



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS SUPERIORES

CUAUTITLAN

56  
71

**“FUNDAMENTOS PARA EL CONTROL DE MOTORES  
MEDIANTE LA APLICACION DE CIRCUITOS LOGICOS.”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**GUILLERMO DIAZ PEDRAZA**

**ASESOR: ING. RAMON OSORIO GALICIA.**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUANTITLAN  
UNIDAD DE LA INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONTROL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Art. 26 del Reglamento General de Exámenes, la Dirección de esta Facultad, autoriza al alumno:

Guillermo Díaz Pedraza

con número de cuenta: 8608878-1, a presentarla Tesis titulada:  
"Fundamentos para el Control de Motores Mediante la Aplicación de Circuitos Lógicos".

Bajo la Asesoría del: Ing. Ramón Osorio Galicia  
para obtener el TÍTULO de: Ingeniero Mecánico Electricista

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	N O M B R E	F I R M A Y F E C H A D E R E C I B I D O
PRESIDENTE	Ing. Juan Contreras Espinosa	<i>[Firma]</i> 5/10/96
VOCAL	Ing. Ramón Osorio Galicia	<i>[Firma]</i> 5/10/96
SECRETARIO	Ing. Jesús García Lira	<i>[Firma]</i> 5/10/96
1er. SUPLENTE	Ing. Víctor Hugo Landa Orozco	<i>[Firma]</i> 5/10/96
2do. SUPLENTE	Ing. Guillermo Santos Olmos	<i>[Firma]</i> 5/10/96

§ Lo Sustituye: \_\_\_\_\_

§§ Lo Sustituye: \_\_\_\_\_

Atentamente notificamos su participación, para la revisión y evaluación, solicitando firme el presente al recibir copia del trabajo y agradeciendo otorgue en un máximo de 30 días su VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlan local, Méx., 2 de Julio de 1996.

ING. RAFAEL ESCOBAR CALIAC  
JEFE DEL DEPARTAMENTO

NOTA: Dos faltas injustificadas, causarán baja como Sinodal.  
Los Sinodales Suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

## **DEDICATORIAS**

**A MIS PADRES: GILBERTO Y GUILLERMINA  
POR SU APOYO INCONDICIONAL Y  
SUS CONSEJOS**

**A MIS ABUELOS :EDUARDO Y ALICIA  
POR ESTAR CONMIGO**

**A MIS HERMANOS: GILBERTO, CLAUDIA Y LEO  
PARA QUE ESTE TRABAJO SIRVA DE MOTIVACION PARA  
SEGUIR SIEMPRE ADELANTE.**

**AL ING. RAMON OSORIO GALICIA**

**POR EL IMPULSO QUE ME PROPORCIONO PARA SUPERARME Y  
SUS ASESORIAS.**

**AL ING. J. JUAN CONTRERAS ESPINOSA :**

**POR SU ORIENTACION Y APOYO.**

**AL ING. JESUS GARCIA LIRA :**

**POR SU ORIENTACION Y APOYO.**

**A TODOS Y CADA UNO DE LOS MAESTROS Y COMPAÑEROS DE  
GENERACION**

**DIOS :**  
**DAME FUERZA PARA ACEPTAR LAS COSAS QUE  
NO PUEDO CAMBIAR**  
**CORAJE PARA CAMBIAR LAS QUE SI PUEDO**  
**Y SABIDURIA PARA CONOCER LA DIFERENCIA.**

## INDICE

### INTRODUCCION

1.- PRINCIPIOS DE DISEÑO LOGICO	1
1.1 SISTEMAS DE NUMERACION	1
1.1.1 SISTEMA BINARIO	2
1.1.2 SISTEMA OCTAL	5
1.1.3 SISTEMA HEXADECIMAL	6
1.2 CONVERSION DE SISTEMAS DE NUMERACION	8
1.2.1 CONVERSION DE NUMEROS DECIMALES A BINARIO	8
1.2.2 CONVERSION DE NUMEROS BINARIO A DECIMAL	9
1.2.3 CONVERSION DE NUMEROS DECIMAL A OCTAL	10
1.2.4 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A DECIMAL	11
1.2.5 CONVERSION DE NUMEROS BINARIO A OCTAL	12
1.2.6 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A BINARIO	14
1.2.7 CONVERSION DE NUMEROS DECIMALES A HEXADECIMALES	15
1.2.8 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMAL A DECIMAL	16
1.2.9 CONVERSION DE NUMEROS BINARIOS A HEXADECIMAL	17
1.2.10 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMAL A BINARIO	18
1.2.11 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A HEXADECIMAL	19
1.2.12 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMAL A OCTAL	20

<b>1.3 ALGEBRA BOOLEANA</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1 TEORIA DE CONJUNTOS</b>	<b>23</b>
<b>1.3.2 FUNCIONES BASICAS</b>	<b>26</b>
1.3.2.1 FUNCION (Y)	26
1.3.2.2 FUNCION (O)	28
1.3.2.3 FUNCION (NO)	30
<b>1.3.3 FUNCIONES COMPUESTAS</b>	<b>31</b>
1.3.3.1 FUNCION (NO-O)	32
<b>1.3.4 TEOREMAS</b>	<b>33</b>
1.3.4.1 TEOREMAS DE UNOS Y CEROS	33
1.3.4.2 TEOREMA DE UNA VARIABLE	34
1.3.4.2.1 FUNCION (Y)	34
1.3.4.2.2 FUNCION (O)	34
1.3.4.2.3 FUNCION COMBINADA	34
1.3.4.3 TEOREMA DE DOS VARIABLES	35
1.3.4.4 TEOREMA DE TRES VARIABLES	35
1.3.4.5 TEOREMAS DE D'MORGAN	36
<b>1.3.5 TABLAS DE VERDAD</b>	<b>36</b>
<b>1.3.6 SIMPLIFICACION DE EXPRESIONES BOOLEANAS</b>	<b>38</b>
1.3.6.1 FORMA No. 1 (CON AYUDA DE TABLA DE VERDAD)	39
1.3.6.2 FORMA No. 2 (CON AYUDA DE TEOREMAS)	41
1.3.6.3 FORMA No. 3 (CON AYUDA DE TEOREMAS)	42
1.3.6.4 DIAGRAMAS LOGICOS	43

<b>2.-DIAGRAMAS Y CIRCUITOS TIPICOS DE CONTROL</b>	<b>45</b>
<b>2.1 MARCO GENERAL</b>	<b>45</b>
2.1.1 COMPONENTES ELECTROMAGNETICOS	45
2.1.2 INTERRUPTORES DE BOTON	46
2.1.3 INTERRUPTORES DE LIMITE	46
2.1.4 RELEVADORES DE CONTROL	47
2.1.5 RELEVADORES DE TIEMPO	48
2.1.6 ARRANCADORES DE MOTOR	49
2.1.7 SELENOIDES	48
<b>2.2 POSTULADOS CON EL ALGEBRA DE BOOLE</b>	<b>49</b>
<b>2.3 EQUIVALENTES LOGICOS DE ELEMENTOS ELECTROMAGNETICOS</b>	<b>50</b>
2.3.1 COMPUERTA (AND) O (Y)	50
2.3.2 COMPUERTA (OR) O (O)	51
2.3.3 COMPUERTA (NOT) O (NO)	53
2.3.4 COMPUERTA (NAND) O (NO-Y)	54
2.3.5 COMPUERTA (NOR) O (NO-O)	56
<b>2.4 DIAGRAMAS CON CIRCUITOS LOGICOS</b>	<b>58</b>
2.4.1 SECCIONES IMPORTANTES DEL CIRCUITO DE CONTROL	58
2.4.1.1 SECCION DE ENTRADA	58
2.4.1.2 SECCION LOGICA	59
2.4.1.3 SECCION DE SALIDA	59
2.4.2 DIAGRAMAS ELECTROMAGNETICOS	59
2.4.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	59
2.4.2.2 DIAGRAMA UNIFILAR	60
2.4.2.3 DIAGRAMA DE ALAMBRADO	61

2.4.2.4	DIAGRAMA ELEMENTAL	62
2.4.3	DIAGRAMAS DE CONTROL	64
2.4.3.1	DIAGRAMAS ELEMENTALES DE CIRCUITOS ELECTROMAGNETICOS A CIRCUITOS LOGICOS	64
2.4.3.1.1	DIAGRAMA DE CONTROL A 2 HILOS (EJEM. No.1)	65
2.4.3.1.2	DIAGRAMA DE CONTROL A 3 HILOS (EJEM. No2)	68
3.-	ARRANQUE Y CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS	75
3.1	METODOS DE ARRANQUE	
3.1.1	ARRANQUE A TENSION PLENA	76
3.1.2	ARANQUE A TENSION REDUCIDA	78
3.1.2.1	CONMUTACION DELTA-ESTRELLA	78
3.1.2.2	ARRANQUE A TENSION REDUCIDA POR AUTOTRANFORMADOR	82
3.1.2.3	ARRANQUE CON RESISTENCIAS PRIMARIAS	85
3.1.2.4	ARRANQUE CON DEVANADO PARTIDO	86
3.1.2.5	ARRANQUE CON REACTANCIAS	89
IV	AUTOMATIZACION	
4.1	PRINCIPIOS DE CONTROL CON SISTEMAS PROGRAMABLES	91
4.2	DIFERENCIAS ENTRE CONTROL POR CABLE Y CONTROL POR PROGRAMA	92
4.2.1	CONTROL POR CABLEADO	92
4.2.2	CONTROL POR PROGRAMA	92
4.2.3	VENTAJAS DEL CONTROL POR PROGRAMA	93

4.3	CONCEPTOS	94
4.3.1	BIT	94
4.3.2	BYTE	94
4.3.3	PALABRA	95
4.4	ESTRUCTURA DE UN PLC	95
4.4.1	SECCION DE ENTRADA Y SALIDA	95
4.4.2	UNIDAD CENTRAL DE PROCESO O CPU	96
4.4.3	MEMORIA DE PROGRAMA	96
4.4.4	MODULOS DE MEMORIA	96
4.4.5	BUS DE DATOS	97
4.4.6	FUENTE DE ALIMENTACION	97
4.5	FLUJO DE DATOS EN LA COMPUTADORA PERSONAL	98
4.5.1	ETAPA DE EDICION Y ENSAMBLE DE PROGRAMAS DE APLICACION	98
4.5.2	LENGUAJE ENSAMBLADOR TRADUCIDO A CODIGO MAQUINA	98
4.5.3	REPRESENTACIONES EN DIAGRAMAS DE ESCALERA	100
4.6	ESTADOS DE SEÑAL CERO Y UNO	103
4.6.1	SEÑAL BINARIA	103
4.6.2	TIPOS DE CONTACTOS Y SU ESTADO DE SEÑAL	103
4.6.3	IDENTIFICACION DE SEÑALES	104
4.6.4	DESIGNACION DE ENTRADAS Y SALIDAS	105
4.7	CARACTERISTICAS IMPORTANTES	105

**CONCLUSIONES**

**107**

**BIBLIOGRAFIA**

**108**

## **INTRODUCCION**

Debido a los cambios dentro del área de control y el avance en los sistemas de automatización industrial surge la idea de poder brindar una referencia actualizada sobre los principales fundamentos de control de motores y la utilización de los circuitos lógicos como base de diseño, para cada uno de los procesos en que intervienen. Estos van desde el uso de circuitos como compuertas, hasta el control básico por medio de un PLC (Programming Logic Control), siendo los anteriores de gran uso a nivel industrial.

Por esta razón un sistema de control de motores bien proyectados cuenta con las características necesarias para asegurar la protección de todos los dispositivos que forman la parte básica de un proceso industrial en específico: un caso de simple aplicación es cuando se requiere variar la velocidad y controlar el sentido de rotación de los motores en una línea de producción contando para esta tarea la asistencia de autómatas industriales apoyados en sistema PLC's.

El reto esta en estructurar los fundamentos necesarios en el control de motores mediante circuitos lógicos y eléctricos para que con ello se logre obtener una referencia en el empleo de los dispositivos empleados en procesos de automatización.

Por lo anterior en el primer capitulo se presentan los principios del diseño lógico a través de los cuales se llega a comprender cada uno de los principios del diseño lógico con los cuales se busca dar el conocimiento básico sobre los sistemas de numeración usados así como las conversiones básicas, como lo son también los diferentes métodos de reducción para dichas funciones.

El segundo capitulo se refiere a los diagramas y circuitos típicos de control con el fin de demostrar los diferentes componentes equivalentes y también el uso en los diferentes diagramas con circuitos lógicos y con ello se enmarcan algunos ejemplos.

Asimismo, en el tercer capítulo se presenta una introducción a los métodos de arranque y a control de motores y así se termina con lo más reciente en el cuarto capítulo la automatización industrial y con ello dar el fundamento para que se tenga una mejor información.

# 1 PRINCIPIOS DE DISEÑO LOGICO

## 1.1 SISTEMAS DE NUMERACION.

La primera operación aritmética que realizó el hombre fué la de contar. Para esto idea entes abstractos, tantos como dedos tienen las manos de una persona normal y los representó mediante símbolos.

Estos entes abstractos se representan hoy día con los símbolos:

0 . 1 . 2 . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9

La rutina con que utilizamos el sistema de numeración decimal hace que en ocasiones no tengamos conciencia de los números que utilizamos, olvidando que se componen de unidades, decenas, etc.

En general, un número perteneciente a un sistema de numeración cualquiera puede representarse según la expresión:

$$N = d_n B_n + \dots + d_3 B_3 + d_2 B_2 + d_1 B_1 + d_0 B_0$$

En la que  $d$  es el símbolo ó dígito correspondiente a esa posición y  $B$  la base del sistema de numeración.

En el sistema de numeración decimal ,  $B = 10$  y los dígitos son: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Un sistema de numeración hasta cinco tendrá como base  $B = 5$  y sus dígitos serán: 0, 1, 2, 3, 4

Un sistema de numeración hasta dos ó sistema de numeración binario, tendrá como base  $B = 2$  y dispondrá de dos únicos dígitos: 0, 1

Como el sistema numérico decimal está compuesto por números enteros y fraccionarios, estos pueden combinarse; separados por un punto llamado punto radical (en este sistema se llama punto decimal).

### **1.1.1 SISTEMA BINARIO.**

El sistema de numeración binario es el más ampliamente utilizado después del sistema de numeración decimal. Este sistema nace como consecuencia de los dos únicos estados estables en que pueden encontrarse la mayor parte de los elementos y dispositivos de uso corriente.

Ejemplos típicos a los que se les puede atribuir la base de un sistema de numeración binario son:

- 1.-Un conductor eléctrico, puede tener tensión ( 1 ) ó no tenerla (0).
- 2.-Una lampara puede estar encendida (1) ó apagada (0).
- 3.-Un interruptor se encuentra cerrado ( 1 ) y se puede encontrar abierto (0).

4.-Un núcleo magnético puede encontrarse imantado en un sentido (1) ó imantado en el sentido contrario (0).

5.-Una tarjeta puede estar perforada (1) ó no perforada (0).

6.-Un diodo PN puede conducir en el sentido ánodo-cátodo cuando se le aplica una tensión positiva con respecto a su cátodo (1), ó no conduce cuando la tensión aplicada es inversa (0).

La naturaleza -biestable- de los casos citados hace que el sistema binario de numeración tenga importantísimas aplicaciones.

Obsérvese cómo a una de las dos posiciones estables de los casos citados, le hemos atribuido el dígito (1) y a la otra el dígito (0).

Naturalmente, no hay ningún inconveniente en cambiar los dígitos, el (1) por el (0) y el (0) por el (1), únicamente nos hemos limitado a dar la notación más corrientemente empleada en cada caso.

Los casos citados son de utilización corriente en electricidad y electrónica. En la práctica diaria podemos encontrarlos con otros muchos de carácter eléctrico, mecánico, hidráulico, etc. proporcionando otras aplicaciones no menos interesantes, como por ejemplo la neumática.

A pesar de las ventajas y bondades del sistema decimal, no es razonable que un sistema basado en el número de dedos que poseemos sea el más eficiente sistema numérico para la construcción de máquinas. La verdad es que el sistema numérico binario, a pesar de su sencillez y de su poco uso, ha demostrado que es el más natural y eficiente para utilizarlo en los circuitos lógicos.

En el sistema binario se utilizan dos dígitos que son 0, 1 y el sistema de notación posicional es el mismo que el que utiliza el sistema decimal.

Puesto que el sistema binario utiliza 2 dígitos su base es 2. Como ya se vio en el sistema decimal, en función a la posición de cada factor, éste se puede representar en numeración de base

$$2^0 = 1_{10}$$

$$2^1 = 2_{10}$$

$$2^2 = 4_{10}$$

$$2^3 = 8_{10}$$

$$2^4 = 16_{10}$$

$$2^5 = 32_{10}$$

$$2^6 = 64_{10}$$

etc.

