parte importante en los Ordenadores Digitales. La conversión de Binario a Octal se logra fácilmente partiendo el número Binario en grupos de tres bits cada uno.

El dígito Octal correspondiente se le asigna entonces a cada grupo de bits y la hilera de dígitos así obtenida da el equivalente Octal del número Binario. Puesto que un número Binario consta de una hilera de unos y ceros, el registro de 16 bits puede utilizarse para almacenar cualquier número Binario desde 0 hasta  $2E16$ .

a). Representación Decimal.- El Sistema de Números Binarios es el Sistema más natural para un Ordenador, pero los usuarios están acostumbrados a el Sistema Decimal.

Una manera de resolver este conflicto es convertir todos los números Decimales de entrada en números Binarios, dejará el Ordenador para que realice todas las operaciones aritméticas en Binario y posteriormente convertir los resultados Binarios de nuevo a Decimal para la utilización y comprensión por el Usuario.

Sin embargo, es también posible que el Ordenador realice operaciones aritméticas directamente con números decimales, siempre y cuando, que ellos sean colocados en los registros en forma codificada.

Los números Decimales entran a el Ordenador usualmente como caracteres Alfanuméricos Codificados en Binario. Estos códigos, introducidos posteriormente, pueden contener desde 6 hasta 8 bits para cada dígito Decimal.

Cuando se utilizan los números Decimales para los cálculos aritméticos internos, estos se convierten a código Binario con 4 bits por dígito.

Un código Binario es un grupo de "n" bits, que supone hasta 2 elevado a la "n" potencia, combinaciones diferentes de unos y ceros, con cada una de las combinaciones representando un elemento del conjunto que está siendo codificado.

Es importante entender la diferencia entre la conversión de los números Decimales a Binario y la codificación Binaria de los números decimales.

b). Representación Alfanumérica.- Muchas aplicaciones de Ordenadores Digitales requieren el manejo de datos que constan no solamente de números, sino también de letras del Alfabeto y ciertos caracteres especiales.

Un conjunto de caracteres Alfanuméricos es un conjunto de elementos que incluye los 10 dígitos Decimales, las 26 letras del Alfabeto y un número de caracteres especiales, tales como, \$, +, e, =.

Un conjunto como estos contiene entre 32 y 64 elementos (si solamente se incluyen las letras mayúsculas) ó entre 64 y 128 ( si se incluyen tanto las letras mayúsculas como las letras minúsculas). En el primer caso el código Binario requerirá de 6 bits y en el segundo caso 7 bits.

El código numérico Alfanumérico estándar es el ASCII (American Standard Code for Information Interchange) ó (Código Americano Nacional Estándar para el Intercambio de Información), que utiliza 7 bits para codificar 128 caracteres.

Nótese que los dígitos Decimales en ASCII pueden convertirse a BCD retirando los 3 bits del orden superior, 011. Los códigos binarios juegan una parte importante en las operaciones de el Ordenador Digital.

Los códigos deben estar en Binario porque los registros pueden retener únicamente información Binaria. Se debe tener en cuenta que los códigos Binarios cambian meramente los símbolos no el significado de los elementos discretos que ellos representan.

La operación especificada por Ordenadores Digitales puede tomar en consideración el significado de los bits almacenados en los registros para que las operaciones sean realizadas en los operandos del mismo tipo.

Al inspeccionar los bits del registro en un Ordenador Digital al azar, es probable que se encuentre que representa algún tipo de información codificada en vez de un número Binario.

Los códigos Binarios pueden formularse para cualquier conjunto de elementos discretos: Los colores del espectro, las notas musicales y las piezas de un juego de ajedrez y sus posiciones en el tablero. Los códigos Binarios también son utilizados para formular instrucciones que especifican información de control para el Ordenador.

## V.2.- Aritmética Binaria.

En la mayoría de los Sistemas Digitales, desde el circuito de control más sencillo, hasta el calculador más complejo se utilizan operaciones aritméticas.

Las Leyes que rigen las operaciones en el sistema de base 2, son paralelas a las de el Sistema de Base 10.

a). Suma Aritmética Binaria.- La suma aritmética de dos bits resulta muy sencilla, porque éstos sólo pueden tomar el valor "0" y "1" lógicos. La tabla de la suma en el sistema de base 2 es:

Sumandos		Suma Binaria	
		S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Tabla V.1.- Suma en el Sistema Binario.

La suma binaria toma el valor de "1" lógico, cuando uno sólo de los sumandos tiene dicho valor; cuando ambos sumandos tienen el valor de "1" lógico, la suma es "0" lógico y se produce un acarreo.

De lo dicho se deduce que la suma aritmética de dos bits es una función lógica de dos variables de entrada y dos de salida, que son la suma binaria "S" y el acarreo "C".

b). Resta Binaria.- La resta de dos números binarios es equivalente a una suma algebraica. Por ejemplo, restar el número positivo "b" del número positivo "a", es equivalente a sumar el número "a" al número "-b". Por tanto, si los números negativos se representan adecuadamente, la resta puede ser convertida en una suma y realizada mediante un circuito sumador.

La representación de los números negativos, es un convenio que ha sido utilizado en todos los Sistemas de Numeración para la representación de los números negativos es el de emplear una cifra en el extremo izquierdo del número correspondiente para representar el signo.

En el Sistema Binario dicha cifra, llamada bit de signo; es "0" si el número es positivo y "1" si éste es negativo.

En este Sistema denominado de valor absoluto y signo, porque los números negativos se representan mediante su valor absoluto y el signo, se utilizan "n" bits para indicar los números binarios de "n-1" bit.

Este método de representación de los números negativos implica que, para la realización de la resta es necesario utilizar un circuito restador distinto del circuito sumador, y por tanto, una mayor complejidad del circuito lógico capaz de realizar ambas operaciones.



Por esto, el convenio de disponer de un bit de signo se combina con el de representar un número negativo de "n" bits ( "n-1" bit de información, más un bit de signo), mediante el complemento a 2 y complemento a -1.

Mediante la adopción de estos dos convenios, la operación de la resta se convierte en suma y, por tanto, mediante un único circuito sumador se realizan ambas operaciones lo cual simplifica la realización física de la unidad aritmética.

El complemento a 2 de un número "a" de "n" bits se obtiene, restando el número de 2 elevado a la "n" potencia (en Binario, 1 seguido de "n" ceros ) lo cual es equivalente, a complementarlo, es decir; cambia, los "1" por "0" y visceversa, y sumarle la unidad.

c). Multiplicación Binaria.- La multiplicación de dos números binarios de un bit "a" y "b" cumple la Tabla de

Verdad indicada en la tabla V.2 que coincide con el producto lógico, es decir;

$$P = a \cdot b$$

tal como se representa gráficamente en la Fig. V.1.

El Algoritmo de multiplicación utilizado en el Sistema Binario natural coincide con el de el Sistema Decimal. Se multiplica el multiplicando por el bit menos significativo del multiplicador. Al resultado obtenido se le suma aritméticamente el producto, desplazado una posición del segundo bit del multiplicador por el multiplicando, y así sucesivamente.

Se tratar de realizar este Algoritmo de forma iterativa utilizando compuertas Y para realizar cada uno de los productos parciales y sumadores totales para realizar las sumas parciales. Se aclarará lo expuesto con números de 4 bits:

$$B = b_4 b_3 b_2 b_1 \text{ Multiplicando}$$

$$A = a_4 a_3 a_2 a_1 \text{ Multiplicador}$$

La multiplicación de  $a_1$  por B se realiza mediante 4

puertas Y, tal como se indica en la Fig. V.2, obteniéndose el primer producto parcial  $P_1$ .

Este producto  $P_1$  hay que sumarlo con el segundo producto

parcial  $a_2 * B$ , desplazado un bit. Para ello se puede utilizar 4

sumadores totales y otras cuatro puertas Y tal como se muestra en la Fig. V.3.

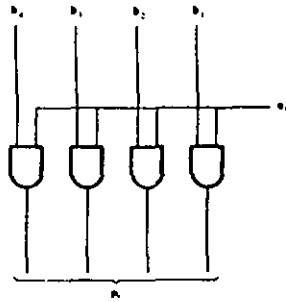


Fig. V.2.

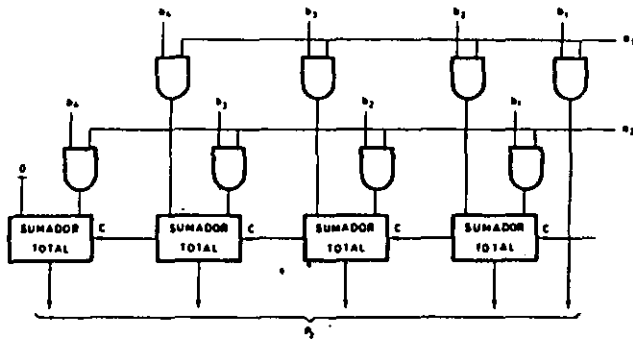


Fig. V.3.

### V.3.- Elementos de el Álgebra de Boole.

Un Álgebra de Boole, es toda clase ó conjunto de elementos que pueden tomar dos valores perfectamente diferenciados, que se designarán por "0" y "1" y que están relacionados por dos operaciones Binarias denominadas suma (+) y producto (.) lógicos que cumplen los siguientes postulados:

a). Ambas operaciones son conmutativas, es decir; "a" y "b" son elementos del álgebra, se verifica:

$$a + b = b + a ; \quad a \cdot b = b \cdot a$$

b). Dentro del álgebra, existen dos elementos neutros, el 0 y el 1, que cumplen la propiedad de identidad con respecto a cada una de dichas operaciones:

$$0 + a = a ; \quad 1 \cdot a = a$$

c). Cada operación es distributiva con respecto a la otra:

$$a (b + c) = a \cdot b + a \cdot c ; \quad a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$$

d). Para cada elemento, "a", del álgebra, existe un elemento

" $\bar{a}$ ", tal que:

$$a + \bar{a} = 1 ; \quad a \cdot \bar{a} = 0$$

Este postulado define realmente una nueva operación fundamental que es la inversión ó complementación de una variable.

La variable "a" se encuentra siempre en un estado Binario al de "a", la primera ecuación, expresa la imposibilidad de que "a" y "a" tomen el valor lógico "0", al mismo tiempo, y la segunda ecuación indica que nunca pueden tener el valor lógico "1" al mismo tiempo.

Puede elegirse como postulado un grupo distinto del adoptado con tal de que se cumpla la condición de que ninguno pueda ser deducido de cualquiera de los demás.

Esto es, que el Álgebra de Boole es un ente matemático, en realidad, físicamente son varios los conjuntos que poseen dos operaciones binarias que cumplen los postulados desarrollados.

Ejemplos de estos conjuntos son el álgebra de las proposiciones ó juicios formales y el álgebra de la conmutación, formada también por elementos que pueden tomar dos estados perfectamente diferenciados.

Estos elementos son los circuitos lógicos. Los primeros circuitos de conmutación ó lógicos utilizados han sido los contactos y, aunque poco a poco han sido desplazados por los circuitos electrónicos, pueden ser empleados para memorizar más fácilmente las Leyes de el Álgebra de Boole.

La operación suma se asimila a la conexión en paralelo de contactos y la operación producto a la conexión en serie, el inverso de un contacto es otro cuyo estado es siempre el opuesto al primero, es decir; está cerrado cuando aquél está abierto y viceversa.

El elemento 0 es un contacto que está siempre abierto y el elemento 1 está siempre cerrado. Además se considera una función de transmisión entre los dos terminales de un circuito de contactos, que toma el valor 1, cuando existe un camino para la circulación de corriente entre ellos y el valor 0 al no existir dicho camino (circuito abierto).

A continuación, se analizarán los Teoremas Fundamentales de el Álgebra de Boole. Basándose en los postulados anteriores se deducen los Teoremas siguientes. La Tabla de Verdad de una expresión algebraica Binaria representa los valores que dicha expresión puede tomar para cada combinación de estados de las variables que forman parte de la misma.

Dos expresiones algebraicas que tienen la misma Tabla de Verdad son equivalentes.

**Teorema 1.-** Cada identidad deducida de los anteriores postulados de el Álgebra de Boole, permanece válida si la operación (+) y (.) y los elementos 0 y 1 se intercambian entre sí. Este principio, llamado de dualidad, se deduce inmediatamente de la simetría de los cuatro postulados con respecto a ambas operaciones y a ambos elementos neutros.

**Teorema 2.-** Para cada elemento "a" de un Álgebra de Boole, se verifica:

$$a + 1 = 1 \quad \text{y} \quad a \cdot 0 = 0$$

**Teorema 3.-** Para cada elemento de el Álgebra de Boole se verifica:

$$a + a = a \quad \text{y} \quad a \cdot a = a$$

**Teorema 4.-** Para cada par de elementos de un Álgebra de Boole  $a$  y  $b$ , se verifica:

$$a + ab = a \quad \text{y} \quad a(a + b) = a$$

**Teorema 5.-** En Álgebra de Boole, las operaciones suma y producto son asociativas.

$$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$$

$$a(bc) = (ab)c = abc$$

**Teorema 6.-** Para todo elemento de el Álgebra de Boole se verifica:

$$\overline{\overline{a}} = a$$

**Teorema 7.-** En toda Álgebra de Boole se verifica:

$$a). \overline{a + b + c + d + \dots} = \overline{a} \overline{b} \overline{c} \overline{d} \dots$$

$$b). \overline{a b c d \dots} = \overline{a} + \overline{b} + \overline{c} + \overline{d} \dots$$

#### V.4.- Funciones Booleanas y Compuertas Lógicas.

Una función de un Álgebra de Boole es una variable Binaria cuyo valor es igual al de una expresión algebraica en la que se relacionan entre sí las variables Binarias por medio de las operaciones básicas: Producto lógico, suma lógica e inversión.

Se representa una función lógica por la expresión

$$f = f(a, b, c, \dots)$$

El valor lógico de "f" depende de las variables a, b, c,...

Se llama término canónico de una función lógica a todo producto ó suma en la cual aparecen todas las variables en su forma directa ó inversa. El primero de ellos se le llama producto canónico (minter) y el segundo suma canónica (maxter).

**Teorema:** Toda función de un Álgebra de Boole se expresa en la siguiente forma:

$$f(a,b,c\dots) = f(1,b,c\dots) + \bar{a}f(0,b,c\dots)$$

$$f(a,b,c\dots) = [a + f(0,b,c\dots)][\bar{a} + f(1,b,c\dots)]$$



A continuación, se definirán las Funciones de Boole más importantes, desde el punto de vista de los circuitos combinacionales, y son:

a). Función OR.- Esta función es conocida como suma lógica, reunión, alternación y es una función que se realiza entre dos variables lógicas, denotada como  $A + B$  la cual existe, cuando existe alguna de las variables de entrada ó ambas.

La forma usual de definirla es mediante su Tabla de Verdad la cual es una forma de representación de una función lógica, en la que se indica el valor "1" ó "0", que toma la función para cada una de las combinaciones posibles de las cuales depende.

Esto es, si se tienen dos variables  $A$  y  $B$ , se define la función OR denotada por  $A + B$ , como una función cuya Tabla de Verdad es:

A	B	A+B
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Tabla V.3.- Tabla de Verdad de la Función OR.

b). Función AND.- Esta función es conocida con los nombres de función "Y", producto lógico, conjunto ó intersección. Se observa que la función existe sólo cuando las dos variables A y B existen al mismo tiempo. Su Tabla de Verdad está dada por:

A	B	A • B
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Tabla 5.4.- Tabla de Verdad para la Función AND.

Al observar la Tabla, se advierte que la multiplicación AND es exactamente la misma que la multiplicación ordinaria. Siempre que A y B sean 0, su producto es 0; cuando A y B son 1, su producto es 1.

c). Función Negación.- La función negación se denomina complemento, función NO, inversor y es denotada por  $A'$  (se lee NO-A). Tal que su salida es el valor contrario a  $A$ . La Tabla de Verdad para la función negación es:

A	$A'$
0	1
1	0

Tabla V.5.- Tabla de Verdad de la Función Negación.

d). Función NOR.- La función NOR también llamada "Ó Negada", es una función que se denota  $(A + B)'$  y cuya Tabla de Verdad está dada por:

A	B	$A+B$	$(A+B)'$
1	1	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
0	0	0	1

Tabla V.6.- Tabla de Verdad para la Función NOR.

