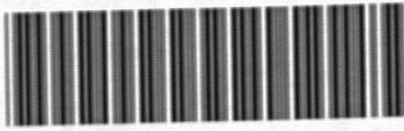


TM
Z5853
.M2
FIME
1972
A72

TM
Z5853
. M2
FIME
1972
A72



1020070548

TM
S8
.M2
FIME
972
A72



162063

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I.- SISTEMAS DE NUMEROS - - - - -	1
Lugares de Peso - - - - -	2
Sistema Binario - - - - -	4
Combinación de Variable - - - - -	8
Código Binario- - - - -	10
Código Binario-Decimal- - - - -	10
Código Exceso - 3 - - - - -	12
Código Gray - - - - -	14
 CAPITULO II.- ALGEBRA BOOLEANA	 19
Introducción - - - - -	19
Fundamentos - - - - -	19
Definiciones - - - - -	22
Diagramas de Venn - - - - -	23
Formas canónicas de la función Booleana -	26
 CAPITULO III.- FUNCIONES LOGICAS BASICAS (LOGICA POSITIVA)	 31
Función AND - - - - -	31
Función OR - - - - -	31
Función NOT - - - - -	32
Función NAND - - - - -	32
Función NOR - - - - -	33
FUNCIONES LOGICAS BASICAS IMPLEMENTADAS -	
CON DISPOSITIVOS NOR'S - - - - -	33
Función AND - - - - -	33
Función OR - - - - -	34
Función NOT - - - - -	34
Función NAND - - - - -	34

	PAG.
FUNCIONES LOGICAS BASICAS IMPLEMENTADAS POR-	
DISPOSITIVOS NAND'S - - - - -	34
Función AND - - - - -	34
Función OR - - - - -	34
Función NOT - - - - -	34
Función NOR - - - - -	34
 CAPITULO IV.- TECNICA DE MINIMIZACION DE LA FUNCION - -	
BOOLEANA POR MEDIO DE MAPAS DE KARNAUGH O -	
DIAGRAMAS DE VEITCH - - - - -	37
Diagrama de Veitch para:	
1 variable - - - - -	37
2 variables - - - - -	38
3 variables - - - - -	38
4 variables - - - - -	38
5 variables - - - - -	39
Minimización de la Función Booleana - - - - -	41
LIMITACIONES DE LA MINIMIZACION POR DIAGRA-	
MAS DE VEITCH - - - - -	44
 CAPITULO V.- ELEMENTOS FLUIDICOS - - - - -	45
INTRODUCCION - - - - -	45
HISTORIA - - - - -	46
PRINCIPIOS BASICOS - - - - -	48
ELEMENTOS DIGITALES - - - - -	49
EFFECTO COANDA - - - - -	49
AMPLIFICADOR BIESTABLE - - - - -	53
EFFECTO DEL BLOQUEO SOBRE EL AMPLIFICADOR --	
BIESTABLE - - - - -	55
PARAMETROS GEOMETRICOS QUE AFECTAN EL FUN--	
CIONAMIENTO DEL AMPLIFICADOR BIESTABLE - -	57
COMPONENTES DE LOS AMPLIFICADORES BIESTABLES	58
CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE LOS AMPLIFICA	
DORES BIESTABLES - - - - -	61

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR BIES
 TABLE - - - - - 63
 AMPLIFICADOR DE TURBULENCIA - - - - - 64
 AMPLIFICADOR DE INDUCCION - - - - - 71
 AMPLIFICADOR DE CHORRO DIRIGIDO - - - - - 72
 AMPLIFICADORES FLUIDICOS ANALOGICOS - - - - - 75
 AMPLIFICADOR PROPORCIONAL DE ^{INTERACCION} INTEGRACION DE - - - - -
 CHORRO - - - - - 75
 AMPLIFICADOR DE VORTICE- - - - - 79
 AMPLIFICADOR DE CODO DE DOBLE PIERNA - - - - - 83
 AMPLIFICADORES MODULADORES DE IMPACTO.- - - - - 88
 MODULADOR DE IMPACTO DIRECTO - - - - - 91
 AMPLIFICADOR OPERACIONAL- - - - - 97
 MODULADOR DE IMPACTO DE SUMA- - - - - 103
 SENSORES E INTERFASES - - - - - 109

CAPITULO VI.- DISEÑO DE CIRCUITOS FLUIDICOS - - - - - 115

ELEMENTO NOR - - - - - 115
 FLIP-FLOP R-S- - - - - 117
 FLIP-FLOP R-S-T - - - - - 118
 MEDIO SUMADOR - - - - - 120
 SUMADOR COMPLETO- - - - - 122
 MEDIO RESTADOR - - - - - 126
 RESTADOR COMPLETO - - - - - 127

CAPITULO VII.- CONTADOR BINARIO - - - - - 131

DECODIFICADOR BINARIO A DECIMAL - - - - - 135
 CODIFICADOR DECIMAL A BINARIO - - - - - 137
 CONTADOR DECIMAL - - - - - 138
 SELECTOR DE CONTEO - - - - - 141

	PAG.
CAPITULO VIII.- CIRCUITO DE RETARDO DE TIEMPO - - - - -	144
CIRCUITOS DE UN DISPARO - - - - -	144
ELEMENTO DE HISTERESIS - - - - -	150
DISPARADOR SCHMITT - - - - -	153
OSCILADORES FLUIDICOS - - - - -	153
OSCILADOR DE DOBLE FRECUENCIA - - - - -	156
OSCILADOR DE BAJA FRECUENCIA CON ANCHO- DE PULSO VARIABLE - - - - -	157
CONVERTIDOR ANALOGICO A DIGITAL - - - - -	160
EPILOGO - - - - -	164
BIBLIOGRAFIA - - - - -	166.

P R O L O G O.

Este trabajo es escrito con una doble finalidad:

Primeramente, con el fin de satisfacer el requisito señalado - para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica, para lo cual fue aprobado, y en segundo lugar, - para conjuntar en una forma lo más sencilla posible, al alcance de las personas interesadas en ésta relativamente nueva tecnología, -- los conceptos básicos de los elementos fluídicos, así como algunas aplicaciones.

Aunque estamos conscientes, de la necesidad de disponer a nuestro alcance un Manual de Diseño de Circuitos Fluídicos, no es éste el fin que perseguimos en este trabajo, sino únicamente mostrar el potencial que nos ofrece, para resolver problemas de control, entre otros, debido a sus muchas ventajas, entre las que podríamos citar, alta confiabilidad, alta tolerancia al medio ambiente, versatilidad, etc.

En este trabajo me he permitido el uso de cierta terminología, - que aun cuando no está aceptada por la Lengua Española, es la forma comunmente conocida y empleada por las personas relacionadas con el tema, asimismo he utilizado el término Fluídico, al referirme a elementos sin partes móviles, aunque el término es más general, ya que en Febrero de 1965 la NATIONAL FLUID POWER ASSOCIATION, convocó a -- una serie de conferencias en MILWAUKEE, en las cuales se adoptaron -

algunas definiciones. El término FLUIDICA o FLUIDICO se refiere al campo general de control con flúidos, incluyendo el uso de elementos con partes mecánicas móviles. El término FLUERICA, se definió como el campo específico de la Fluídica, que no incluye el uso de elementos con partes mecánicas móviles, ni involucra ninguna transformación de energía del medio.

El trabajo consta de 8 Capítulos y 1 Apéndice; el Capítulo I trata de sistemas de números, prestándole gran importancia al Sistema Binario, sobre el cual gira el diseño de circuitos digitales. El Capítulo II expone el Algebra de Boole o Algebra de Proposiciones, de Capital importancia para el diseño de circuitos lógicos.

El Capítulo III muestra una de las técnicas de minimización, la cual he considerado como la más sencilla y suficiente, para el fin que perseguimos en este trabajo.

En el Capítulo IV se definen las funciones lógicas básicas y en el V se describen los más comunes amplificadores fluídicos, tanto los proporcionales como los digitales.

En el Capítulo VI se aplican los conocimientos adquiridos en los primeros cuatro capítulos, en el diseño de ciertos circuitos sencillos, de operaciones aritméticas.

Los últimos capítulos, muestran circuitos de uso práctico, tanto en sistemas industriales como en laboratorio.

El Apéndice A, corresponde a la simbología utilizada en sistemas fluídicos.

Para finalizar, quiero expresar mi agradecimiento al DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA, ING. JORGE M. URENCIO A. por las facilidades concedidas para la formación del Laboratorio de Sistemas Lógicos Fluídicos, donde se podrán llevar a cabo los circuitos que aparecen en este trabajo y muchos otros más ,

JOSE ANTONIO ARANDA MALTES.

ABRIL 1972.

MONTERREY, N.L.

C A P I T U L O I

SISTEMAS DE NUMEROS

El sistema diariamente utilizado por nosotros es el sistema decimal, nuestras primeras enseñanzas están basadas en dicho sistema, es decir hemos sido adocotrlnados en el uso de dicho sistema, a tal grado que muchas son las personas que piensan en este sistema como una cosa natural, lo que es falso, ya que solamente es un sistema seleccionado de una variedad infinita de posibles sistemas.

En el sistema decimal tenemos que distinguir tres cosas, a saber:

- a) El símbolo utilizado para representar una determinada -- cantidad de cosas
- b) El nombre dado a dicho símbolo
- c) La cantidad inalterable de cosas que el símbolo representa sin que importe el nombre o el símbolo en sí.

Es decir debemos reconocer inmediatamente, que en este sistema de números para cada cantidad deberá existir un nombre y un símbolo único, entonces el problema que se presenta

es, como representar un número infinito de cosas, con un número limitado de símbolos.

LUGAR DE PESO.-

La solución a este problema estriba en escribir los símbolos de tal manera que una nueva cantidad esté representada, con cada nuevo arreglo de dichos símbolos, a este principio se le llama "Lugar de Peso". Por ejemplo en el numeral 742, el símbolo 4 tiene diferente significado que en el numeral -- 425.

En el sistema decimal hacemos uso de los Dígitos 0,1,2,- 3,4,5,6,7,8,9 después de estos representamos las cantidades con potencias de 10.

El número 5832 por ejemplo, representa, 5 millares, 8 -- cientos, 3 decenas y 2 unidades en el sistema decimal o sea - el número 5832 representa la suma de las anteriores cantida-- des.

La base en el sistema decimal es 10, el número de dígitos requeridos va de 0 a $b-1$ o sea 9. Un número puede ser matemá-- ticamente expresado por:

$$1) \quad N = a_0 b^0 + a_1 b^1 + a_2 b^2 + a_3 b^3 + \dots + a_n b^n$$

donde $n = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$

$b =$ base del sistema de números

$a =$ dígitos que toman valores entre 0 y $b-1$ Esta e
cuación es válida para $N \geq 1$.

Para $\begin{cases} \curvearrowright \\ \bullet \end{cases} 0 \leq N < 1$ la ecuación queda:

$$2) \quad N = \underline{a}_1 b^{-1} + \underline{a}_2 b^{-2} + \underline{a}_3 b^{-3} + \dots + \underline{a}_n b^{-n}$$

En general los números son escritos con el dígito menos significativo a la derecha y los más significativos hacia la izquierda.

Resumiendo lo anterior podemos escribir:

- 1º) Incluyendo el cero, hay un número de dígitos igual a la base del sistema
- 2º) No hay un símbolo simple para representar la base (es un número compuesto por los símbolos simples)
- 3º) La cantidad más grande que podemos representar con símbolos simples es una unidad menor que la base.

EL SISTEMA BINARIO.

La tendencia más notable en la actualidad en el diseño - de circuitos fluídicos, eléctricos, electrónicos, etc., es el uso de métodos lógicos de diseño. El término "Lógico", no se refiere a la lógica en el sentido filosófico, sino que describe - una técnica del diseño lógico esta basada en el álgebra desarrollada por George Boole (1815-1864) y presentada en su libro, THE MATHEMATICAL ANALYSIS OF LOGIC, el álgebra de Boole esta basada a su vez en el sistema de numeración binario, -- que discutimos a continuación como una introducción al Álgebra de Boole.