En el sistema binario también existen los números fraccionarios, por lo que el punto radical toma el nombre de punto binario. Así tomando en cuenta la posición de los números fraccionarios, se tendrá lo siguiente:

$$2^{-1} = 1/2 = 0.5_{10}$$

$$2^{-2} = 1/4 = 0.25_{10}$$

$$2^{-3} = 1/8 = 0.125_{10}$$

$$2^{-5} = 1/32 = 0.03125_{10}$$

$$2^{-6} = 1/64 = 0.015625_{10}$$

$$2^{-7} = 1/128 = 0.0078125_{10}$$

Una consideración importante es que, puesto que los dos únicos dígitos del sistema binario son 0 y 1, ninguna posición de un entero en un número binario puede tener un dígito mayor que 1.

### 1.1.2 SISTEMA OCTAL.

El sistema numérico octal está constituido por los dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ; por este motivo un número octal no puede contener dígitos superiores a 7. Siendo su base ó radical el 8.

Utilizando el sistema de notación posicional , obtendremos las siguientes equivalencias con respecto al sistema decimal.

$$8^0=1_{10}$$

$$8^1=8_{10}$$

$$8^2=64_{10}$$

$$8^3=512_{10}$$

$$8^4=4096_{10}$$

$$8^5=32768_{10}$$

$$8^6=262144_{10}$$

etc.

Así mismo para los números fraccionales obtendremos:

$$8^{-1}=1/8=0.125_{10}$$

$$8^{-2}=1/64=0.015625_{10}$$

$$8^{-3}=1/512=0.001953125_{10}$$

$$8^{-4}=1/4096=0.000244140625_{10}$$

El uso del sistema octal está relacionado con los listados de programas y con los "vaciados" de memoria para las máquinas binarias, que permiten impresiones más compactas y su gran facilidad de conversión.

### 1.1.3 SISTEMA HEXADECIMAL.

El sistema numérico hexadecimal es muy útil en una gran cantidad de computadoras entre los que se encuentra todas las series IBM370, así como muchos minicomputadores y microcomputadores; ya que tienen sus memorias organizadas en BYTE, los cuales consisten en ocho dígitos binarios y si cada BYTE se utiliza como una unidad sencilla para representar un simple carácter alfanumérico ó se descompone en dos segmentos de 4 BITS. se obtiene una gran ventaja de compatibilidad.

Este sistema utiliza como base ó raíz el numero 16 y los símbolos que utiliza son:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

Utilizando el sistema de notación posicional. se obtienen los siguientes valores, respecto al sistema decimal.

$$16^0=1_{10}$$

$$16^1=16_{10}$$

$$16^2=256_{10}$$

$$16^3=4096_{10}$$

$$16^4=65536_{10}$$

etc.

Así mismo para los números fraccionases obtendremos:

$$16^{-1}=1/16=0.0625_{10}$$

$$16^{-2}=1/256=0.00390625_{10}$$

$$16^{-3}=1/4096=0.000244140625_{10}$$

$$8^{-4}=1/465536=0.000152587890625_{10}$$

Puesto que pueden representarse 16 números posibles, la tabla siguiente muestra la representación de los dígitos en los sistemas binario, hexadecimal, decimal y octal.

BINARIO	HEXADECIMAL	DECIMAL	OCTAL
0000	0	00	00
0001	1	01	01
0010	2	02	02
0011	3	03	03
0100	4	04	04
0101	5	05	05
0110	6	06	06
0111	7	07	07
1000	8	08	10
1001	9	09	11
1010	A	10	12
1011	B	11	13
1100	C	12	14
1101	D	13	15
1110	E	14	16
1111	F	15	17

## 1.2 CONVERSION DE SISTEMAS DE NUMERACION.

### 1.2.1 CONVERSION DE NUMEROS DECIMALES A BINARIO.

Dado que el sistema binario está basado en las potencias de dos, para transformar un número decimal en su equivalente número binario, se van efectuando las sucesivas divisiones por 2 del número decimal; los restos de dichas divisiones nos dan el número binario equivalente, leído de abajo a arriba.

#### EJEMPLO:

Convertir el número decimal 28 en su equivalente binario.

				Cociente	Residuo
28	/	2	=	14	0
14	/	2	=	7	0
7	/	2	=	3	1
3	/	2	=	1	1
1	/	2	=	0	1

$$28_{10} = 11100_2$$

Ahora supóngase que se desea convertir una fracción decimal a binario, se procede a multiplicar la fracción por 2. De cada resultado se toma la parte fraccionario para realizar las multiplicaciones y los números enteros serán considerados para formar el resultado en número binario, leído de arriba hacia abajo y colocándolo de izquierda a derecha.

**EJEMPLO:**

Convertir  $0.3125_{10}$  a binario.

Representación binaria.

0.3125	X	2	=	0.6250
0.6250	X	2	=	1.25000
0.2500	X	2	=	0.50000
0.50000	X	2	=	1.0000

Por lo tanto  $0.3125_{10} = 0.0101_2$

En los decimales se sigue multiplicando hasta que se quiera, dependiendo de la exactitud de las cifras requeridas.

### 1.2.2 CONVERSION DE NUMEROS BINARIOS A DECIMAL.

Para realizar la conversión de números binarios a decimal, se procede a escribir el número binario en potencias de 2; de acuerdo a la posición de los dígitos y se suman los productos donde haya 1

**EJEMPLO:**

Convertir  $1010_2$  a un número decimal

se procede a escribir de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} 1010_2 &= (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0) \\ &= (1 \times 8) + (0 \times 4) + (1 \times 2) + (0 \times 1) \\ &= 8 + 0 + 2 + 0 = 10_{10} \end{aligned}$$

Por lo tanto  $1010_2 = 10_{10}$

Para convertir una fracción binaria a decimal, se utiliza la forma posicional de los dígitos respetando el punto decimal.

EJEMPLO:

Convertir  $0.11_2$  a decimal.

$$(0 \times 2^0) + (1 \times 2^{-1}) + (1 \times 2^{-2})$$

$$0 + 0.5 + 0.25 = 0.75$$

Obtenemos:  $0.11_2 = 0.75_{10}$

### 1.2.3 CONVERSION DE NUMEROS DECIMALES A OCTAL.

Como la base del sistema octal es 8, si se desea convertir números decimales a octales; se procede a dividir el número entre 8 y sus cocientes en forma sucesiva; siendo el número octal lo que sobre de cada división.

EJEMPLO:

Convertir  $194_{10}$  a Octal

				Cociente	Residuo
194	/	8	=	24	2
24	/	8	=	3	0
3	/	8	=	0	3

Por lo tanto  $194_{10} = 302_8$  y se le el número TRES CERO DOS OCTAL.

Para convertir un número fraccionario decimal a octal se procede a multiplicar el número por 8 y se toma a el sobre flujo (que es la parte entera del producto ) para el número octal.

Del producto se toma la parte decimal y se vuelve a multiplicar por 8 hasta que la parte decimal quede en cero.

EJEMPLO: convertir  $0.46875_{10}$  a Octal

$$\begin{array}{rclclcl} 0.46875 & \times & 8 & = & 3.75 & = 0.75 \\ 0.75 & \times & 8 & = & 6.00 & = 0.00 \end{array}$$

Por lo tanto:  $0.46875_{10} = 0.36_8$

#### 1.2.4 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A DECIMAL.

Se procede a multiplicar cada dígito octal por su valor posicional.

EJEMPLO:

Convertir  $372_8$  a Decimal

$$\begin{aligned} 372_8 &= (3 \times 8^2) + (7 \times 8^1) + (2 \times 8^0) \\ &= (3 \times 64) + (7 \times 8) + (2 \times 1) \\ &= 192 + 56 + 2 = 250_{10} \end{aligned}$$

Obtenemos:  $372_8 = 250_{10}$

Para realizar la conversión de un número fraccionario Octal a decimal, se realizan multiplicaciones de cada dígito Octal respetando el punto decimal.

**EJEMPLO:**

**Convertir  $0.64_2$  a Decimal**

$$(0 \times 8^0) + (6 \times 8^{-1}) + (4 \times 8^{-2}) + (2 \times 8^{-3}) \\ 0 + 0.75 + 0.0625 + 0.0039 = 0.8164_{10}$$

Obteniendo:  $0.64_2 = 0.8164_{10}$

### 1.2.5 CONVERSION DE NUMEROS BINARIOS A OCTAL.

Existe una forma muy sencilla para convertir un número binario a octal. Simplemente se agrupan los dígitos binarios en grupos de tres, empezando en el punto octal y leyendo cada conjunto de tres dígitos binarios; para esto último se utiliza la siguiente tabla:

TRES DIGITOS BINARIOS.	DIGITO OCTAL
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

**EJEMPLO:** Convertir  $101001_2$  a número Octal

Se procede a tomar el número binario en grupo de tres y según la tabla se tiene que:

101 =5      y      001=1

Por lo tanto  $101001_2=51_8$

De lo anterior se obtienen dos reglas importantes:

1.-Si al formar los paquetes de tres, estos no se Completan; se aumentarán ceros ( ya sea a la izquierda ó a la derecha) hasta completar los paquetes,

2.-En los números fraccionarios debe respetarse el punto radical; transfiriéndolo en la misma posición del número binario al número octal.

Para la conversión de números binarios fraccionarios a octal , se agrupan los bits enteros y fraccionarios en grupos de tres a partir del punto decimal. Para completar el último grupo se añadirán los ceros necesarios.

EJEMPLO:

Convertir  $0.1011_2$

000      = 0

101      = 5

100      = 4

Obteniendo:  $0.1011_2= 0.54_8$

### 1.2.6 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A BINARIO

Para realizar la conversión de números octales a binarios, el proceso se invierte, utilizando la tabla. Es decir, se toma la equivalencia del número octal con respecto del binario y se escribe respetando su posición original.

EJEMPLO: Convertir  $75_8$  a número binario.

Si  $7 = 111$  y  $5 = 101$  De tabla

Se obtiene entonces que:  $75_8 = 111101_2$

Para realizar la conversión de un número octal fraccionario a binario, se convierte cada cifra en su equivalente binario.

EJEMPLO:

Convertir  $0.3256_8$  a Binario

3	011
2	010
5	101
6	110

Obteniendo:  $0.3256_8 = 0.011010101110$

### 1.2.7 CONVERSION DE NUMEROS DECIMALES A HEXADECIMAL.

Para la conversión de números decimales a hexadecimal, se procede a dividir el número decimal entre 16, siendo el residuo de la división lo que determinará el número hexadecimal.

EJEMPLO:

Convertir  $156_{10}$  a hexadecimal.

				Cociente	Residuo
156	/	16	=	9	12
9	/	16	=	0	9

Por lo tanto tendremos que  $156_{10} = 9C_{16}$

Para convertir un número decimal fraccionario a hexadecimal, se requiere aplicar los siguientes puntos:

- 1.- Se multiplica el número por 16.
- 2.- El resultado se secciona en parte entera y fraccionario.
- 3.- La parte fraccionaria se toma para multiplicarla por 16.
- 4.- La parte entera se toma y se forma el número hexadecimal.

EJEMPLO: Convertir  $0.78125_{10}$  a hexadecimal.

0.78125	X	16	=	12.5	12=C
0.5000	X	16	=	8.00	8=8

Por lo tanto:  $0.78125_{10} = 0.C8_{16}$

Puede apreciarse en el ejemplo que el proceso termina cuando la parte fraccionaria queda en cero (0).

### 1.2.8 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMALES A DECIMAL.

Se utiliza la forma posicional en donde los dígitos hexadecimales tienen un valor que es una potencia de 16.

#### EJEMPLO:

Convertir  $356_{16}$  a decimal.

$$\begin{aligned} 356_{16} &= (3 \times 16^2) + (5 \times 16^1) + (6 \times 16^0) \\ &= (3 \times 256) + (5 \times 16) + (6 \times 1) \\ &= 768 + 80 + 6 = 854_{10} \end{aligned}$$

Obtenemos:  $356_{16} = 854_{10}$

Para realizar la conversión de un número hexadecimal fraccionario a decimal, se utiliza la forma posicional de los dígitos respetando el punto decimal.

#### EJEMPLO:

Convertir  $0.74C_{16}$  a decimal.

$$\begin{aligned} &(0 \times 16^0) + (7 \times 16^{-1}) + (4 \times 16^{-2}) + (12 \times 16^{-3}) \\ &0 + 0.4375 + 0.015 + 0.0029 = 0.4554_{10} \end{aligned}$$

Obteniendo:  $0.74C_{16} = 0.4554_{10}$

### 1.2.9 CONVERSION DE NUMEROS BINARIOS A HEXADECIMAL.

Para convertir el número binario a hexadecimal, simplemente se descompone el número binario en grupos de 4 dígitos de derecha a izquierda para los números enteros y se convierte de acuerdo a la tabla .

EJEMPLO:

Convertir  $10111011_2$  a número hexadecimal.

Se forman los grupos de 4:

1011, 1011  
como  $1011 = B$  y  $1011 = B$  de la tabla

tendremos que  $:10111011_2 = BB_{16}$

Para convertir un número binario fraccionario a hexadecimal, se realiza lo siguiente:

En esta conversión se forman los grupos de 4 dígitos, descomponiendo el número binario de izquierda a derecha y se convierte cada grupo de acuerdo a la tabla

EJEMPLO: Convertir  $0.01011011$  a hexadecimal

formando grupos : 0101 . 1011

Como  $0101 = 5$  y  $1011 = B$  de la tabla

tendremos que :  $0.01011011_2 = 0.5B_{16}$

### 1.2.10 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMALES A BINARIO.

Como cada dígito hexadecimal significa 4 dígitos binarios, para realizar la conversión, solamente es necesario escribir su equivalente de acuerdo a la tabla . Además de respetar su notación posicional de acuerdo al punto radical.

EJEMPLO: Convertir  $8F_{16}$  a numero binario

Como : $8=1000$       y       $F=1111$       Según Tabla

Obtenemos que : $8F_{16}=10001111_2$

Para convertir un numero fraccionario hexadecimal a binario, se toma cada numero entero y fraccionario en su equivalente binario de 4 cifras según la tabla respetando el punto decimal

EJEMPLO:

Convertir  $0.27A8_{16}$  a Binario.

2	0010
7	0111
A	1010
8	1000

Obteniendo : $0.27A8_{16}=0.0010011110101000$

### 1.2.11 CONVERSION DE NUMEROS OCTAL A HEXADECIMAL.

Para llevar a cabo esta conversión, el número octal se convierte primero a número binario en su equivalente de tres cifras.

Para convertirlo a hexadecimal se le aumentan los ceros necesarios a las cifras obtenidas para que queden representadas en cuatro cifras tomando el número binario de derecha a izquierda, realizando la equivalencia correspondiente.

#### EJEMPLO:

Convertir  $327_8$  a hexadecimal

Octal.	Binario	
3	011	
2	010	
7	111	se obtiene:011010111

Se forma el hexadecimal, tomando el resultado anterior de derecha a izquierda.

Binario	Hexadecimal	
0000	0	
1101	D	
0111	7	Obteniendo: $327_8 = 0D7_{16} = D7_{16}$

Para realizar la conversión de un número octal fraccionario a hexadecimal, se realiza la misma operación anterior pero respetando el punto decimal.

**EJEMPLO:**

Convertir  $0.5631_8$  a hexadecimal

Octal      Binario

5          101

6          110

3          011

1          001      Obtenemos: 0.101110011001

Se forma el hexadecimal:

Binario      Hexadecimal

1011          B

1001          9

1001          9

Obteniendo  $0.5631_8 = 0.B99_{16}$

**1.2.12 CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMALES A OCTAL.**

Se convierte primeramente de hexadecimal a binario y posteriormente a octal.

**EJEMPLO:**

Convertir  $B2F_{16}$  a octal

Hexadecimal      Binario

B          1011

2          0010

F          1111

se Obtiene: 101100101111

Se forma el numero octal separando el resultado anterior en cifras de 3

Binario	Octal
101	5
100	4
101	5
111	7

Obteniendo:  $B2F_{16} = 5457_8$

Para realizar la conversión de un numero hexadecimal fraccionario a octal, se realiza la misma operación anterior pero respetando el punto decimal.

**EJEMPLO:**

Convertir  $0.4D2E1_{16}$  a octal.

Hexadecimal	Binario
4	0100
D	1101
2	0010
E	1110
1	0001

Se obtiene: 0.01001101001011100001

Se separa en cifras de tres el resultado anterior y se obtiene el numero octal

Binario	Octal
010	2
011	3
010	2
010	2
111	7
000	0
010	2

Se obtiene:  $0.4D2E1_{16} = 0.2322702_8$

### 1.3 ALGEBRA BOOLEANA.

#### INTRODUCCION.

El álgebra de Boole conocida también como álgebra lógica ó álgebra de conmutación, debe sus comienzos a los trabajos publicados, en 1847, por un matemático inglés llamado George Boole.