Se observa que la compuerta NOR es la negación de la compuerta OR, la cual puede ser realizada con interruptores eléctricos.

e). Función NAND.- Se observa que la función NAND es la negación de la función AND. Esta función lógica está definida por la Tabla de Verdad siguiente:

		AND	NAND
A	B	A · B	$(A · B)'$
1	1	1	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	0	1

Tabla V.7.- Tabla de Verdad para la Función NAND.

f). Función OR-EXCLUSIVA (XOR).- Esta función se denota por  $A + B$ , y existe cuando A existe ó B existe, pero no ambas. La Tabla de Verdad para esta función es:

A	B	A+B
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Tabla V.8.- Tabla de Verdad para la Función OR-EXCLUSIVA (XOR).

g). Función NOR-EXCLUSIVA.- La función NOR-EXCLUSIVA opera completamente al contrario que el (XOR). La Tabla de Verdad para esta esta función es:

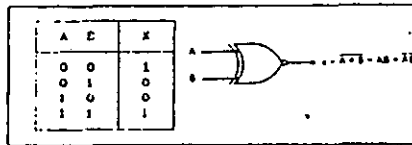


Tabla V.9.- Tabla de Verdad para la Función NOR-EXCLUSIVA.

Debe estar claro que la salida del circuito NOR-EXCLUSIVO, es la inversa exacta del circuito (XOR). El símbolo de la compuerta NOR-EXCLUSIVA se obtiene simplemente agregando un pequeño círculo de la salida (XOR).

La compuerta NOR-EXCLUSIVA, se resume como sigue: Sólo tiene dos entradas y su salida es:

$$X = AB + A'B' = (A + B)'$$

Su salida es ALTA sólo cuando las dos entradas están en el mismo nivel.

### V.5.- Decodificadores.

Un Decodificador tiene tantas salidas cuantas combinaciones de entradas Binarias sean posibles.

Los decodificadores de Circuitos Integrados pueden utilizar compuertas NAND ó NOR en vez de compuertas AND.

En este caso, las salidas son los complementos de los valores enumerados en la Tabla de Verdad.

La combinación de "minterm" de las variables de entrada, se distingue entonces por la salida cuyo valor es "0" lógico, mientras que todas las demás salidas son iguales a "1" lógico.

Es conveniente algunas veces incluir una entrada de habilitación con un decodificador para controlar la operación del circuito.

Un decodificador es un circuito lógico que convierte un código Binario de entrada de "n" bits, en "m" líneas de salida, tal que cada una de estas líneas de salida sea activada sólo para una posible combinación de entradas.

La Fig. V.4, muestra el diagrama general del decodificador con "n" entradas y "m" salidas. Ya que cada una de las "n"

entradas puede ser "0" ó bien 1, 2 posibles combinaciones ó códigos de entrada. Para cada una de estas combinaciones de entrada sólo una de las "m" salidas será alta, activa; todas las otras serán bajas.

Muchos decodificadores están diseñados para producir salidas bajas activas, donde solamente la salida seleccionada es baja, en tanto que todas las otras son altas. Esto siempre lo indica la presencia de pequeños círculos en las líneas de salida del programa del decodificador.

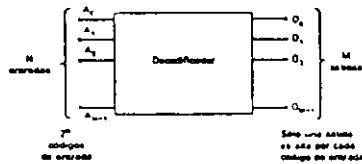


Fig. V.4.- Diagrama General de el Decodificador.

N

Algunos decodificadores no utilizan los 2 posibles códigos de entrada, sino sólo unos cuantos. Por ejemplo, un decodificador de BCD a Decimal tiene un código de entrada de 4 bits y 10 líneas de salida que corresponden a 10 grupos de código BCD, del 0000 al 1001.

Los decodificadores de este tipo a menudo se diseñan de tal modo que si alguno de los códigos no utilizados se aplican a la entrada, ninguna de las salidas sea activada.



## *V.6.- Flip-Flop's.*

Hay 2 tipos de circuitos secuenciales y su clasificación depende de las señales de tiempo. Un circuito secuencial sincrónico, emplea elementos de almacenamiento denominados Flip-Flop's, que se permiten que cambien sus valores Binarios, solamente en instantes discretos de tiempo.

Un circuito secuencial asincrónico es un sistema cuyas salidas dependen del orden en el cual sus variables de entrada cambian y pueden afectarse en cualquier instante de tiempo. Los sistemas asincrónicos de tipo compuerta son básicamente circuitos de combinación con rutas de realimentación.

Debido a la realimentación entre las compuertas lógicas el sistema puede, algunas veces, volverse inestable. Los problemas de inestabilidad encontrados en sistemas asincrónicos imponen muchas dificultades, y por esta razón rara vez son utilizados en el diseño de Ordenadores Digitales.

Los sistemas de lógica secuencial sincrónica utilizan compuertas lógicas y dispositivos de almacenamiento con Flip-Flop. La sincronización se logra por un dispositivo de tiempo denominado, un generador de pulsos de reloj.

Los pulsos de reloj del generador son distribuidos a través del sistema, de tal manera que los Flip-Flop's, son afectados solamente con la llegada con el pulso de sincronización.

Los circuitos secuenciales sincrónicos de reloj no manifiestan problemas de inestabilidad y su sincronización de tiempo se puede desdoblar fácilmente en pasos independientes discretos, cada uno de los cuales puede considerarse separadamente.

Un Flip-Flop es una celda Binaria capaz de almacenar un bit de información, tiene dos salidas, una para el valor normal y otra para el valor complementado del bit almacenado en él.

Un Flip-Flop mantiene un estado Binario hasta que sea dirigido por un pulso de reloj que conmuta los estados. La diferencia entre los diversos tipos de Flip-Flop's está en el número de entradas que posee y en la manera en la cual las entradas afectan el estado Binario. Los tipos más comunes de Flip-Flop's se analizan a continuación.

a). Flip-Flop tipo RS.- El Flip-Flop RS con reloj, que se muestra en la Fig. V.5, consiste de una celda básica y dos compuertas adicionales NAND. Las salidas de la compuerta 3 y 4 permanecen en "1" lógico siempre y cuando el pulso de reloj (CP) esté en "0" lógico, independiente de los valores de las entradas RS.

Cuando el pulso de reloj va a "1" lógico la información de las entradas SR se permite que alcance la celda en las compuertas 1 y 2. El estado SET se alcanza con  $S=1$ ,  $R=0$  y  $CP=1$ . Para cambiar al estado aclarado, las entradas deben ser  $S=0$ ,  $R=1$  y  $CP=1$ . Con  $S=0$  y  $R=0$ , un  $CP=1$  no afecta el estado del Flip-Flop. Si SR no puede ser "1" lógico durante la ocurrencia de un pulso de reloj debido a que el estado siguiente del Flip-Flop es indeterminado.

El símbolo gráfico del Flip-Flop RS se muestra en la Fig. V.6. Tiene 3 entradas: S, R y CP. La entrada CP se marca con un triángulo. Éste es un símbolo para un indicador dinámico y denota el hecho de que el circuito responde a una entrada de transición de "0" a "1" lógico.

A las salidas del Flip-Flop se les da un nombre variable tal como Q ó cualquier otra designación con una letra conveniente. El triángulo rectángulo es un símbolo gráfico para un indicador de polaridad. Él designa la salida complementada del Flip-Flop la cual es en este caso Q'.

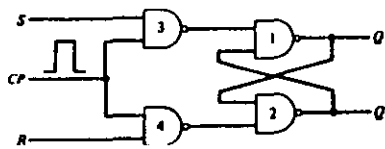


Fig. V.5.- Diagrama Lógico de un Flip-Flop RS con Reloj.

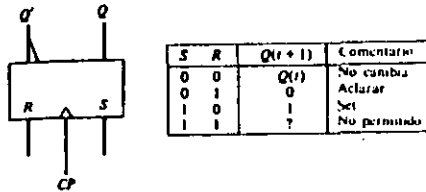


Fig. V.6.- Flip-Flop RS. Símbolo Gráfico y Tabla Característica.

La Tabla Característica mostrada en la Fig. V.6, resume la operación del Flip-Flop RS en forma tabular.  $Q(t)$  es el estado binario del Flip-Flop en un instante dado de tiempo (conocido como el estado presente).

Las columnas SR dan los valores Binarios de las entradas.  $Q(t+1)$  es el estado del Flip-Flop después que ha ocurrido un pulso de reloj (conocido como el estado siguiente). Si  $S=R=0$ , un pulso no produce cambio de estado, esto es,  $Q(t+1)=Q(t)$ . Si  $S=0$  y  $R=1$ , el Flip-Flop llega al estado "0" lógico (el estado aclarado).

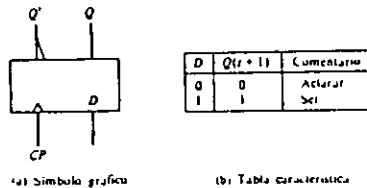
Si  $S=1$  y  $R=0$  el Flip-Flop llega al estado "1" lógico (el estado SET). Un Flip-Flop RS no debe ser pulsado cuando  $S=R=1$  puesto que produce un estado siguiente indeterminado.

b). Flip-Flop tipo D.- El Flip-Flop D (dato) es una modificación ligera del Flip-Flop RS. Un Flip-Flop RS, se convierte a un Flip-Flop D insertando un inversor entre S y R, y asignándole el símbolo D a la entrada S.

La entrada D es muestreada durante la ocurrencia de un pulso de reloj y si éste es "1" lógico, el Flip-Flop alcanza el estado "1" lógico (debido a que  $S=1$  y  $R=0$ ). Si él es "0" lógico, el pulso cambia al estado del Flip-Flop a "0" lógico (debido a que  $S=0$  y  $R=1$ ).

El símbolo gráfico y la Tabla Característica del Flip-Flop D se muestran en la Fig. V.7. Nótese que no existe condición de entrada que deje el estado del Flip-Flop sin cambiar. Aunque un Flip-Flop D, tiene la ventaja de tener solamente una entrada (excluyendo CP), tiene la desventaja de que su Tabla Característica no tiene una condición de "no cambio",  $Q(t+1)=Q(t)$ .

El "no cambio" puede lograrse bien deshabilitando los pulsos de reloj con una compuerta externa AND ó alimentando la entrada de nuevo hacia la salida de tal manera que los pulsos de reloj mantengan el estado del Flip-Flop sin modificar.



**Fig. V.7.- Flip-Flop Tipo D. Símbolo Gráfico y Tabla Característica.**

c). Flip-Flop's tipo(s) JK y T.- Un Flip-Flop JK es un refinamiento de un Flip-Flop RS en la condición intermedia del tipo RS está definida en el tipo JK. Las entradas J y K se comportan como un conjunto de entradas S y R para hacer el SET y el aclaramiento del Flip-Flop, respectivamente.

Cuando las entradas J y R son iguales a "1" lógico, un pulso de reloj conmuta las salidas del Flip-Flop a su estado complementario,  $Q(t+1) = Q'(t)$ . El símbolo gráfico y Tabla Característica del Flip-Flop JK se muestran en la Fig. V.8.

Nótese que la entrada J es equivalente a la condición SET, mientras que la entrada K produce la condición de aclaramiento.

Además hay condiciones de "no cambio" y complementarias en este tipo de Flip-Flop.

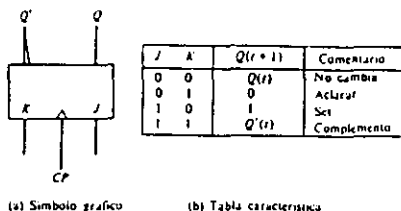
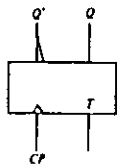


Fig. V.8.- Flip-Flop tipo JK. Símbolo Gráfico y Tabla Característica.

Otro tipo de Flip-Flop es el denominado T (toggle). Este Flip-Flop mostrado en la Fig. V.9, se obtiene de un tipo JK cuando las entradas J y K se conectan juntas. El Flip-Flop T, por consiguiente, tiene solamente dos condiciones. Cuando  $T=0$  ( $J=K=0$ ), un pulso de reloj no cambia el estado del Flip-Flop. Cuando  $T=1$  ( $J=K=1$ ), un pulso de reloj complementa el estado del Flip-Flop.



(a) Símbolo gráfico

$T$	$Q(t+1)$	Comentario
0	$Q(t)$	No cambia
1	$\bar{Q}(t)$	Complementa

(b) Tabla característica

**Fig. V.9.- Flip-Flop Tipo T. Símbolo Gráfico y Tabla Característica.**



### *V.7.- Registros de Corrimiento y Contadores.*

Como es de esperar, la mayoría de las aplicaciones del circuito secuencial requiere el almacenamiento de más de un bit Binario de información.

En general, la capacidad de almacenamiento de información de un circuito secuencial se refleja en el número de Flip-Flop's que contiene. Por lo tanto, un circuito secuencial típico contendrá varios Flip-Flop's.

En los registros de corrimiento y contadores, la correspondencia de uno a uno entre el número de Flip-Flop's y la capacidad de almacenamiento de información es especialmente evidente.

En un Ordenador Digital, las instrucciones se almacenan casi siempre en ubicaciones secuenciales de la memoria. Para controlar la secuencia del programa, el Ordenador utiliza un contador de instrucciones.

Al principio del programa (PC), los contenidos del contador se ajustan a la dirección de la primera instrucción. Conforme se ejecuta cada instrucción, el contador se incrementa en 1, cambiando así la dirección a la de la siguiente instrucción.

Aunque los contadores se pueden diseñar utilizando cualquier tipo de Flip-Flop, el que se entiende más fácilmente es el funcionamiento de un contador de Flip-Flop de disparo.

En la Fig. V.10, se ilustra un contador de Módulo 16. El término Módulo 16, significa que el contador cuanta de 0 a 15 y, luego, se regresa a 0. En algunas ocasiones, la mayoría de los contadores tendrán que restaurarse a cero ó fijarse a un valor inicial específico.

Además de contar, el contador almacena también el conteo corriente, dentro de los intervalos comprendidos entre los pulsos de entrada. En general, se conoce como registro cualquier conjunto de Flip-Flop's usados para almacenar los bits relacionados de información.

De donde, un contador puede denominarse registro de conteo. A menudo, se emplea un registro para ensamblar y almacenar información que llega de una fuente en serie.

Los contadores son sistemas secuenciales con una entrada de impulsos, cuyo estado interno en cada instante representa el número de impulsos que se han aplicado a aquéllas.

El número de estados internos ha de ser igual al máximo número de impulsos que se desean contar, más uno que será el estado inicial, el cual indicará la ausencia de impulsos. Para la realización de los contadores se utilizan los elementos biestables sincronizados por flancos que poseen dos estados internos.

Los parámetros más importantes de los contadores son los siguientes:

- 1.- Frecuencia máxima de los impulsos que pueden contar.-  
Depende de la tecnología utilizada en la realización de los biestables y las puertas lógicas que constituyen el contador.

Dicha tecnología fija el tiempo de conmutación de aquéllos y el tiempo de propagación de éstas.

Estos parámetros han tenido una gran evolución y para conocer en cada momento los valores reales, es necesario recurrir a los manuales de los Fabricantes.

2.- Código de contaje.- El código Binario de contaje de impulsos puede ser cualquiera de los muchos existentes. Los más utilizados son el Binario natural y el Decimal codificado en binario natural (BCD natural).

Cuando la capacidad de integración de los Fabricantes sólo había alcanzado el nivel de puerta ó biestable era necesario realizar el diseño de los contadores mediante interconexiones de los citados elementos.

El desarrollo de las técnicas de integración ha permitido la fabricación de Circuitos Integrados (CI) monolíticos complejos que contienen contadores que realizan el contaje.

3.- Capacidad de contaje.- Es el mayor número de impulsos que han de ser contados por el sistema. Este parámetro fija el número de elementos biestables que se han de utilizar. Si se llama "n" al número de impulsos que se han de contar, el número de biestables necesarios "m", ha de cumplir la relación:

$$2^{m-1} < n + 1 \leq 2^m$$

4.- Modo de operación.- Los contadores síncronos ó asíncronos según su modo de operación que corresponda a un sistema secuencial síncrono ó síncrono asincronizado, respectivamente.