El sistema binario tiene como base el "2", entonces si la base es 2, $b = 2$, sólo dos dígitos se requieren para el sistema, dígitos comprendidos entre 0 y $b-1$ o sea 0 y 1, por ejemplo, el número 10101 representa:

$$1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 = 21$$

en el sistema decimal.

Esta equivalencia la podemos ver en la siguiente tabla - comparativa.

TABLA 1

SISTEMA BINARIO -	SISTEMA DECIMAL
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12

El sistema binario sigue las mismas reglas que el decimal. La conversión de un número decimal a binario se puede efectuar por divisiones sucesivas entre 2 (base del sistema binario) por ejemplo.

Convertir el decimal 428 a binario

$$\begin{array}{l}
 \frac{428}{2} = 214 + 0 \quad \frac{214}{2} = 107 + 0 \quad \frac{107}{2} = 53 + 1 \\
 \frac{53}{2} = 26 + 1 \quad \frac{26}{2} = 13 + 0 \quad \frac{13}{2} = 6 + 1 \quad \frac{6}{2} = 3 + 0 \\
 \frac{3}{2} = 1 + 1 \quad \frac{1}{2} = 0 + 1 \quad \text{entonces} \\
 428_{10} = 110101100_2
 \end{array}$$

El proceso inverso, es decir, convertir un número binario a su equivalente decimal, se logra de la siguiente manera, por ejemplo, se trata de encontrar el equivalente decimal del número binario

$$N = 110101100$$

$$N = 0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^8$$

$$N = 428_{10}$$

Las fracciones decimales son convertidas por un proceso ligeramente diferente al de los números enteros. La fracción decimal se multiplica repetidamente por el número base, recordando el entero excedente, por ejemplo,

Convertir la fracción decimal 0.785 a número binario.

		0.785X2 =	1.570
a ₋₁ =	1	0.570X2 =	1.140
a ₋₂ =	1	0.140X2 =	0.280
a ₋₃ =	0	0.280X2 =	0.560
a ₋₄ =	0	0.560X2 =	1.120
a ₋₅ =	1	0.120X2 =	0.240
a ₋₆ =	0	0.240X2 =	0.480
a ₋₇ =	0	0.480X2 =	0.960

$$(0.785)_{10} = (0.1100100 \dots\dots)_2$$

El proceso se continua hasta obtener ceros en el producto (1.0000) o si esto no es posible hasta obtener la aproximación deseada.

La conversión de un número decimal íntegro y fraccional se efectúa separando las partes, por ejemplo.

Convertir a binario el número 14.6875

Se convierte el entero, 14

$$\frac{14}{2} = 7 + 0 \quad \frac{7}{2} = 3 + 1 \quad \frac{3}{2} = 1 + 1 \quad \frac{1}{2} = 0 + 1$$

$$(14)_{10} = 1110$$

Se convierte la fracción 0.6875

$$\begin{aligned} & 0.6875 \times 2 = 1.3750 \\ a_{-1} = 1 & 0.3750 \times 2 = .7500 \\ a_{-2} = 0 & 0.7500 \times 2 = 1.5000 \\ a_{-3} = 1 & .5000 \times 2 = 1.0000 \\ a_{-4} = 1 & .0000 \end{aligned}$$

$$(.6875)_{10} = 0.1011$$

El resultado final será:

$$(14.6875)_{10} = 1110.1011$$

De todo lo anterior podemos deducir, que el sistema binario, no es económico por lo que respecta al número de dígitos utilizados para representar una cantidad dada, por ejemplo, se necesitan nueve dígitos binarios (101100101) para representar un decimal de tres dígitos solamente (357). Por otra parte, un número decimal es más fácil de recordar que un binario, --

por lo que es más conveniente para nuestra vida diaria, el uso del sistema decimal. Sin embargo, al hacer uso de métodos lógicos de diseño, basados como se dijo anteriormente en el Álgebra de Boole, en la cual todos los variables pueden tener solamente 2 estados, no simultáneamente se hace indispensable el uso del sistema binario.

COMBINACION DE VARIABLES.-

Es muy útil, saber enlistar rápidamente todas las posibles combinaciones de varias variables, la técnica de conteo, es tediosa y existe la posibilidad de errores, sin embargo -- existe una manera de obtener todas las posibles combinaciones, muy fácilmente y sin dar lugar a equivocaciones. La forma de hacerlo es la siguiente: Supongamos que se tienen cuatro variables binarias y se quieren obtener las posibles combinaciones de dichas variables, empezaremos por designar a cada variable con una letra, por ejemplo, A, B, C y D. El número de -- combinaciones posibles de dichas variables binarias será 2^n -- siendo "n" el número de variables, en este caso tendremos --- $2^4 = 16$ posibles combinaciones, ahora formaremos una tabla de filas y columnas las filas serán las 16 posibles combinaciones y las columnas estarán encabezadas por las variables o sea:

TABLA II

	A	B	C	D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

La manera de escribir la tabla es la siguiente, empezando por la primer columna (A) enlistaremos $\frac{2^n}{2}$ ceros, seguidos de $\frac{2^n}{2}$ unos, esto completa en la siguiente columna, (B), enlistaremos la mitad de ceros de la columna (A) o sea $\frac{2^n}{2} \times \frac{1}{2} = 8 \times \frac{1}{2} = 4$ ceros. Seguidos de igual número de unos, y así sucesivamente hasta llenar la columna.

Para llenar la tercer columna (C), se empieza escribiendo la mitad de los ceros de la columna anterior (B) seguidos de igual número de unos, y se repite el procedimiento anterior, o sea serán, dos ceros, dos unos, dos ceros, dos unos, etc.

La última columna se completa enlistando, ceros y unos, alternativamente, empezando con un cero.

Haciendo una breve inspección de la tabla así construída, notamos que cada fila, es diferente a cualquier otra, y representa

una combinación única de las variables involucradas.

La tabla así formada recibe el nombre de Tabla Universal, y es una herramienta muy útil en el diseño lógico.

CODIGOS DE NUMEROS: CODIGO BINARIO.-

Se denomina código a una manera sistemática de representar información. Es posible representar 2^n situaciones diferentes en un código puramente binario de "n" dígitos binarios. El código binario es una forma de conversión directa de un número decimal al binario, como se muestra en la Tabla 1.

Este código es comunmente usado en equipo digital debido a que es un arreglo sistemático de los dígitos, es un código pesado, donde cada columna tiene una magnitud de 2^n asociada a ella.

CODIGO BINARIO DECIMAL (BCD)

Este es uno de los códigos más comunmente usado, tambien se le denomina código 8-4-2-1 ya que el dígito binario significativo (1) tomará cualquiera de éstos valores decimales, dependiendo del lugar que ocupe, es decir, es un código pesado, en donde el primer dígito binario tendrá un valor

o peso de 1; $2^0 = 1$, el siguiente será $2^1 = 2$, el tercer bit será $2^2 = 4$ y el más significativo tendrá un peso de $2^3 = 8$. o sea el dígito que ocupa el cuarto lugar de derecha a izquierda.

En este código lo que se trata de hacer es representar los 10 dígitos decimales, 0, 1, 2, 3, ..., 9 mediante codificación binaria, por lo que se está obligado a usar 4 dígitos binarios, para cubrir 10 dígitos decimales, es decir con 4 bit, podemos obtener hasta 16 diferentes combinaciones, de las cuales utilizaremos únicamente las 10 primeras como aparece la Tabla III.

TABLA III

DECIMAL	B C D			
	8	4	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

En el código B-C-D, tenemos 4 dígitos binarios para representar cada dígito decimal.

por ejemplo; El número decimal 327 quedará representado en forma binaria según el código B C-D. de la siguiente manera.

$$3 \rightarrow 0011, \quad 2 \rightarrow 0010, \quad 7 \rightarrow 0111$$

o sea

$$(327)_{10} = (001100100111)_{BCD}.$$

El procedimiento inverso lo utilizaremos para transformar un número codificado binario a su equivalente decimal, - es decir, separamos en grupos de cuatro dígitos y encontramos el equivalente decimal de cada grupo.

por ejemplo: encontrar el equivalente decimal del número decimal codificado binario 000100000100

$$0001 \quad 0000 \quad 0100$$

$$1 \quad 0 \quad 4$$

$$(000100000100)_{BCD} = (104)_{10}$$

CODIGO EXCESO 3:

Este es un código no pesado, en general los códigos pesados se pueden expresar por la relación:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} d_i 10^i$$

donde N = número decimal de "n" dígitos

d_i = dígito decimal de lugar i .

para el código 8-4-2-1 se puede expresar como;

$$d_i = 8w + 4x + 2y + 1z$$

donde w, x, y y z representan un número binario

Sin embargo un dígito decimal "d" puede ser representado - por la expresión:

$$d = 8w + 4x + 2y + z - 3$$

el nombre del código (EXCESO 3) proviene de la anterior expresión, existen un sin número de códigos, incluso de más - de 4 dígitos, pero no hablaremos de ellos, ya que para nuestro caso, los anteriores son lo más comunmente utilizados.

TABLA COMPARATIVA DE ALGUNOS CODIGOS DE 4 DIGITOS BINARIOS

NUMERO BINARIO	8 4 2-1	8-4-2-1	EXCESO 3	2-4-2-1
0000	0000=0	0000=0		0000=0
0001	0001=1			0001=1
0010	0010=2			0010=2
0011	0011=3		0011=0	0011=3
0100	0100=4	0100=4	0100=1	0100=4
0101	0101=5	0101=3	0101=2	
0110	0110=6	0110=2	0110=3	
0111	0111=7	0111=1	0111=4	
1000	1000=8	1000=8	1000=5	
1001	1001=9	1001=7	1001=6	
1010		1010=6	1010=7	
1011		1011=5	1011=8	1011=5
1100			1100=9	1100=6
1101				1101=7
1110				1110=8
1111		1111=9		1111=9

En la tabla anterior podemos notar que el código 8-4-2-1 toma los diez primeros números binarios, el 8-4-2-1, toma el primero, el último y los ocho de en medio, el exceso 3 tomó los diez de en medio y el 2-4-2-1 toma los cinco primeros, y los cinco últimos.

EL CODIGO EXCESO 3 presenta 2 ventajas que son:

- 1º Es autocomplementado; si en un número son cambiado todos los ceros por unos y todos los unos por ceros obtenemos el complemento nueve del número.
- 2º Cualquier número decimal representado, tiene al menos un uno, lo que lo diferencia, del cero de no información. esto es importante en muchas aplicaciones.

CODIGO GRAY: Este es un código cíclico, o sea que tiene la propiedad de cambiar un solo dígito, al pasar de un estado al siguiente. Estos códigos cíclicos son por naturaleza reflejados, esto es, la secuencia de los dígitos binarios de -- más bajo orden, es la misma, hacia arriba y abajo, partiendo de en medio, como se aprecia en la siguiente tabla.

CÓDIGO GRAY DE 4 B.	S.
0 0 0 0	
0 0 0 1	
0 0 1 1	
0 0 1 0	
0 1 1 0	
0 1 1 1	
0 1 0 1	
0 1 0 0	
0 1 0 0	REFLEJADO
1 1 0 1	
1 1 1 1	
1 1 1 0	
1 0 1 0	
1 0 1 1	
1 0 0 1	
1 0 0 0	

Este código fue desarrollado, para codificadores de flecha, los cuales son dispositivos electromecánicos, que necesitan de un código, que cambie sólo un bit, de un estado al siguiente, para evitar ambigüedad. Es utilizado en convertidores analógico digital.

La formación del Código Gray de 4 bits se hace de la siguiente forma. Empezando por el bit menos significativo se escribe la secuencia 0110011 -- luego pasando al bit de orden superior se empieza por escribir 2 ceros seguidos de cuatro unos o sea 00111100001111

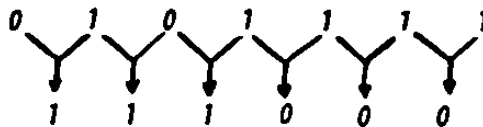
El tercer bit se empieza con cuatro ceros seguidos por grupos alternados de 8 ceros y 9 unos. Se continua este proceso, hasta alcanzar el dígito más significativo.