El álgebra de Boole, aplicado a los circuitos eléctricos asocia el carácter binario de los elementos que en él intervienen y que dan lugar a las siguientes verdades teóricas:

1.-Un contacto eléctrico no puede adoptar más que dos resultados,(abierto ó cerrado). Un contacto abierto esta representado simbólicamente por el número cero y un contacto cerrado adopta el número uno.

2.- La agrupación de un cierto número de contactos solamente pueden dar lugar a dos combinaciones lógicas de salida:

cero (0)... ausencia de tensión.

uno (1)... presencia de tensión.

El álgebra de Boole esta basada en la intuición y en la deducción, ayuda a trabajar con los sistemas binarios y una gran cantidad de sistemas de control que utilizan los sistemas digitales; Por ejemplo, dentro de los circuitos de control, circuitos de protección, para el control de una planta eléctrica de una subestación y circuitos de computadores digitales.

En fin, el conocimiento del álgebra de Boole es indispensable y básicamente nos ayuda para hacer más simples los circuitos y a construirlos con el menor número posible de componentes, haciendo que estos resulten más económicos.

### 1.3.1 TEORIA DE CONJUNTOS.

Para el estudio y mejor comprensión del álgebra de Boole es conveniente conocer algunos principios de teoría de conjuntos, debido a la relación que guardan.

En el álgebra de conjuntos, el término elemento nos sugiere un objeto básico, el cual en unión con otros elementos forman conjuntos.

La notación utilizada para representar elementos son las letras minúsculas del alfabeto (a,b,c,d,... x,y,z) y para representar conjuntos se utilizan las letras mayúsculas del alfabeto (A,B,C,D,... X,Y,Z).

Al conjunto que consta de todos los elementos que están siendo considerados, se le denomina Conjunto Universal (U).

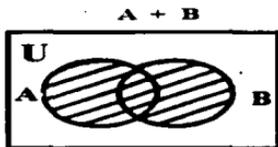
De lo anterior se deduce que todo conjunto es subconjunto del conjunto universal. Al conjunto universal se le designa como la unidad.

Al conjunto que carece absolutamente de elementos se le denomina conjunto vacío y al conjunto vacío se le designa como cero (0).

Con todo conjunto X se asocia otro conjunto  $\bar{X}$  llamado el complemento del mismo, definido como el conjunto de todos los elementos del conjunto universal que no son elementos de X.

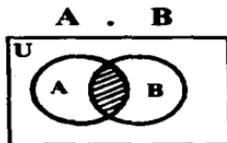
Al trabajar con conjuntos se hace necesario el poder combinarlos para formar nuevos conjuntos. Primero para conjuntos arbitrarios  $X$  y  $Y$ . La unión ó suma de  $X$  y  $Y$  se define como el conjunto que consta de todos los elementos que estén en  $X$  ó en  $Y$  ó en ambos.

- a)  $X+Y$      $X$  más  $Y$ .  
b)  $X \cup Y$      $X$  unión  $Y$ .



La intersección de conjuntos arbitrarios  $X$  e  $Y$  se define como el conjunto que consta de aquellos elementos de  $X$  que estén también en  $Y$ .

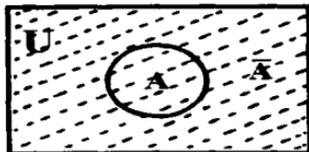
- a)  $X \cdot Y$      $X$  por  $Y$ .  
b)  $X \cap Y$      $X$  intersección  $Y$ .



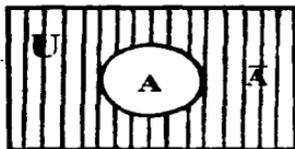
De lo establecido anteriormente se puede también establecer las siguientes igualdades, considerando un conjunto  $X$  y su complemento.

- a)  $X \cup \bar{X} = 1$  (conjunto universal)  $U$ .
- b)  $X + \bar{X} = 1$  (conjunto universal)  $U$ .
- c)  $X \cap \bar{X} = 0$  (conjunto vacío).
- d)  $X \cdot \bar{X} = 0$  (conjunto vacío).

$$A + \bar{A} = 1$$



$$A \cdot \bar{A} = 0$$



La visualización de todas las igualdades establecidas anteriormente, se hará en forma más detallada y comprensible mediante los diagramas de Venn; estos diagramas muestran el área ocupada por un determinado conjunto ó conjuntos, dentro del conjunto universal.

### 1.3.2 FUNCIONES BASICAS.

#### 1.3.2.1 FUNCION (Y).

La palabra AND es un compuesto funcional de verdad; es una proposición compuesta, cuyo valor de verdad se puede determinar a partir de los valores de verdad de las proposiciones, mediante la relación CONECTIVA de las componentes.

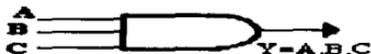
En este caso AND es el conectivo y se interpreta como la INTERSECCION de dos componentes como el siguiente ejemplo: A intersección B es verdad, si y solo si las dos proposiciones componentes A y B son verdad, esto se ve más objetivamente en su tabla de verdad en la que mostrará que existen sólo cuatro combinaciones posibles de valores de verdad de las dos proposiciones componentes A y B.

A	B	$A \cap B$
F	F	F
F	V	F
V	F	F
V	V	V

TABLA DE VERDAD (FALSO VERDADERO PARA LA FUNCION (AND) ó (Y)

A	B	$A \cap B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

TABLA DE VERDAD (0) Y (1) PARA LA FUNCION (AND) ó (Y)



Por lo tanto podemos decir que  $AND = Y = \cap$

Entonces, esta función implica la satisfacción de 2 ó más condiciones para lograr un resultado final.

Símbolo = . ó ( )

A continuación se relaciona la ecuación de la función (Y) con los bloques ó compuertas lógicas y la tabla de verdad.

teniendo:  $Y = A . B . C$

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

la combinación de la tabla de verdad es:

$n = 3$

$2^3 = 2 \times 2 = 8.$

En general , podemos decir que es característica de la compuerta (y) dar señal de salida (1) cuando todas sus entradas son (1).ver figura anterior.

### 1.3.2.2 FUNCION (O)

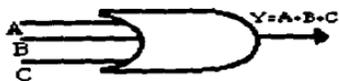
La palabra (OR) es también un compuesto funcional de verdad. En este caso (OR) es el conectivo Y se interpreta como la unión de dos componentes y se define como sigue: si se tiene A unión B que simboliza una proposición que es verbal; si y solo si la proposición A es verdad ó la proposición B es verdad ó ambas. Teniendo su tabla de verdad.

A	B	A∪B
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V

TABLA DE VERDAD (FALSO VERDADERO PARA LA FUNCION (OR) ó (O)

A	B	A∪B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

TABLA DE VERDAD (0) Y (1) PARA LA FUNCION (OR) ó (O)



Esta función indica que existen 2 ó más alternativas para lograr un resultado final. Ver figura anterior

Símbolo = +

Para un grupo de 8 combinaciones tenemos:

$$X = A + B + C.$$

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Por lo tanto, la función (suma lógica), se debe a que la salida es 1 cuando A es 1 ó B es 1, es decir, que para tener salida "1" es suficiente con que una de las variables de entrada sea 1; naturalmente, con mayor motivo la salida es 1 si todas sus entradas son 1.

### 1.3.2.3 FUNCION (NO).

Los dos conceptos definidos anteriormente han sido lo que los matemáticos suelen llamar operaciones binarias porque definen una operación de dos variables.

Pero también tenemos operaciones singulares ó binarias que definen una operación con una sola variable, tal es el caso de la operación con la función (NOT) ó (NO) ya que se define su operación con una sola variable, e indica una NEGACION ó mas propiamente dicho una COMPLEMENTACION, su tabla de verdad es la siguiente.

A	B
F	V
V	F

A	B
0	1
1	0

TABLAS DE VERDAD PARA LA FUNCION (NOT) ó (NO)

$$0 = \bar{1}$$
$$\bar{1} = 0$$

Podemos entonces decir que la función (NOT) es equivalente al COMPLEMENTO de una función.



En el álgebra de Boole se tiene la operación llamada COMPLEMENTO.

Simbolo = -

Cuando escribimos  $(\overline{X})$  significa obtener el complemento de  $(X)$ .

Si escribimos  $(\overline{x + y})$ , significa obtener el complemento de  $(x + y)$  y la operación de **COMPLEMENTO** puede definirse de una forma muy simple como:

El complemento de un valor puede obtenerse repetitivamente.

Una regla muy útil se basa en el hecho que  $(\overline{\overline{X}} = X)$  verificando:

se tiene que:  $(\overline{\overline{0}} = 0)$  y  $(\overline{\overline{1}} = 1)$  ( $\overline{\overline{()}}$ ) DOBLE NEGACION

La regla de que la doble complementación de como resultado el valor original de la variable, es una de las mas importantes características del álgebra de Boole.

Por tanto, esta función da un resultado solo tiene una entrada y una salida. Ver figura anterior

### 1.3.3 FUNCIONES COMPUESTAS.

Como se observa, se forma con una (Y) y una (NO) y su salida se tendrá una señal, cuando una u otra ó ninguna de las entradas este presente ver figura

Su ecuación es:  $Y = \overline{A \cdot B \cdot C}$



A	B	C	$(A \cdot B \cdot C)$	$\overline{(A \cdot B \cdot C)} = Y$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0

### 1.3.3.1 FUNCION (NO-O).

Esta función esta formada por una (O) y una (NO). Se tendrá señal de salida, solo cuando ninguna de las entradas este presente Ver figura

Su ecuación es:  $Y = \overline{(A + B + C)}$



A	B	C	$(A + B + C)$	$\overline{(A + B + C)} = Y$
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	0

### 1.3.4 TEOREMAS.

#### 1.3.4.1 TEOREMAS DE UNOS Y CEROS.

Para las funciones (Y), (O), (NO).

Y	O	NO	
$0 \cdot 0 = 0$	$0 + 0 = 0$	$\overline{0} = 1$	$\overline{\overline{0}} = 0$
$0 \cdot 1 = 0$	$0 + 1 = 1$	$\overline{1} = 0$	$\overline{\overline{1}} = 1$
$1 \cdot 0 = 0$	$1 + 0 = 1$		
$1 \cdot 1 = 1$	$1 + 1 = 1$		

Por ejemplo:

$A \cdot B + A + B$  CON:  $A = 0$     $B = 1$

Obtendremos:  $0 \cdot 1 = 0 + (0 + 1) = 1$

### 1.3.4.2 TEOREMA DE UNA VARIABLE.

#### 1.3.4.2.1 PARA LA FUNCION (Y).

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

$$A \cdot A = A$$

por ejemplo, ( $A \cdot 0 = 0$ )

Si  $A = 0$       tendremos:  $0 \cdot 0 = 0$

Si  $A = 1$       tendremos:  $1 \cdot 0 = 0$

#### 1.3.4.2.2 PARA LA FUNCION (0).

$$A + 0 = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A + A = A$$

Por ejemplo, para ( $A + 0 = A$ ).

Si  $A = 0$       tendremos:       $0 + 0 = 0 = A$

Si  $A = 1$       tendremos:       $1 + 0 = 1 = A$

#### 1.3.4.2.3      FUNCION COMBINADA.

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

Por ejemplo, para  $(A + \bar{A} = 1)$ .

Si  $A = 0$  tendremos:  $0 + \bar{0} = 1$   
obteniendo:  $0 + 1 = 1$

#### 1.3.4.3 TEOREMA DE DOS VARIABLES.

En estos teoremas también se encuentran relacionadas las variables por medio de las tres funciones básicas. Los principales teoremas son:

$$1.-A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B} = A$$

$$2.- (A + B) \cdot (A + \bar{B}) = A$$

$$3.-A + A \cdot B = A$$

$$4.-A(A + B) = A$$

$$5.-A + \bar{A} \cdot B = A + B$$

$$6.-A(\bar{A} + B) = A \cdot B$$

#### 1.3.4.4 TEOREMAS DE TRES VARIABLES.

Estos teoremas al igual que los anteriores están relacionados por las funciones básicas. Los principales teoremas son:

$$1.-A \cdot B + A \cdot C = A(B + C)$$

$$2.- (A + B) (A + C) = A + BC$$

$$3.-A \cdot B + \bar{A} \cdot C + B \cdot C = A \cdot B + \bar{A} \cdot C$$

$$4.- (A + B) (\bar{A} + C) (B + C) = (A + B) (\bar{A} + C)$$

$$5.- (A \cdot B + \bar{A} \cdot C) = (A + C) (\bar{A} + B)$$

$$6.- (A + B) (\bar{A} + C) = A \cdot C + \bar{A} \cdot B$$

#### 1.3.4.5 TEOREMAS DE D'MORGAN.

$$1. \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}} \dots\dots\dots = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}} + \overline{\overline{C}} \dots\dots\dots$$

$$2. \overline{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C}} \dots\dots\dots = \overline{\overline{A}} \cdot \overline{\overline{B}} \cdot \overline{\overline{C}} \dots\dots\dots$$

NOTA: El álgebra de Boole sigue las leyes asociativa, distributiva y conmutativa según el álgebra convencional.

#### 1.3.5 TABLAS DE VERDAD.

Se ha dicho que las variables booleanas pueden interpretarse como proposiciones lógicas con valores falso y verdadero, asignándoles a éstos respectivamente los símbolos 0 y 1.

Cualquier función booleana, puede representarse por medio de un arreglo llamado tabla de verdad, esta tabla se divide en dos partes:

Primero.- Se colocan las combinaciones posibles de ceros y unos para las variables.

Segundo.- Se anota el valor que adquiere la función para cada una de las combinaciones, siguiendo las reglas para la suma, producto y complemento que tiene el álgebra booleana.

La tabla de verdad es probablemente la herramienta más útil y la más sencilla para analizar los problemas en el álgebra de lógica.

Consiste de una columna vertical para cada una de las variables de lógica, comprendidas en algún problema. Las líneas ó filas horizontales de la tabla de verdad se llenan con todas las combinaciones posibles de ceros y unos ("0","1") ó falso y verdadero (f, v) que puedan tomar como valor las variables, una respecto de la otra.

Por último también forma parte de la tabla de verdad una columna ó columnas adicional, que contiene a la función (f) y esta columna de la función es la que contiene el RESULTADO ó SALIDA.

Se muestran a continuación las tablas de verdad típicas de dos variables.

A	B	SALIDA	A	B	SALIDA	A	B	SALIDA
F	F	F	0	0	0	0v	0v	0v
F	V	F	0	1	0	0v	-5v	0v
V	F	F	1	0	0	+5v	0v	0v
V	V	V	1	1	1	+5v	+5v	+5v
Tabla de Falso Verdadero			Tabla de "0" y "1"			Tabla de nivel de voltaje		

Las tablas de verdad se pueden elaborar utilizando cualquier combinación de literales, números ó símbolos. Las tablas de verdad generalmente emplean los números (0) y (1) para falso y verdadero, respectivamente.

Sus principales aplicaciones son para comprobar la validez de un teorema, para comprobar la simplificación de una expresión, para analizar un determinado punto de un diagrama lógico, así como para obtener una ecuación booleana de una tabla de verdad.

Ejemplo, teniendo la ecuación:

$$A + B \cdot C + \overline{A} \cdot \overline{C}$$

A	B	C	B · C	A · C	$\overline{A} \cdot \overline{C}$	$A + B \cdot C + \overline{A} \cdot \overline{C}$
0	0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	1

0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	0	1	1
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	0	1

N 3

Su número de combinaciones son:  $2^3 = 8$

Donde N = número de variables.

### 1.3.6 SIMPLIFICACION DE EXPRESIONES BOOLEANAS.

Para efectuar las simplificaciones se utilizan los teoremas ya vistos y las siguientes reglas.

**REGLA No.1** Se simplifican las variables que se encuentran dentro de cada paréntesis.

**REGLA No.2** Se eliminan los paréntesis de acuerdo a las leyes asociativa, distributiva y conmutativa.

**REGLA No.3** Se aplican los teoremas de D'Morgan a cada uno de los términos ó factores ó a la expresión completa.

El siguiente ejemplo muestra una expresión con su tabla de verdad y la misma expresión simplificada con su tabla de verdad de tal manera que se podrá ver su utilidad de la simplificación mencionada.