Los contadores síncronos son aquellos en los que todas las variables de estado cambian simultáneamente, para lo cual se aplican los impulsos de contaje a la entrada T de todos los biestables.

La máxima frecuencia de operación de estos contadores es igual a la de los biestables utilizados en su relación. Los contadores asíncronos son aquellos en los que las variables de estado interno no cambian simultáneamente.

Los impulsos que se desean contar no se aplican a la entrada T de todos los biestables sino, en general, sólo a la del primero, y la entrada T de los demás biestables es gobernada por las salidas de los que les preceden.

Por tanto, para cambiar de un estado interno a otro no adyacente cuando se aplica un impulso al contador, éste pasa por una serie de estados intermedios. Las principales diferencias entre los contadores síncronos y asíncronos son las siguientes:

a). La máxima frecuencia de operación de los contadores síncronos es superior a la de los asíncronos porque, antes de aplicar a la entrada de estos un nuevo impulso, es necesario que todos los biestables hayan cambiado de estado.

b). Los contadores asíncronos son menos complejos que los síncronos, porque el número de puertas que se utilizan para controlar las entradas de los biestables es menor.

c). Los contadores asíncronos presentan el problema de la aparición de impulsos aleatorios en la decodificación de sus estados.

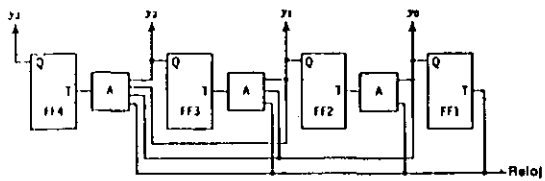


Fig. V.10.- Circuito Flip-Flop de Disparo.

## **V.8.- Memorias.**

Una ventaja importante de los sistemas digitales sobre los analógicos es la capacidad de almacenar fácilmente, grandes cantidades de información digital por periodos de tiempo cortos ó largos.

Esta capacidad de memoria es la que hace de los sistemas digitales tan versátiles y adaptables a muchas situaciones. Por ejemplo, en un Ordenador Digital la memoria central interna almacena instrucciones que indican al Ordenador qué hacer en todas las circunstancias posibles, de tal manera que el Ordenador haga su trabajo con una mínima cantidad de intervención humana.

Los registros de los Flip-Flop's son elementos de memoria de alta velocidad que se usan extensamente en las operaciones internas de un Ordenador Digital, donde la información digital se desplaza en forma continua de una localidad a otra.

Adelantos de la tecnología LSI y VLSI han hecho posible obtener grandes números de biestables en un sólo integrado dispuestos en diversos formatos de arreglo de memoria. Estas memorias son los dispositivos especializados más veloces de que se dispone y su costo ha venido disminuyendo continuamente a medida que se mejora la tecnología de los LSI.

El análisis de los diferentes tipos de memoria(s) que son utilizados en un sistema digital, se hará en el Capítulo VI, correspondiente a Sistemas Electrónicos, en el inciso específico a Microprocesadores. Estos tipos son: RAM, ROM y PLA (analizados en sus diferentes configuraciones).

## CAPÍTULO VI

### SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y SU APLICACIÓN EN LA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

*VI.1.- Microprocesadores, su Arquitectura; CPU, Memoria, Canales de Datos y de Control y de Direccionamiento de Memoria, Puertos y Registros.*

La introducción de el Microprocesador, ha significado una verdadera revolución en el Campo de el Diseño Industrial, y es de preveer un mayor impacto todavía en el desarrollo de nuevos sistemas más potentes y la reducción de costos de fabricación debido a la rápida evolución tecnológica en este campo.

El Microprocesador aparece en la Cuarta Generación de Ordenadores, marcada por la utilización de tecnologías de Alta Escala de Integración (LSI), que ha hecho posible el desarrollo de los Circuitos Integrados (CI), que componen un Sistema de Ordenador, a saber:

- 1.- Microprocesadores (Autómatas Programables Complejos).
- 2.- Memorias de Semiconductores de gran capacidad y bajo costo.
- 3.- Circuitos de Soporte (Interfases, Controladores, etcétera) compactos y versátiles.



La utilización de Sistemas basados en Microprocesadores, desplaza a la lógica cableada y a sistemas programables más complejos hacia otros márgenes de utilización, a la vez que posibilita la introducción de la electrónica en general, y la informática en particular, en nuevos campos de aplicación. Respecto a la sustitución de sistemas de lógica cableada por Ordenadores, éste presenta las siguientes ventajas:

1.- El Microprocesador puede reemplazar un número elevado de Circuitos Integrados, lo cual representa ventajas en cuanto a facilidad y modularidad del diseño, reducción de costos, aumento de fiabilidad por el menor número de elementos e interconexiones y disminución del consumo.

2.- El sistema resultante es más flexible, por lo que permite más opciones y/o modificaciones a la vez que posibilita futuras expansiones del sistema.

3.- Se puede trabajar con estructuras de información más desarrolladas, las operaciones aritméticas y lógicas pueden ser más complejas y sobre palabras de longitud variable, y se aumenta la capacidad de decisión del sistema.

4.- Se posibilita el soporte de un sistema de entrada y salida potente en cuanto a número y diversificación de accesos.

5.- Se simplifica la diagnosis de fallas, las reparaciones y el mantenimiento.

6.- Permite concebir sistemas de una forma modular y estructurada.

7.- Se reduce el período de desarrollo y comercialización del equipo.

La operación adecuada de un Microprocesador, requiere que se presenten ciertas señales de control y tiempo para lograr funciones específicas, y que otras señales de control sean medidas para determinar el estado del Microprocesador.

Un conjunto típico de líneas de control disponibles en la mayoría de los Microprocesadores se muestra en la Fig. VI.1. Para complementar el diagrama, se muestra también el bus de datos, el bus de direcciones y la terminal de entrada de fuente de poder a la unidad.

Las necesidades de poder a la unidad. Las necesidades de potencia de un Microprocesador particular se especifican por el nivel de voltaje y consumo de poder que debe suministrarse para operar el Circuito Integrado (CI).

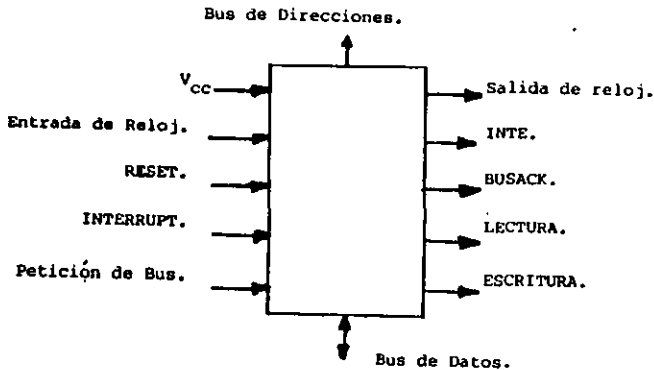


Fig. VI.1.- Conjunto Típico de señales de Control de un Microprocesador.

El terminal de entrada del reloj es usado por el Ordenador para generar pulsos de reloj multifase y producir secuencias de tiempo y control para las funciones internas. Algunos Microprocesadores requieren un generador externo de pulsos de reloj para producir los pulsos.

En este caso el reloj de salida lo produce el generador de reloj, en vez del Microprocesador en sí, pero requieren un cristal externo ó circuito para controlar la frecuencia del reloj. Los pulsos de reloj son usados por los módulos externos para sincronizar sus operaciones con las operaciones del Microprocesador.

El terminal de Puesta a Cero ó RESET, se usa para reposicionar ó iniciar el Microprocesador después de haber activado la potencia ó en cualquier momento en que el usuario quiera comenzar el proceso desde el principio. El efecto de la señal de Puesta a Cero es iniciar el Microprocesador, forzando una dirección dada al contador del programa. El programa comienza la ejecución con la primera instrucción en esa dirección.

La manera más simple de iniciar una Puesta Cero es borrar el contador del programa y comenzar el programa desde la dirección cero.

Algunos Microprocesadores responden a la señal de Puesta a Cero transfiriendo el contenido de un lugar de memoria específico al contador del programa.

La Requisición de Interrupción INTERRUPT al procesador, viene de un módulo de interconexión para informar al Microprocesador que esté listo para transferir la información.

Quando el Microprocesador recibe una Requisición de Interrupción, suspende la ejecución del programa corriente y se bifurca a un programa que sirve de módulo de interconexión.

Al completar la rutina de servicio, el Ordenador regresa al programa previo. La facilidad de Interrupción se incluye para producir un cambio en la secuencia del programa como resultado de las condiciones externas.

El terminal de entrada de Requisición de Bus (BUS REQUEST), es una solicitud al Microprocesador para suspender su operación, y llevar todos los buses a su estado de mayor impedancia. Una vez reconocida la solicitud, el Microprocesador responde habilitando una línea de salida de control de Garantía de Bus.

Así, cuando un dispositivo externo desea transferir la información directamente a la memoria, éste solicita que el Microprocesador abandone el control del bus común. Una vez que el bus sea inhabilitado por el Microprocesador, el dispositivo que originó la solicitud, toma control sobre el bus de direcciones y datos para conducir las transferencias de memoria sin la intervención del Microprocesador, esta característica se le llama Acceso Directo de Memoria (DMA).

Lectura y Escritura, son líneas de control que informan el componente seleccionado por el bus de direcciones de la dirección de transferencia esperada en el bus de datos.

La línea de Lectura informa a la unidad seleccionada que el bus de datos está en el modo de entrada y que el procesador aceptará datos del bus de datos.

La línea de Escritura indica que el Microprocesador está en el modo de salida, y que los datos válidos están disponibles en el bus de datos.

Cuando los buses están inhabilitados, las dos líneas de control estarán en el estado de alta impedancia; así la unidad externa que controla los buses puede especificar las operaciones de lectura y escritura. Existen otras posibilidades para el control de los buses.

El bus de direcciones puede ser controlado con una línea adicional para indicar si la dirección es para una palabra de memoria ó para una unidad de interconexión.

Otra posibilidad es combinar las líneas de control de Lectura y Escritura en una línea que se denomina R/W. Cuando esta línea es "1" lógico indica la operación lectura, y "0" lógico cuando se trata de escritura. Una segunda línea es necesaria para controlar cuándo una dirección válida está en el bus de direcciones de manera que los componentes externos respondan a la línea R/W solamente cuando se solicita una dirección válida.

La Unidad Central de Proceso (CPU), es el sistema principal de un Ordenador, ya que es el elemento capaz de interpretar las instrucciones y coordinar su ejecución. La Unidad de Proceso Central está constituida por tres subsistemas funcionales que son:

1.- Unidad Lógica-Aritmética (ALU) : Es el elemento calculador del sistema capaz de realizar operaciones lógicas (AND, OR, XOR, etcétera) y aritméticas (suma, resta, etcétera).

2.- Unidad de Control (UC) : Es el elemento controlador del flujo de información (instrucciones y datos), en el sistema. Las funciones de la Unidad de Control son:

- a). Búsqueda de Instrucciones en Memoria.
- b). Decodificación, Interpretación y Ejecución de las Instrucciones.

c). Control de la Secuencia de Ejecución.

d). Reconocimiento de Señales de Control Externas; entre ellas Interrupciones, Petición de Acceso Directo a Memoria, Órdenes de Paro, Espera, Inicialización, etcétera.

3.- Generador de Reloj. Estos tres subsistemas, están total ó parcialmente integrados en un sólo circuito LSI, que se denomina Microprocesador.

Según el tipo de Microprocesador utilizado, se precisará de más ó menos Arquitectura de Sistemas ó (“Hardware”) Externo para formar una Unidad Central de Proceso (UPC) completa.

La tendencia de los modernos Microprocesadores es la de integrar todas las funciones de la Unidad de Proceso Central (UPC) en un sólo Circuito Integrado (CI).

La estructura interna de la Unidad Central de Proceso (UPC), presenta variaciones notables al considerar distintos Microprocesadores, por lo que es difícil definir una estructura, no excesivamente simplificada, que se acerque a las distintas alternativas que se han desarrollado.

Además de la unidad de cálculo, sistema decodificador de instrucciones y circuitos temporizadores, se encuentran en la Unidad de Proceso Central (UPC) un conjunto de registros internos, en cantidad y con prestaciones variables según la Unidad de Proceso Central (UPC) considerada:

a). MAR : (Registro de Direcciones).- Contiene la dirección de la palabra de memoria (ó acceso de Entrada/Salida, E/S) seleccionado para una transferencia.

b). PC : (Contador de Programa).- Contiene la dirección de la instrucción en curso.

c). IR : (Registro de Instrucción).- Memoriza el código de la operación de la instrucción que se está ejecutando.

d). MDR : Registro de Datos de Entrada y Salida de la Unidad de Proceso Central (UPC).

e). AC : (Acumulador).- Es el registro base en operaciones aritméticas y lógicas. En general, es también registro fuente y destino de transferencias con memoria y sistema de Entrada/Salida (E/S). Existen máquinas con más de un acumulador.

f). SR : (Registro de Estado).- Está formado por un conjunto de biestables distribuidos por la Unidad de Proceso Central (UPC) y que se pueden tratar de una forma conjunta y/o individualmente. Indican condiciones aritméticas (acarreo, desbordamiento, resultado cero, condiciones de comparaciones, paridad, etcétera) y de estado (máscaras de interrupción, peticiones pendientes, etcétera).

g). SP : (Puntero de "Stack").- Utilizado para la gestión del "Stack" (pila LIFO), en máquinas que permiten esta estructura.

h). Registros de Utilización General.- Son registros internos, accesibles por programa, para el almacenamiento temporal, punteros de memoria, registros de índice, etcétera.

i). Registros Auxiliares para uso Interno de la Unidad de Proceso Central (UPC) (almacenamiento temporal) y no accesibles al programador.

Todo sistema con Microprocesadores precisa de memoria para:

- 1.- Almacenar las instrucciones que forman el programa.
- 2.- Almacenar datos y resultados intermedios.

La memoria está organizada en palabras, cada una con una única dirección. La longitud de palabra, en general, es la misma que la del Microprocesador y bus de datos.

Los sistemas basados en Microprocesadores deben ser compactos y baratos, por lo que la organización de memoria en cuanto a eficiencia, cobra una vital importancia. Las aplicaciones de los Microprocesadores son típicamente de carácter dedicado; es decir, el programa es fijo y está grabado en memorias no volátiles y de acceso sólo para lectura.

Las memorias de semiconductores de acceso aleatorio se fabrican utilizando diversas tecnologías (TTL, STTL, PMOS, NMOS,

2

CMOS, I L, ECL, etcétera), con características distintas en tiempos de acceso, posibilidades de integración y consumo. Las Memorias de Sólo Lectura (ROM) se utilizan en los Ordenadores para almacenar programas, tablas y constantes.

Existen también los circuitos de memoria construidos aplicando la Tecnología de Circuitos Integrados de muy Grande Escala (VSLI). Esta Tecnología permite la fabricación, sobre un sólo microcircuito de Silicio, de circuitos de complejidad mayor que el equivalente de 1 000 compuertas lógicas.



Los Microprocesadores dieron un nuevo ímpetu al desarrollo de los circuitos VSLI: Ellos requieren de memoria en la que pueda residir un programa, y debido a que la memoria se puede realizar con microcircuitos que tengan una estructura altamente regular, en el bloque funcional más adecuado para la implantación con los VSLI.

Las estimaciones actuales indican que para 1993, el mercado de los circuitos de Microprocesadores y de memoria alcanzarán casi 3.5 billones de Dólares por año.

Un sistema de cómputo, requiere un sistema de memoria para almacenar datos e instrucciones de programa. Además, dentro de un sistema de computación dado, existen por lo general diferentes tipos de memoria que utilizan una variedad de Tecnologías y que tienen diversos tiempos de acceso.

a). Memoria de Acceso Aleatorio (RAM).- La memoria principal es usualmente la memoria accesible con mayor rapidez y la misma de donde la mayoría, a veces todas, las instrucciones en los programas son ejecutadas.

La memoria principal es por lo general del tipo de acceso directo. Una memoria de acceso directo (RAM) es aquella en la que el tiempo que se requiere para almacenar (escribir) información y para recuperar (leer) información, es independiente de la localización física (dentro de la memoria) en donde se almacena la información.