Un número decimal puede convertirse al Código Gray, convirtiéndolo primero al Código Binario.

Para convertir del Código Binario al Gray, se compara cada dígito con su adyacente, empezando con el dígito menos significativo. Si los dos dígitos que se están comparando son semejantes, es decir, los dos son ceros o uno, el dígito del Código Gray es 0. Si los dos dígitos en comparación, no son semejantes, el dígito del código Gray es uno, este proceso de comparación se continua para cada par. Se debe anteponer un cero al dígito más significativo para darle un par de comparación.

Por ejemplo!.- Convertir el decimal 47 al Código Gray.

$$(47)_{10} = (101111)_2$$



$$(47)_{10} = (1111000)_{\text{GRAY}}$$

La conversión del código Gray al decimal equivalente, se efectúa de forma inversa a la anterior. Es decir se pasa del Código Gray al Binario y de éste al decimal. La conversión empieza con el bit más significativo. El bit de más alto orden se mantiene sin cambiar hasta que el primer uno es pasado. Esto es seguido por un listado de unos hasta encontrar el siguiente uno, se sigue con ceros hasta encontrar el siguiente uno, y así sucesivamente, hasta terminar con el número.

Por ejemplo.

$$(1100011)_{\text{GRAY}} = (?)_{10}$$

$$(1100011)_{\text{GRAY}} = (1000010)_2 = (66)_{10}$$

Este código del que hemos hablado, es uno de tantos Códigos Gray que existen, para distinguir entre éstos códigos Gray, es conveniente especificar su longitud de ciclo, - entendiéndose por longitud de ciclo, el número de diferentes configuraciones binarias que se logran, antes de que el código se repita. El código Gray más utilizado es el de -- longitud de ciclo 16 (1,2,1,3,1,2,1,4,1,2,1,3,1,2,1,4). El número mayor entre parentesis, indica cuantos bits forman el código, y la serie total de números indican cual es el bit que cambia, a medida que el código avanza. El código se puede empezar, con cualquier número de 4 bits es por lo tanto, aconsejable indicar el punto de arranque para evitar

confusiones.

La principal desventaja de los Códigos Gray es que necesitan circuitos muy complicados, para efectuar operaciones sencillas, tales como sumas. Esta dificultad ha sido la principal razón para su uso limitado.

C A P Í T U L O I I

ALGEBRA BOOLEANA

INTRODUCCION.-

No trataremos en este capítulo, de hacer un análisis matemático riguroso del material expuesto, sino simplemente, de hacer un resumen del Algebra Lógica, desarrollada, como se dijo en el capítulo anterior, por George Boole, dicha Algebra es fundamentalmente para el diseño lógico de circutos, ya sean éstos, eléctricos, electrónicos o fluldicos, - este resumen sin embargo nos permitirá, después de exponer las técnicas de minimización de la función Booleana, conseguir el diseño más eficiente y económico de los circuitos - fluldicos que nos proponemos estudiar.

FUNDAMENTOS.- El Algebra de Boole, está basada en un conjunto de Postulados y Teoremas que expondremos a continuación.-

POSTULADO #1.- Si "A" y "B" son dos elementos en la clase "K", entonces $A + B$ estará en la clase "K".

POSTULADO #2.- Si "A" está en la clase "K" entonces, por consiguiente \bar{A} estará en la clase K.

POSTULADO No.3.- Si "A" y "B" están en la clase "K" entonces $A + B = B + A$.

POSTULADO No.4.- Si "A", "B" y "C" están en la clase "K" entonces, $(A+B) + C = A + (B+C)$.

POSTULADO No.5.- Si "A" está en la clase "K" entonces $A + A = A$.

POSTULADO No.6.- Si "A" y "B" están en la clase "K" entonces $\overline{A+B} + \overline{A+B} = A$.

DEFINICION No.1 $A + \bar{A} = 1$ Elemento Universo.

DEFINICION No.2 $A + \bar{A} = 0$ Elemento Nulo.

DEFINICION No.3 $A.B = \overline{\bar{A} + \bar{B}}$

TEOREMAS FUNDAMENTALES

No. 1 a) El elemento 1 es único

1 b) El elemento 0 es único

TEOREMAS EN COMPLEMENTACION

2 a) $A + \bar{A} = 1$

2 b) $A . \bar{A} = 0$

TEOREMAS EN DOBLE NEGACION

3) $\bar{\bar{A}} = A$

TEOREMAS DE DE MORGAN

$$4 a) \overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$4 b) \overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

TEOREMAS DE ABSORCION

$$5 a) A + AB = A$$

$$5 b) A (A + B) = A$$

TEOREMAS EN IDENTIDAD

$$6 a) A + A = A$$

$$6 b) A \cdot A = A$$

TEOREMAS DE UNION E INTERSECCION

$$7 a) A + 0 = A$$

$$7 b) A \cdot 1 = A$$

$$8 a) A + 1 = 1$$

$$8 b) A \cdot 0 = 0$$

TEOREMAS DE CONMUTACION, ASOCIACION Y DISTRIBUCION

$$9 a) A + B = B + A$$

$$9 b) AB = BA$$

$$10 a) A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$10 b) A (BC) = (AB) C$$

$$11 a) A + BC = (A + B) (A + C)$$

$$11 b) A (B + C) = AB + AC$$

DEFINICIONES:

- a) Se llaman "variables" en una expresión Booleana a las diferentes letras que en ella aparecen por ejemplo, en la expresión $(x + y + z + y)$ hay solamente 3 variables que son x, y, z .
- b) Se llaman "literales" a las letras y a los complementos de las mismas, que aparezcan en una expresión Booleana, -
Por ejemplo la expresión $(x + y + \bar{z} + w)$
contiene cuatro literales.
- c) FUNCION: RELACION ENTRE VARIABLES BOOLEANAS.
- d) Se llama complemento de una variable, al estado en que actualmente no está la variable, recordando que las variables Booleanas, sólo pueden estar en 2 estados, entonces estos estados son complementarios.
- e) Una expresión Booleana, contiene varias literales el complemento de dicha expresión se obtiene de la siguiente manera:
- Se cambian los "." por "+"
 - Se cambian los "+" por "."
 - Se cambian los "1" por "0"
 - Se cambian los "0" por "1"
 - Se complementan todas las literales.

- f) El dual de una expresión Booleana se obtiene siguiendo el anterior procedimiento, exceptuando el último inciso es decir, sin complementar las literales.
- g) Dos expresiones Booleanas son equivalentes si y sólo si, ambos son iguales a lo mismo.

Las demostraciones de los Teoremas anteriores se pueden hacer utilizando diagramas de Venn o incluso, unos teoremas-- nos sirven para comprobar otros, por ejemplo el teorema 5a) es de fácil demostración utilizando los teoremas 11b), 8a), y 7 b) como sigue:

$$\begin{array}{ll}
 A + AB = A & \\
 (A + AB) = A(1+B) & \text{Teor. 11b)} \\
 (A + AB) = A(1) & \text{teor. 8a)} \\
 (A + AB) = A & \text{teor. 7b)}
 \end{array}$$

DIAGRAMAS DE VENN.-

Los diagramas de Venn representan a las funciones lógicas de una manera gráfica, hemos de notar que en las expresiones Booleanas, hacemos uso del símbolo (+) suma y del símbolo (.), ó (x) multiplicación, únicamente, es decir la resta y división no están definidas y por lo tanto carecen de significado, al símbolo (+) suma, se le confiere el significado de unión, y el símbolo (.) o (x) es inferente a la

intersección, al igual que en el Algebra de Conjuntos, esto nos permite una interpretación más sencilla de los diagramas de Venn. De tal modo, podremos adoptar la siguiente representación gráfica.



Un rectángulo nos representa al -- conjunto "UNIVERSO"



Un "conjunto" cualquiera, lo representamos por un contorno cerrado - dentro del conjunto UNIVERSO.



Intersección de dos conjuntos (.) - es el area comun a los dos conjuntos.



Unión de dos conjuntos (+) es el - area ocupada por los dos conjuntos

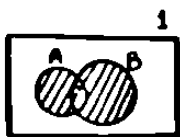


Complemento de un conjunto (-), es el area fuera del conjunto, pero - dentro del rectángulo.

A partir de lo anterior, podemos determinar lo siguiente:



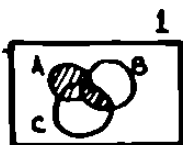
$A \cdot B =$ Región sombreada



$A + B =$ Región sombreada



$A + \bar{A} = 1$ Definición 1.-



$A + B \cdot C = (A+B) (A+C) =$ Zona sombreada
Teorema 11a)



$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$

Teorema de De Morgan 4a)



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

Teorema de De Morgan 4b)

Lo mismo se puede hacer con los demás teoremas para obtener su comprobación.

FORMAS CANONICAS DE LA FUNCION BOOLEANA.

*

El valor de una función Booleana, está relacionado con el valor de sus variables independientes, por ejemplo - si $f(A,B)$ representa una función Booleana, A y B serán variables independientes y "f" variable dependiente, como sabemos, las variables Booleanas son variables discretas, que sólo pueden tomar 2 valores, cero o uno, o sea son variables binarias, de tal manera que, con dichas variables podemos formar una tabla de sus posibles combinaciones, como se explicó en el primer capítulo, (Tabla Universal), y a partir de ésta y tratando de conseguir las salidas deseadas (función deseada) llegamos a formar lo que se llama Tabla de la Verdad de la función Booleana.

Por ejemplo para 2 variables A y B, la tabla Universal es - la siguiente.

A	B
0	0
0	1
1	0
1	1

Si queremos obtener una determinada salida, por ejemplo, la función siguiente $f = \bar{A}B + A\bar{B}$

Agregaremos una tercer columna para dicha función.

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

' Esta es la tabla de la Verdad de la anterior función, (como se verá más adelante esta es la salida de un OR Exclusivo).

De lo antes expuesto podemos concluir, que la función -- existirá (será 1) cuando:

exista A y no exista B "0"
cuando exista B y no exista A

ya que ambas combinaciones hacen la función igual a 1, la función "f" será la suma lógica de los dos

$$F = \bar{A}B + A\bar{B} = \bar{A}B + A\bar{B}$$

Lo anterior fue obtenido a partir de combinaciones de las variables A y B que hacen que la función valga uno, se puede hacer lo mismo para combinaciones de A y B, que den valor de cero a la función, de la misma tabla de la verdad obtenemos -- que:

A no existe y B no exista 0
cuando A exista y B exista al mismo tiempo o sea:

$$\begin{array}{l} \underline{A} = 0 \\ A = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} \underline{B} = 0 \\ B = 0 \end{array}$$

$$F_1 = (A + B) (\bar{A} + \bar{B})$$

Ahora haciendo uso del teorema 116) podemos escribir:

$$F_1 = A \bar{A} + A \bar{B} + \bar{A} B + B \bar{B}$$

$$F_1 = A \bar{B} + \bar{A} B \quad \text{Teorema 2b)}$$

entonces comprobaremos que ambas funciones son iguales $F = F_1$, solamente están escritas en forma diferente, la función (F) es una suma de productos lógicos y la función (F₁) es un producto de sumas lógicas, siendo ambos iguales, de esto podemos concluir que de una tabla de la verdad dada, se pueden obtener cuando menos 2 expresiones Booleanas, que describan dicha tabla de la Verdad, y las funciones son iguales, difieren solamente en su forma. Esto es importante en algunas aplicaciones, ya que unos circuitos son más adaptables a una forma, que a la otra.

A funciones tales como (F) o (F₁) que están formados por términos, (productos de sumas o sumas de productos) en los cuales intervienen todas las variables (complementadas o sin complementar) se le llama forma canónica de la función Booleana, siendo cada término, un término canónico.

Un término producto (término P) de "n" variables es un producto lógico de todas las "n" variables en donde estos pueden aparecer complementados o sin complementar, por ejemplo los términos canónicos $\bar{A}B$ y $A\bar{B}$ de la función (F) son términos productos ya que cada término es producto de ambas variables.