1.3.6.1 FORMA No. 1 (CON LA AYUDA DE TABLA DE VERDAD).

Teniendo la ecuación principal :  $(A + A \cdot B) + (A \cdot B + B \cdot C) + (A \cdot C)$

A	B	C	A · B	A + A · B	$\overline{A + A \cdot B}$	B · C	$\overline{B \cdot C}$	A · B + B · C	$\overline{A \cdot B + B \cdot C}$
0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0

CONTINUANDO LA TABLA

A · C	$\overline{A \cdot C}$	$(A + A \cdot B) + (A \cdot B + B \cdot C) + (A \cdot C)$	$\overline{(A + A \cdot B) + (A \cdot B + B \cdot C) + (A \cdot C)}$
0	1	1	0
0	1	1	0
0	1	1	0
0	1	1	0
0	1	1	0
1	0	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1

En la tabla podemos observar que se tienen dos únicas salidas, que se encuentran en los renglones (6) y (8), obteniendo la siguiente ecuación simplificada:

$$(A \cdot \overline{B} \cdot C) + (A \cdot B \cdot C)$$

La ecuación simplificada se obtiene de la siguiente forma: Como se observará, en las primeras columnas de la tabla de verdad se tienen las variables con los siguientes valores.

A	B	C
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

De los renglones 6 y 8 se tiene los valores:

A	B	C
1	0	1
1	1	1

Obteniendo:

renglón 6     $A \bar{B} C$   
 renglón 8     $A B C$

Dando como resultado la ecuación ya vista conocida como suma de productos. Entonces la ecuación obtenida se puede simplificar aún más.

$$A \cdot C (\bar{B} + B)$$

Por teoremas se sabe que ( $\overline{B} + B = 1$ ), Por tanto el resultado final es:

$$\text{ECUACION SIMPLIFICADA} = (A \cdot C)$$

### 1.3.6.2 FORMA No.2. (CON LA AYUDA DE LOS TEOREMAS).

Esta forma de simplificación se efectúa eliminando primeramente las ecuaciones que se encuentran dentro de los paréntesis y Posteriormente las negaciones correspondientes.

Simplificando la misma ecuación principal:

$$\overline{(A + A \cdot B) + (A \cdot B + \overline{B} \cdot \overline{C}) + A \cdot \overline{C}}$$

1.  $\overline{(A[1 + B]) + (A \cdot B + \overline{B} \cdot \overline{C}) + \overline{A} + \overline{C}}$   $\overline{B \cdot \overline{C}} = \overline{B} + \overline{\overline{C}}$
2.  $\overline{(A[1 + B]) + (A \cdot B + \overline{B} \cdot \overline{C}) + \overline{A} + \overline{C}}$   $1 + B = 1 \text{ Y } \overline{A} + \overline{A} = \overline{A}$
3.  $\overline{(A) + [(A \cdot B) \overline{B} \overline{C}] + \overline{A} + \overline{C}}$  Doble negacion se elimina (
4.  $\overline{\overline{A} + \overline{C} + ((\overline{A} + \overline{B}) \overline{B} \cdot \overline{C})}$
5.  $\overline{\overline{A} + \overline{C} + (\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + B \cdot \overline{B} \cdot \overline{C})}$   $\overline{B} \cdot B = 0$
6.  $\overline{\overline{A} + \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}}$
7.  $\overline{\overline{A} (1 + B \cdot \overline{C}) + \overline{C}}$   $1 + B \cdot \overline{C} = 1$
8.  $\overline{\overline{A} + \overline{C}}$  Doble negacion se elimina

$$\text{ECUACION SIMPLIFICADA} = (A \cdot C)$$

### 1.3.4.5 FORMA No.3. (CON LA AYUDA DE LOS TEOREMAS).

Esta forma de simplificación se efectúa eliminando primeramente todas las negaciones posibles y posteriormente las ecuaciones que se encuentran entre paréntesis.

Teniendo la ecuación principal:

$$\overline{(A + A \cdot B) + (A \cdot B + \bar{B} \cdot C) + A \cdot C}$$

Se realiza lo siguiente:

1. $\overline{(A + A \cdot B) \cdot (A \cdot B + \bar{B} \cdot C) \cdot A \cdot C}$	DOBLE NEGACION SE ELIMINA
2. $\overline{-(A[1 + B]) (A \cdot B + \bar{B} + \bar{C}) (A \cdot C)}$	$1 + B = 1$
3. $\overline{-(A \cdot A \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{C}) (A \cdot C)}$	$A \cdot A = 1$
4. $\overline{-A (B + \bar{B} + \bar{C}) (A \cdot C)}$	$B + \bar{B} = 1$
5. $\overline{-A (1 + \bar{C}) (A \cdot C)}$	$1 + \bar{C} = 1$
6. $\overline{-A(1) (A \cdot C)}$	
7. $\overline{-A(A \cdot C)}$	$A \cdot A = A$

Su resultado es:

ECUACION SIMPLIFICADA:  $(A \cdot C)$

La simplificación de ecuaciones se hace con el propósito de encontrar la expresión más reducida, con la finalidad que al materializarla con componentes físicos se economiza usando el menor número posible de dichos componentes.

#### 1.3.6.4 DIAGRAMAS LOGICOS.

Los diagramas lógicos se forman a partir de la expresión booleana por medio de las siguientes reglas:

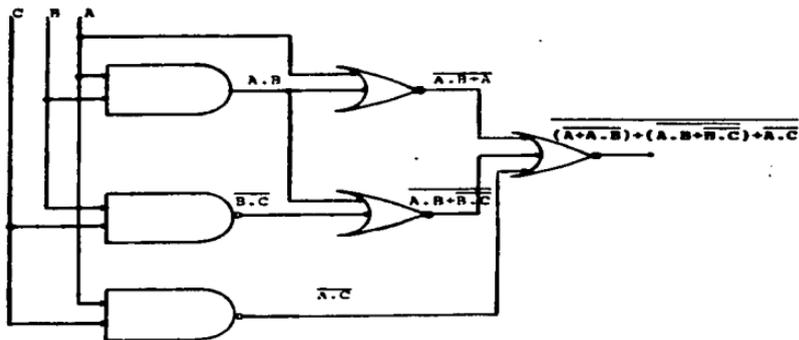
REGLA No.1 Un término ó factor que tenga dos ó más variables relacionadas por la función (Y) se representa por su bloque lógico respectivo.

REGLA No.2 Dos ó más términos relacionados por la función (O) se representarán como las entradas del bloque lógico (O).

REGLA No.3 Cualquier término, factor ó expresión booleana que se encuentre en forma negada estará representada por una compuerta lógica (NOR) ó (NAND).

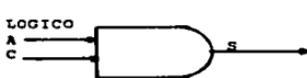
Dentro del tema se observaron las diferentes formas de simplificar una ecuación. Tomando en consideración el resultado obtenido en esas simplificaciones se puede realizar el diagrama lógico correspondiente, figura siguiente..

SU DIAGRAMA LOGICO ES EL SIGUIENTE:



SU ECUACION SIMPLIFICADA FUE:

EL DISPOSITIVO LOGICO  
OBTENIDO ES:



## **2 DIAGRAMAS Y CIRCUITOS TÍPICOS DE CONTROL**

### **2.1 MARCO GENERAL**

En este tema se interpretan los conceptos básicos de control . En primer lugar se pone atención a los sistemas de control que emplean componentes electromagnéticos.

Los componentes comúnmente utilizados se emplean y combinan en circuitos para producir la secuencia deseada de operaciones.

Posteriormente se hace una presentación de las funciones lógicas, la aplicación del álgebra booleana a los circuitos de cambio y su equivalencia con los circuitos electromagnéticos.

#### **2.1.1 COMPONENTES ELECTROMAGNETICOS.**

El empleo de los componentes electromagnéticos en control está tan extenso que este tema merece especial atención.

El enfoque será introducir un número de conceptos básicos y después ilustrar cómo pueden integrarse a circuitos útiles de control.

A continuación se enunciarán ciertas características importantes de algunos elementos utilizados para llevar a cabo el control.

### 2.1.2 INTERRUPTORES DE BOTON.

Se tiene el interruptor normalmente abierto , que cerrará el circuito entre dos terminales cuando el botón sea empujado manualmente y romperá (ó abrirá) el circuito cuando el botón se suelte.

El Interruptor normalmente cerrado abrirá el circuito entre las dos terminales, cuando sea empujado y cerrará el circuito cuando se Suelte.

Pueden obtenerse interruptores de botón múltiples con varias combinaciones de normalmente abierto y normalmente cerrado. Estos interruptores permiten que al actuar sobre un botón se inicie ó interrumpa un número de señales.ver figura siguiente.



La mayoría de los interruptores de botón se pueden comprar con cabezas de hongo. Estas cabezas se usan comúnmente para permitir la fácil operación en situaciones de emergencia, aunque por ejemplo, también se recomendarían para aplicaciones que requieran que un operador use guantes pesados.

### 2.1.3 INTERRUPTORES LIMITE.

Una segunda clase de interruptores es el interruptor limite.

Estos interruptores se actúan mecánicamente a través del uso de cierto tipo de leva que hace contacto con un brazo actuante

El interruptor normalmente abierto, cerrará el circuito entre las dos terminales cuando el interruptor sea actuado y abrirá el circuito cuando el interruptor deje de ser actuado.

También se tiene un interruptor límite que tiene la función opuesta, es decir, abrirá el circuito cuando sea actuado y lo cerrará en el caso contrario. Así, se encuentra entonces normalmente cerrado.

El interruptor de doble circuito es muy útil en las aplicaciones de control . Al actuar sobre un solo interruptor se impedirá una Operación e inmediatamente se iniciará una segunda.

La línea punteada entre cada símbolo del interruptor denota que están conectados mecánicamente, es decir, físicamente se encuentran localizados dentro del mismo empaque del interruptor.

Los interruptores límite son por lo general designados por un número seguido por las letras (LS), por ejemplo, 1 LS, 2 LS y así sucesivamente.

#### 2.1.4 RELEVADORES DE CONTROL.

Un relevador de control es un dispositivo electromagnético que suministra una multiplicidad de funciones de interrupción basadas en la aplicación de energía a la bobina del relevador.

Sin embargo y más fundamentalmente, los relevadores de control son dispositivos de manipulación de información y como tales Suministran la inteligencia para un sistema.

Algunas veces los relevadores de control se clasifican como dispositivos lógicos.

### 2.1.5 RELEVADORES DE TIEMPO.

Un relevador de tiempo es bastante semejante a un relevador de control, excepto de que se hace la provisión para una acción del interruptor que se puede retrasar en una forma ajustable.

En un relevador de tiempo si la bobina está energizada, el contacto regulado normalmente abierto se retrasará y después se cerrará.

Al mismo tiempo se abrirá el contacto regulado normalmente cerrado. Después de cortar la energía a la bobina, ambos contactos se reinvierten a sus estados originales.

La clave para comprender la acción es que el retraso ocurre en la dirección de las flechas.

los relevadores de tiempo y los relevadores de control son dispositivos lógicos porque pueden suministrar una forma de inteligencia para el sistema.

A continuación se verán dos dispositivos lógicos de respuesta.

### 2.1.6 ARRANCADORES DE MOTOR.

Sus dispositivos son básicamente relevadores con contactos capaces de manejar grandes corrientes. Además, los arrancadores de motor proporcionan protección por sobrecargas.

La aplicación de energía a la bobina del arrancador del motor hace que el motor arranque mientras que el corte de la energía hace que el motor se detenga.

### 2.1.7 SOLENOIDES.

Los solenoides son actuantes electromagnéticos. Se identifican frecuentemente por letras minúsculas Y Se designan como (SOL), Sol a, Sol b, etc.

El interés en los solenoides estará confinado a su uso al actuar las válvulas hidráulicas y neumáticas.

## 2.2 POSTULADOS DEL ALGEBRA DE BOOLE.

Al desarrollar un sistema de álgebra booleana, es necesario comenzar con ciertas suposiciones iniciales conocidas como

Los postulados aquí citados se originan de las tres funciones lógicas básicas (Y), (O), (NO).

En la figura, se establecen 10 postulados que proporcionan el fundamento sobre el que se basa el sistema del álgebra booleana, se muestran además, las conexiones eléctricas correspondientes a cada postulado.

POSTULADOS DEL ALGEBRA BOOLEANA

POSTULADOS ECUACION ALGEBRAICA	EQUIVALENTE ELECTRICO	
DERIVADOS DE LA FUNCION "Y"	1.- $0 \cdot 0 = 0$	
	2.- $0 \cdot 1 = 0$	
	3.- $1 \cdot 0 = 0$	
	4.- $1 \cdot 1 = 1$	
DERIVADOS DE LA FUNCION "O"	5.- $0 + 0 = 0$	
	6.- $0 + 1 = 1$	
	7.- $1 + 0 = 1$	
	8.- $1 + 1 = 1$	
DERIVADOS DE LA FUNCION "NO"	9.- $\bar{0} = 1$	
	10.- $\bar{1} = 0$	

Nótese que si la transmitancia de una red es la misma que de otra red al posicionar en forma similar los interruptores, las redes son equivalentes. Cada postulado es una instancia específica de una de las entradas de las tablas de verdad de las funciones (Y), (0) y (NO).

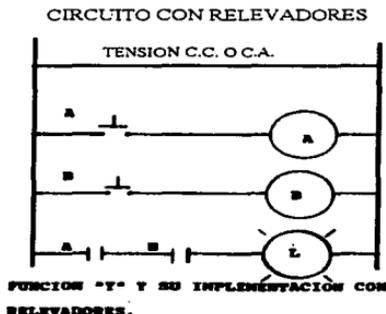
Los postulados, sin embargo, se expresasen como ecuaciones algebraicas usando los símbolos funcionales apropiados.

### 2.3 EQUIVALENTES LOGICOS DE LOS ELEMENTOS ELECTROMAGNETICOS.

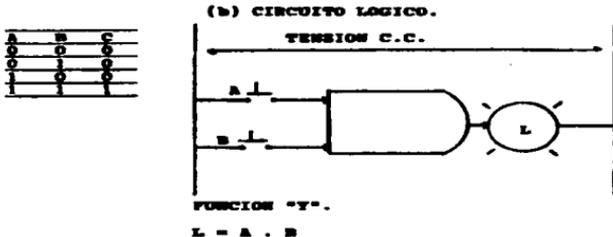
Como ya se ha visto, las funciones ó unidades lógicas se pueden realizar empleando diferentes tecnologías. Esta tendencia se debe a la substitución por dispositivos que no presenten partes en movimiento. Siendo la solución los circuitos electrónicos con dispositivos del estado sólido.

#### 2.3.1 COMPUERTA (AND) ó (Y).

La operación de la compuerta ó función (Y) se puede comprender mejor observando el diagrama de la figura .



En la figura siguiente, se muestra el circuito lógico y la tabla de verdad de una compuerta (Y).

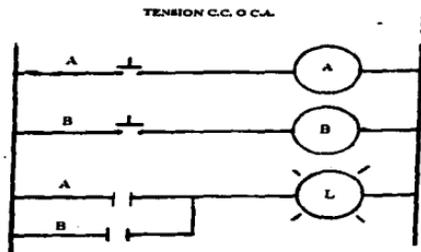


Relacionando la tabla de verdad y el diagrama de la figura anterior, solamente se emplean dos variables (A y B), representadas por los interruptores A y B. La lámpara (L) se considera como la salida C.

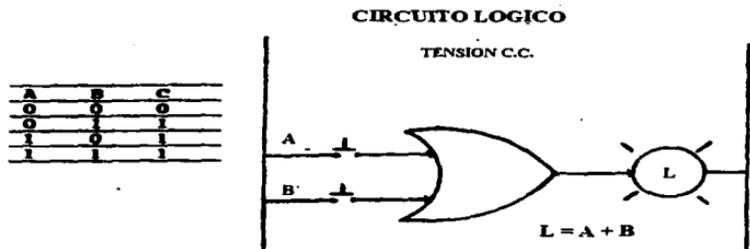
Como se podrá observar, si después de cerrar el interruptor (A) (verdadero), también se cierra el interruptor (B) (verdadero), entonces se completa el circuito y fluye la corriente por la lámpara, haciéndola encender (verdadero).

### 2.3.2 COMPUERTA (OR) ó (0).

La operación de la compuerta ó función (0), se puede comprender mejor observando el diagrama de la figura siguiente.



En la figura siguiente, se muestra el circuito lógico y la tabla de verdad para una compuerta (0).



Aquí también se usan dos variables de entrada (A y B) representadas por los interruptores A y B. La lámpara (L), se considera como la salida C.

Cuando ambos interruptores están abiertos ( falso ) , no sucede nada. Si se cierra el interruptor (A) (verdadero), se completa el circuito y fluye corriente por la lámpara, haciéndola encender (verdadero).

ocurre la misma condición cuando se cierra el interruptor (B).

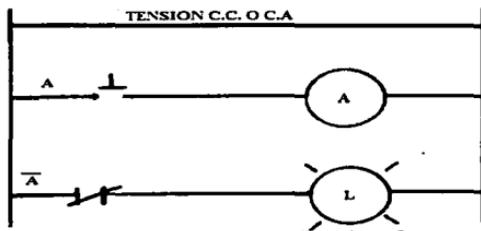
Si se cierran ambos interruptores, la lámpara permanece encendida (verdadero).