La construcción de una Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) de " $m$ " palabras por " $n$ " bits por palabra, consiste de " $m * n$ " celdas de almacenamiento Binario y la lógica asociada para seleccionar las palabras individuales.

La celda de almacenamiento Binario es el bloque básico de construcción de una unidad de memoria. La celda binaria tiene 3 entradas (Entrada, Selección y Lectura/Escritura) y una salida (Salida).

La entrada de selección habilita la celda para Lectura ó Escritura. Las entradas de lectura/escritura determinan la operación de la celda cuando ésta es seleccionada. Un "1" lógico en la entrada de Lectura/Escritura, forma un camino al terminal de salida. La información en el terminal de entrada se transfiere cuando el control de lectura/escritura es "0" lógico.

Las memorias de Circuito Integrado (CI) tienen algunas veces una sola línea para el control de Lectura/Escritura. Un estado Binario en la sola línea especifica una operación de Lectura y el otro estado una de Escritura.

Además, se incluyen una ó más líneas de habilitación para suministrar medios de seleccionar el Circuito Integrado (CI) y para expandir varias pastillas a una unidad de memoria con un gran número de palabras.

Las Memorias de Acceso Aleatorio (RAM) son volátiles; es decir, la información almacenada se pierde si falla la alimentación del sistema.

Si es preciso salvar la información en caso de fallo de tensión se deber disponer de un sistema de baterías para alimentación de la Memoria de Acceso Aleatorio (RAM). En este caso las Memorias de Acceso Aleatorio (RAM) de Tecnología CMOS, son especialmente útiles por su bajo consumo. Existen dos tipos de Memoria de Acceso Aleatorio (RAM):

1.- (RAM) Memorias de Acceso Aleatorio Estáticas: La información se almacena en un biestable, de forma que el contenido se mantiene mientras haya alimentación.

2.- (RAM) Memorias de Acceso Aleatorio Dinámicas: La información se mantiene en forma de carga en la capacidad Puerta-Sustrato de un Transistor MOS.

Esta carga se disipa con el tiempo (del orden de milisegundos), por lo que es necesario un "Refresco" periódico consistente en un ciclo de Lectura/Escritura en cada bit de memoria, realizado de forma paralela con todos los bits de una misma columna a la vez.

La principal desventaja de las memorias dinámicas, es la necesidad de disponer de un circuito de refresco externo, en general complejo. Esta desventaja va desapareciendo al irse desarrollando Circuito Integrado (CI) de memoria dinámica con circuitos de control de refresco incorporado.

Las ventajas de la memoria dinámica, es que permiten una mayor densidad de integración, al precisar menos transistores por célula elemental de memoria, por lo que son más baratas que las Memorias de Acceso Aleatorio (RAM) Estáticas de la misma capacidad y consumen menos potencia.

b). Memoria de Sólo Lectura (ROM).- Las Memorias de Sólo Lectura (ROM), permiten leer a las mismas velocidades de las memorias de Lectura/Escritura, pero restringen la operación de Lectura.

Estrictamente hablando, se intenta que las Memorias de Sólo Lectura (ROM) se escriban sólo una vez, al tiempo de su fabricación.

Sin embargo, existe un tipo de Memoria de Sólo Lectura (ROM) que se puede escribir (Programar) en el campo por el propio usuario. Estas (ROM) Memorias de Sólo Lectura Programables (ó PROM), pueden programarse una vez tan sólo.

Existe aún un tipo de Memoria de Sólo Lectura (ROM) que puede borrarse y reprogramarse tantas veces como se desee. Se le conoce como (ROM) Memoria de Sólo Lectura Programable/Borrable (EPROM), y es decididamente el tipo más versátil de ROM.

Las (EPROM) son en la actualidad muy populares en sistemas de Microprocesadores en los que se usan para almacenar el programa del sistema operativo del Microprocesador. Las Memorias de Sólo Lectura (ROM) se utilizan también en una variedad de operaciones que requieren la consulta de tablas, como es encontrar los valores de funciones trigonométricas.

Una Memoria de Sólo Lectura (ROM) es esencialmente un dispositivo (ó acumulador) de memoria, en el cual se almacena un conjunto fijo de información binaria. La información binaria debe especificarse por el usuario y luego enclavarse en la unidad para formar el patrón de interconexión requerido.

Las Memorias de Sólo Lectura (ROM) vienen con enlaces internos especiales que pueden estar fusionados ó abiertos. La interconexión deseada para una aplicación particular requiere que ciertos enlaces estén fusionados para formar los caminos del circuito necesarios. Una vez que se establezca un patrón para una Memoria de Sólo Lectura(ROM), éste permanecer fijo aunque se haga un corte de corriente y luego se reestablezca.

El bloque de Memoria de Sólo Lectura (ROM) consiste específicamente de " $n$ " líneas de entrada y de " $m$ " líneas de salida. Cada combinación de bits de las variables de entrada se llama una *Dirección*. Cada combinación de bits de salida se denomina *Palabra*.

El número de bits por Palabra es igual al número de líneas de salida " $m$ ". Una Dirección es esencialmente un número Binario que denota uno de los términos mínimos de " $n$ " variables.

Internamente, la Memoria de Sólo Lectura (ROM) es un circuito combinacional con compuertas AND conectadas como decodificador y un número de compuertas OR igual al número de salidas de la unidad.

La Memoria de Sólo Lectura (ROM) es una configuración de dos niveles en forma de suma de términos mínimos. No tiene que ser una configuración AND-OR, pero puede ser cualquier otra posible configuración de términos mínimos de dos niveles.

Las Memorias de Sólo Lectura (ROM) tienen muchas aplicaciones importantes en el diseño de Sistemas de Ordenadores Digitales Su uso para la configuración de circuitos combinacionales complejos es justamente una de esas aplicaciones.

Las necesidades de comunicación en un Sistema de Ordenador aparecen a tres niveles distintos:

1.- Comunicación entre elementos constituyentes de un Circuito Integrado (CI).- Este sistema de comunicación constituye los buses internos, de estructura más ó menos distinta para cada Unidad de Proceso Central (UPC) considerada.

2.- Comunicación entre los distintos subsistemas de el Ordenador, Unidad de Proceso Central (UPC) y Entrada/Salida.- El conjunto de las vías para este tipo de comunicación forman los buses externos, en general de carácter síncrono.

3.- Comunicación con periféricos.- Esta comunicación, es a nivel de Sistema Entrada/Salida con periféricos. El conjunto de líneas de transmisión forman los buses periféricos, en general de carácter asíncrono.

La información desde ó hacia la Unidad de Proceso Central (UPC), y otros subsistemas puede ser de tres tipos: Direcciones, Datos y Control; por lo que funcionalmente se denominan tres tipos de buses en el Ordenador, aunque no estén físicamente siempre separados, ya que pueden estar "multiplexados" en el tiempo sobre líneas comunes. De manera operativa, los buses se pueden clasificar en:

1.- Bus de Direcciones: Son líneas de la Unidad de Proceso Central (UPC) a Memoria y al Sistema de Entrada/Salida, que sirven; para enviar la dirección del elemento seleccionado para una transferencia.

Estas líneas serán siempre gobernadas por la Unidad de Proceso Central (UPC), salvo en el caso de transferencias por Acceso Directo a Memoria (DMA). Pueden compartir total ó parcialmente las líneas físicas con el bus de datos.

2.- Bus de Datos: Son líneas bidireccionales (ó dos buses unidireccionales independientes) para el envío de información (instrucciones y datos), entre subsistemas. Su anchura, en general, es la longitud de palabra del Microprocesador.

3.- Bus de Control: Son líneas de Entrada ó Salida de la Unidad de Proceso Central (UPC), de órdenes ó de información de estado, que permiten coordinar la operación de todo el Sistema. Este bus presenta variaciones notables de un Microprocesador a otro. Existen dos tendencias en cuanto a su realización física:

a). Dar más señales de control elementales, que pueden estar codificadas, y que deben ser interpretadas temporalmente respecto al estado en que se producen en cada ciclo de máquina. Esta estructura se observa principalmente en Microprocesadores de las primeras Generaciones.

b). Dar un conjunto de señales completo y de “multiplexado” a las de Memorias y Periféricos, y para que respondan de una forma pasiva, por lo que no son precisos circuitos especializados para la decodificación de las señales de control.

Un Registro, es un conjunto de elementos de información relacionados entre sí, que se tratan como unidad; ó bién un dispositivo capaz de almacenar una cantidad específica de datos.

Los Registros de un Ordenador Digital pueden ser clasificados del tipo Operacional ó de Almacenamiento de información en sus Flip-Flop's, y además tiene compuertas combinatoriales capaces de realizar tareas de procesamiento de datos.

Un Registro de almacenamiento se usa solamente para guardar temporalmente la información Binaria y ésta no puede ser alterada cuando se transfiere hacia adentro y hacia afuera del registro. Además, un Sistema Digital se define por los registros que contiene y las operaciones que hace con la información Binaria almacenada en ellos, el número de micro-operaciones diferentes de un sistema dado es finito.

La complejidad para el diseño es una secuencia de operaciones para lograr la tarea necesaria de procesamiento de datos. Esta abarca la formulación de las funciones de control ó el desarrollo del microprograma.

Un Sistema Digital puede ser construido por medio de los circuitos MSI, tales como: Registros, Decodificadores, Unidad Lógico-Aritmética (ALU), Memoria y Multiplexores. Algunos Sistemas Digitales son adecuados por el diseño (LSI) con componentes tales como la Unidad de Proceso Central (UPC), el secuenciador de microprograma y la Unidad de Memoria.

Estos sistemas pueden ser microprogramados para adecuarse a especificaciones requeridas y el método del microprograma opera a nivel de transferencia entre registros y debe especificar cada micro-operación en el sistema.

El Sistema de Entrada/Salida permite la comunicación del Ordenador con el mundo exterior. Debido al tipo de aplicaciones en las que son utilizados los Microprocesadores, la capacidad y eficiencia en el tratamiento del Sistema de Entrada/Salida (E/S) es una de las características principales de un Sistema de Ordenador.

Se denomina interfase al Sistema de Arquitectura y Programas ("Hardware-Software", que permite la comunicación con un periférico determinado; es decir, el conjunto de Arquitectura ("Hardware") y Programas ("Software") que se utilizan para establecer la comunicación.

La forma concreta de realizar una interfase, dependerá de las alternativas que se consideren. En principio dentro del balance Arquitectura y Programas ("Hardware-Software"), se deberá potenciar los Paquetes y Programas ("Software") ya que; en general, el incremento en costo de memoria es inferior al incremento de la Arquitectura ("Hardware") preciso para realizar la misma función, además de la mayor flexibilidad que permiten los Programas y Paquetes ("Software").

En otros casos, esta afirmación no estará justificada ya que el costo de programación puede ser decisivo. Por otra parte, las tareas de Entrada/Salida (E/S) pueden consumir excesivo tiempo de máquina, por lo que se puede utilizar circuitería externa, compleja y especializada, a fin de posibilitar la ejecución de estas tareas ú otras de proceso que no se podrían ejecutar si el Microprocesador tuviese que hacerse cargo de toda la gestión y control de las operaciones de transferencia.



Una pastilla de interconexión es un componente (LSI) que provee el enlace de interconexión entre un Microprocesador y un Dispositivo de Entrada/Salida (E/S).

Cuando está en el modo de salida de datos, la interconexión recibe los bits del bus de datos al ritmo y modo de transferencia del Microprocesador, y la transmite a un dispositivo externo al ritmo y modo de transferencia del dispositivo.

La interconexión se comporta de manera similar en el modo de entrada de datos, excepto que la dirección de transferencia está en la dirección opuesta. Una interconexión consiste de un número de registros, lógica de selección y circuitos de control que configuran las transferencias requeridas.

La lógica de interconexión se incluye a menudo dentro de una pastilla de Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) ó de Memoria de Sólo Lectura (ROM), para proporcionar un componente (LSI) que incluya condiciones de memoria e interconexión dentro de un Circuito Integrado (CI).

La mayoría de los componentes (LSI) pueden ser programados para acomodar una variedad de combinaciones de modos de operación.

El Microprocesador por medio de instrucciones de programa, transfiere un byte a un registro de control dentro de la unidad de interconexión. Esta información de control coloca la interconexión en uno de los modos posibles disponibles para un dispositivo particular, al cual está unida.

Cambiando el byte de control es posible cambiar las características de la interconexión. Por esta razón, las unidades de interconexión (LSI) se llaman programables.

Las instrucciones que transfieren la información de control a una interconexión programable son incluidas en un programa de Ordenador, y pueden iniciar la interconexión para un modo particular de operación.

Los Fabricantes de Microprocesadores complementan sus productos con un conjunto de pastillas de interconexión adecuadas para la comunicación entre el Microprocesador y una variedad de Dispositivos de Entrada/Salida (E/S) normalizados.

Los componentes de interconexión se diseñan usualmente para operar con un bus del sistema con Microprocesador particular sin ninguna lógica adicional diferente de la decodificación de direcciones. Hay una variedad de componentes de interconexión de uso comercial y cada uno puede ser clasificado en una de las siguientes cuatro categorías:

1.- Una interconexión periférica en paralelo, transfiere datos entre el Microprocesador y el(los) dispositivo(s) periférico(s).

2.- Una interconexión de comunicación en serie, convierte los datos en paralelo del Microprocesador a datos en serie para la transmisión y convierte los datos en serie entrantes datos en paralelo para ser recibidos por el Microprocesador.

3.- Una interconexión dedicada especial es construida para comunicarse con un dispositivo particular de Entrada/Salida (E/S) ó puede ser programada para operar con un dispositivo particular.

4.- Una interconexión de Acceso Directo de Memoria (DMA), se usa para transferir datos directamente entre un dispositivo externo y la memoria. Los separadores del bus en el Microprocesador, son inhabilitados y pasan al estado de alta impedancia durante la transferencia DMA.

## *VI.2 Funcionamiento General de los Microprocesadores y sus Aplicaciones en los Sistemas Industriales de Producción, Control de Máquinas-Herramienta.*

En la selección de un Microprocesador, dado que el problema está definido; las diferencias más notorias estarán en la Arquitectura.

La aplicación (potencia, tamaño del circuito, etcétera), y los niveles necesarios de funcionamiento exigen casi siempre cierta(s) Arquitectura(s); y no se olvide que la selección de diferentes tipos de Microprocesador afectará en gran medida al tipo de diseño.

Un Microprocesador con una familia de Circuito Integrado (CI) de apoyo compatible representa una tarea de diseño relativamente sencilla en comparación con un Microprocesador de rebanada de bits microprogramado. Debe recordarse esto cada vez que se escoja una Arquitectura en particular.

Los sistemas basados en Microprocesadores ofrecen una gran flexibilidad para adaptar los sistemas de fabricación a la demandada del mercado continuamente cambiante y para optimizar estos sistemas cuando la producción aumenta. Cuando la proliferación de aplicaciones en los últimos años es asombrosa.

Actualmente se ha cubierto un amplio espectro que parece no tener límites, que abarca las Telecomunicaciones, la Industria, Productos de Consumo, el Comercio, la Instrumentación y los Ordenadores.

Dentro de este espectro de aplicaciones se pueden citar sistemas tan variados como el Control de Procesos, Control Numérico, Procesos de Palabras, Controladores de Comunicación, Terminales Inteligentes, Sistemas de Venta, Juegos Electrónicos, Juguetería, Calculadoras de Bolsillo, Instrumentos Autocalibrados, Control de Automóviles, etcétera.

Los Ordenadores han expandido las capacidades de los productos tradicionales y han creado mercados completamente nuevos.

Los Diseñadores de Equipos Industriales prefieren Microprocesadores porque pueden ser adaptados a tareas que anteriormente sólo podían ser resueltas con mini-ordenadores.

Los Diseñadores de Equipos de Comunicaciones son entusiastas de los Microprocesadores porque su flexibilidad les permite resolver los problemas que presentan los cambios continuos en las especificaciones de los MÓDEM y de los Multiplexores.

Los Diseñadores de Instrumentos de Medida están utilizando los Microprocesadores como componentes base para producir una familia de Instrumentos "Inteligentes" que pueden, no sólo medir datos, sino además reaccionar en función de estos datos.