Un término suma (término S) de "n" variables, es una suma lógica de todas las "n" variables, en donde estas pueden aparecer en forma directa, o complementadas, los términos -- $(A + B)$ y $(\bar{A} + \bar{B})$ de la función (F_1) son términos suma, ya que cada término es la suma de las dos variables.

En general una función Booleana de "n" variables tiene -- 2^n términos "P" y 2^n términos "S".

La única función Booleana en la cual no es posibles distinguir los términos productos (P) de los términos suma (S) es la función de una sola variable.

La función Booleana de dos variables tendrá $2^2 = 4$ términos "P" y otros cuatro términos "S", la de 3 variables tendrá 8 términos "P" e igual número de términos "S" y así sucesivamente.

Por ejemplo podemos formar la siguiente tabla para 2 variables.

A	B	Términos "P"	Términos "S"
0	0	$P_0 = \bar{A} \bar{B}$	$S_0 = A + B$
0	1	$P_1 = \bar{A} B$	$S_1 = A + \bar{B}$
1	0	$P_2 = A \bar{B}$	$S_2 = \bar{A} + B$
1	1	$P_3 = A B$	$S_3 = \bar{A} + \bar{B}$

Los términos "P" los hemos obtenidos haciendo que las variables hagan la función igual a uno, y los términos "S" haciendo que las variables hagan cero a la función.

De lo anterior podemos ver que los términos "P" y "S" son complementarios, es decir un término cualquiera $P_i = S_i$, o $S_i = \bar{P}_i$ o sea que una vez obtenido los términos "P" podemos escribir discretamente los términos "S" o viceversa, por aplicación de los teoremas de De Morgan, o definición d).

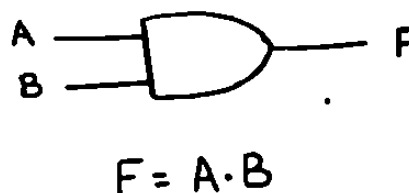
CAPÍTULO III

FUNCIONES LOGICAS BASICAS (LOGICA POSITIVA).

Función AND: La función AND es la (intersección) salida de un determinado dispositivo, y estará presente (valdrá 1) sí y sólo sí, todas las entradas a dicho dispositivo están presentes (valen 1).

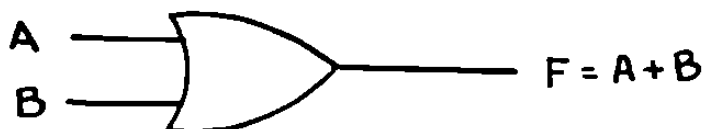
Tabla de la verdad de la función
"AND" de dos entradas.

Entradas		Salida
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



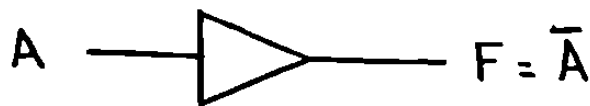
FUNCION OR:
(UNION)

La función "OR" no existirá si y sólo si no existe ninguna entrada, o sea que bastará que exista una sola entrada, para que exista salida.



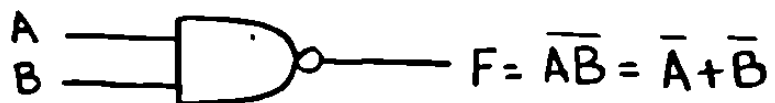
Entradas		Salida
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

FUNCION NOT.- La función NOT o INVERSOR es la salida de un -
(COMPLEMENTO) dispositivo que complementa la función de entrada.
da.



A	F
0	1
1	0

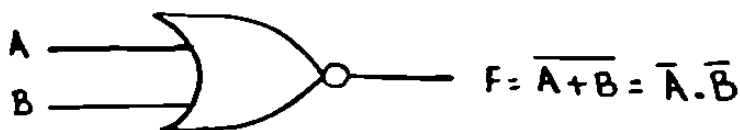
FUNCION NAND.- La función NAND no existirá si y sólo si, to--
(COMPLEMENTO DE LA INTERSECCION) das las entradas están presentes



A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

FUNCION NOR.-
(COMPLEMENTO
DE LA UNION)

La función NOR es aquella cuya salida existirá, si y sólo si las entradas no existen.

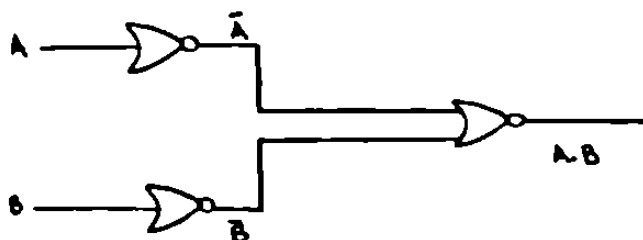


A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

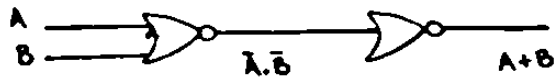
Todas las funciones antes mencionadas, pueden ser implementadas, teniendo como elemento único la función NOR, o la función NAND, por lo general los fabricantes de equipos flúidicos, no hacen dispositivos que desarrollen cada una de las funciones básicas, sino que construyen dispositivos NOR'S o NAND'S y con estos se pueden efectuar, como antes mencioné, las demás funciones lógicas, como veremos a continuación.

FUNCIONES LOGICAS BASICAS IMPLEMENTADAS CON DISPOSITIVOS NOR'S.

FUNCION AND.-



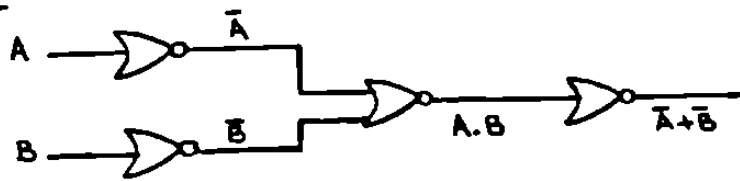
FUNCION OR.-



FUNCION NOT.-

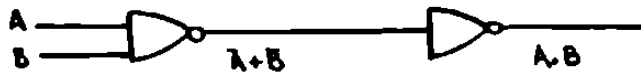


FUNCION NAND.-

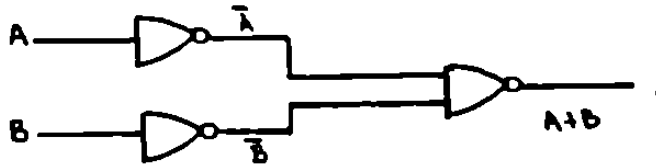


FUNCIONES LOGICAS BASICAS IMPLEMENTADAS POR DISPOSITIVOS NAND'S.

FUNCION AND.-



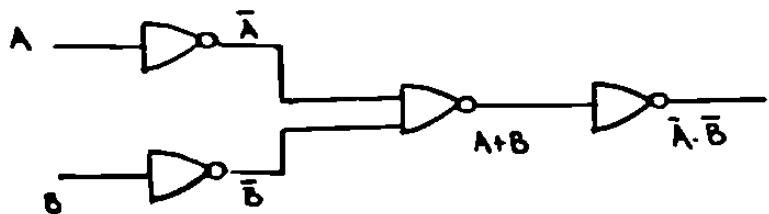
FUNCION OR.-



FUNCION NOT.-



FUNCION NOR.-



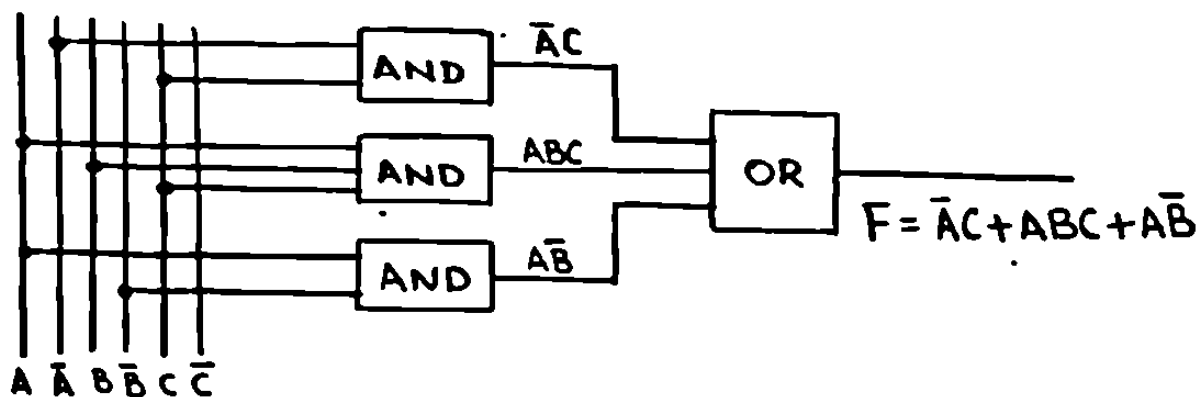
Nosotros usaremos en general para nuestros circuitos posteriores, elementos NOR, ya que son los más comúnmente fabricados.

Podemos ahora representar una función Booleana por medio de las funciones lógicas antes mencionadas, por comodidad usaremos bloques lógicos para representar las funciones lógicas, es decir, pondremos dentro de un rectángulo el nombre de la función a la que dicho bloque representa.

Por ejemplo la función:

$$F = \bar{A}C + ABC + A\bar{B}$$

quedarla representada de la siguiente manera:

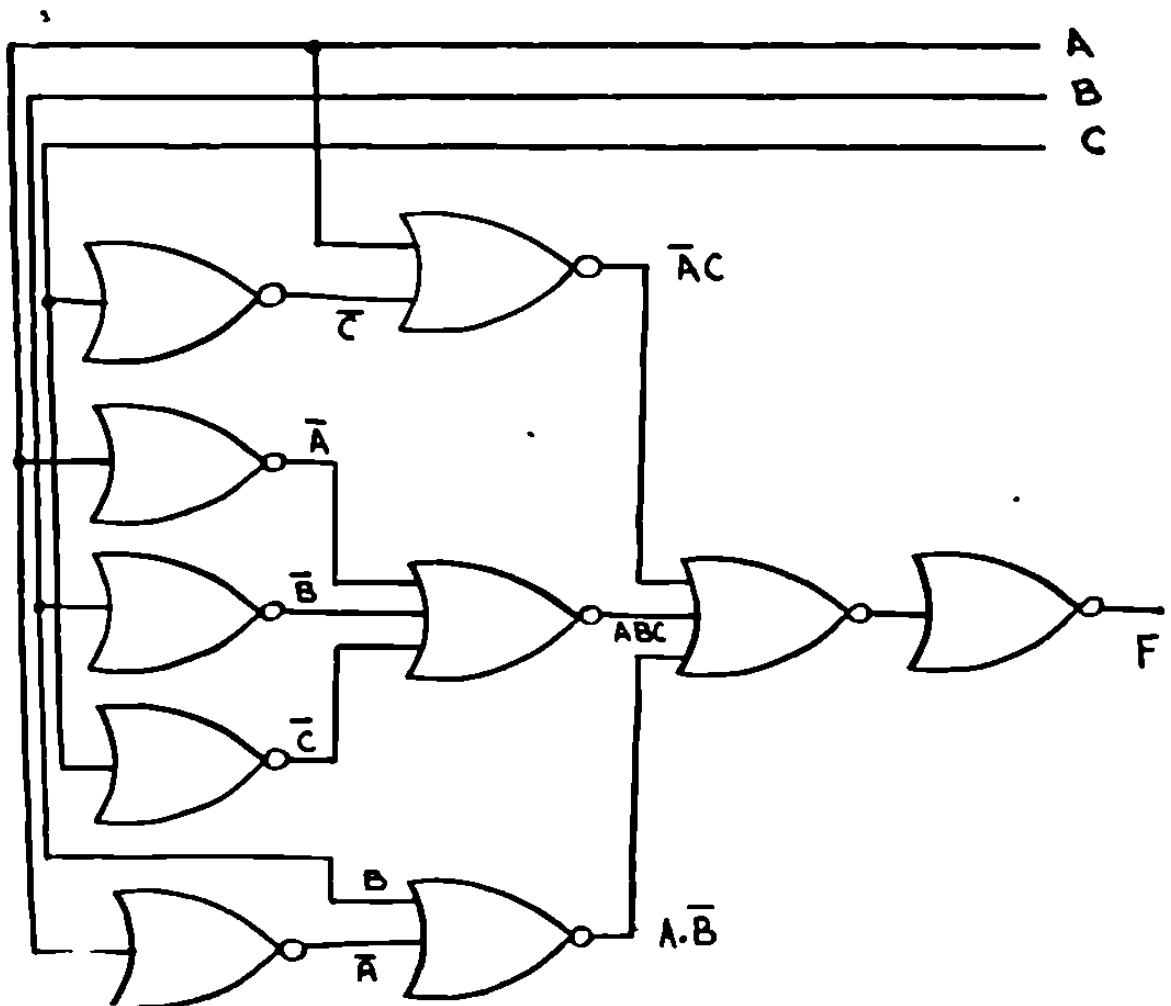


Este circuito es del tipo AND-OR ya que las señales de entradas van a bloques AND y la salida se obtiene de un bloque OR. Hemos necesitado para representar la función, de 3 bloques AND y un OR con un total de 10 entradas lógicas, 7 para los bloques AND y 3 para el bloque OR. La ecuación con la que hemos trabajado no está expresada en su forma mínima,

en el siguiente capítulo veremos como se podría minimizar dicha función, y su representación en bloques lógicos.