Entonces, para que la lámpara permanezca encendida (verdadero), debe estar cerrado el interruptor (A) ó el interruptor (B) ó ambos.

### 2.3.3 COMPUERTA (NOT) ó (NO).

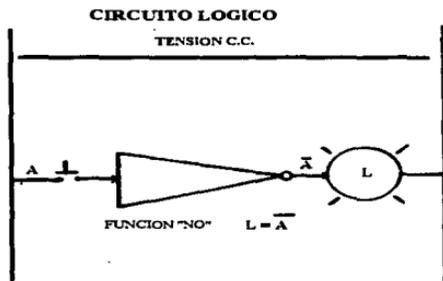
A menudo la función (NO) se conoce como una negación, como complemento ó como inversor. El negativo de una cantidad se puede llamar la inversa, recíproca u opuesta.

#### CIRCUITO CON RELEVADORES



FUNCION LOGICA "NO" Y SU IMPLEMENTACION  
.. CON RELEVADORES

La salida de un circuito (NO) es la inversa de la entrada. Por ejemplo, si la entrada es un impulso positivo, la salidas serán un impulso negativo. Figura .



#### 2.3.4 COMPUERTA (NAND) ó (NO-Y).

La operación de la compuerta (NO-Y) se puede definir como

La función (ó salida en el caso de una compuerta) es verdadera cuando una ó más de las variables es falsa.

La función solamente es falsa cuando todas las variables son verdaderas.

La operación de la compuerta (ó función) (NO-Y) se puede comprender mejor observando el diagrama de la figura siguiente.

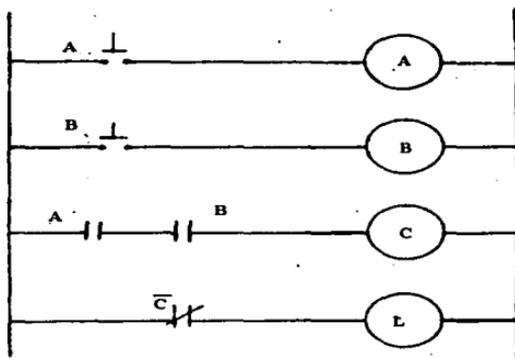
### CIRCUITO ELECTROMAGNETICO

ECUACION EN FUNCION DE  
LOS CONTACTOS

$$L = \overline{C}$$

DONDE:

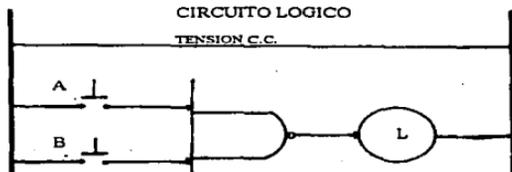
$$C = A \cdot B$$



La figura siguiente, muestra el circuito lógico y la tabla de verdad de una compuerta (NO-Y).

TABLA DE VERDAD

A	B	R
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



ECUACION LOGICA

$$L = \overline{A \cdot B}$$

Aquí se usan también dos variables (A y B) representadas por los interruptores A y B. La lámpara (L) se considera como la salida R.

Cuando ambos interruptores están abiertos (falso), se completa el circuito y fluye corriente a través de la lámpara (y del resistor). Ocurre la misma condición si se encuentra abierto cualquiera de los interruptores.

De cualquier forma la lámpara se enciende (verdadero) por una ó ambas entradas falsas.

Si se hayan cerrados ambos interruptores (verdadero), se apaga la lámpara (falso), ya que la corriente se desviarà de la resistencia más alta de la lámpara.

Entonces, para que la lámpara permanezca encendida (verdadero), el interruptor A ó el interruptor B, ó ambos, deben estar abiertos (falso).

### 2.3.5 COMPUERTA (NOR) ó (NO-O).

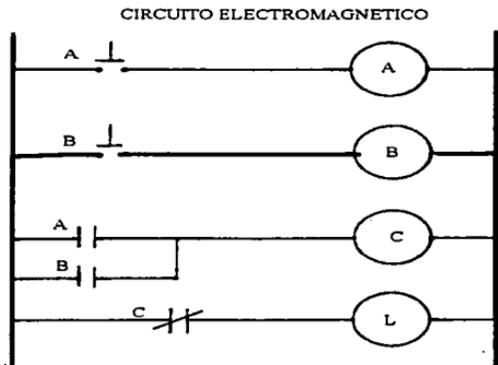
La operación de la compuerta (ó función) (NO-O), se puede comprender mejor observando el diagrama de la figura siguiente.

ECUACION EN FUNCION  
DE LOS CONTACTOS

$$L = \overline{C}$$

DONDE

$$C = A + B$$



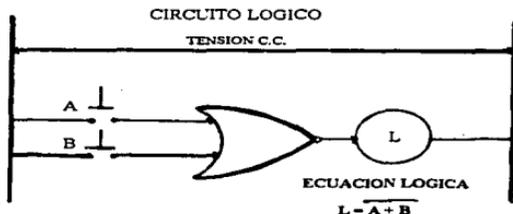
La operación (NO-O) se puede definir como sigue:

La función (ó salida en el caso de una compuerta) es falsa cuando una ó más de las variables lógicas es verdadera.

La función sólo es verdadera cuando ninguna de las variables es verdadera. En la figura siguiente se muestra el circuito lógico y la tabla de verdad de una compuerta (NO-O).

TABLA DE VERDAD

A	B	R
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Comparando la tabla de verdad y el diagrama de la figura anterior, se observa que se emplean dos variables (A y B) representadas Por los interruptores A y B. La lámpara L se considera como la salida (R) .

Cuando ambos interruptores están abiertos (falso), se completa ó cierra el circuito y fluye corriente por la lámpara (y por el resistor ) y se enciende la lámpara (verdadero).

Si cualquier interruptor está cerrado, ó ambos interruptores lo están, se apaga la lámpara (falso), ya que la corriente se desviará y no circula por la resistencia más alta de la lámpara.

Entonces, para que la lámpara permanezca encendida (verdadero), ni el interruptor A ni el B pueden estar cerrados (verdadero); ambos interruptores deben estar abiertos (falso).

## 2.4 DIAGRAMAS CON CIRCUITOS LOGICOS.

En todas las instalaciones eléctricas industriales en donde aparecen motores eléctricos, su función no solo es llevar la energía hasta ellos, también requiere de medios de conexión y desconexión así como el control de los mismos.

Cada circuito de control, por simple ó complejo que sea, esta compuesto de un cierto número de componentes básicos conectados entre sí para cumplir con un comportamiento determinado.

El principio de operación de estos componentes es el mismo y su tamaño varia dependiendo del tamaño del motor que van a controlar .

### 2.4.1 SECCIONES IMPORTANTES DEL CIRCUITO DE CONTROL.

El circuito de control eléctrico de un sistema industrial puede dividirse en tres partes ó secciones distintas:

- 1.- Sección de entrada.
- 2.- Sección lógica.
- 3.- Sección de salida.

#### 2.4.1.1 SECCION DE ENTRADA.

También llamada sección de adquisición de datos, esta formada por los dispositivos encargados de recoger la Información proveniente del operador y del sistema mismo.

Algunos de los dispositivos usados comunmente como entradas son botones pulsadores, interruptores de fin de carrera, interruptores de presión y fotoceldas.

Estos dispositivos tienen información acerca de la situación del sistema (posiciones de dispositivos mecánicos, temperaturas, presiones, etc.)

#### 2.4.1.2 SECCION LOGICA.

Llamada también sección de toma de decisiones, es la parte del circuito que actúa de acuerdo con la información suministrada por la sección de entrada, toma decisiones con base en dicha información y envía órdenes a la sección de salida.

Los circuitos de la sección lógica son generalmente construidos con relevadores magnéticos ó circuitos de estado sólido.

#### 2.4.1.3 SECCION DE SALIDA.

También llamada sección actuadora, está formada por los dispositivos que toman las señales de salida de la sección lógica y las convierten a formas utilizables.

Los más comunes son arrancadores de motores, contactores, solenoides de electro-válvulas de sistemas hidráulicos ó neumáticos, pistones y lámparas indicadoras.

#### 2.4.2 DIAGRAMAS ELECTROMAGNETICOS.

##### 2.4.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES.

Está formado por un conjunto de rectángulos dentro de los cuales se describe en forma breve la función, de cada uno de ellos.

Los rectángulos se conectan por medio de flechas que indican la dirección de las señales de control. Como un ejemplo de elaboración de un diagrama de bloques, se muestra el arranque de un motor por medio de un arrancador y estación de botones de arranque-paro. figura siguiente.

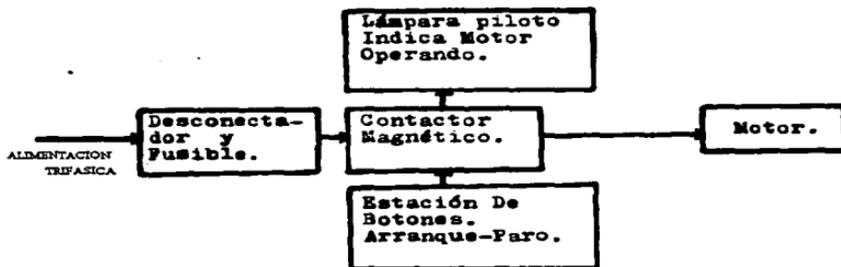


DIAGRAMA DE BLOQUES

#### 2.4.2.2 DIAGRAMA UNIFILAR.

De hecho es similar a un diagrama de bloques, sólo que en lugar de representar a las componentes por un bloque en su descripción, se hace uso de los símbolos de cada componente.

En el diagrama unifilar la línea usada puede representar 2 ó más conductores, se tiene como ejemplo el arranque de un motor de inducción tipo jaula de ardilla. figura siguiente.



#### DIAGRAMA UNIFILAR

##### 2.4.2.3 DIAGRAMA DE ALAMBRADO.

Un diagrama de alambrado muestra, con la claridad posible, la localización real de todos los componentes de dispositivo.

Las terminales abiertas (marcadas con círculos abiertos) y las flechas, representan las conexiones hechas por el usuario.

Puesto que las conexiones de alambrado y las marcas de las terminales están mostradas, este tipo de diagrama resulta muy útil al alambrear el dispositivo ó para diseñar con simplicidad el trazo del alambrado.

Se debe observar que las líneas gruesas indican los circuitos de fuerza y que las líneas delgadas señalan los circuitos de control. figura siguiente.

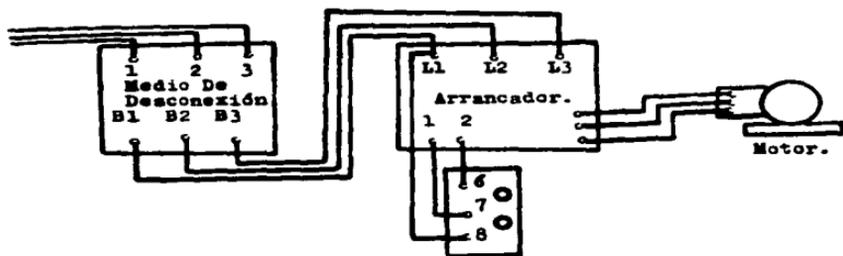


DIAGRAMA DE ALAMBRADO

De una manera convencional , en los equipos magnéticos de C. A. se usan cables negros para los circuitos de fuerza y cables rojos para los circuitos de control.

#### 2.4.2.4 DIAGRAMA ELEMENTAL.

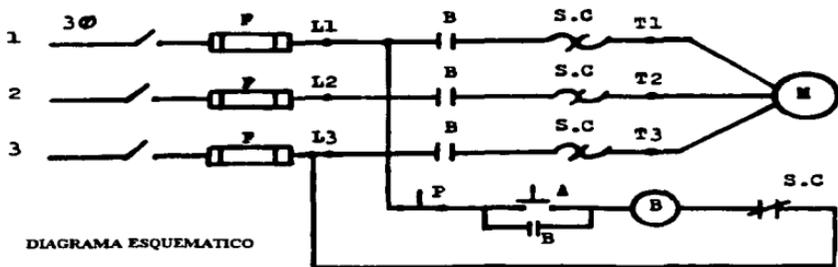
El diagrama elemental permite una rápida y fácil comprensión del circuito.

Los dispositivos y componentes no se muestran en su posición actual. Todos los componentes del circuito de control se presentan en la forma mas directa posible entre un par de líneas verticales, representando el control de la fuente de alimentación de fuerza.

La colocación de los componentes esta diseñada para mostrar la secuencia de operación de los dispositivos y ayuda a comprender la forma en que opera el circuito.

El efecto de la operación de varios enlaces, dispositivos de control, etc. se puede comprender fácilmente, lo que ayuda a resolver el problema de cruzamiento de líneas, especialmente con los controles más complicados.

Esta forma de diagrama eléctrico algunas veces recibe la denominación de diagrama "esquemático" ó "lineal". figura siguiente.



### **2.4.3 DIAGRAMAS DE CONTROL.**

#### **2.4.3.1 DIAGRAMAS ELEMENTALES DE CIRCUITOS ELECTROMAGNETICOS A CIRCUITOS LOGICOS.**

La primera tarea a realizar en el desarrollo lo de los circuitos para controlar un sistema, consiste en determinar perfectamente las necesidades del mismo, elaborando un cuadro de operación que defina su comportamiento.

Después se convierten las necesidades en lenguaje lógico, lo cual permitirá representarlas por medio de unidades.

Por supuesto, Si el sistema tiene varias secuencias independientes, cada una de ellas se trabajara por separado, para después integrarse formando el circuito completo.

Puede suceder que el número de unidades empleadas no sea el óptimo, por lo que se deben buscar en el circuito la forma de simplificarlo al máximo.

En este último punto, es en donde las técnicas del álgebra de Boole, representan una notable ayuda para el ingeniero, ya que siguiendo reglas muy sencillas se pueden simplificar circuitos, que aparentemente requieren todos los elementos.

A continuación se muestran diagramas elementales de control prácticos para ilustrar el empleo de los circuitos de conmutación.

2.4.3.1.1 EJEMPLO NUMERO 1.

DIAGRAMA DE CONTROL A 2 HILOS.

Se tiene un motor jaula de ardilla, 3 fases, 220 volts, controlado por medio de un interruptor de pedal.

La figuras siguientes, muestra el circuito de control a dos hilos en la cual se ve el circuito de fuerza para conectar el motor, usando el interruptor de pedal como dispositivo piloto, conectado en serie con la bobina del arrancador.

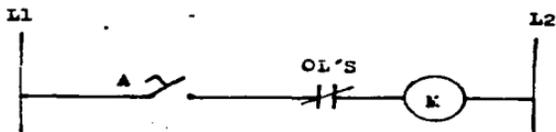
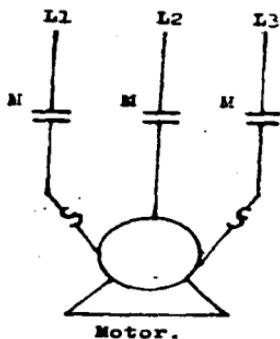


Diagrama De Control.  
Ecuación En Función De  
Los Contactos.

$$K = A \cdot OL'S$$



**Diagrama De Fuerza.**

Si ocurriera una falla en el circuito de fuerza mientras que los contactos del dispositivo piloto están cerrados, el arrancador abrirá.

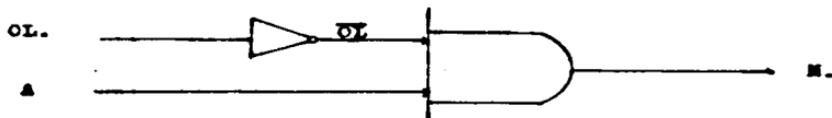
Cuando el circuito de fuerza es restaurado, el arrancador cerrará automáticamente a través de los contactos cerrados del dispositivo piloto. El término "control a 2 hilos" surge de la realidad de que en un circuito básico, únicamente son requeridos 2 hilos para conectar el dispositivo piloto a el arrancador.

De el diagrama de control de la figura siguiente se puede obtener la ecuación:

$$M = A \cdot \bar{O}L$$

Que se obtiene a partir de las consideraciones que indica que las conexiones en serie se refieren a una compuerta (Y) y que por consiguiente realiza la función de multiplicar.

La figura siguiente, muestra el diagrama de control lógico a 2 hilos representado por la compuerta (Y), tomando en cuenta que un interruptor de pedal puede ser energizado y desenergizado en un periodo de tiempo corto.



**Circuito Lógico.**

Con esto se indica que el dispositivo piloto al estar cerrado enviará una señal (1) a su entrada ó al encontrarse abierto una señal (0). Los elementos de sobrecarga (OL's), como se sabe deben actuar en forma permanentemente cerrados mientras no exista falla con lo cual envía una señal (0).