Los Fabricantes de Ordenadores ven también en los Microprocesadores los componentes ideales para interconectarlos a otros Módulos de Tecnología (TTL).

La disponibilidad en el Mercado de Microprocesadores potentes y de bajo costo está empujando la transición hacia una distribución eficiente de la potencia-control. Están apareciendo sistemas jerárquicos de Ordenadores de las Fábricas.

Los Microprocesadores realizan tareas dedicadas bajo el control de los Minis, y estos complejos Sistemas de Minis y Microprocesadores se conectan a grandes Ordenadores Centrales.

Así también, el Microprocesador está haciendo posible que los Fabricantes de Equipos de Control de Procesos se orienten hacia la fabricación de Ordenadores. En el mundo Industrial están influyendo poderosamente en la decisión-dilema (compramos ó hacemos), que se plantea al Diseñador de un nuevo Sistema.

La importancia de los Microprocesadores en la Industria podría resumirse diciendo que en los próximos años que no hayan incorporado Microprocesadores en sus nuevos productos estarán dedicados a una aplicación muy especial ó habrán dejado de ser competitivas en el Mercado

La aplicación del Microprocesador en un Proceso Industrial, es en sí, la Automatización de los Procesos que realizan dentro de la Industria, llevándose a cabo con mayor rapidez y precisión. En la actualidad casi todos los procesos son desarrollados por un Microprocesador, ya que su uso representa grandes ventajas a la Industria como son:

Dentro de los cuatro campos en los que se prevee el mayor consumo de Ordenadores de 32 bits; Automatización Industrial, Aplicaciones Científicas, Automatización de Gestiones y Telecomunicaciones.

Existen unos sectores concretos en los que se implantará rápidamente, de cuatro maneras generalizadas y son:

- 1.- Robótica y Visión Artificial.
- 2.- CAD/CAM/CIM.
- 3.- Sustitución de Ordenadores por Sistemas de Redes Multi-Usuario.
- 4.- Reconocimiento de el Lenguaje Neutral.
- 5.- Centrales Telefónicas Avanzadas.

Los incisos anteriores, se basan en las siguientes características:

- 1.- Rapidez en sus Procesos.
- 2.- Flujo de Información.
- 3.- Precisión en los Cálculos.

Dentro de las aplicaciones de tipo Industrial, más comunes, se pueden destacar las siguientes:

1.- Industria Metalúrgica.- La Compañía Varitel Inc. de California, ha construido sistemas controlados por Microprocesadores para el trabajo de metales (trenes de laminación, grandes prensas y plegadoras de metal).

Hasta ahora, las grandes prensas necesitaban un Control Numérico con un diseño especializado, debido a las grandes diferencias que existen en los tamaños y los tipos de las piezas que éstas máquinas deben producir.

Se estima que si en vez, de hacer el control de éstas por lógica cableada se emplea un Microprocesadores, el tiempo de diseño se puede reducir en un 70%.

Para programar el IMP-16 utilizado por la Compañía Varitel Inc., el Operador ejecuta el mecanizado gobernando los controles manualmente. Dos convertidores A/D (uno lineal y el otro angular) miden los desplazamientos de la herramienta y esta información se graba en una cassetta para editar y recibir los datos de control.

Cuando se ha conseguido que la información almacenada en la cassetta sea adecuada, se transfiere a la Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) del Microprocesador IMP-16. La capacidad de la Memoria de Acceso Aleatoria (RAM) en este caso, es de  $256 \times 16$  bits para cubrir ampliamente la precisión de 12 bits que tienen los convertidores A/D.

En prensas ó máquinas complicadas que requieren un gran número de Entradas y Salidas, existe el problema de la velocidad, en estos casos se están empleando Microprocesadores monolíticos bipolares de 16 bits, con el tiempo de ejecución a las microinstrucciones de 150 nanosegundos.

2- Control Numérico de Máquinas-Herramienta.- Los Microprocesadores presentan un excelente potencial para integrarse en Máquinas-Herramienta Autónomas.

Reducen considerablemente el número de circuitos necesarios para el control y dan una flexibilidad que hasta ahora tan sólo se conseguía con los miniordenadores.

Se están empleando con éxito en las máquinas de control, punto a punto para la perforación de placas de circuito impreso, inserción de componentes y alambrado de paneles.

El costo de la unidad de control completa es de 240 000 pesetas, incluyendo el control de motores para la translación en dos ejes X-Y y la fuente de alimentación programables. Este costo es inferior al precio del controlador más barato realizado con lógica cableada.

3.- Procesos de Soldadura.- En procesos de soldadura frecuentemente aparece un alto número de fallos, y la tasa de rechazo elevada. Debido a esto, la Automatización de el Control de un Proceso de soldadura es especialmente importante.

Cuando no se dispone de Control Automático, se observan de una pieza a otra, grandes variaciones de Calidad en la soldadura. Por otra parte, los Operarios, al aplicar su criterio individual en el ajuste de los parámetros de el Proceso, influyen en que estas diferencias sean imprevisibles y posteriormente, no queda registro de una información que permita corregir las diferencias.

El Microprocesador Intel 8080 se ha utilizado para Automatizar el Control de Máquinas de Soldar en Talleres. Inicialmente, el proceso de control de hizo en malla abierta, pero no se consiguió asegurar una Calidad uniforme.

El Microprocesador mide la temperatura con un sensor ó termopar que no está en contacto con la pieza a soldar. Regula la temperatura de fusión por control de un motor paso a paso, que a su vez regula la potencia eléctrica en la bobina de calentamiento por inducción.

En este proceso se consigue realizar una soldadura en forma de anillo entre dos piezas. Una de ellas es una barra cilíndrica que se coloca en el orificio de la otra pieza a soldar. En la juntura se colocan anillos de compuesto soldante, se posiciona una bobina de inducción que calienta las piezas hasta la temperatura de fusión, todos estos dispositivos están encerrados dentro de una cámara de vacío.



El control del proceso requiere necesariamente medir la temperatura en la junta a soldar, la temperatura de la junta se mide con un error de 5°C, mediante la utilización de dos termopares, lo cual permite, bajo el control del Microprocesador mantener la temperatura en la junta dentro de un error de 8°C y generar el gradiente temperatura-tiempo más apropiado para que la soldadura se efectúe en condiciones óptimas.

La razón primaria para utilizar un Microprocesador se han reducido sustancialmente, con un miniordenador PDP-11, provisto de un macro-ensamblador y un simulador especial que facilita la puesta a punto y optimización de los programas de control.

La estrategia tecnológica dentro de esta área de aplicaciones es la siguiente: Se utilizan Microprocesadores dedicados a controlar una cierta función específica equipándolos con circuitos de intercomunicación.

Momentáneamente estos Microprocesadores trabajan relativamente de interconexión, posteriormente el Sistema evoluciona para cubrir aplicaciones muy complejas por integración ó interconexión de los diferentes Microprocesadores.

Este concepto de Control Distribuido ó Control Jerárquico, permite que un sistema evolucione para cubrir nuevas aplicaciones sin cambiar los equipos.

Por tanto, las aplicaciones de los Microprocesadores y de los micro-ordenadores son, muy numerosas. En función de una aplicación dada la elección del Microprocesador se efectúa según consideraciones que son de tres órdenes:

**1.- Consideraciones de Orden Arquitectónico.**

- a). Longitud de palabra de dato(s).
- b). Peticiones de interrupción.
- c). Acceso directo a la memoria (DMA).
- d). Compatibilidad tecnológica.

**2.- Consideraciones de Orden Material.**

- a). Número de Circuitos Integrados (CI).
- b). Número de tensiones de alimentación.
- c). Disipación de energía.

**3.- Consideraciones a Nivel de Programación.**

- a). Número de instrucciones.
- b). Rapidez de ejecución.
- c). Modos de direccionamiento.
- d). Número de registros de trabajo.

Como se pudo comprobar, las aplicaciones en el Sector Industrial, son muy numerosas, así mismo la implantación de Microprocesadores a nivel de sensores en Procesos Industriales, permite realizar un tratamiento jerarquizado de la conducción de este proceso, y por esto mismo, mejorar las prestaciones del sistema.

Por un lado, a nivel de la rapidez de tratamiento del conjunto de los parámetros ya que estos serán procesados en paralelo. Por otra parte, a nivel de la fiabilidad del Sistema, un fallo a nivel de un sensor activo ó de miniordenador de control general, no arrastra la parada del funcionamiento de todos los sectores de el Proceso.

Otras aplicaciones que se le pueden dar a los Microprocesadores son:

- 1.- La Sustitución de Lógica Aleatoria.
- 2.- La Sustitución de (LSI) Diseñada Especialmente.
- 3.- La Sustitución de Miniordenadores.
- 4.- Nuevas Aplicaciones no Viables Económicamente con Tecnología Anterior.

### *VI.3.- Introducción a el Control Automático y su Aplicación a el Control Distribuido.*

Ya se ha dicho anteriormente lo que se entiende por un Controlador Lógico Programable (*PLC*) ó Autómata Programable; es toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico ó electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: Series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etcétera.

El Controlador Lógico Programable (*PLC*), por sus especiales características de diseño, tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución de la Arquitectura de Sistemas ("*Hardware*") y de los Programas y Paquetes de Aplicación ("*Software*"), amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se dá fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etcétera; por lo tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo de transformaciones industriales, control de instalaciones, etcétera.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación ó alteración de los mismos, etcétera; hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio Reducido.
- Procesos de Producción Periódicamente Cambiantes.
- Procesos Secuenciales.
- Maquinaria de Procesos Variables.
- Instalaciones de Procesos Complejos y Amplios.
- Verificación de Programación Centralizada de las Partes de el Proceso.

A continuación de enumeran ejemplos de aplicación general, que pueden ser los siguientes:

*1.- De Maniobra de Máquinas:*

- a). Maquinaria industrial del mueble y madera.
- b). Maquinaria en procesos de grava, arena y cemento.
- c). Maquinaria en la industria del plástico.
- d). Máquinas-herramienta complejas.

- e). Maquinaria en procesos textiles y de confección.
- f). Maquinaria de ensamblaje.
- g). Máquinas de transferencia.

*2.- Maniobra de Instalaciones:*

- a). Instalaciones de aire acondicionado, calefacción, etc.
- b). Instalaciones de seguridad.
- c). Instalaciones de frío industrial.
- d). Instalaciones de almacenamiento y trasvase de cereales.
- e). Instalaciones en plantas embotelladoras.
- f). Instalaciones en la industria de automoción.
- g). Instalaciones de tratamientos térmicos.
- h). Instalaciones de plantas depuradoras de residuos.
- i). Instalaciones de cerámica.

### **3.- Señalizaciones y Control:**

- a). Verificación de programas.**
- b). Señalización del estado de procesos.**

A continuación, se analizarán las ventajas e inconvenientes del Controlador Lógico Programable (PLC), y son:

Las condiciones favorables que presenta un Controlador Lógico Programable (PLC) son las siguientes:

*1.- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:*

- a). No es necesario dibujar el esquema de contactos.**
- b). No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.**
- c). La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etcétera.**

*2.- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado, ni añadir aparatos:*

*3.- Mínimo espacio de ocupación.*

*4.- Menor costo de mano de obra de la instalación.*

5.- *Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos Autómatas Programables, pueden detectar e indicar averías.*

6.- *Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo Controlador Lógico Programable (PLC).*

7.- *Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.*

8.- *Si por alguna razón, la máquina queda fuera de servicio, el Controlador Lógico Programable (PLC) sigue siendo útil para otra máquina ó sistema de producción.*

Los inconvenientes del Controlador Lógico Programable (PLC), se puede mencionar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en ese sentido.

Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede ser ó no un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el Controlador Lógico Programable (PLC) cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el Microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como en sus limitaciones.

Por lo tanto, aunque el costo inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidir por uno ú otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurar una decisión acertada.



#### *VI.4.- Estructura Externa.*

La estructura externa ó configuración externa de un Autómata Programable (PLC); se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques ó elementos en que está dividido, etcétera.

Desde su nacimiento y hasta nuestros días han sido varias las estructuras y configuraciones que han salido al mercado condicionadas no sólo por el fabricante del mismo, sino por la tendencia existente en el área al que perteneciese: Americana ó Europea. Actualmente, son dos las estructuras más significativas que existen en el mercado:

a). Estructura compacta.- Este tipo de Controlador Lógico Programable (PLC), se distingue por presentar en un sólo bloque todos sus elementos, esto es, Fuente de Alimentación, Microprocesador, Memorias, Dispositivos de Entrada/Salida, etcétera.

En cuanto a su unidad de programación, existen tres versiones: Unidad fija ó enchufable directamente en el Controlador Lógico Programable (PLC); enchufable mediante cable y conector, ó la posibilidad de ambas conexiones. Si la unidad de programación es sustituida por un Ordenador, se encuentra en la posibilidad de que la conexión del mismo ser mediante cable y conector.

El montaje del Controlador Lógico Programable (PLC) al armario que ha de contenerlo se realiza por cualquiera de los sistemas conocidos: Carril DIN, placa perforada, etcétera.

b). Estructura modular.- La estructura de este tipo de Controlador Lógico Programable (*PLC*) se divide en módulos ó partes del mismo que realizan funciones específicas. Aquí cabe hacer dos divisiones para distinguir entre las que se denominan Americana y Europea:

- Estructura Americana.- Se caracteriza por separar las Entrada/Salida del resto del Controlador Lógico Programable (*PLC*), de tal forma que en un bloque compacto están reunidos los Microprocesadores, Memoria de Usuario ó de Programa y Fuente de Alimentación, y separadamente las unidades de Entrada/Salida en los bloques ó tarjetas necesarias.

- Estructura Europea.- Su característica principal es la de que existe un módulo para cada función: Fuente de poder, Microprocesador, Dispositivos de Entrada/Salida, etcétera.

La unidad de programación se une mediante cable y conector. La sujeción de los mismos se hace bien sobre carril DIN ó placa perforada; bien sobre "RACK", en donde va alojado el "BUS" externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

### VI.5.- Estructura ó Arquitectura Interna.

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) se componen esencialmente de tres bloques, tal como lo presenta la Fig. VI.2.

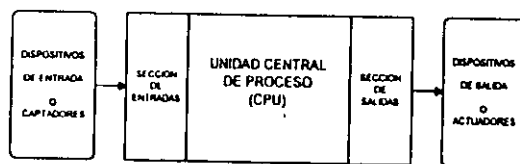


Fig. VI.2.- Autómata Programable Básico (PLC).

Dentro del bloque de análisis anterior, se deben especificar los siguientes elementos que lo configuran:

a). La Sección de Entradas.- Mediante una interfase, se adapta y codifica de forma comprensible por el Ordenador, las señales procedentes de los dispositivos de entrada ó captadores; esto es, pulsadores, finales de carrera, sensores, etcétera; también tiene una misión de protección de los circuitos electrónicos internos del Controlador Lógico Programable (PLC), realizando una separación eléctrica entre éstos y los captadores.

b). La Unidad Central de Proceso (CPU).- Es la unidad de inteligencia del sistema, ya que mediante la interpretación de las instrucciones del programa de usuario y en función de los valores de las entradas, activa las salidas deseadas.

c). La Sección de Salidas.- Mediante la interfase trabaja de forma inversa a la de entradas; es decir, decodifica las señales procedentes de el Ordenador, las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida ó actuadores, como lámparas, relevadores (*Relés*), contactores, arrancadores, electroválvulas, etcétera; aquí también existen unas interfases de adaptación a las salidas y de protección de circuitos internos.

Con las partes descritas, se puede decir que se tiene un Controlador Lógico Programable (*PLC*); pero para que sea operativo son necesarios otros elementos tales como:

- La unidad de alimentación.
- La unidad ó consola de programación.
- Los dispositivos periféricos.
- Interfases.

En la Fig. VI.3, se han incluido de manera explícita todos estos elementos.