Hemos representado en este problema tanto las variables directas, A , B y C como su complemento \bar{A} , \bar{B} y \bar{C} , el cual es obtenido, aunque no está mostrado, a través de una función inversora (NOT).

El desarrollo del circuito anterior con sólo elementos NOR quedaría de la siguiente forma:



C A P I T U L O IV

TECNICAS DE MINIMIZACION DE LA FUNCION BOOLEANA POR MEDIO DE MAPAS DE KARNAUGH O DIAGRAMAS DE VEITCH.

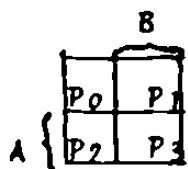
Los diagramas desarrollados en 1952, son un refinamiento de los diagramas de Venn, en los cuales los círculos, han sido reemplazados por cuadrados y arreglados en forma de una matriz, un diagrama de Veitch consiste en un arreglo específico de 2^n cuadrados o celdas (n = número de variables de la función Booleana), en el que cada cuadrado o celda se usa para representar un término producto (P) o un término suma (S).

Ilustraremos a continuación los diagramas de Veitch correspondientes a funciones Booleanas de una hasta 5 variables, haciendo la aclaración que las literales asignadas a las filas o columnas del diagrama, deben seguir un orden como el que se mostrará a continuación o en forma tal que cada cuadro presente intersección de todas las variables

a) Diagrama de Veitch para una sola variable (A).

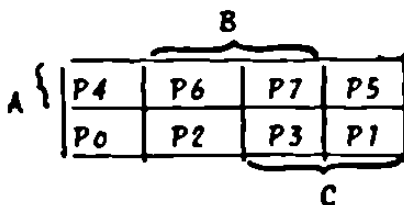


b) Diagrama de Veitch para dos variables, A y B.



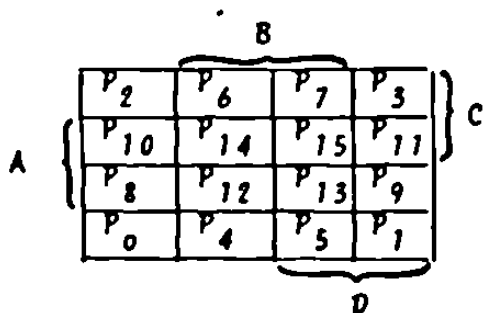
A	B	Términos P
0	0	P ₀ = $\bar{A}\bar{B}$
0	1	P ₁ = $\bar{A}B$
1	0	P ₂ = $A\bar{B}$
1	1	P ₃ = AB

c) Diagrama de Veitch para 3 variables, A, B, y C.



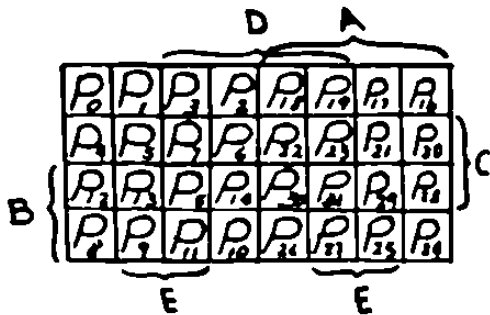
A	B	C	Términos P
0	0	0	P ₀ = $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$
0	0	1	P ₁ = $\bar{A}\bar{B}C$
0	1	0	P ₂ = $\bar{A}B\bar{C}$
0	1	1	P ₃ = $\bar{A}BC$
1	0	0	P ₄ = $A\bar{B}\bar{C}$
1	0	1	P ₅ = $A\bar{B}C$
1	1	0	P ₆ = $AB\bar{C}$
1	1	1	P ₇ = ABC

d) Diagrama de Veitch para 4 variables A, B, C, y D.



A	B	C	D	Términos P
0	0	0	0	P ₀ = $\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}$
0	0	0	1	P ₁ = $\bar{A}\bar{B}\bar{C}D$
0	0	1	0	P ₂ = $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$
0	0	1	1	P ₃ = $\bar{A}\bar{B}CD$
0	1	0	0	P ₄ = $\bar{A}B\bar{C}\bar{D}$
0	1	0	1	P ₅ = $\bar{A}B\bar{C}D$
0	1	1	0	P ₆ = $\bar{A}BC\bar{D}$
0	1	1	1	P ₇ = $\bar{A}BCD$
1	0	0	0	P ₈ = $A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$
1	0	0	1	P ₉ = $A\bar{B}\bar{C}D$
1	0	1	0	P ₁₀ = $ABC\bar{D}$
1	0	1	1	P ₁₁ = $ABCD$
1	1	0	0	P ₁₂ = $AB\bar{C}\bar{D}$
1	1	0	1	P ₁₃ = $AB\bar{C}D$
1	1	1	0	P ₁₄ = $ABC\bar{D}$
1	1	1	1	P ₁₅ = $ABCD$

e) Diagrama de Veitch para 5 variables, A, B, C, D y E.

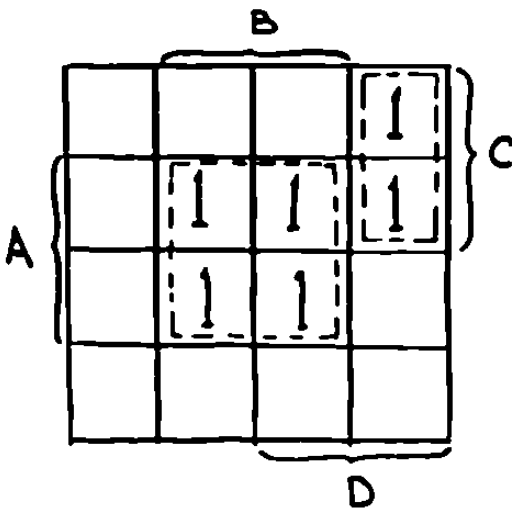


A	B	C	D	E	TERMINOS P
0	0	0	0	0	$P_0 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}$
0	0	0	0	1	$P_1 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}E$
0	0	0	1	0	$P_2 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D\bar{E}$
0	0	0	1	1	$P_3 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}DE$
0	0	1	0	0	$P_4 = \bar{A}\bar{B}C\bar{D}\bar{E}$
0	0	1	0	1	$P_5 = \bar{A}\bar{B}C\bar{D}E$
0	0	1	1	0	$P_6 = \bar{A}\bar{B}CD\bar{E}$
0	0	1	1	1	$P_7 = \bar{A}\bar{B}CDE$
0	1	0	0	0	$P_8 = \bar{A}B\bar{C}\bar{D}\bar{E}$
0	1	0	0	1	$P_9 = \bar{A}B\bar{C}\bar{D}E$
0	1	0	1	0	$P_{10} = \bar{A}B\bar{C}D\bar{E}$
0	1	0	1	1	$P_{11} = \bar{A}B\bar{C}DE$
0	1	1	0	0	$P_{12} = \bar{A}BC\bar{D}\bar{E}$
0	1	1	0	1	$P_{13} = \bar{A}BC\bar{D}E$
0	1	1	1	0	$P_{14} = \bar{A}BCD\bar{E}$
0	1	1	1	1	$P_{15} = \bar{A}BCDE$
1	0	0	0	0	$P_{16} = A\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}$
1	0	0	0	1	$P_{17} = A\bar{B}\bar{C}\bar{D}E$
1	0	0	1	0	$P_{18} = A\bar{B}\bar{C}D\bar{E}$
1	0	0	1	1	$P_{19} = A\bar{B}\bar{C}DE$
1	0	1	0	0	$P_{20} = A\bar{B}C\bar{D}\bar{E}$
1	0	1	0	1	$P_{21} = A\bar{B}C\bar{D}E$
1	0	1	1	0	$P_{22} = A\bar{B}CD\bar{E}$
1	0	1	1	1	$P_{23} = A\bar{B}CDE$
1	1	0	0	0	$P_{24} = AB\bar{C}\bar{D}\bar{E}$
1	1	0	0	1	$P_{25} = AB\bar{C}\bar{D}E$
1	1	0	1	0	$P_{26} = AB\bar{C}D\bar{E}$
1	1	0	1	1	$P_{27} = AB\bar{C}DE$
1	1	1	0	0	$P_{28} = ABC\bar{D}\bar{E}$
1	1	1	0	1	$P_{29} = ABC\bar{D}E$
1	1	1	1	0	$P_{30} = ABCD\bar{E}$
1	1	1	1	1	$P_{31} = ABCDE$

Los diagramas anteriores, muestran todas las posibles combinaciones de las variables, en cada caso, en función de los términos productos o sea aquellas combinaciones que hacen valer uno a la función, es decir, podríamos sustituir por unos las celdas o cuadros que representan una combinación única.

Para aclarar esto vamos a suponer una función cualquiera de 4 variables Booleanas.

$$F = ABC\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BC\bar{D} + ABC\bar{D} + \bar{\bar{A}}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BC\bar{D}$$



Cualquiera de los términos hace a la función igual a uno, por lo tanto su representación en el diagrama de Veitch será, como sigue:

Podemos notar que los términos de la función en el orden en que aparecen corresponden respectivamente a P_{14} , P_{12} , P_{13} , P_{15} , P_3 y P_{11} de la tabla del inciso d).

Una vez que se ha representado la función en el diagrama de Veitch, se procede a tratar de minimizarla, para lo que se hace lo siguiente:

Visualizar del diagrama, las mayores áreas que comprendan la mayor cantidad posible de unos, y que queden amparados por una determinada expresión, es decir, formar grupos con la mayor cantidad de unos, ya que esto reditúa en un menor número de variables, y trata de formar el menor número de grupos. Para el caso anterior tenemos que:

· los cuatro unos centrales forman un grupo amparado por la expresión AB .

· los dos unos de la columna derecha forman otro grupo - amparado por la expresión $\bar{B}CD$ por lo que la expresión minimizada será

$$F_m = AB + \bar{B}CD$$

De la expresión original podemos ver que los términos primero y cuarto, segundo y tercero, quinto y sexto son redundantes, cambia únicamente una variable por lo que es posible agruparlos y eliminar la variable redundante, por aplicación de la siguiente identidad:

$$XY + X\bar{Y} = X(A)$$

Ya que podemos factorizar:

$$X(Y + \bar{Y}) = X$$

y según definición 1) $Y + \bar{Y} = 1$

$$X(1) = X \therefore X = X$$

entonces trabajando con los términos primero y cuarto obtenemos

$$A B C \bar{D} + A B C D = A B C (\bar{D} + D) = ABC$$

de los términos segundo y tercero:

$$A B \bar{C} \bar{D} + A B \bar{C} D = A B \bar{C} (\bar{D} + D) = A B \bar{C}$$

y de los términos quinto y sexto:

$$\bar{A} \bar{B} C D + A \bar{B} C D = \bar{B} C D (\bar{A} + A) = \bar{B} C D$$

o sea

$$F = A B C + A B \bar{C} + \bar{B} C D$$

aplicando el mismo principio a los dos primeros términos de esta nueva función, obtenemos la función minimizada

$$F_m = A B + \bar{B} C D$$

que es idéntica a la obtenida utilizando el diagrama de - - - Veitch.