Nota: Todo contacto normalmente cerrado se simboliza con una función (NO) y utiliza valores correspondientes de inversión.

Para que pueda actuar la compuerta (Y) se necesita entonces dos señales (1), con los elementos de sobrecarga cerrados (0) y el dispositivo piloto cerrado (1).

$$\bar{0} \cdot 1 = 1$$

Ya que si alguno de esos elementos se encontrara abierto (0), no habría señal de salida.

$$\bar{1} \cdot 0 = 0$$

La tabla de verdad correspondiente, indica lo afirmado anteriormente.

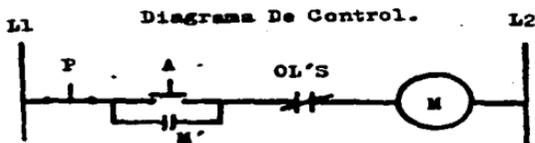
A	OL	$\bar{O}L$	M
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0

Donde (M) tendrá una sola salida y podrá ser activada solamente cuando (A) y (OL) tengan estado activo (1) y (0) respectivamente.

#### 2.4.3.1.2 EJEMPLO NUMERO 2.

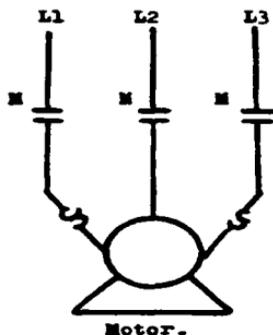
#### DIAGRAMA DE CONTROL A 3 HILOS.

Las figuras siguientes, muestran el sistema de control a 3 hilos y el diagrama de fuerza para el motor, usando una estación de botones con contacto momentáneo ó dispositivo piloto similares, para energizar la bobina del arrancador.



**Ecuación En Función De Los Contactos.**

$$M = (\bar{P} \cdot \bar{O}L'S) (A + M')$$



**Diagrama De Fuerza.**

Este esquema es usado para prevenir el inesperado arranque de los motores pudiendo resultar un posible daño a los operadores de las máquinas ó peligro para el manejo de la maquinaria.

El arrancador es energizado por presión del botón de arrancar, un contacto auxiliar para el sostén del circuito montado sobre el arrancador forma un circuito paralelo alrededor de los contactos del botón de arrancar sosteniendo el arrancador energizado después de que el botón se suelta.

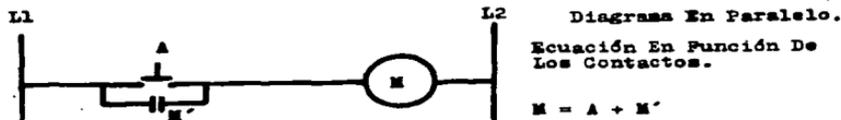
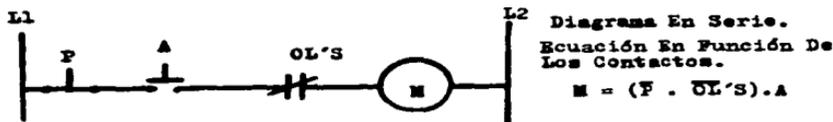
Si ocurriera una falla en el circuito de fuerza el arrancador abrirá y por consiguiente se abrirá también el contacto auxiliar de sostén.

En la restauración del circuito de fuerza, el botón de arrancar debe ser operado otra vez para que el motor nuevamente opere. El término "control a 3 hilos" surge de la realidad que en un circuito básico son requeridos al menos 3 hilos para conectar los dispositivos piloto a el arrancador.

De el diagrama de control de la figura anterior se puede obtener la ecuación:

$$M = (\overline{P} \cdot \overline{OL}) (A + M')$$

Que se obtiene a partir de las consideraciones que dice: contactos en -serie corresponden a una compuerta (Y) y realiza una función de Multiplicar. Ver 1er.figura Contactos en paralelo corresponden a una compuerta. (O) y realiza operaciones de suma. Ver 2da.figura .



Observando el diagrama de control , el botón de arranque (A) y el contacto de enclave (M') se encuentran en paralelo y a su vez en serie con el botón de paro (P) y con el relevador de sobrecarga (OL).

La figura siguiente, muestra el diagrama lógico equivalente para el control a tres hilos. Se tiene una compuerta (O), la cual indica que necesita por lo menos una de sus entradas sea verdadera ó tenga una señal (1). Si se oprime el botón de arranque se tendrá una señal (1) de entrada, siendo por tanto su salida (1).

Como se sabe la compuerta (Y) debe tener todas sus entradas activadas para obtener la señal de salida correcta. Si los elementos de sobrecarga (OL's) se encuentran cerrados (0), el botón de paro se

encuentra cerrado (0) y recibe la señal de salida de la compuerta (0) que es (1), la compuerta (Y) se activará y podrá energizar la bobina M.

También al dejar de pulsar el botón de arranque abra una señal (0) pero la salida (1) de la compuerta (Y) sirve de retroalimentación ó más significativamente como contacto de enclave para mantener la señal de la compuerta (0).

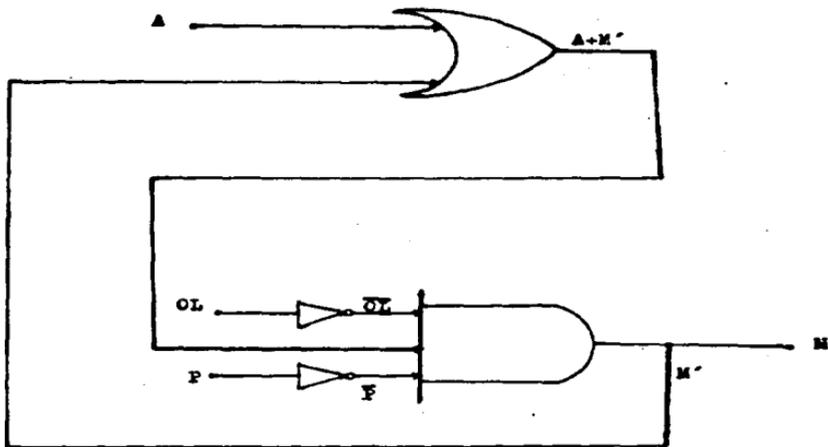
Para la compuerta (0) se tiene entonces:

$$1 + 0 = 1$$

Para la compuerta (Y) se tiene:

$$1 \cdot \bar{0} \cdot \bar{0} = 1$$

Circuito Lógico.



La tabla de verdad indica lo enunciado anteriormente.

M'	A	OL	P	$\overline{OL}$	$\overline{P}$	M'+A	$\overline{OL} \cdot \overline{P}$	M
0	0	0	0	1	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0	1	0	0

Como se puede observar, la tabla de verdad indica que el circuito puede ser activado de tres formas posibles.

1.- Si el botón de arranque es oprimido se tendrá una salida activa ( 1 ) y si el relevador de sobrecarga ( OL ) y el botón de paro ( P ) tiene valor activo de ( 0 ) se puede energizar ( M ). Renglón No.5.

2.- Independientemente que el botón de arranque ( A ) sea activado ó no. si ( M' ) presenta un valor activo, quiere decir que se está utilizando de enlace para mantener el circuito energizado en donde ( OL ) y ( P ) tienen un valor activo y por consiguiente ( M ) se energizara. Renglón No. 9.

3.- Si se oprime el botón de arranque (A) se tendrá un valor activo (1) a la salida de la compuerta (0) y como (OL) y (P) tienen un valor activo de (0) entonces (M) puede ser energizada.

Si se suelta el botón de arranque (A) se tiene una línea de enlace en (M') que se utiliza como contacto de enclave para que pueda mantener la salida de la compuerta (0). Renglón No. 13.

### 3 ARRANQUE Y CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS

#### 3.1 METODOS. DE ARRANQUE.

Los motores de inducción jaula de ardilla son máquinas con una impedancia en su devanado estatórico , que permite su conexión directa a la red sin el peligro de destruir su devanado.

Sin embargo , la corriente demandada si bien no perjudica al motor, si ocasiona perturbaciones en la red de alimentación, tanto por su intensidad como por el bajo factor de potencia con que es absorbida, sobre todo en máquinas con capacidades de 1 0 HP y mayores.

Como ya se menciona el arranque por conexión directa a la red no debe evitarse si las líneas son de capacidad suficiente para proporcionar la tensión y corriente nominales requeridas por el rotor de inducción, puesto que este arranque no debe dañar de ninguna manera al motor.

Cuando las líneas son de capacidad limitada en comparación con la corriente de arranque absorbida por un motor de inducción, existe la posibilidad de que debido a la gran corriente la caída de tensión y la correspondiente tensión reducida de la línea, el motor que esta arrancando (así como otros motores), puede no desarrollar el par suficiente para acelerar la carga y como resultado pueden absorber corriente excesiva el rotor y el estator poniéndolo en peligro.

El equipo de protección del motor y la línea pueden tras un corto intervalo desconectar al motor, requiriendo que el motor se arranque una vez más y de nuevo con la correspondiente perturbación en la línea.

Esta situación y el hecho de que el par pueda tener efectos no deseados en la carga no accionada, trae como consecuencia el empleo de métodos de arranque, en los cuales la conexión del motor ya no, se hace de manera directa a la red sino através de resistencias, reactancias, autotransformadores, etc., que constituyen los métodos de arranque a tensión reducida.

Ordinariamente un motor de inducción absorbe aproximadamente seis veces su corriente nominal cuando a su estator se le aplica la tensión nominal en el arranque.

En el momento del arranque, la corriente del rotor esta determinada por su impedancia a rotor bloqueado. Entonces si la tensión del estator se redujera a la mitad , la corriente de arranque también se reduciría en la misma proporción, o sea aproximadamente tres veces la corriente nominal.

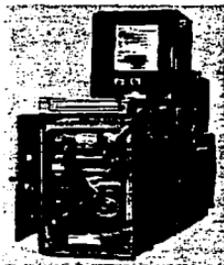
Pero si la tensión; de línea del estator se reduce, el par se reduce a la cuarta parte de su valor original. Por consiguiente, la deseable reducción de la corriente de línea del motor se ha conseguido a expensas de una indispensable y aún mayor reducción en el par de arranque.

### 3.1.1 ARRANQUE A TENSION PLENA.

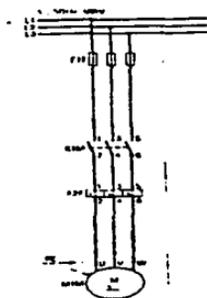
El método mas sencillo de arranque para el motor polifásico de inducción en jaula de ardilla, es conectándolo directamente a la línea. Para esto se pueden emplear dispositivos de arranque manuales ó magnéticos.

El arranque a tensión plena se emplea cuando la corriente denominada no produce perturbaciones en la red y cuando la carga puede soportar el par de arranque.

En la figura siguiente se muestran dos tipos de arrancadores manuales cuya operación es muy sencilla, basta pulsar un botón para cerrar los contactos de conexión del motor y otro para abrirlos.



Pueden ir provistos de protección contra "sobrecarga y a veces contra los cortos-circuitos todo en la misma envolvente. En la figura siguiente se muestra un diagrama en el cual se lleva a cabo el arranque de motores trifásicos a tensión plena. El contacto momentáneo SI Q cierra el circuito enclavando el contactor KIM el cual se sostiene por medio de un contacto auxiliar K1m; por medio del contacto NC (normalmente cerrado) SOQ detiene la operación de marcha desenergizándose la bobina del contactor KIM.



### 3.1.2 ARRANQUE A TENSION REDUCIDA

#### 3.1.2.1 CONMUTACION DELTA - ESTRELLA

Se ha visto que en el arranque directo el motor absorbe una corriente muy alta en el momento que se energiza, razón por la cual este método no es recomendable para el arranque de motores de mediana o gran potencia.

En estos casos es muy común la utilización del sistema de arranque estrella delta ya que la corriente inicial de arranque esta solamente entre 1.3 y 2.6  $I_n$  ( $I_n$  = corriente nominal).

Cuando se usa este sistema de arranque es indispensable estrella para que la intensidad se reduzca en la misma proporción que la tensión. Una vez que el motor alcance aproximadamente entre el 70% y 80% de su velocidad nominal se desconecta la conexión en estrella para realizar la conmutación a la conexión delta.

Si durante el proceso de arranque se conecta el motor en estrella la tensión aplicada a cada bobina del estator se reducirá a  $1/\sqrt{3}$  o sea un 58% de la tensión de línea, por consiguiente la intensidad que absorberá el motor será también menor en  $\sqrt{3}$ .

Al ser .reducción de  $1/\sqrt{3}$  en la tensión y  $1/\sqrt{3}$  en la corriente, se tendrá como resultado una disminución total de  $1/\sqrt{3} \times 1/\sqrt{3}$  o sea de tres veces el valor de la  $I_n$ , equivalente a un 30% menos del que se tendría en arranque directo.

Por lo que respecta al par de arranque pasa de 1.5 veces el valor nominal que se tenía en el arranque directo a 0.5 veces el nominal lo que aumenta la duración del periodo de arranque con respecto al que se obtiene en el arranque directo. Sin embargo esto carece de importancia ya que,

en la mayoría de los casos, debido a que la velocidad nominal de régimen se alcanza en pocos segundos.

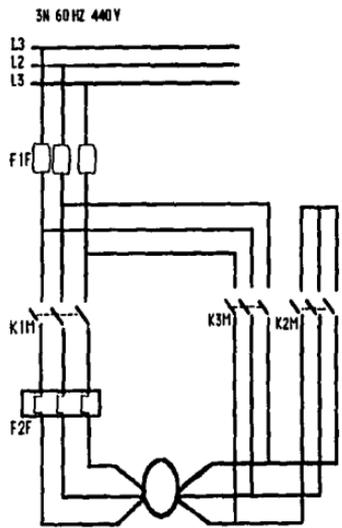
En las figuras respectivas se muestra el diagrama de potencia y el de control para el arranque estrella-delta

El contacto momentáneo (pulsador) S1A energiza la bobina del contactor estrella K2M y activa el relé de tiempo K4A. Un contacto NA (Normalmente Abierto) de K2M conecta el contactor de la red K1M. Los contactos de retención de los contactores K2M y K1M cierran. El motor arranca en conexión estrella.

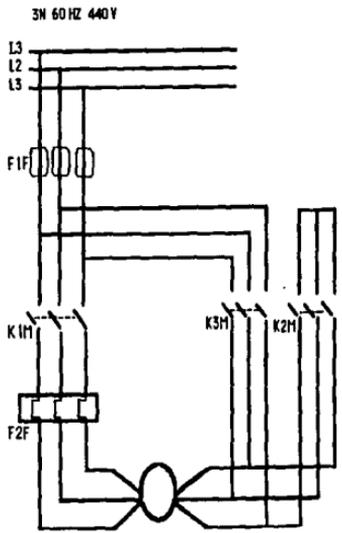
Después de transcurrir el tiempo de retardo ajustado, el contacto "NC" de K4A abre y desconecta el contactor estrella K2M. Al cerrar el contacto "NC" del contactor estrella K2M se conecta el contactor triángulo K3M, ya que el contactor de la red estaba previamente conectado. El motor marcha ahora en conexión triángulo.

**ESTA TEXTO NO DEBE  
SALIR DE LA BOLSILLO**

ARRANQUE POR CONMUTACION ESTRELLA-DELTA  
DIAGRAMA DE FUERZA



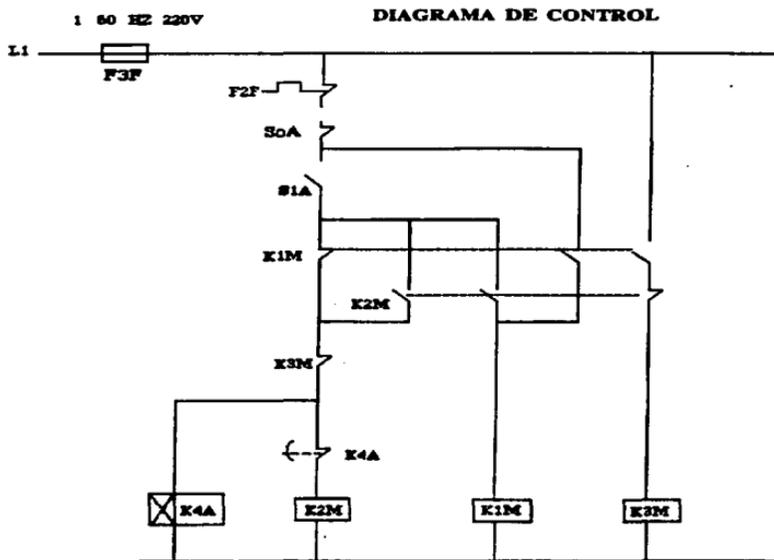
SENTIDO DE GIRO HACIA LA DERECHA



SENTIDO DE GIRO HACIA LA IZQUIERDA

C

## ARRANQUE A TENSION REDUCIDA ESTRELLA - DELTA



Cuando se acciona el pulsador S0A abre el circuito de alimentación de todas las bobinas de los contactores, y por tanto el motor se detiene.