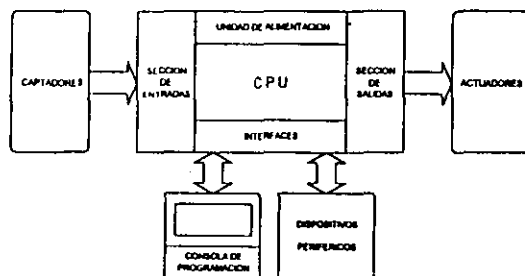


Fig. VI.3.- Autómata Programable (PLC), con sus Periféricos y Unidad de Alimentación.

d). La Unidad de Alimentación.- Adapta la tensión de red de 127 V y 60 Hz (en América) ó de 220 V y 50 Hz (en Europa); a la de funcionamiento de los circuitos electrónicos internos del Controlador Lógico Programable (PLC), así como a los dispositivos de entrada: 24 V por ejemplo.

cc

e). La Unidad de Programación.- Se ha dicho que la Unidad de Procesamiento Central (UPC) elabora las salidas en función de los estados de las entradas y de las Micro-instrucciones del programa de usuario; pero, *¿cómo accede el usuario al interior de la Unidad de Procesamiento Central (UPC) para cargar en memoria su programa?*

La respuesta es mediante la unidad de programación. En los Controladores Lógicos Programables (PLC) más sencillos es un teclado con un "Display" similar a una calculadora que cuando se quiere cargar un programa en la Unidad de Procesamiento Central (UPC) se acopla a ésta mediante un cable y un conector, ó bien mediante un enchufe directo a la UPC.

f). Periféricos ó Equipos Periféricos.- Son aquellos elementos auxiliares, físicamente independientes del Controlador Lógico Programable (PLC), que se unen al mismo para realizar su función específica y que amplían su campo de aplicación ó facilitan su uso. Como tales no intervienen directamente ni en la elaboración, ni en la ejecución del programa.

g). Interfases.- Son aquellos circuitos ó dispositivos electrónicos que permiten la conexión a la Unidad de Procesamiento Central (UPC) de los elementos periféricos descritos.

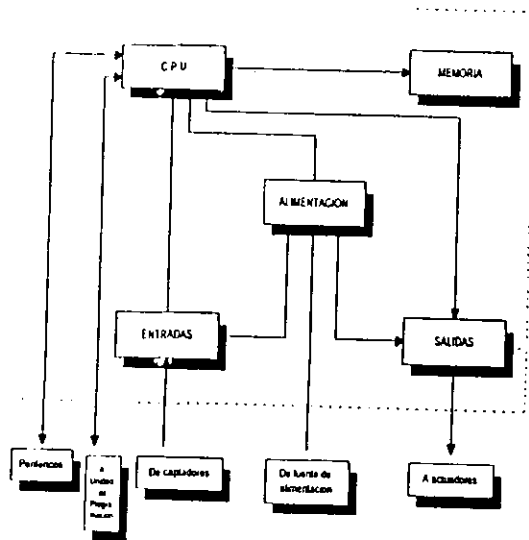


Fig. VI.4.- Esquema de Bloques Simplificado de Interconexión de un Controlador Lógico Programable (PLC).

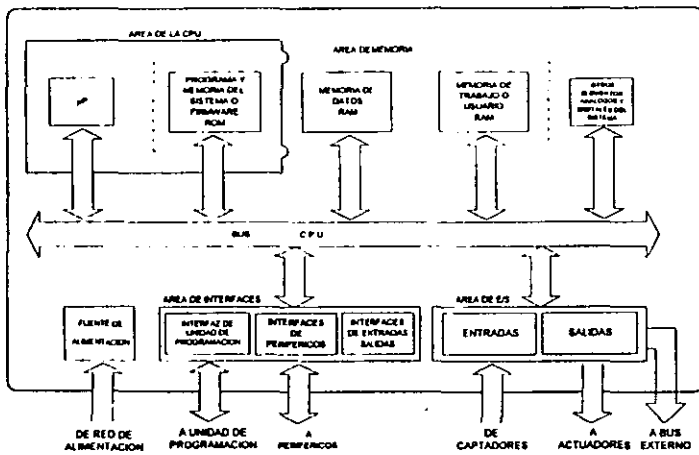


Fig. VI.5.- Arquitectura de un Controlador Lógico Programable (PLC).



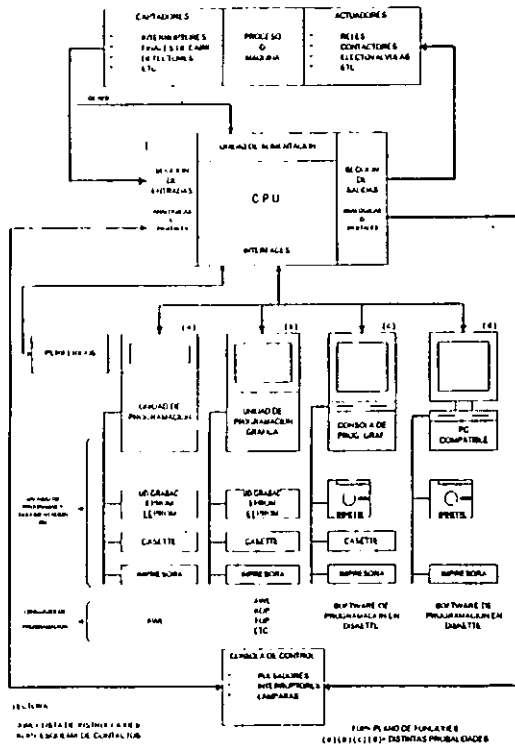


Fig. VI.6.- Estructura Completa de un Controlador Lógico Programable (PLC) y su Entorno.

## **VI.6.- Robótica.**

La Robótica es una ciencia aplicada que ha sido considerada como una combinación de tecnología de las Máquinas-Herramienta y de la informática. Comprende campos tan aparentemente diferentes como son diseño de Máquinas, Teoría de Control, Micro-Electrónica, Programación de Ordenadores, Inteligencia Artificial, Factores Humanos y Teoría de la Producción.

El sector de investigación y desarrollo está procediendo en todas estas áreas para mejorar la forma en que los robots trabajan y *"piensan"*.

Es probable que los esfuerzos de investigación den lugar a futuros Robots que hagan que las máquinas actuales parezcan bastante primitivas. Los avances en tecnología ampliarán la gama de las aplicaciones industriales de los Robots.

Los campos técnicos anteriormente citados son muy interdependientes en la manera en que se utilizan en Robótica. Para poder apreciar la Tecnología de la Robótica y su Programación debe conocerse la forma en que los Robots se aplican en la industria.

Para comprender el empleo de sensores en Robótica hay que estar familiarizado con la forma en que se programan los Robots. Para comprender el uso de un efector final debe conocerse que una función fundamental de un robot es manipular piezas y herramientas.

Para describir la Tecnología de un Robot, se tiene que definir una diversidad de características técnicas relativas a la forma en que está construido el Robot, y a la manera en que opera. Los Robots trabajan con sensores, herramientas y pinzas, y deberán definirse esos términos. La programación de el Robot, se realiza de varias formas. Los Robots se utilizan para ejecutar trabajos en la industria, de diversa índole y aplicación.

La Anatomía de el Robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. La mayoría de los Robots utilizados en las fábricas actuales están montados sobre una base que está sujeta al suelo. El cuerpo está unido a la base y el conjunto del brazo está unido al cuerpo.

Al final del brazo está la muñeca. La muñeca está constituida por varios componentes que le permiten orientarse en una diversidad de posiciones. Los movimientos relativos entre los diversos componentes del cuerpo, brazo y muñeca son proporcionados por una serie de articulaciones.

Estos movimientos de las articulaciones suelen implicar deslizamientos ó giros. El cuerpo, el brazo y el conjunto de la muñeca se denomina, a veces, el manipulador.

Unida a la muñeca de el Robot va una mano. El nombre técnico aplicado a la mano es "*efector final*". El efector final, no se considera como parte de la Anatomía del Robot.

Las articulaciones del cuerpo y del brazo del manipulador se emplean para situar el efector final y las articulaciones de la muñeca del manipulador se utilizan para orientar dicho efector final.

Los Robots Industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo. El trabajo se realiza permitiendo que el Robot desplace su cuerpo, brazo y muñeca mediante una serie de movimientos y posiciones. Unido a la muñeca está el efector final, que se utiliza por el Robot para realizar una tarea específica.

Los movimientos del Robot pueden dividirse en dos categorías generales: Movimientos de brazo y cuerpo, y movimientos de la muñeca. Los movimientos de articulaciones individuales asociados con estas dos categorías se denomina, a veces, por el término "*grado de libertad*", y un Robot típico industrial, está dotado de cuatro a seis grados de libertad.

Los movimientos del Robot se realizan por medio de articulaciones accionadas. Tres articulaciones suelen estar asociadas con la acción del brazo y del cuerpo, y dos ó tres articulaciones se suelen emplear para accionar la muñeca.

Para la conexión de las diversas articulaciones del manipulador se emplean unos elementos rígidos denominados uniones. En cualquier cadena de unión-articulación-unión, se llama unión de entrada al eslabón que está más próximo a la base en la cadena.

La unión de salida es la que se desplaza con respecto a la entrada. Las articulaciones utilizadas en el diseño de Robots Industriales, suelen implicar un movimiento relativo de las uniones contiguas, movimiento que es lineal ó rotacional.

Las articulaciones lineales implican un movimiento deslizante ó de translación de las uniones de conexión. Este movimiento puede conseguirse de varias formas (por ejemplo, mediante un pistón, un mecanismo telescópico y el movimiento relativo a lo largo de un carril ó vía lineal).

Las articulaciones del brazo y del cuerpo están diseñadas para permitir al robot desplazar su efector final a una posición deseada dentro de los límites del tamaño de el Robot, y de los movimientos de las articulaciones. Para Robots de configuración polar, cilíndrica ó de brazo articulado, los tres grados de libertad asociados con los movimientos del brazo y del cuerpo son:

1.- Transversal vertical.- Es la capacidad para desplazar la muñeca hacia arriba ó abajo para proporcionar la postura vertical deseada.

2.- Transversal radial.- Implica la extensión ó retracción (movimiento hacia adentro ó afuera) del brazo desde el centro vertical del Robot.

3.- Transversal rotacional.- Es la rotación del brazo alrededor del eje vertical.

### *VI.6.1.- Cuatro Tipos de Controles de Robot.*

Los Robots industriales disponibles en el mercado pueden clasificarse en cuatro categorías, según sus sistemas de control. Las cuatro categorías son:

- 1.- Robot de Secuencia Limitada.
- 2.- Robots de Reproducción con Control Punto a Punto.
- 3.- Robot de Reproducción con Control Recorrido Continuo.
- 4.- Robots Inteligentes.

De las cuatro categorías, los robots de secuencia limitada representan el control de nivel más bajo, y los Robots inteligentes el más complejo.

Los Robots de secuencia limitada no utilizan servo-control para indicar las posiciones relativas de las articulaciones. En cambio, se controlan por el posicionamiento de los interruptores de fin de carrera y/o topes mecánicos para establecer los puntos finales de desplazamiento para cada una de sus articulaciones.

El establecimiento de las posiciones y las secuencias de estos topes implica una puesta a punto mecánica del manipulador en lugar de una Programación de el Robot en el sentido habitual del término. Con este método de control, las articulaciones individuales sólo pueden desplazarse a sus límites de desplazamientos extremos. Esto tiene el efecto de limitar severamente el número de puntos distintos que pueden especificarse en un programa para estos Robots.

La secuencia en la que se reproduce el ciclo de movimiento se define mediante un conmutador paso a paso, una placa de clavijas "*pegboard*", ú otro dispositivo de secuenciamiento. Este dispositivo que constituye el controlador de el Robot, señala cada uno de los actuadores particulares para que operen en la sucesión adecuada.

No suele existir ninguna realimentación asociada con un Robot de secuencia limitada para indicar que se alcanzó la posición deseada.

Cualquiera de estos tres sistemas de impulsión puede utilizarse con este tipo de sistema de control; sin embargo, la impulsión neumática parece ser el tipo utilizado con mayor frecuencia. Las aplicaciones para este tipo de robot suelen implicar movimientos simples, tales como operaciones de "*coger y situar*".

Los Robots de reproducción utilizan una unidad de control más compleja, en la que una serie de posiciones ó movimientos son "*enseñados*" al Robot, registrados en memoria y luego repetidos por el Robot bajo su propio control. El término "*reproducción*" es descriptivo de este modo operativo general.

El procedimiento de enseñar y registrar en memoria, se conoce como la Programación de el Robot. Los Robots de reproducción suelen tener alguna forma de servo-control para asegurar que las posiciones conseguidas por el Robot son las posiciones que se le “enseñaron”.

Los Robots de reproducción pueden clasificarse en dos categorías: “Robot Punto a Punto (PTP)” y “Robot de Trayectoria Continua (CP)”. Los Robots punto a punto son capaces de realizar ciclos de movimiento que consisten en una serie de localizaciones de puntos deseados y acciones afines.

A el Robot se le enseña cada punto, y estos puntos se registran en la unidad de control de el Robot. Durante la reproducción, el Robot se controla para desplazarse desde un punto a otro en la secuencia adecuada. Los Robots punto a punto, no controlan la trayectoria tomada por el Robot para pasar de un punto al siguiente.

Si el programador quiere ejercer una cantidad limitada de control sobre la trayectoria seguida, debe realizarlo mediante la programación de una serie de puntos a lo largo de la trayectoria deseada. El control de la secuencia de posiciones es bastante apropiado para muchas clases de aplicaciones, incluyendo las máquinas de carga y descarga, y la soldadura por puntos.

Los Robots de trayectoria continua son capaces de realizar ciclos de movimiento, en los que se controla la trayectoria seguida por el Robot. Esto suele realizarse efectuando el desplazamiento de el Robot a través de una serie de puntos próximos, que describen la trayectoria deseada.

Los puntos individuales se definen por la Unidad de Control y no por el programador. El movimiento en línea recta es una forma común de control de trayectoria continua para los Robots Industriales.



El Programador especifica el punto inicial y el punto final de la trayectoria, y la unidad de control calcula la secuencia de puntos individuales que permiten a el Robot seguir una trayectoria de línea recta. Algunos Robots tienen capacidad para seguir una trayectoria curva suave, definida por un programador que desplaza manualmente el brazo a través del ciclo de movimiento deseado.

Para conseguir un control de trayectoria continua más allá de una extensión limitada se exige que la unidad de control sea capaz de almacenar un gran número de posiciones de puntos individuales que definan la trayectoria curva compuesta.

Actualmente, esto implica el empleo de un Ordenador Digital (se suele utilizar un Microprocesador como Unidad Central de Proceso para el Ordenador) como Unidad de Control de el Robot. El control se requiere para algunos tipos de aplicaciones industriales, tales como revestimiento por pulverización y soldadura por arco.

Los Robots Inteligentes constituyen una clase cada vez más numerosa de los Robots Industriales, y capacidad no sólo para reproducir un ciclo de movimiento programado, sino para interactuar con su entorno de una manera que parece inteligente. Invariablemente, el controlador consiste en un Ordenador Digital ó dispositivo similar.

Los Robots Inteligentes pueden modificar su ciclo programado en respuesta a las condiciones particulares que se produzcan en el lugar de trabajo. Pueden tomar decisiones lógicas basadas en los datos del sensor recibidos desde la operación. Los Robots de esta clase tienen capacidad para comunicarse, durante el ciclo de trabajo, con los operadores humanos ó con sistemas basados en Ordenador.

Los Robots Inteligentes se suelen programar utilizando un Lenguaje similar al Inglés, y un Lenguaje Simbólico no muy diferente a un Lenguaje de Programación de Ordenador.

En realidad, las clases de aplicaciones que se realizan por Robots Inteligentes se basan en el empleo de un Lenguaje de Alto Nivel para realizar las actividades complejas que pueden ser ejecutadas por estos Robots. Aplicaciones típicas de los Robots Inteligentes son las tareas de montaje y las operaciones de soldadura por arco.

### *VI.6.2.- Control Coordinado de Fuerza y Posición.*

Una característica de el Robot que está relacionada con esta exposición, es el control coordinado de fuerza y posición. Dicho control del manipulador de el Robot se refiere al desplazamiento del extremo de la muñeca en respuesta a una fuerza ó torsión que se ejerza sobre él.