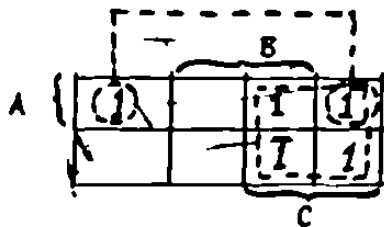
Lo que conseguimos al hacer uso de esta técnica de minimización, es ahorro de tiempo y menor posibilidad de cometer errores, ya que la minimización podría ser obtenida también por aplicación de los teoremas del álgebra de Boole, aunque por un procedimiento más laborioso.

El método para minimizar por diagramas de Veitch se puede aplicar también a los términos suma, con la única diferencia que entonces en vez de dar valores de uno a las casillas o celdas, se dará valores de cero, y se trata también de agrupar el mayor número de ceros, amparados por algún término, y de obtener el menor número de grupos, ya que al agrupar dos -

celdas eliminamos una variable, al agrupar 4 eliminaremos 2 variables, al agrupar 8 se eliminan 3 variables y así sucesivamente.

En el capítulo anterior representamos la función $F = \bar{A}C + ABC + A\bar{B}$ por medio de bloques lógicos, habiéndose necesitado 3 bloques AND y un bloque OR con un total de 10-entradas, vamos ahora a minimizar dicha función y encontrar su representación por medio de bloques lógicos.

Tenemos 3 variables, A, B y C, por lo tanto necesitamos el arreglo de 8 celdas.

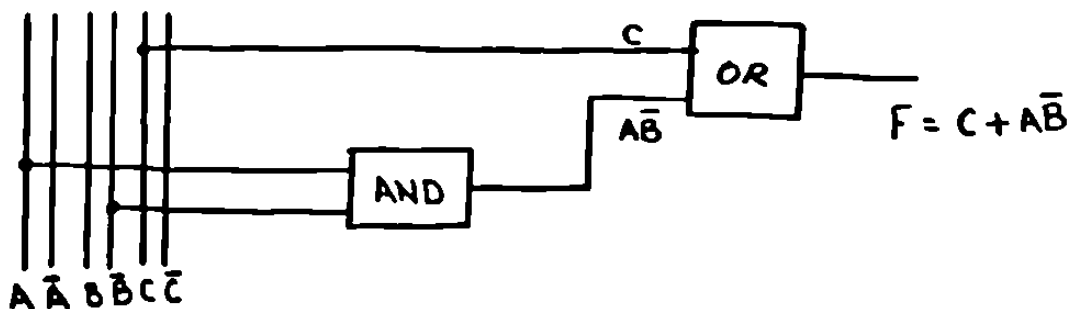


$$F = \bar{A}C + ABC + A\bar{B}$$

La función minimizada será:

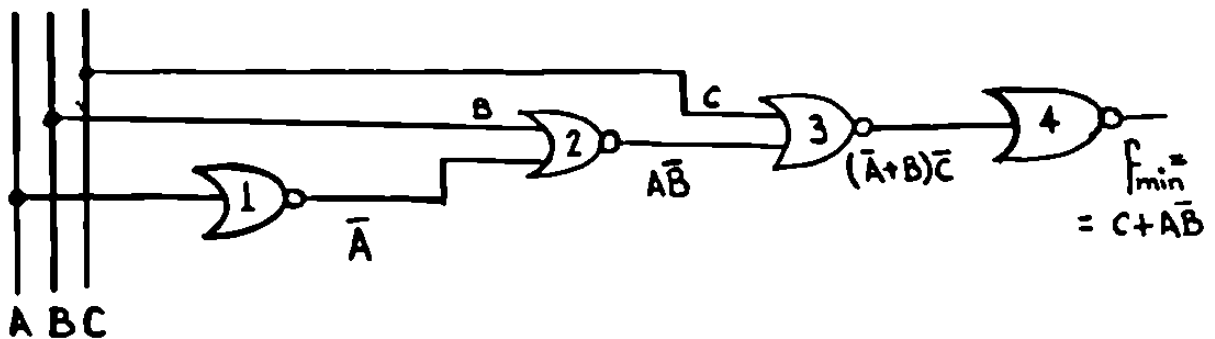
$$F_m = C + A\bar{B}$$

y su representación por medio de bloques lógicos es como sigue:



es decir, hemos ahorrado 2 bloques AND y 6 entradas, ya que la función minimizada, que es equivalente a la original sólo necesita para su representación de un bloque AND de dos entradas y un bloque OR también de dos entradas, siendo también el circuito resultante del tipo AND OR.

La implementación del circuito con elementos NOR únicamente sería la siguiente:



LIMITACIONES DE LA MINIMIZACION POR DIAGRAMAS DE VEITCH.

Como hemos visto, una función Booleana en su forma elemental es una ecuación lógica de dos niveles ya que se puede implementar por circuitos OR-AND o circuitos AND OR los cuales son circuitos de dos niveles, entonces el método de minimización de Veitch es aplicable sólo a circuitos de dos niveles, por otro lado el método antes descrito se aplica a una sola ecuación, no a varias simultáneamente, por lo tanto que limitado a circuitos de una sola salida, existen sin embargo métodos de minimización para circuitos de salida múltiple, basados en las Matrices Booleanas, cuyo estudio está fuera de nuestro propósito.

C A P Í T U L O V

ELEMENTOS FLUIDICOS:

INTRODUCCION.-

En este capítulo, como punto central a nuestro trabajo, tratamos de dar un enfoque adecuado al estudio de los elementos³ fluidicos que están al alcance, sin tratar de hacer un estudio analítico exhaustivo de los mismos, ya que esto nos alejaría del enfoque ingenieril que se pretende, aunque estamos conscientes de que se necesita la teoría analítica que gobierna los fenómenos de la dinámica de los fluidos, en que se basa la operación de los elementos fluidicos, sabemos que las ecuaciones del flujo de fluidos son ecuaciones diferenciales parciales no lineales, con pocas soluciones exactas, por lo general se requieren suposiciones que simplifiquen las ecuaciones, técnicas de análisis numérico o soluciones por computadora. He aquí la razón por la cual las soluciones analíticas para los fenómenos fluidicos son escasas, aunque ya se -- trabaja con ahínco sobre este campo. Por lo que, el objetivo que se persigue en este capítulo, es mostrar de la mejor manera posible, las características de operación de los amplificadores fluidicos, así como las formas de perarlos para obtener el fin que uno desea, es decir, cono erlos, para poderlos

utilizar. Es así que se ha dividido el capítulo en elementos Analógicos, elementos Digitales, sensores e interfaces.

HISTORIA.-

Los efectos físicos que están actualmente siendo usados en los amplificadores flúidicos se han conocido desde hace muchos años, PRANDTL, cuando investigaba la separación de flujo en un difusor de ángulo amplio en 1904, descubrió que si el fluido era succionado en la capa límite, de uno de los lados del difusor, el fluido de descarga podría adherirse a ese lado, si la succión se aplicaba a cada lado del difusor, el flujo se expandía, llenando totalmente el difusor. Con una colocación adecuada de dos ductos de salida, PRANDTL hubiera sido el productor del primer dispositivo flúidico lógico.

En 1916 Tesla inventó el primer dispositivo flúidico - al que llamó "Válvula de Conducción" y que ahora conocemos con el nombre de Diodo Tesla, ya que es efectivamente un diodo flúidico, que opone poca resistencia al paso del fluido en una dirección y una gran resistencia en la dirección opuesta.

Durante la época de los treinta Henry Coanda hizo el descubrimiento que lleva su nombre, al estar experimentando

con uno de los primeros motores de propulsión a chorro para aviones, descubrió que el chorro que salía de su máquina tenía la tendencia a adherirse, al fuselaje, haciendo investigaciones encontró la respuesta a este fenómeno tan importante, del que hablaremos posteriormente. En 1938 McMahan -- del Laboratorio de Investigaciones de la General Electric -- indicó un modo de control de un flujo de fluido, basado en las características aerodinámicas del chorro.

En 1941 parece una patente Británica de Todd, sobre un relevador mecánico usando la interacción de chorro.

D.E. Cox y J.M. Rhoades, al principio de los cincuenta, hicieron algunos ensayos relacionados con un restrictor de flujo variable, usando un vórtice como control.

Pese a todo lo anterior, el nacimiento de lo que actualmente conocemos como fluidica tuvo que esperar hasta 1959, cuando se inventó el primer amplificador fluidico, basado en el efecto Coanda, dicho invento se acredita a R.E. Bowles, B. Horton y W. Warren quienes trabajaban para los Laboratorios HART DIAMOND, antes DIAMOND ORDNANCE FUZE LABORATORIES, por la misma época se hacían estudios sobre el tema en el INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE MASSACHUSETT (M.I.T.), y también la misma época reclaman que ellos inventaron el concepto

dos individualmente o en conjunto para lograr el efecto de amplificación, de la influencia relativa de estos factores de pende grandemente del diseño de la región de interacción del dispositivo en sí.

ELEMENTOS DIGITALES:

Los elementos digitales son aquellos cuya salida varía entre niveles discretos, determinados por las señales de control, son en general elementos activos, ya que producen ganancia, y se utilizan para hacer, funciones lógicas, de control y sensores entre otras aplicaciones. El primero de éstos elementos en nuestro estudio será el amplificador de adherencia a la pared (wall attachment) o de efecto Coanda, también llamado Amplificador bistable o flip flop.

EFECTO COANDA.-

Una forma de explicar el efecto Coanda es la siguiente Consideremos un flujo sumergido bidimensional, que fluye en una cámara de dos paredes, próximas al chorro como aparece en la figura 5 1.

El chorro tiene la tendencia de hacer entrar o sucio nar el fluido que lo rodea formando un patrón de flujo como se muestra en la figura 5-1.

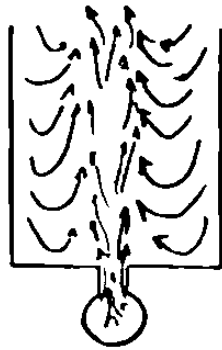
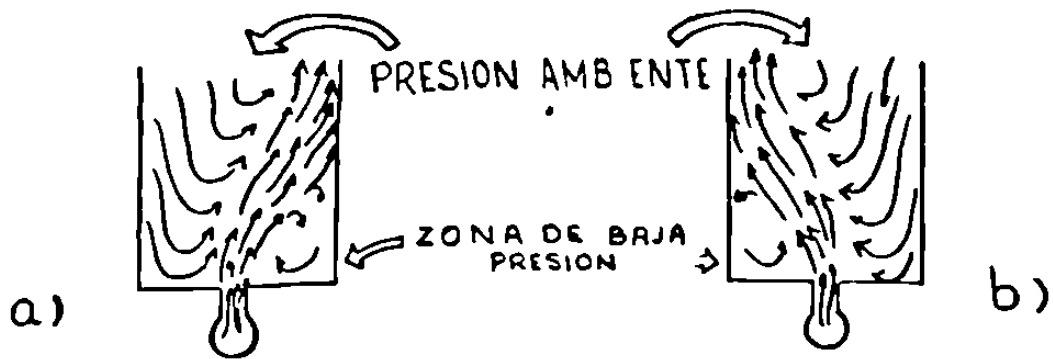


FIG. 5-1

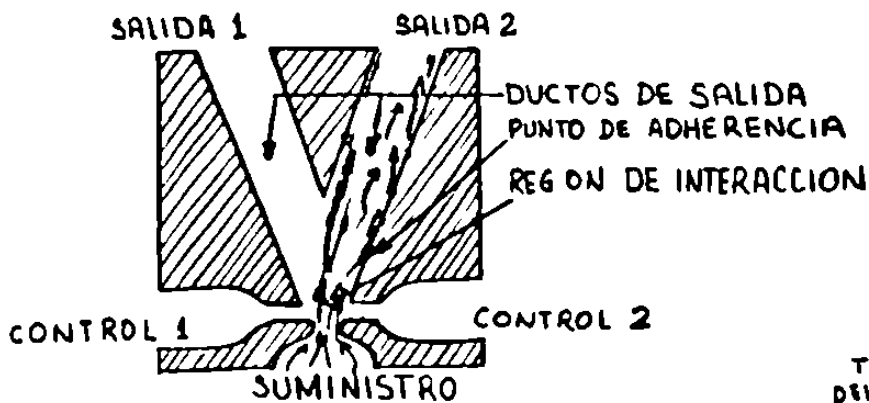
FLUJO ENTRE DOS PAREDES CERCANAS.
SITUACION INESTABLE.