### 3.1.2.2 ARRANQUE A TENSION REDUCIDA POR AUTOTRANSFORMADOR

Los motores trifásicos de inducción pueden ser arrancados a tensión reducida utilizando un autotransformador trifásico o tres transformadores monofásicos como se puede ver en la Figura siguiente. Las tomas en el monofásicos como se puede ver en la Fig.4.2d . Las tomas en el transformador oscilan del 50 al 80% de la tensión nominal. Si el motor no consigue acelerar la carga a tensión mas baja pueden escoger tomas de tensión superior hasta que se obtenga el par de arranque apropiado y deseado.



El autotransformador actúa de dos formas para reducir la corriente de la red.

- reduce la corriente de arranque del motor reduciendo la tensión.
- Mediante la relación de transformación del transformador, por lo que la corriente de la línea del primario es menor que la corriente del motor del secundario. Ya que la relación de espiras representa así mismo la relación de tensiones, en consecuencia se reduce la corriente de arranque de la línea según el cuadrado de la relación de espiras.

El arrancador a tensión reducida tipo autotransformador esta conformado por el autotransformador, un contactor para alimentar este a la red, dos ó más contactores para aplicar

las tensiones parciales de salida del autotransformador al motor, y un contactor para alimentar el motor a plena tensión. Un relevador de sobrecarga adecuado a la intensidad nominal del motor. un relevador de tiempo

En las figuras respectivas se puede observar un diagrama elemental de un arrancador a tensión reducida tipo autotransformador. El diagrama se conforma de uno de potencia y uno de control.

En el de control el pulsador SI Q energiza la bobina del contactor KIA y activa el rele de tiempo K4T. cuando entra KIA. un contacto normalmente abierto cierra y energiza la bobina del contactor K3A. los contactos de autorretención de KIA y K3A cierran. El motor arranca a tensión reducida.

Después de transcurrir el tiempo ajustado de retardo conmuta el contacto del relé de tiempo K4T. El contactor KIA se desconecta y el contactor K2M se conecta. El contacto normalmente cerrado de K2M desconecta el contactor K3A. El contacto de autorretención de K2M cierra. El motor marcha a tensión plena.

## ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR

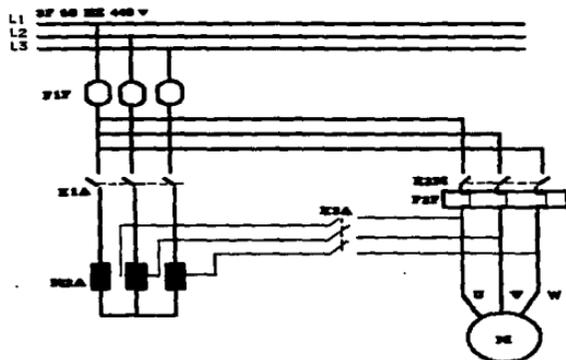
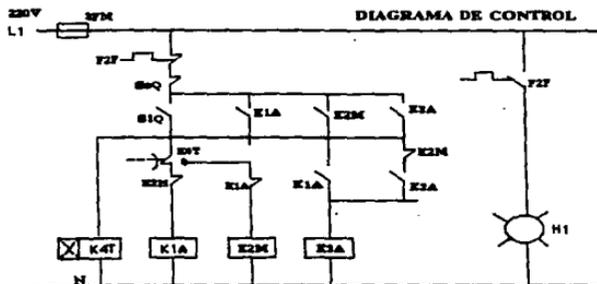


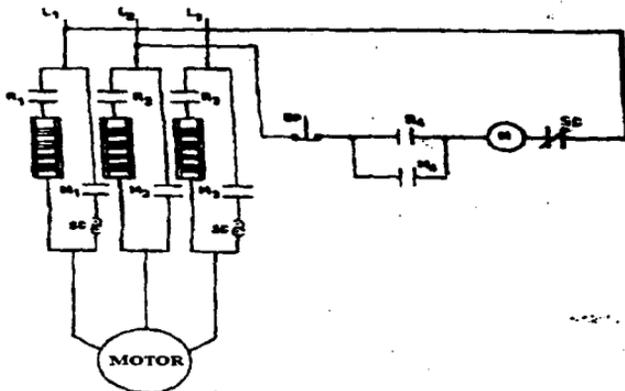
DIAGRAMA DE FUERZA



### 3.1.2.3 ARRANQUE CON RESISTENCIAS PRIMARIAS

En este método de arranque el motor se conecta a la línea a través de un grupo ó banco de resistencias, produciendo una caída de tensión en ellas. Está caída disminuye la tensión aplicada a las terminales del motor, reduciendo la corriente y el par durante el arranque. Una vez que el motor alcanza cierta velocidad (Superior al 70% de la nominal), se desconectan las resistencias dando al motor funcionando con la tensión plena de alimentación.

Por lo regular se emplea un arrancador en gabinete, que emplea un banco de resistencias, formado por filas de discos de grafito, las cuales al ser comprimidas van disminuyendo su valor de resistencia. Esto se logra con un mecanismo accionado por una palanca que toma tres posiciones, reposo, arranque intermedio y arranque completo. En la Figura siguiente se muestra el diagrama de potencia y el de control de dicho arrancador.

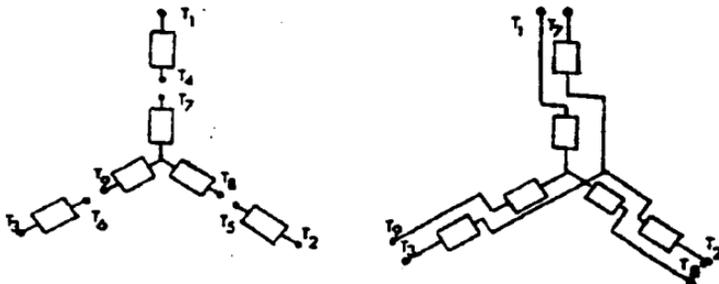


Cuando se pasa de la posición de reposo a la de arranque los contactos R 1, R2, R3, son cerrados por el mecanismo conectado, el motor a la línea a través del banco. Para acelerar el motor la palanca se lleva a la posición de arranque completo, en dicha operación se reduce la resistencia. Al llegar la palanca a la posición de arranque completo, el contacto R4 se cierra, excitándose la bobina del contactor M que elimina el banco de resistencias en el circuito de carga del motor., el contacto de retención M4 cierra, de tal manera que al regresarse la palanca a su posición inicial abriendo los contactos R1, R2, R3, R4, el motor queda alimentado a la tensión de la red a través del contactor M.

Para parar basta pulsar el botón de paro, desenergizándose la bobina del contactor M que abre sus contactos, quedando listo el circuito par otra operación.

### 3.1.2.4 ARRANQUE CON DEVANADO PARTIDO

Frecuentemente los motores trifásicos jaula de ardilla son construidos para operar a dos tensiones, por ejemplo 220 y 440 volts. Esto se logra devanando el estator en dos secciones idénticas. Estas dos secciones son por lo regular dos estrellas ver Figura siguiente y se conectan en paralelo durante la operación normal del motor, el arranque por devanado partido (Dividido) puede ser empleado para limitar la corriente y el par de arranque.



Inicialmente se conecta la alimentación una mitad del devanado estático y luego, cuando el motor marcha cerca de su velocidad de régimen, se conecta la segunda mitad en paralelo con la sección ya excitada.

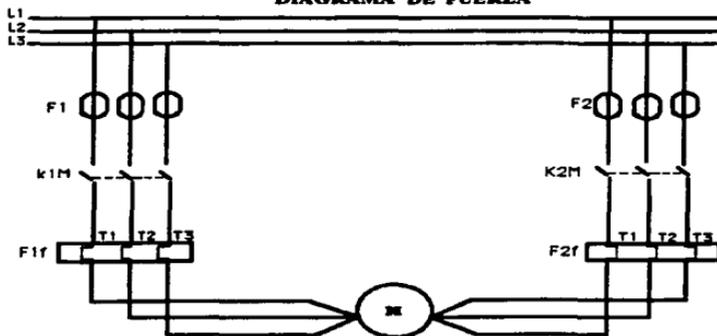
Generalmente se utiliza para motores conectados en estrella pero puede realizarse en motores con conexión delta, siempre y cuando ninguna de las terminales de la conexión se abra durante la operación.

En la Figura siguiente se puede observar el diagrama de potencia y el de control de un arrancador por devanado dividido. Para poner en marcha el motor basta pulsar el botón de arranque (B.A.) que permite se energicen las bobinas de] contactor 1 M y del relevador del tiempo (T), al energizarse 1 M, cierra sus contactos conectando medio devanado del motor a la línea.

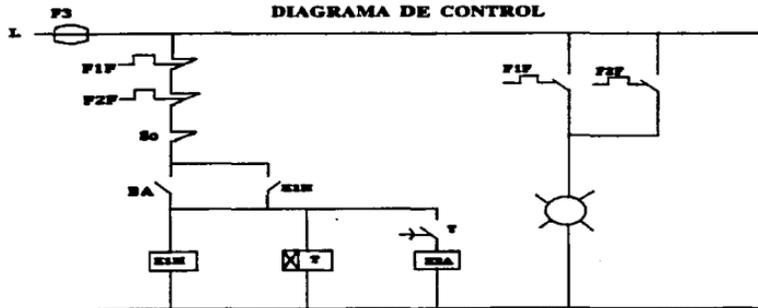
Un tiempo programado después de energizarse T, sus contactos operan, excitándose la bobina 2M del contactor que conecta el segundo devanado.

# ARRANQUE A TENSION REDUCIDA POR DEVANADO DIVIDIDO

## DIAGRAMA DE FUERZA



## DIAGRAMA DE CONTROL



### 3.1.2.5 ARRANQUE CON REACTANCIAS

Este método de arranque consiste en conectar el motor a la línea a través de reactores colocados en cada una de las fases, como resultado de utilizar este tipo de arrancador, el par en el arranque es muy bajo, además el empleo de reactores disminuye aun más el factor de potencia durante la aceleración, estas características y su mayor costo hacen que este método de arranque sea poco usado.

Sin embargo, en accionamientos donde se requieren un bajo par de arranque se emplea el arrancador con reactancias. Usualmente los reactores van provistos de derivaciones, para conseguir en los bornes del motor tensiones del 50, 65 y 80% de la tensión de alimentación lo que permite realizar ajustes en las relaciones par y corriente.

En la figura siguiente se puede observar el diagrama de potencia y el de control de un arrancador por medio de reactancias. Para poner en marcha el motor basta pulsar el botón S1 que energiza la bobina del contactor KM 1, el cual cierra sus contactos energizándose KM2 y K2M- al entrar KM2 la corriente circula por el banco de reactancias poniendo en marcha el motor a una velocidad baja transcurrido el tiempo programado en K2M, cierra el contacto "NC" de K2M y energiza el contactor KM3 el cual al entrar desconecta el contactor KM2 por medio de uno de sus contactos "NC" dejando fuera el banco de reactancias y conectando el motor directamente a la línea por medio de KM3 como ya se dijo.



## 4 AUTOMATIZACION

### 4.1 PRINCIPIOS DE CONTROL CON SISTEMAS PROGRAMABLES.

Todo circuito de conmutación por complicado que sea, está formado por varias unidades ó funciones lógicas; éstas unidades combinándose adecuadamente satisfacen los requisitos de cualquier problema específico de control.

La primera tarea a realizar en el desarrollo de los circuitos para controlar un sistema, consiste en determinar perfectamente las necesidades del mismo, elaborando un cuadro de operación que defina su comportamiento. Después, se convierten las necesidades en lenguaje lógico.

En las computadoras se manejan ciertos lenguajes que al interactuar con diferentes dispositivos, tanto internos como externos, representan una gran ayuda para el ingeniero.

Los rápidos avances en el campo de la electrónica trajeron consigo la llegada de los microprocesadores, los cuales se incorporaron a los procesos de automatización.

La idea de proporcionar una automatización más sencilla aumentando al mismo tiempo la confiabilidad y disponibilidad de un equipo a través del diseño de programas, abrió el camino para un sistema de control a base de microprocesadores.

Un ejemplo de este tipo de sistemas de control son los controladores lógicos programables PLC.

El PLC, basa su lenguaje de control sobre diagramas de escalera.

De esta forma se puede decir que cuando un controlador programable está diseñado para realizar un control lógico secuencias basado en diagramas de escalera, recibe el nombre de CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC).

## **4.2 DIFERENCIA ENTRE CONTROL POR CABLEADO Y CONTROL POR PROGRAMA.**

### **4.2.1 CONTROL POR CABLEADO.**

Si en este circuito descaramos modificar la lógica de control necesitaríamos hacer cambios en el cableado, reorganizando los diversos elementos que participan en el circuito de control.

En la técnica de control por cableado ó control convencional , modificar una secuencia implica descablear y recablear para obtener lo que se desea.

En el circuito anterior esto puede parecer un problema sin importancia. Pero, ¿Qué sucede cuando en el control estan involucradas decenas o centenas de señales?. En un caso así , hacer modificaciones al cableado resulta un problema relevante.

En la técnica de control por programa este inconveniente ha sido resuelto. El correspondiente cableado es independiente de la lógica ó secuencia de control deseada.

En el control por programa, los contactos de los emisores del proceso y los contactos de los elementos finales de control se conectan a las bornas de un dispositivo conocido como PLC (Controlador Lógico Programable).

### **4.2.2 CONTROL POR PROGRAMA.**

La lógica ó secuencia según la cual trabaja el control se escribe en forma de programa en la memoria del PLC con la ayuda de un equipo programador.

Este programa se compone de una serie de instrucciones equivalentes a las conexiones serie y paralelo del control convencional.

La unidad de control del PLC lee una tras otra las instrucciones almacenadas, interpreta su contenido y se encarga de su ejecución. Al hacerlo, el controlador consulta los estados de los emisores (botones pulsadores, finales de carrera, fotoceldas, etc.) y produce resultados a las salidas, tales como conexión ó desconexión de bobinas, lámparas, etc.

En caso de querer hacer una variación a la secuencia de control, no es necesario modificar el cableado, sino solamente el contenido de la memoria del controlador.

La independencia del cableado con la lógica ó secuencia de control es una de las diferencias fundamentales entre el control por cableado y el control por programa.

Tal diferencia establece una clara ventaja en el uso de los controladores lógicos programables (PLC) para la implementación de las tareas de automatización.

#### 4.2.3 VENTAJAS DEL CONTROL POR PROGRAMA.

**Independencia con respecto al cableado.-** La lógica ó secuencia de control no depende de la conexión de elementos del circuito.

**Facilidad de modificación.-** Para modificar una secuencia de control no es necesario cablear y descablear, basta reescribir el programa de control escrito en el controlador.

**Reducción de espacio.-** Los diversos elementos hardware que intervienen en la lógica cableada como reles de tiempo, contactores, contactos auxiliares, etc. son sustituidos por estructuras software dentro del controlador.

Estas estructuras no requieren espacios especiales (gabinetes ó tableros) como ocurre en control convencional.

**Facilidad en la prueba y puesta en marcha.-** La lógica de control se prueba por secciones ó en su totalidad con la ayuda del programador y ahí mismo se hacen las modificaciones necesarias.

**Rápida detección de fallas y averías.-** Existen utilerías software que facilitan la detección de fallas, tanto del programa de control, como del controlador.

**Independencia de voltajes.-** Los voltajes de operación de los emisores pueden ser distintos a los voltajes de operación de los elementos finales de control, es decir, la línea emisor-elemento de control es independiente, no está unida mediante conexiones como ocurre en control convencional.

Por tanto, los elementos involucrados (por ejemplo pulsadores) no necesitan ser necesariamente robustos y soportar el mismo paso de corriente que el elemento final del control.

#### **4.3 CONCEPTOS BIT, BYTE Y PALABRA.**

##### **4.3.1 BIT.**

El bit es la unidad de información mas pequeña. Solo puede tomar los valores "0" y "1" . Un bit es suficiente para representar una señal binaria.

##### **4.3.2 BYTE.**

El byte es una unidad compuesta de 8 bits. Los bits se agrupan de derecha a izquierda tomando como número de bit del 0 al 7. En un byte se puede representar el estado de hasta 8 señales binarias (1 por cada bit).

### **4.3.3 PALABRA.**

La palabra es una unidad mayor, compuesta de 16 bits = 2 Bytes. Los bits se agrupan de derecha a izquierda tomando un número de bit del 0 al 15. En una palabra se puede representar hasta 16 señales binarias.

### **4.4 ESTRUCTURA DE UN PLC.**

Un PLC se compone de las siguientes partes fundamentales:

Sección de Entrada.