Un valor alto de esta característica significa que la muñeca se desplaza en una gran magnitud como respuesta a una fuerza relativamente pequeña. A veces se utiliza el término "elástico" para describir un Robot con un alto valor de esta característica. Si tiene un valor bajo significa que el manipulador es relativamente rígido y no se desplaza en una magnitud significativa.

El control coordinado de fuerza y posición del manipulador de un Robot es una característica direccional. Es decir, ser mayor en determinadas direcciones que en otras, debido a la construcción mecánica del brazo.

Se trata de una característica importante puesto que reduce la precisión de movimiento del robot bajo carga. Si el Robot está manipulando una carga pesada, el peso de la carga hará que se desvíe el brazo de el Robot.

Si el Robot está presionando una herramienta contra una pieza de trabajo, la fuerza de reacción de la pieza puede producir una desviación del manipulador.

Si la Programación de el Robot para la situación final en su efector ha sido hecha en condición de descarga, si la exactitud de la posición es importante para la aplicación, cuando trabaje en condición de carga puede ver degradado su rendimiento debido precisamente a esa característica.

## *VI.7.- Clasificación de Sistemas.*

Con el paso del tiempo el Hombre ha desarrollado y utilizado diversos tipos de Sistemas; el surgimiento de ellos ha sido en respuesta a los problemas y necesidades que han aquejado a el Ser Humano a través de su existencia.

Cuando esto ha ocurrido, se ha tenido que modificar a los Sistemas existentes, ó crear Sistemas nuevos. Generalmente, la mayoría de los Sistemas que dan solución completa a una necesidad no utilizan un sólo tipo de componentes, y si una mezcla de ellos.

Las características presentadas por un Sistema hacen posible su clasificación. Tal cual se mencionó, un Sistema al ser clasificado puede quedar incluido en más de un conjunto de Sistemas. Por ejemplo; para nuestro uso sólo nos interesa ubicar a un Sistema bajo dos aspectos, primero de acuerdo al tipo de componentes que lo conforman y segundo por el grado de control que presenta.

**Un Sistema Electrónico Digital.-** Es un conjunto de Dispositivos Electrónicos que en forma individual realizan funciones digitales y que interconectados procesan información codificación en forma discreta.

Los primeros Sistemas desarrollados fueron manuales, su principal característica es la intervención de el Ser Humano para llevar a cabo un Proceso, él es quien controla la forma de su operación. Un Sistema semiautomático distribuye su control externa e internamente, el primero corresponde a el Hombre, el segundo al mismo Sistema. Un Sistema Automático es aquel en que no interviene la mano del hombre para desarrollar el Proceso al cual fue destinado.

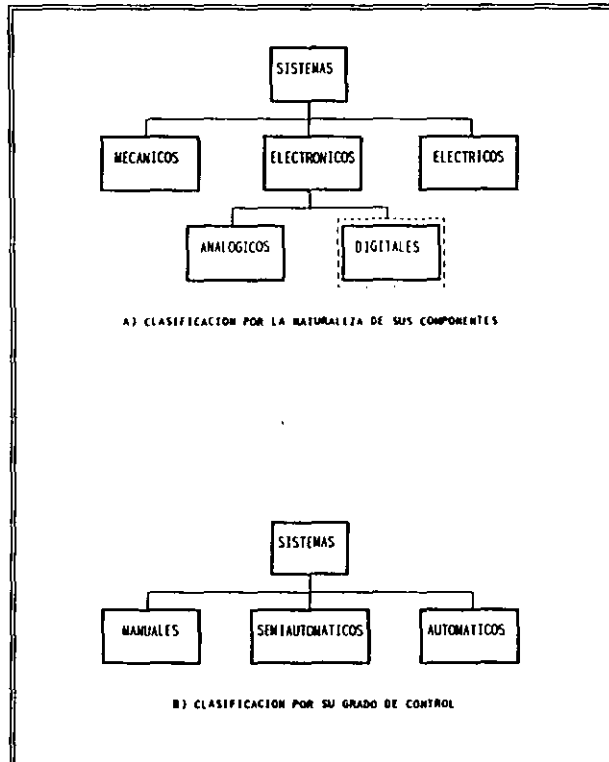


Fig. VI.7.- Clasificación de Sistemas.

### *VI.8.- Características de un Sistema Automático.*

- a).- La realización de el Proceso ejecutado por el Sistema no requiere en lo absoluto la intervención de el Ser Humano.
- b).- Su comportamiento está basado en un ciclo realimentado; es decir, la forma de operación actual determina su operación siguiente.
- c).- Posee al menos un subsistema que ejerce control sobre los demás denominado: "Controlador de el Sistema".

## ***VI.9.- Definición y Características de un Controlador.***

**Controlador.-** Es un conjunto de Dispositivos integrantes de un subsistema que dirige el comportamiento general de el Sistema al cual pertenece. El Controlador posee características que lo diferencian de los demás subsistemas:

a).- Un subsistema realiza una ó varias acciones como respuesta a uno ó varios estímulos ejercidos por él. Para una misma serie de estímulos siempre responderá de la misma forma. Un Controlador ante un mismo estímulo puede generar diferentes respuestas, las cuales estarán en función de su comportamiento pasado.

b).- Un subsistema por definición interactúa con los demás subsistemas, directa ó indirectamente. En la forma directa no existe un control explícito en la acción ejercida por un subsistema sobre otro. En la forma indirecta, el control es quien decide cómo afecta la acción de un subsistema a otro.

Supóngase que el subsistema "A" es un interruptor de encendido y el subsistema "B" corresponde a un subsistema de riego para un jardín. En la acción directa el jardín será regado cada vez que el interruptor sea accionado.

En la acción indirecta se podría intercalar un controlador que decida en base a la humedad de la tierra si es conveniente regar el jardín, lo cual evitará encharcamientos y deterioro del mismo.



En este sencillo ejemplo, el subsistema "A" no ejerce la acción simplemente informa al controlador la situación ó estado en que se encuentra y éste es quien decide la acción a ejercer.

c).- El Controlador debe saber como está operando cada subsistema, por medio de las señales recibidas, y así determinar cómo operará a continuación, por medio de las señales emitidas.

Para que un Sistema opere adecuadamente requiere que su subsistema de control cumpla con varios requisitos:

1.- Confiabilidad.- El Controlador debe ser capaz de decidir en todo momento la acción que tomará cada uno de los subsistemas para que en conjunto operen adecuadamente.

2.- Rapidez.- Debe tomar decisiones rápidas para que el Sistema opere eficientemente.

3.- Estabilidad.- El Sistema debe operar correctamente bajo una diversidad de ambientes diferentes ó específicamente al que haya sido destinado.

4.- Precisión.- Sus acciones deben estar en perfecta sincronía a fin de evitar ejecuciones a destiempo.

Los Sistemas Digitales son los que mejor cubren estos requisitos, motivo por el cual son los más utilizados. En la actualidad, aunque los Sistemas utilizan todo tipo de componentes existe la tendencia a diseñar el Controlador mediante elementos electrónicos digitales.

De este punto en adelante se concentrará la atención exclusivamente en los Controladores Digitales. Obviamente como su nombre lo indica, sus componentes y modo de operación tiene sus bases en la Teoría de la Electrónica Digital.

El desarrollo de un Sistema dependiendo de su complejidad es un Proceso bastante extenso, cada una de sus bases exige la dedicación y esfuerzo de una buena cantidad de Personal y de tiempo.

Indudablemente, todas las fases son importantes; sin embargo, y sin menospreciar a ninguna, el diseño del controlador de el Sistema es una parte vital, por ser aquí donde se decide la forma precisa en que operará todo el Sistema, si este diseño se realiza inadecuadamente el Sistema será inutilizable, se podría decir que el Controlador es a el Sistema como el cerebro al cuerpo Humano.

La fase de diseño y desarrollo del controlador exige también una serie de procedimientos. La estructura presentada en la Fig. VI.8, es general para todos los casos. Uno de los procedimientos se refiere a la elección de la metodología deseada para el diseño del controlador, esto es porque existe una amplia variedad de controladores, caracterizados por los elementos que la componen.

Además un subsistema de control puede clasificarse como microcontrolador, controlador ó macrocontrolador, tomando en cuenta el número de estados que puede adoptar.

Aunque en su aspecto básico la esencia de los controladores es la misma, se enfocará el estudio a microcontroladores digitales, entendiendo como tal a un conjunto de elementos electrónicos digitales interconectados que tienen por función dirigir el comportamiento de un Sistema en todo momento, mediante la adopción de una serie de estados. Esta serie de estados será perfectamente definida y limitada atendiendo a su carácter de microcontrolador.

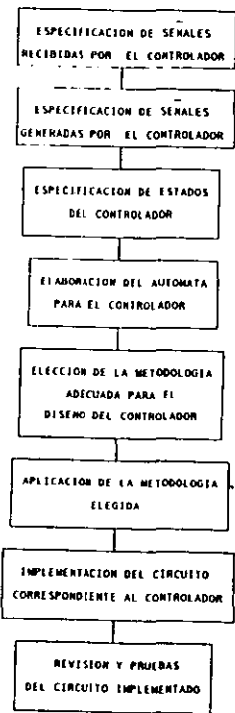


Fig. VI.8.- Fases para el Desarrollo de un Controlador.

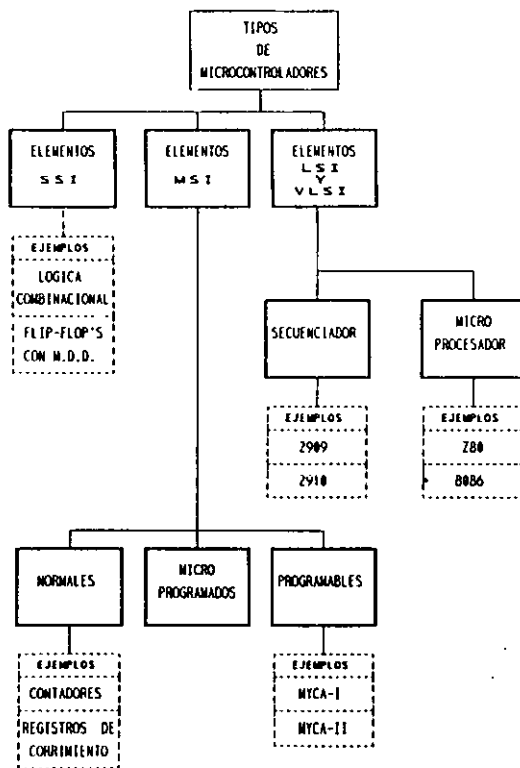


Fig. VI.9.- Clasificación de Microcontroladores por sus Componentes.

## *VI.10.- Tipos de Microcontroladores.*

A un microcontrolador se le puede clasificar de acuerdo al tipo de integración de sus componentes en SSI (Integración en Pequeña Escala), MSI (Integración a Mediana Escala) ó LSI (Integración a Gran Escala). El esquema de la Fig. VI.9 proporciona por medio de un Organigrama los tipos de microcontroladores que se pueden encontrar. Los recuadros punteados indican algunos ejemplos para cada tipo.

### *VI.10.1.- Microcontroladores SSI.*

Para la implantación de estos controladores se puede emplear única y exclusivamente elementos SSI ó bien una combinación de SSI ó MSI. Su clasificación bajo esta categoría se fundamenta en que su elemento de memoria está constituido por Flip-Flop's, los cuales son capaces de almacenar una condición ó estado y turnar a otro de manera síncrona a partir del actual.

En la Fig. VI.10 los decodificadores de entrada y de estados deben ser implantados mediante el uso exclusivo de compuertas, este será un controlador totalmente SSI (Integración en Pequeña Escala). Una implantación alterna lo constituye la Fig. VI.11 donde estos bloques son reemplazados por un conjunto de multiplexores a la entrada y un decodificador MSI (Integración a Mediana Escala) a la salida.

Aquí se requiere un bloque adicional, denominado "Lógica Reducida" que incluye el uso de compuertas para dirigir a los Multiplexores los términos apropiados. La funcionalidad de ambos tipos de microcontroladores es similar, la diferencia radica en su implantación.

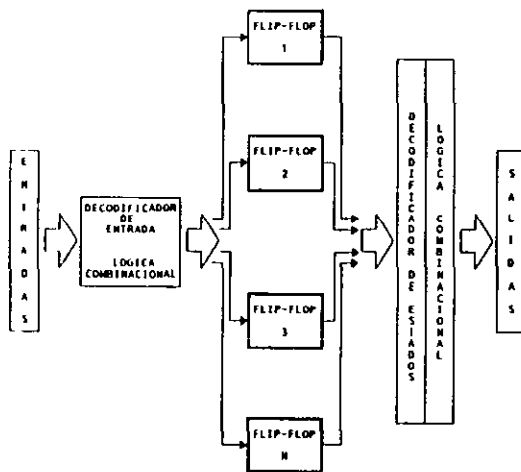


Fig. VI.10.- Arquitectura Exclusivamente SSI.

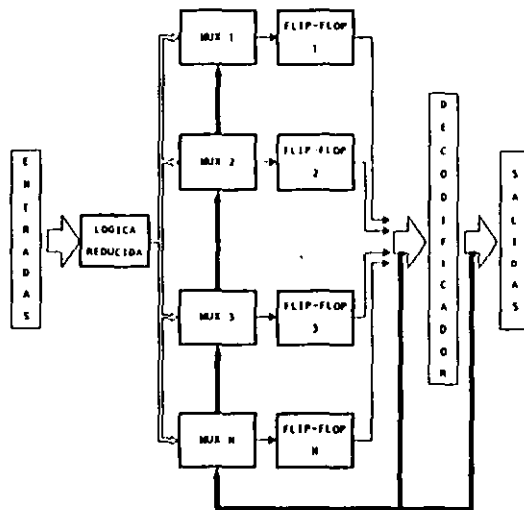


Fig. VI.11.- Arquitectura SSI Complementada con MSI.



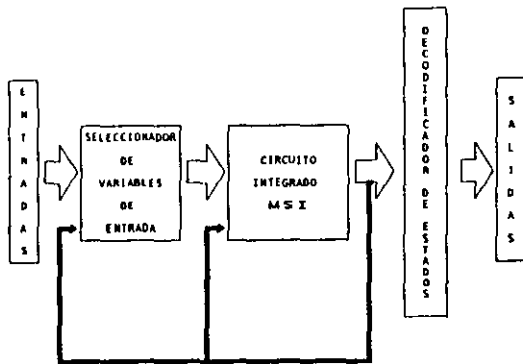


Fig. VI.12.- Arquitectura para Microcontroladores MSI.

### *VI.10.2.- Microcontroladores MSI Normales.*

Su elemento principal es una pastilla MSI (un contador, un registro de corrimiento, etcétera). El elemento utilizado le proporciona al controlador una serie de características simulables de instrucciones que controlan el flujo entre su estado y otro.

En torno al elemento principal se colocan circuitos periféricos que sirven de interfase para la recepción y generación de señales. La Fig. VI.12 muestra la Arquitectura General para estos controladores, cada circuito MSI da lugar a una Arquitectura Particular.

### *VI.10.3.- Microcontroladores Programados.*

Un Controlador Microprogramado es aquel en que el diseñador puede programar las operaciones de un dispositivo mediante el llenado de una Tabla de Memoria ó mediante un Lenguaje de Máquina a partir de un diagrama MDS.

a).- Componentes:

- Una Memoria RAM (Memoria de Acceso Aleatorio) ó una Memoria ROM (Memoria de Sólo Lectura), que permita el almacenamiento de instrucciones de operación básica y códigos de salida.

- Un Controlador de Programa ó un Registro Direccional de Memoria utilizado para seleccionar ó direccionar las instrucciones almacenadas.

b).- Características:

- Habilidad para iniciar el proceso mediante la ejecución de la instrucción almacenada en una localidad arbitraria de memoria.

- Proceso secuencial de manera condicional ó incondicional de las instrucciones almacenadas en localidades contiguas de memoria.

- Capacidad de procesamiento de la instrucción siguiente ó del direccionamiento a otra localidad para la ejecución de la instrucción almacenada en ella.

c).- Operación:

- La operación de estos controladores se basa en la ejecución de instrucciones almacenadas en una memoria. Para el adecuado funcionamiento del controlador se debe especificar la estructura con que serán almacenados los datos de la memoria, a este esquema se le denomina "*Formato de Control*".