Si logramos perturbar de alguna manera el chorro en una dirección dada, por ejemplo, hacia la derecha, la presión de este lado del chorro disminuirá, debido a que el pasaje entre el chorro y la pared derecha es reducido, y no pasa suficiente fluido de la región superior derecha hacia la región inferior derecha para reponer parte del fluido que el chorro principal se ha llevado consigo, formándose así en la región inferior derecha una zona de baja presión, lo cual quiere decir que a través del chorro se formará un gradiente de presión, que aumentará la deflexión del chorro hacia la derecha, hasta que este alcanza la pared, adheriéndose a la misma, quedando atrapada entre el chorro y la pared una burbuja o zona de baja presión, cuando esta situación es alcanzada se logra la estabilidad en esta porción, del chorro, (fig. 5 2a). Lo mismo ocurre cuando se perturba el chorro hacia la izquierda, fig. 5 2 b es decir, obtenemos 2 situaciones para las cuales el chorro es estable, de aquí, que se le nombre estable.



FLUJO ADHERIDO A UNA PARED. SITUACION ESTABLE.
FIG. 5-2

Haciendo ciertas modificaciones, al dispositivo anterior, es decir, poniendo entre las paredes un separador tal que forme dos ductos de salida, y agregando ductos de control, como se muestra en la figura 5 3, obtenemos el amplificador biestable de efecto Coanda, o efecto de pared.



C1	C2	S1	S2
0	0	0	1
0	1	1	0
0	0	1	0
1	0	0	1
0	0	0	1

TABLA DE LA VERDAD DEL AMPLIFICADOR BIESTABLE

FIG. 5-3

Suponiendo como en la figura, que el chorro de potencia este saliendo por el ducto de salida 2, al enviar un chorro de control 2, éste aumentará la presión en la burbuja o zona de baja presión, desplazándose en éste caso el punto de adherencia, aguas abajo, el chorro principal hace entrar a él, agarra por decirlo así, fluido del chorro de control, y empezará a moverse hacia la línea de centros de la región de interacción. El chorro se seguirá moviendo hacia la izquierda debido a que el fluido que está siendo agarrado por el chorro principal baja la presión de dicho lado, hasta que el chorro se adhiere a la pared izquierda formando así su otra situación estable, una vez que el chorro de control 2, haya desaparecido, el chorro principal seguirá fluyendo por el lado izquierdo, hasta que una señal de control de dicho lado lo haga cambiar hacia su otra salida, es decir el dispositivo posee memoria como se puede ver de su tabla de la verdad.

MODELO DEL FLUJO DEL AMPLIFICADOR BIESTABLE, DIAGRAMA DE VELOCIDADES Y DE PRESION. FIG. 5-4 a), b) y c).

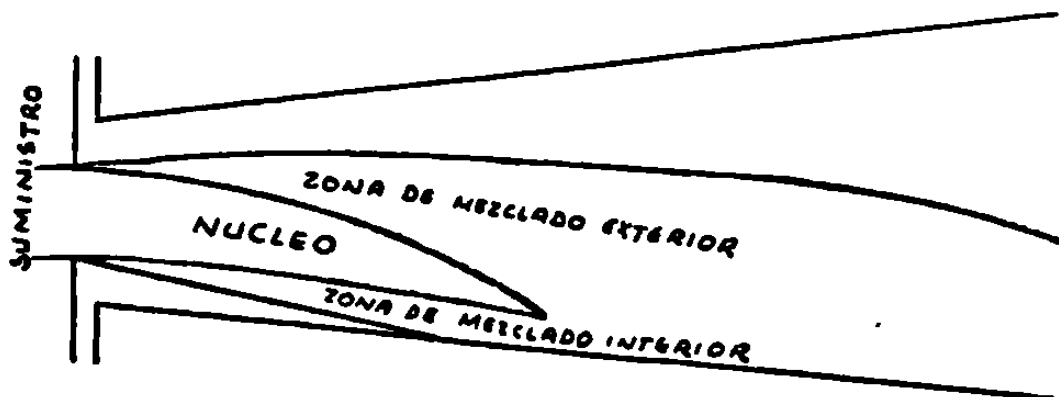


FIG. 5-4 a)

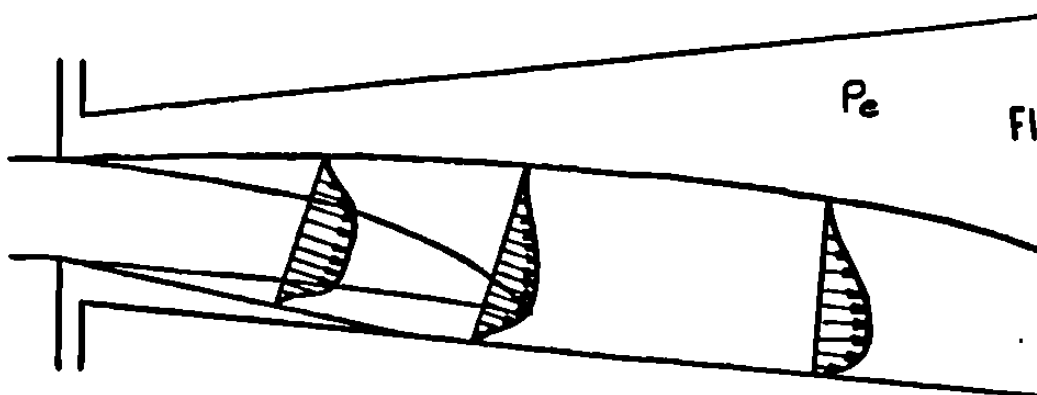


FIG. 5-4 b)

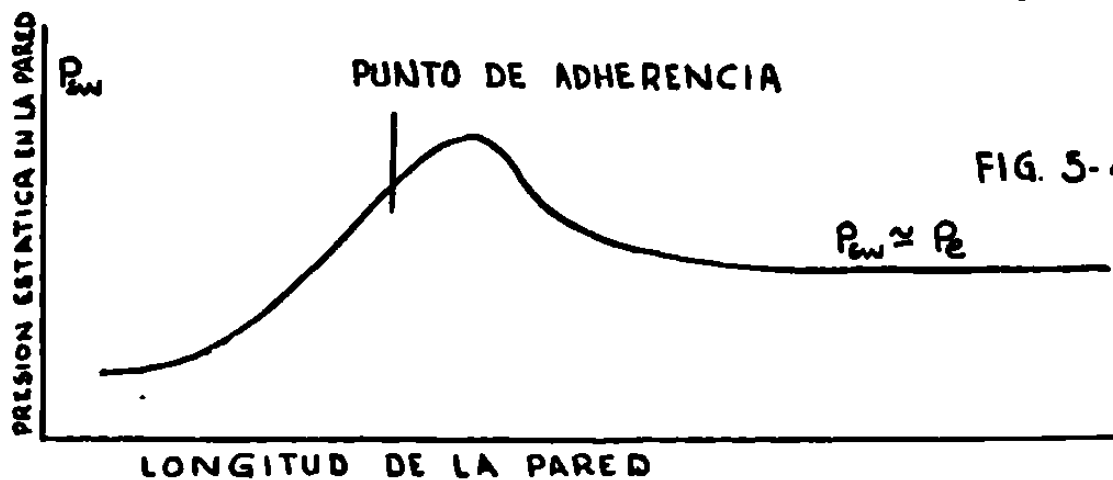


FIG. 5-4 c)

El patrón de flujo se muestra en la figura 5-4 a) donde podemos distinguir lo siguiente, el chorro de potencia que entra a la región de interacción, posee 3 zonas definidas, - la parte central o núcleo, en la cual la presión es sensiblemente la misma de la fuente, es decir esta zona es insensible a los efectos del fluido que se está agarrando, y a la presión más baja de la región de interacción. La zona de -- mezclado exterior donde el chorro principal está succionando fluido, y chorro principal también, succiona fluido, ya sea de la burbuja de separación o del contenido en el ducto de control.

En la figura 5-4 b) aparece el perfil de velocidades - en tres regiones diferentes y en la figura 5-4 b) se muestra la variación de la presión con la longitud de la pared. Se puede ver que hay una baja presión en la zona de la burbuja de separación, esta presión se va elevando gradualmente hasta el punto de adherencia, donde tiene cierto valor que no es el máximo, el valor máximo de presión lo obtenemos aguas abajo del punto de adherencia, luego la presión disminuye en la capa límite, a un valor que es esencialmente el valor de la presión de salida.

EFFECTO DEL BLOQUEO SOBRE EL AMPLIFICADOR BIESTABLE.

Cuando una unidad está siendo cargada, la presión en la capa límite debe elevarse a un valor superior al que -- existe después del punto de adherencia para que la corriente se separe de la pared.

Suponiendo que tengamos en un amplificador, el flujo saliendo por el ducto derecho, y éste sea bloqueado; como aparece en la figura 5-5.

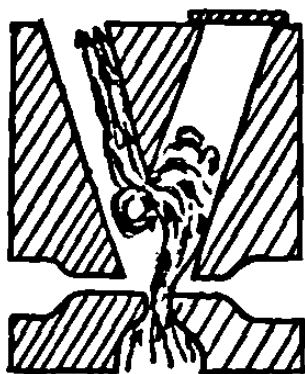


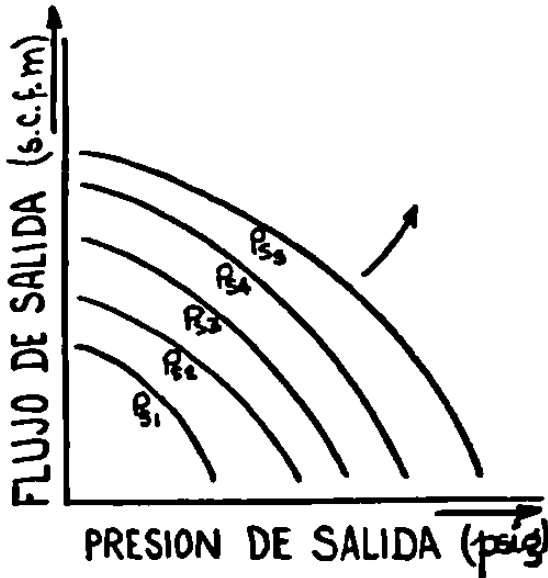
FIG. 5-5

Cuando la salida está bloqueada se incrementa la presión en el ducto, reflejándose este -- aumento hacia la capa límite, -- la corriente empezará a fluir alrededor del separador y saldrá por la salida izquierda, --

el separador deberá estar suficientemente alejado del plano de salida del chorro de potencia o principal, para evitar perturbaciones sobre el punto de adherencia, y la presión del ducto derecho no es suficientemente grande para exceder la presión del punto de adherencia, por lo que el chorro seguirá adherido a la pared derecha, mientras está saliendo por el ducto izquierdo. Si ahora es eliminado el bloqueo, el fluido fluirá nuevamente por el ducto derecho,

esto es la característica que llamamos memoria, del dispositivo.

A continuación se presentan las curvas características del amplificador biestable.



Estas están en forma general, no nos están representando un dispositivo en particular ya que cada amplificador tendrá sus curvas características propias, de acuerdo a su construcción, dimensiones y diseño en particular, ya que --

como se verá a continuación, las características de funcionamiento de un amplificador biestable dependerán de su geometría.

PARAMETROS GEOMETRICOS QUE AFECTAN EL FENOMENON DE LA AMPLIFICACION BIESTABLE.