Sección de Salida.

Unidad Central de Proceso (CPU)

Memoria de Programa.

Bus de Datos.

Fuente de Alimentación.

Estas unidades son fundamentales en el PLC. Cada una de ellas cumple con una función específica.

#### **4.4.1 SECCION DE ENTRADA Y SALIDA.**

Las secciones de entrada y salida constituyen la interfase entre los emisores de señal y los actuadores de la máquina o proceso que se va a controlar.

LA- SECCION DE ENTRADA.- reciben las señales del proceso y las adaptan a los niveles de señal internos del equipo.

Estas señales ya acondicionadas viajan a través de un bus hasta el CPU. Este ejecuta el programa de control y en base a él se producen señales de comando ó de respuesta.

**LA SECCION DE SALIDA.-** Toman las señales de respuestas elaboradas por el CPU y realizan la conversión en sentido contrario. Es decir, a partir del nivel de señal interno.

la sección produce el nivel adecuado para alimentar reles, electroválvulas, lámparas y en general elementos finales de control.

#### **4.4.2 UNIDAD CENTRAL DE PROCESO O CPU.**

Es el cerebro del PLC. Se encarga de ejecutar el programa existente en la memoria.

Dependiendo de lo que el programa contenga, el CPU consulta si las entradas al aparato tienen ó no tensión aplicada.

En base a esto se elabora un resultado y le ordena a las tarjetas de salida la conexión ó desconexión de determinadas bornas. Con ello, los elementos de control, como accionamientos y lámparas, también son conectados ó desconectados.

#### **4.4.3 MEMORIA DE PROGRAMA.**

El programa de control se almacena en la memoria de programa.

Con la ayuda de un programador se escriben una a una las instrucciones del programa de control.

Cuando se desean hacer cambios en la lógica ó secuencia de control, basta modificar el programa contenido en la memoria.

#### **4.4.4 MODULOS DE MEMORIA.**

Es posible enchufar el CPU a módulos de memoria RAM, EPROM ó EEPROM de diferentes capacidades.

El RAM sirve para almacenar el programa de control durante la elaboración y prueba del programa. El contenido de la memoria Ram, ya sea la del módulo enchufable ó la que ya posee el CPU, es volátil, es decir su contenido se pierde si el suministro de energía (proporcionado por la fuente de alimentación) se pierde.

Los módulos EPROM y EEPROM son módulos de memoria enchufables de tipo no volátil, es decir, su contenido NO se pierde por la falta de suministro de energía. Se utilizan normalmente para alojar programas definitivos, ya probados y debidamente depurados.

El contenido de la memoria EPROM se borra utilizando luz ultravioleta. El contenido de la memoria EEPROM se borra eléctricamente. Ambos módulos (EPROM y EEPROM) se graban con ayuda del aparato de programación.

#### 4.4.5BUS DE DATOS.

El bus de datos. Es la vía por la que se intercambian todas las señales entre el CPU y la sección de entrada y salida.

#### 4.4.6FUENTE DE ALIMENTACION.

La fuente de alimentación. Genera a partir de la tensión de suministro, la tensión de operación necesaria para que todos los elementos electrónicos del PLC funcionen, tales como el CPU, tarjetas de entrada y salida, etc.

La tensión de operación normalmente es mucho menor que la tensión de suministro, del orden de 5 a 24 V. Sin embargo los circuitos de los emisores y los circuitos de los dispositivos de control requieren una tensión de trabajo superior (24v, 115v,220v, etc. ) . Esta tensión es suministrada por fuentes de alimentación externas, no por la fuente de alimentación del PLC.

#### **4.5 FLUJO DE DATOS EN LA COMPUTADORA PERSONAL.**

En la computadora personal se tienen dos etapas ó fases de transformación de la información que son:

##### **4.5.1 ETAPA DE EDICION Y ENSAMBLE DE PROGRAMAS DE APLICACION.**

Aquí, la información fuente que puede ser aceptada por el controlador puede ser de dos tipos:

##### **4.5.2 Lenguaje ensamblador traducido a código de máquina.**

En el nivel más básico el microprocesador responde a una serie de operaciones que se conocen como programa de máquina.

Para representar los códigos de máquina del microprocesador se utiliza un lenguaje ensamblador que emplea palabras y frases, siendo estas últimas de 1 a 3 bytes del código de máquina.

Cada lenguaje ensamblador esta basado en un lenguaje de máquina particular, siendo su relación de uno a uno con las instrucciones correspondientes al lenguaje de máquina.

Las instrucciones del lenguaje ensamblador se dividen en cuatro:

- 1.- Etiqueta.
- 2.- Operando.
- 3.- Mnemónico.
- 4.- Comentarios.

La etiqueta no siempre es usual, mientras que el campo mnemónico se encarga de avisar al ensamblador el programa ó función que realizará.

El campo de operando contiene las funciones como registros, datos ó direcciones que se relacionan con la operación a realizar.

El campo de comentario tiene gran importancia, ya que se encarga de ayudar a entender lo que sucede en algún programa.

Un programa ensamblador compuesto de instrucciones simbólicas es llamado programa fuente y una vez traducido a lenguaje de máquina es llamado programa objeto.

**Etapa de comunicación con el ensamblador.**

Esta etapa está compuesta por el bloque de comunicaciones el cual es un programa comercial que permite el envío de programas y comandos al CPU (unidad central de proceso) del controlador y a su vez, la presentación en pantalla y almacenamiento en archivos en disco de la información recibida del CPU del controlador.

La restricción que se debe tomar en cuenta es la rapidez con que ejecuta las acciones de control sobre el proceso el PLC.

Ya que la rapidez de procesamiento del sistema depende de los retardo! del circuito de interfaz de entrada/salida.

El tamaño del programa de aplicación y del diseño de las rutinas del ejecutivo, el tiempo máximo de retardo por rama en el diagrama de escalera es de 0.010 segundos.

### 4.5.3 Representaciones en diagramas de escalera.

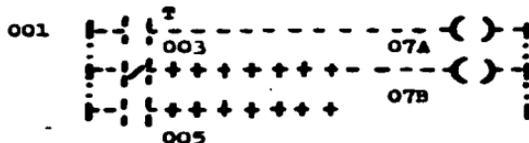
Estos tipos de información son almacenados en archivos tipo texto mediante un editor comercial (Turbo pascal ó Word star). Si la información es del tipo de diagrama de escalera, ésta puede ser enviada directamente al controlador mediante un programa de comunicaciones.

Programación en lenguaje de escalera.

Este tipo de lenguaje proporciona a los usuarios la facilidad de entender y crear los programas de control del proceso ó máquina donde será aplicado el controlador.

Para escribir un lenguaje en diagrama de escalera que pueda ser interpretado por el controlador se deben considerar las siguientes reglas:

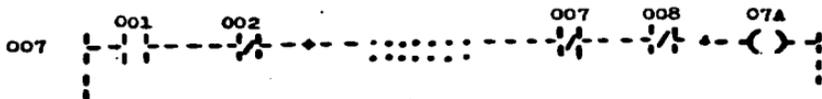
1.- La rama principal de un peldaño siempre debe ser numerada, esta numeración puede ser discontinuo. Ver figura siguiente.



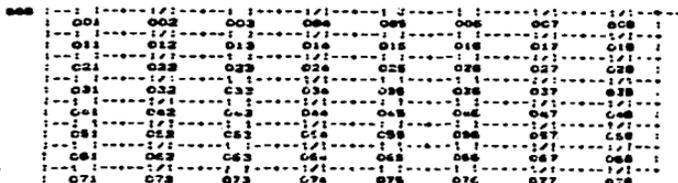
2.- El número de las entradas ó salidas (contactos ó bobinas, temporizadores ó contadores) tienen numeración de 3 dígitos hexadecimales usando los caracteres:

0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F.

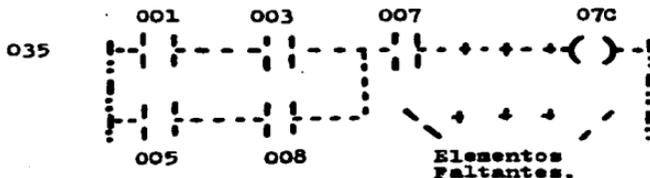
3.- El número máximo de elementos de entrada (contactos) por rama ó subrama del peldaño son 8. Ver figura siguiente.



4.- El número máximo de subramas en un peldaño sin contar la rama principal son 7. Ver figura siguiente



5.-Subramas que no contengan 8 elementos de entrada, los elementos faltantes deberán indicarse por un espacio, o entre los caracteres (+), el número de estos caracteres por rama ó subrama debe ser 8. Ver figura siguiente.

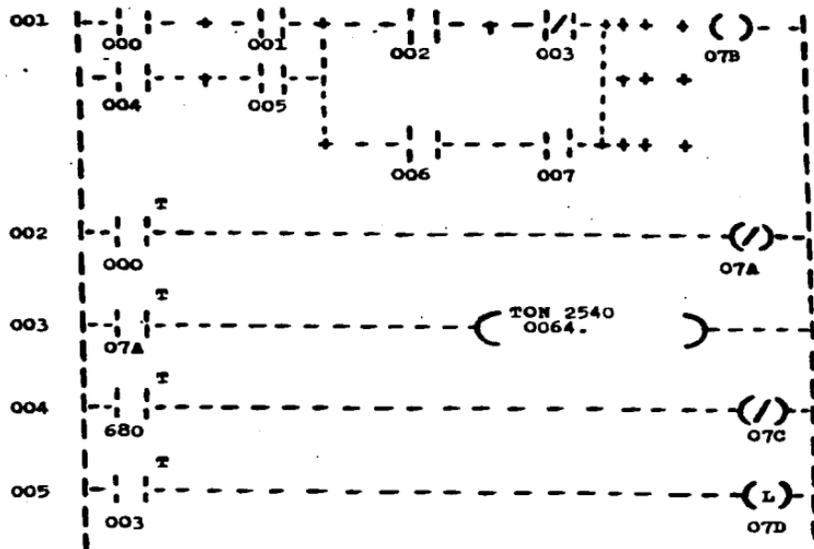


6.- En el caso de temporizadores, contadores y funciones de reinicialización, la dirección de contadores y temporizadores es hexadecimal y par.

7.- En el caso de las constantes de contadores y temporizadores, éstos se deben expresar en valores hexadecimales.

8.- Para finalizar un programa debe de usarse un carácter de fin de programa que es un asterisco (\*) y debe de estar ubicado en el último lugar del programa.

En la figura siguiente se muestra una forma en la que se puede encontrar un programa.



## 4.6 ESTADOS DE SEÑAL 0 Y 1.

### 4.6.1 SEÑAL BINARIA.

Para el PLC las señales de entrada solo pueden adquirir los estados de : "existe tensión" ó "no existe tensión", nunca un estado intermedio. De la misma forma las señales de salida solo pueden estar .. conectadas" ó "desconectadas".

Este tipo de señales que solo pueden tomar dos estados definidos se les conoce como señales binarias.

Para una señal de entrada, por ejemplo, el estado de señal toma el valor de "1" cuando se detecta el 100% del voltaje en el canal de entrada. El estado de señal es "0" cuando existe el 0% del voltaje. El 0% y 100% del voltaje se determina según criterios de tolerancia.

### 4.6.2 TIPOS DE CONTACTOS Y SU ESTADO DE SEÑAL.

El PLC asocia el estado de señal "0" a las entradas donde "no existe tensión" y asocia el estado de señal "1" a las entradas donde .. existe tensión".

Sin embargo el PLC no es capaz de determinar de estos "unos" y .. ceros" la situación física que los produce. Por ejemplo, tener una entrada con estado de señal " 1 " puede ser el resultado de 2 situaciones físicas distintas. Ver tabla siguiente:

TIPO DE CONTACTO	ESTADO DEL CONTACTO	TENSION A LA ENTRADA	ESTADO DE SEÑAL A LA ENTRADA
CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	ACCIONADO	EXISTE	1
	NO ACCIONADO	NO EXISTE	0
CONTACTO NORMALMETE CERRADO	ACCIONADO	NO EXISTE	0
	NO ACCIONADO	EXISTE	0

Un estado de señal " 1 "lo produce un contacto normalmente abierto accionado, ó un contacto normalmente cerrado no accionado.

De la misma manera el estado de señal "0" lo produce un contacto normalmente abierto no accionado ó un contacto normalmente cerrado accionado.

El PLC no puede determinar el estado, pero sí el tipo de contacto asociado a la entrada.

Esta situación se toma muy en cuenta a la hora de la programación.

La programación del PLC se hace con símbolos semejantes a los utilizados en circuitos de control electromagnético en la configuración de diagramas de escalera.

#### 4.6.3 IDENTIFICACION DE SEÑALES.

Al PLC llegan diversas señales de campo procedentes de los emisores y salen otras señales hacia lámparas y elementos finales de control. Asimismo, al ejecutarse el programa contenido en la memoria se generan una serie de señales internas auxiliares en la elaboración de la lógica de control.

Para identificar claramente las señales que se manejan en el PLC es necesario darles un nombre ó designación. Cada vez que se hace referencia a una señal, se hace a través de este nombre ó designación.

La designación de las señales pueden hacerse considerando una única señal (1 bit) ó un grupo de ellas (byte ó palabra).

#### 4.6.4 DESIGNACION DE ENTRADAS Y SALIDAS.

Las señales de entrada y salida llegan y salen físicamente de las bornas de conexión de las tarjetas de entrada y salida.

Para efectos de identificación, todas las señales que manejan las tarjetas se agrupan en conjuntos de 8, es decir por bytes. Y se les asigna un número byte (0... n). Cada byte contiene a su vez 8 elementos: una señal por cada uno de sus 8 bits.

Cualquier señal en las tarjetas queda definida mediante el número del grupo al que pertenecen (número de byte) y el número de elemento en el grupo (número bit). A esta información se le conoce como dirección de la señal.

#### 4.7 CARACTERISTICAS IMPORTANTES.

Las características más importantes del controlador lógico programable son:

1.- El PLC puede ser programado tanto en representaciones gráficas en formato de diagramas de escalera como en ensamblador cuando se trate de usarlo en aplicaciones especiales, debido a su gran versatilidad tanto al ser conectado con computadoras personales compatibles, como al usar programas de ensambladores.

Esto facilita la realización de cualquier aplicación distinta a la de control lógico.

2.-La programación del controlador puede ser realizada desde una computadora personal ó desde el teclado que actúa como programador manual.

3.- El controlador permite ver y forzar a algún estado lógico las señal es digitales tanto de entrada como de salida de los circuitos de interfaz, sin importar las señales enviadas por éstos ó el valor resultante de la lógica del programa de aplicación.

Esto también es una herramienta para detectar fallas en los circuitos de interfaz del controlador y para verificar en algunos casos las señales del proceso ó máquina bajo control.

## CONCLUSIONES:

Una forma apropiada para entender la importancia de las compuertas lógicas esta basado en tener conocimiento de los "sistemas de numeración" que conjuntamente con el "álgebra de Boole" ayudan al desarrollo de nuevos sistemas de control lógico. Estos temas habilitan al lector para que conozca y aplique en forma correcta la lógica booleana a los sistemas de control.

Aunque en la actualidad existen variantes de la simbología americana, se recomienda, utilizar esta última en la elaboración de diagramas lógicos por ser la más usual.

Se sabe que los dispositivos de función lógica intervienen en muchos circuitos que eran controlados por circuitos electromagnéticos y es recomendable no olvidar que los circuitos con relevadores, tienen aún características importantes para los sistemas industriales.

Para el controlador lógico programable (PLC ), se recomienda programarlo lo más sencillamente posible en base al sistema a controlar para así poder llenar capacidad adicional de controlar otros sistemas.

El PLC puede ennicarse en lugares donde el trabajo a realizar sea monotono y no productivo para una industria. También se recomienda utilizarlo en lugares peligrosos para una persona, en lugares donde se requiera de mucha exactitud, etc.

### **BIBLIOGRAFIA:**

- ELECTRONICA INDUSTRIAL.
- TIMOTHY J. MALONEY.
- EDITORIAL PRENTICE HALL.
  
- AUTOMATISMO ELECTRICO Y ELECTRONICO.
- F. ARTERO PUJOL.
- EDICIONES CEDEL.
  
- OPERACION, CONTROL Y PROTECCION DE MOTORES ELECTRICOS.
- HORACIO BUITRON SANCHEZ.
- HP. EDITOR.
  
- ABC DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES.
- G. ENRIQUEZ HARPER.
- NORIEGA. LIMUSA.
  
- CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES.
- CURSO DE SEMINARIO DE SIEMENS.
  
- CATALOGOS DE SQUARE D.
- A) FUNDAMENTOS DE CONTROL PARA MOTORES.
- B) DIAGRAMAS DE ALAMBRADO.