Existen diversos tipos de formatos válidos, su estructura dependerá de sus elementos. De acuerdo a lo anterior, el esquema correspondiente a la Arquitectura General para un controlador microprogramado en la Fig. VI.13.

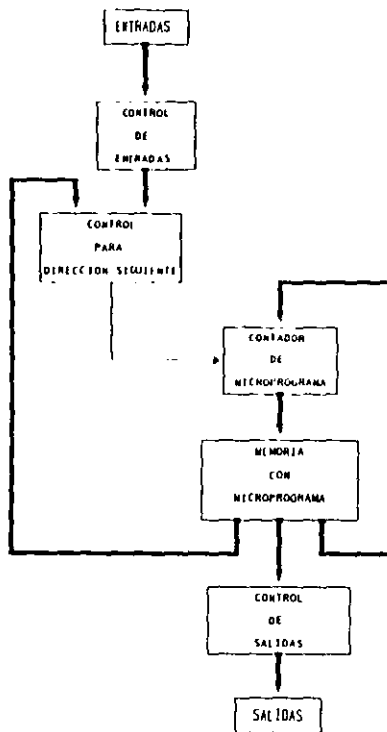


Fig. VI.13.- Arquitectura General para MSI Microprogramado.

#### *VI.10.4.- Controladores Programables con Conjunto Fijo de Instrucciones.*

Existen algunas diferencias entre este tipo de controlador programable con el mencionado previamente:

1.- Antes de la realización del controlador se debe crear un módulo decodificador de instrucciones.

Los elementos que contenga el módulo así como sus conexiones dependerán de las instrucciones que quieran ser implantadas, las cuales pueden ser tan simples ó complejas como se quiera.

Una vez hecho este módulo existe una metodología general aplicable a su implantación dentro de un controlador.

2.- Cada instrucción del controlador tiene asociado un código fijo, el cual se conoce comúnmente como código de operación OPCODE.

Como ya se habrá deducido, el uso de estos controladores implica un doble trabajo:

a).- Primeramente, se debe diseñar el módulo decodificador de instrucciones.

b).- Una vez hecho esto, diseñar el controlador deseado.

Este proceso es análogo a la creación de Programas y Paquetes ("Software") para Ordenador. Anteriormente, la creación de un Programa se realizaba directamente en Lenguaje de Máquina ó bien en Lenguaje Ensamblador, posteriormente se han desarrollado Lenguajes de alto nivel que facilitan la escritura de programas poniendo a disposición del diseñador de Programas y Paquetes ("Software"), un conjunto fijo de instrucciones que serán decodificadas por medio de un módulo especial llamado "*Compilador*".

Lo mismo ocurre en diseño de controladores de este tipo, el módulo decodificador deseado se diseña una sola vez y posteriormente sólo se utiliza, facilitando considerablemente el proceso de diseño.

Ahora bien, al igual que en el desarrollo de Programas y Paquetes ("Software") existe una multitud de Lenguajes de Programación, cada uno de ellos con un conjunto fijo de instrucciones, en el desarrollo de controladores existen también múltiples diseños ya elaborados que proporcionan características diferentes.

#### *VI. 10.5.- Microcontroladores LSI.*

Su elemento principal es un circuito LSI, el cual proporciona a su Arquitectura todos los elementos necesarios para la implantación de una gran variedad de instrucciones. Su uso debiera ser exclusivo para aquellos casos cuya naturaleza no puede ser desarrollada ó no es adecuada para Arquitectura SSI ó MSI.

La razón de no profundizar demasiado con estos elementos, es la intención de presentar formas alternativas al uso de Microprocesadores, ya que no toda aplicación requiere su empleo, el cual elevaría de manera innecesaria los costos del diseño.

## CONCLUSIONES

A manera de conclusiones al presente trabajo, se enumeran las siguientes:

La necesidad cada vez más presionante de aumentar la Productividad y conseguir productos acabados de una Calidad uniforme, está haciendo que la Industria gire cada vez más hacia una Automatización basada en el Ordenador.

En el momento actual, la mayoría de las tareas de fabricación automatizadas se realizan mediante máquinas de uso especial diseñadas para realizar funciones predeterminadas en un Proceso de Manufacturación.

La inflexibilidad y generalmente el alto costo de estas máquinas, a menudo llamadas *Sistemas de Automatización Duros*, han llevado a un interés creciente en el uso de Robots capaces de efectuar una variedad de funciones de fabricación en un entorno de trabajo más flexible y a un menor costo de Producción.

La palabra *Robot* proviene de la palabra del Idioma Checo *robota*, que significa "Trabajo". Tomado de un Diccionario, se define a un Robot como: "Un dispositivo automático que efectúa funciones ordinariamente asignadas a los seres humanos".

Con esta definición, se pueden considerar que las lavadoras son Robots. Una definición utilizada por Organismos Especializados en Robótica, da una descripción más precisa de un Robot Industrial: "Un Robot es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas ó dispositivos especializados a través de movimientos programados variables para la realización de una diversidad de tareas".

En suma, un Robot es un manipulador reprogramable de uso general con sensores externos que pueden efectuar diferentes tareas de montaje. Con esta definición, un Robot debe poseer *inteligencia* que se debe normalmente a los Algoritmos de Ordenador asociados con su Sistema de Control y Sensorial.

Un Robot Industrial es un manipulador de uso general controlado por un Ordenador que consiste en algunos elementos rígidos conectados en serie mediante articulaciones prismáticas ó de revolución. El final de la cadena está fijo a una base soporte, mientras el otro extremo está libre y equipado con una herramienta para manipular objetos ó realizar tareas de montaje.

El movimiento de las articulaciones resulta en, ó produce, un movimiento relativo de los distintos elementos. Mecánicamente, un Robot se compone de un brazo y una muñeca más una herramienta. Se diseña para alcanzar una pieza de trabajo, localizada dentro de su volumen de trabajo.

El Volumen de Trabajo es la esfera de influencia de un Robot cuyo brazo puede colocar el submontaje de la muñeca en cualquier punto dentro de la esfera. El brazo generalmente, se puede mover con tres grados de libertad. La combinación de los movimientos posiciona a la muñeca sobre la pieza de trabajo. La muñeca normalmente consta de tres movimientos giratorios.



La combinación de estos tres movimientos orienta a la pieza de acuerdo a la configuración del objeto para facilitar su recogida. Estos últimos tres movimientos se denominan a menudo *elevación* (pitch), *desviación* (yaw) y *giro* (roll). Por tanto, para un Robot con seis articulaciones, el brazo es el mecanismo de posicionamiento, mientras que la muñeca es el mecanismo de orientación.

Un gran obstáculo en la utilización de los manipuladores como máquinas de uso general, es la falta de comunicación eficaz y apropiada entre el usuario y el sistema robótico, de forma que éste pueda dirigir al manipulador para cumplir una tarea dada. Hay algunas formas de comunicarse con el Robot, y los tres grandes enfoques para lograrlo son: El reconocimiento de palabras discretas, enseñar y reproducir, y lenguajes de programación de alto nivel.

El estado actual del reconocimiento de la voz es bastante primitivo y generalmente depende del orador. Pueden reconocer un conjunto de palabras discretas de un vocabulario limitado y normalmente requiere que el usuario pare entre palabras.

Aunque es posible ahora reconocer palabras en tiempo real debido a componentes de Ordenador más rápidos y Algoritmos de procesamientos eficientes, la utilidad del reconocimientos de palabras discretas para describir una tarea es limitada. Más aún, requiere una gran cantidad de memoria para almacenar el discurso, y normalmente se necesita un período de entrenamiento para incorporar patrones de voz con fines de reconocimiento.

El método de enseñar y reproducir llega consigo el instruir al Robot al dirigirlo a través de los movimientos que va a realizar. Esto se suele efectuar en los pasos siguientes:

- 1.- Dirigir al Robot en movimiento lento utilizando control manual a través de la tarea de montaje completa, siendo grabados los ángulos de las articulaciones del Robot en posiciones apropiadas con el fin de reproducir el movimiento.

## 2.- Edición y reproducción del movimiento enseñado.

3.- Si el movimiento enseñado es correcto, entonces el Robot lo ejecuta a una velocidad apropiada de forma repetitiva. Este método se conoce también como guiado y es el enfoque más comúnmente utilizado en los Robots Industriales de hoy día.

Un planteamiento más general para resolver los problemas de comunicación Hombre-Robot es la utilización de programación de alto nivel. Los Robots se utilizan comúnmente en áreas tales como soldadura por arco, soldadura de punto y pintura en aerosol. Estas tareas no requieren interacción entre el Robot y el entorno y se pueden programar fácilmente mediante guiado.

Sin embargo, el uso de Robots para efectuar tareas de montajes requiere generalmente técnicas de programación de alto nivel. Se necesita este esfuerzo porque el manipulador se controla normalmente por un Ordenador, y la manera más efectiva para que los humanos se comuniquen con los Ordenadores es a través de un Lenguaje de Programación de Alto Nivel.

Más aún, al utilizar Programas para describir tareas de montaje, permite a un Robot efectuar trabajos diferentes simplemente ejecutando el Programa apropiado. Esto aumenta la flexibilidad y versatilidad del Robot.

Un problema básico en Robótica es la *planificación* de movimientos para resolver alguna tarea preespecificada, y luego *controlar* al Robot cuando ejecuta las órdenes necesarias para conseguir esas acciones. Aquí planificación significa decidir un curso de acción antes de actuar. Esta parte de síntesis de acción del problema del Robot se puede lograr mediante un sistema de resolución de problemas que logrará algún objetivo marcado, dada alguna situación inicial. Un plan es así una representación de un curso de acción para lograr un objetivo dado.

La investigación sobre resolución de problemas con Robots ha conducido a muchas ideas acerca de los sistemas para la resolución de problemas en Inteligencia Artificial. En una formulación típica de un problema de Robot se tiene un Robot que está equipado con sensores y un conjunto de acciones primitivas que puede realizar en algún mundo fácil de comprender.

Las acciones del Robot cambian un estado ó configuración del Mundo en otro. En el "Mundo de Bloques"; por ejemplo, se puede imaginar un mundo de algunos bloques etiquetados colocados en una mesa ó sobre otro y un Robot consistente en una cámara de Televisión y un brazo y mano móvil que es capaz de tomar y mover bloques. En algunas situaciones, el Robot es un vehículo móvil con una cámara de TV que efectúa tareas tales como empujar objetos de un sitio a otro en un entorno que contiene otros objetos.

Para que el Robot pueda funcionar dentro de el Control de Procesos Industriales, es necesario que previamente se hayan cubierto las necesidades de Electrónica Analógica, Electrónica Digital y Electrónica de Potencia. Finalmente, se requiere de los Sistemas de Comunicaciones y de la Programación de los Ordenadores; todo lo anterior permitirá que el Sistema de Control Industrial Total pueda ser aplicado a una actividad específica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **"FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA"**

Lurch, Norman.            Edit. CECSA.

### **"AUTÓMATAS PROGRAMABLES"**

Simón, André.            Edit. Paraninfo.

### **"ROBÓTICA INDUSTRIAL".**

Groover, Louis.           Edit. Mc Graw Hill.

### **"ROBÓTICA. CONTROL, DETECCIÓN, VISIÓN E INTELIGENCIA"**

González, Raúl.           Edit. Mc Graw Hill.

### **"PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA"**

Malvino.                    Edit. Mc Graw Hill.

**"ELECTRÓNICA. TEORÍA DE CIRCUITOS"**

Boylestad.

Edit. Prentice Hall.

**"SENSORES Y ANALIZADORES"**

Norton, Harry.

Edit. Gustavo Gili.

**"DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES"**

Sedra, Smith.

Edit. Mc Graw Hill.

**"DISEÑO DE CIRCUITOS CON TRANSISTORES"**

Reyes Sánchez.

Edit. Limusa.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	2
<b>PLAN PROPUESTO</b> .....	5
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	7
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	7
<b><u>CAPÍTULO I.- FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA</u></b> .....	9
<b>I.1.- Introducción</b> .....	9
I.1.1.- Electrónica de Potencia .....	12
I.1.2.- Electrónica de Regulación y de Control .....	12
I.1.3.- Instalaciones Completas .....	13
I.1.4.- Accionamientos Regulados .....	14
I.1.5.- Equipos de Tracción .....	14
I.1.6.- Centrales y Redes Eléctricas .....	15
I.1.7.- Máquinas-Herramienta .....	16
I.1.8.- Instalaciones para la Investigación Nuclear ..	16
I.1.9.- Procesos Químicos y Metalúrgicos .....	16
<b>I.2.- Señal Analógica y Señal Digital</b> .....	20
<b>I.3.- Detección, Amplificación y Procesamiento</b> .....	25

**CAPÍTULO II.- DIODOS Y TIRISTORES ..... 31**

II.1.- Funcionamiento Básico de el Diodo Rectificador .....	31
II.2.- Operación y Modelo Ideal .....	34
II.3.- Aplicaciones: Rectificadores, Recortadores y Compuertas Lógicas .....	39
II.4.- El SCR y el TRIAC, su Operación y Aplicaciones Como Rectificadores Controlados y Controladores de Voltaje .....	63

**CAPÍTULO III.- TRANSISTORES Y APLICACIONES ..... 75**

III.1.- Funcionamiento de el Transistor de Efecto de Campo (FET) .....	75
III.2.- Polarización de el Transistor de Efecto de Campo (FET) .....	80
III.3.- El Amplificador Básico con el Transistor de Efecto de Campo (FET) .....	85
III.4.- Funcionamiento de el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) .....	90
III.5.- Polarización de el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) .....	94
III.6.- El Amplificador Básico con el Transistor Bipolar de Juntura (TBJ) .....	102
III.7.- El Transistor como Conmutador .....	106

**CAPÍTULO IV.- EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL ..... 110**

IV.1.- El Modelo Ideal de el Amplificador Operacional .....	110
IV.2.- Aplicaciones Básicas: Inversor, No-Inversor, Sumador, Derivador, Integrador, Sustractor y Comparador .....	119
IV.3.- Sistemas de Control y de Medición con Amplificadores Operacionales .....	135

**CAPÍTULO V.- CIRCUITOS LÓGICOS ..... 143**

V.1.- Sistemas de Numeración: Decimal, Binario y Hexadecimal .....	143
V.2.- Aritmética Binaria .....	147
V.3.- Elementos de el Álgebra de Boole .....	153
V.4.- Funciones Booleanas y Compuertas Lógicas .....	157
V.5.- Decodificadores .....	164
V.6.- Flip-Flop's .....	166
V.7.- Registros de Corrimiento y Contadores .....	174
V.8.- Memorias .....	179



<b><u>CAPÍTULO VI.- SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y SU</u></b>	
<b><u>APLICACIÓN EN LA ELECTRÓNICA</u></b>	
<b><u>INDUSTRIAL</u></b> .....	<b>181</b>
VI.1.- Microprocesadores, su Arquitectura; CPU, Memoria, Canales de Datos y de Control y de Direccionamiento de Memoria, Puertos y Registros .....	181
VI.2.- Funcionamiento General de los Microprocesadores y sus Aplicaciones en los Sistemas Industriales de Producción, Control de Máquinas-Herramienta .....	200
VI.3.- Introducción a el Control Automático y su Aplicación a el Control Distribuido .....	209
VI.4.- Estructura Externa .....	214
VI.5.- Estructura ó Arquitectura Externa .....	216
VI.6.- Robótica .....	223
VI.6.1.- Cuatro Tipos de Controles de Robot .....	227
VI.6.2.- Control Coordinado de Fuerza y Posición .	232
VI.7.- Clasificación de Sistemas .....	234
VI.8.- Características de un Sistema Automático .....	236
VI.9.- Definición y Características de un Controlador .....	237
VI.10.- Tipos de Microcontroladores .....	242
VI.10.1.- Microcontroladores SSI .....	242
VI.10.2.- Microcontroladores MSI Normales .....	247
VI.10.3.- Microcontroladores Programados .....	247
VI.10.4.- Controladores Programables con ,Conjunto Fijo de Instrucciones .....	250
VI.10.5.- Microcontroladores LSI .....	251

<b>CONCLUSIONES</b> .....	252
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	257
<b>ÍNDICE</b> .....	259