AL MENOR EL SEPARADOR AGUAS ABAJO

- 1º Se incrementa la memoria
- 2º se incrementa el contraflujo
- 3º Se disminuye la energía de salida
- 4º Se disminuye la recuperación de presión
- 5º se disminuye la tendencia a oscilar

AL INCREMENTAR LA APERTURA DE LOS DUCTOS RECEPTORES

- 1º se incrementa el contraflujo
- 2º disminuye la recuperación de presión

AL INCREMENTAR LA CARGA

- 1º Se reduce el flujo de control o cesar o para la conmutación hacia la otra salida
- 2º Se aumenta el flujo de control necesario para conmutar hacia la carga
- 3º se incrementa la tendencia a oscilar

AL INCREMENTAR LA PROFUNDIDAD

(RAZON DE ASPECTO)

- 1º Se incrementa el flujo.
- 2º Para pequeños radios de aspecto (< 4) se incrementa el efecto de las paredes cercanas.

(EFECTO CORONA)

- 3º No se afectan otras características.

AL INCREMENTAR LA PRESION DEL CHORRO PRINCIPAL

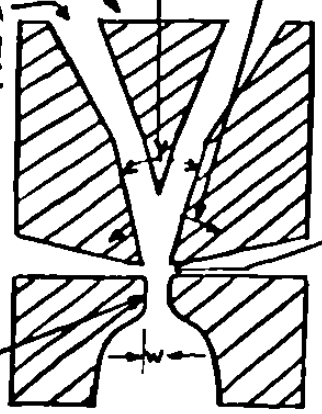
- 1º Incrementa la presión de control
- 2º El flujo de control necesario para la conmutación, disminuye en un porcentaje del flujo principal
- 3º El punto de adherencia se mueve aguas abajo

AL INCREMENTAR EL ANGULO DE LAS PAREDES LIMITES

- 1º Se disminuye el flujo para la conmutación
- 2º El punto de adherencia se mueve aguas abajo

AL INCREMENTAR EL AREA DE LA TOBERA DE CONTROL

- 1º Se disminuye la presión de control necesaria para obtener el flujo para la conmutación
- 2º Se incrementa la tendencia a oscilar



COMPONENTES DE LOS AMPLIFICADORES BIESTABLES.-

CHORRO DE POTENCIA.- La presión de suministro es una parte esencial del amplificador, generalmente se desea que esté regulada, manteniéndola constante en la generalidad de los casos, estos amplificadores se trabajan con chorro subsónico, es decir la relación entre la presión de suministro y la ambiente anda alrededor de 2, para aire.

DUCTOS DE CONTROL.- Se necesitan dos ductos de control a través de los cuales podemos influenciar sobre el chorro principal, estos ductos son generalmente dispuestos en el plano de salida del chorro principal o de potencia.

DUCTOS RECEPTORES.- La ganancia, impedancia de salida y potencia de salida del amplificador están grandemente influenciadas por la forma y tamaño de los ductos receptores. Entre más grandes sean las áreas de los ductos receptores habrá más ganancia en flujo, pero menos en presión. Para máxima ganancia de potencia, hay una relación óptima entre las áreas, de los ductos receptores y del chorro de potencia, relación que está entre 2 y 4 dependiendo de otros factores. El ángulo de divergencia de los ductos receptores también controla la recuperación de presión, anda alrededor de 12°.

SEPARADOR. El separador además de dividir los dos receptores tiene otras funciones muy importantes para el amplificador dependiendo de su forma, la cual puede ser, puntriaguda, cóncava, planada, o redondeada, la forma del frente del separador así como su posición con respecto al plano de salida del chorro principal, le dan ciertas propiedades al amplificador. por ejemplo; La forma puntriaguda del separador, le dá al amplificador respuesta más rápida y mayor ganancia aunque le da menos estabilidad, el amplificador tiende a oscilar más fácilmente.

La forma cóncava crea un vórtice en la concavidad que es útil para anclar el chorro contra la pared de la región de interacción, mejorando la memoria y la estabilidad del amplificador, aunque al mismo tiempo disminuye la velocidad de respuesta y la ganancia de flujo.

Por otra parte al colocar el separador cercano al plano de salida del chorro de potencia, la presión recuperada es relativamente alta, sin embargo esta posición puede causar otros efectos indeseables, uno de ellos es la tendencia a oscilar, del chorro alrededor del separador, otro sería la mayor influencia que tendría la variación de la carga sobre el estado del chorro.

VENTILACIONES O SANGRIAS.- Las sangrías son ductos de ventilación usados para reducir los efectos de carga en el amplificador. No todos los amplificadores las tienen, ya que éstas disminuyen la potencia de salida así como la ganancia de potencia del amplificador, son utilizadas sin embargo en algunos casos ya que al reducir los efectos de carga hace al amplificador -- más fácil de conectar en etapas o cascada con otro amplificador o dispositivo fluldico, y esto es considerado como una característica muy importante del amplificador.

Las sangrías pueden localizarse aguas arriba o abajo del separador, y en el ángulo recto o agudo con respecto a los ductos receptores.

El tamaño, lugar de colocación, y ángulo de las sangrías también tienen influencia sobre el rendimiento del amplificador.

PAREDES LATERALES.- Las paredes laterales que forman la región de interacción del amplificador, son elementos muy importantes para lograr la biestabilidad del amplificador.

Ya que si las paredes laterales están muy alejadas, o su ángulo de inclinación es muy grande, se pierde el efecto Coanda y por lo tanto la biestabilidad. Si el grado de obstrucción que presentan es pequeño, el tamaño de la burbuja de baja presión será también pequeño y de nuevo será reducido el efecto Coanda, y

mo resultado se tendrá una pobre estabilidad.

CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE LOS AMPLIFICADORES BIESTABLES.

Además de los parámetros físicos antes mencionados, que como se vio, tienen influencia en las características del comportamiento de los amplificadores biestables, se tienen otros que son: Ganancia, Estabilidad, Impedancia de Entrada, Impedancia de Salida, Eficiencia.

GANANCIA.- Debido a que los amplificadores biestables mantienen un estado dado, aunque la señal de control deje de existir, la definición de ganancia, deberá ser tomada sobre bases instantáneas. Definiéndose la ganancia como, la relación entre el cambio en magnitud de la señal de salida al correspondiente cambio en magnitud de la señal de control, podríamos tomar como regla que, entre mayor sea la ganancia mejor será el amplificador, aunque se sabe que al aumentar la ganancia se disminuye la estabilidad, entonces habrá que sacrificar una por la otra, todo depende de lo que se quiera obtener. Con frecuencia, para obtener altas ganancias, se utiliza la construcción de amplificadores en etapas sucesivas.

ESTABILIDAD. El término estabilidad lo podemos interpretar de dos formas, la primera sería entender la estabilidad, como el hecho de que el amplificador sea susceptible a oscilar, -

y la segunda forma sería, que el chorro no pueda fácilmente - ser conmutado por causas accidentales, o indeseables como pueden ser las variaciones de: Temperatura, Carga, Presión o Vibraciones.

A esta última interpretación de estabilidad a veces se le refiere como memoria.

IMPEDANCIA DE ENTRADA.- La impedancia de entrada dependerá del punto de operación del amplificador. Se deberá graficar la relación entre el flujo y la presión de entrada, para una condición fija a la salida. En general se desea tener alta impedancia de entrada, lo que representaría, baja entrada de potencia.

IMPEDANCIA DE SALIDA.- Es deseable tener lo más bajo posible el valor de la impedancia de salida, de esta manera se -- obtiene mayor potencia de salida. Las curvas características de salida, serán gráficas de gasto VS presión manteniendo la señal de control de entrada como variable independiente.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR BIESTABLE.

Estas curvas las presentaremos en forma general, no representando ningún amplificador biestable en particular, ya que estos tendrán sus curvas características propias, de acuerdo a sus dimensiones construcción y diseño particular, como antes hemos visto las características de funcionamiento de un amplificador biestable dependen de su geometría.

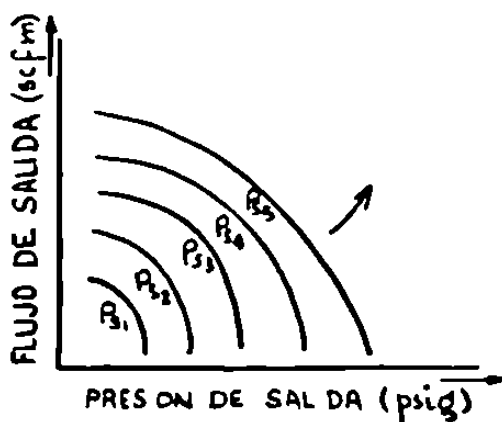


FIG. 5-7



FIG. 5-8

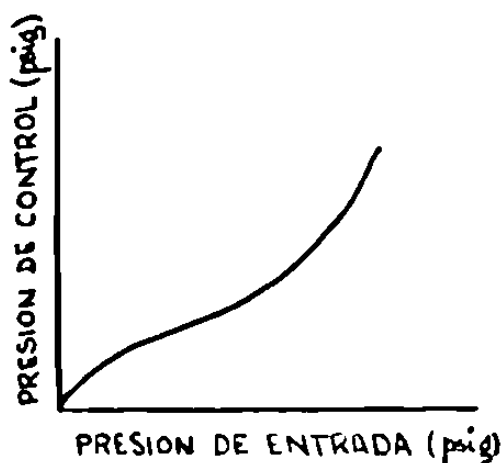


FIG. 5-9

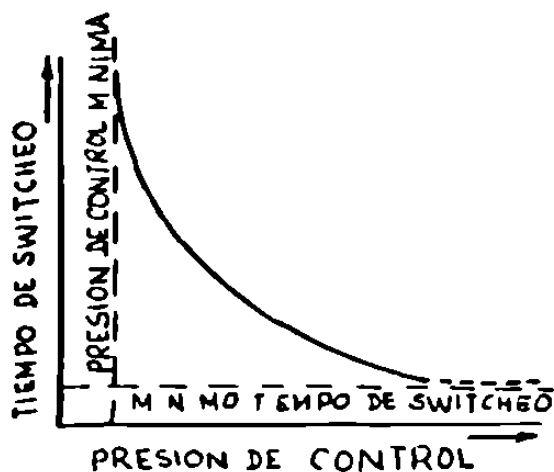


FIG. 5-10

AMPLIFICADOR DE TURBULENIA.- Si una corriente de fluido es enviada a través de un tubo de paredes lisas de diámetro pequeño, a bastante baja velocidad, las paredes del tubo inducirán un flujo laminar. Si éste es lo suficientemente laminar, puede ser proyectado a distancias de 100 veces el diámetro -- del tubo y permanece laminar. Lógicamente la distancia sobre la cual la corriente puede ser proyectada y seguir siendo laminar, disminuirá al ser aumentada la velocidad. Si colocamos un segundo tubo en la trayectoria de la corriente (fig. a) este interceptará parte del flujo y producirá una presión estática de acuerdo a la velocidad promedio de la parte del chorro interceptada. Si la velocidad de la corriente es aumentada, así que ocurre la turbulencia entre el tubo de suministro y el de salida, como se ve en la fig. b) la presión en el ducto de salida disminuirá, debido a que sólo una parte muy pequeña del fluido entrará a dicho ducto.

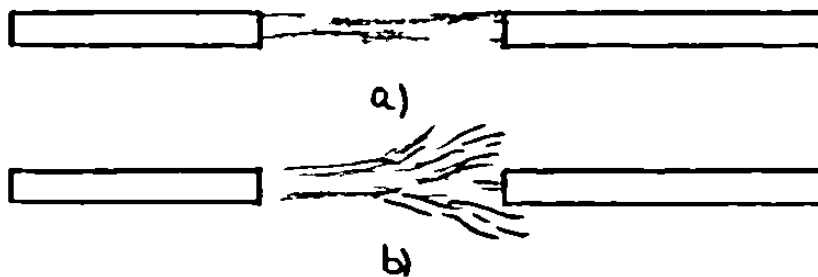


FIG 5-11

Cuando la velocidad del fluido se aumenta a un grado tal, que el punto de turbulencia de la corriente está a la salida del tubo de suministro, la presión de salida del dispositivo, aumentará lentamente, debido a que la parte del fluido que alcanza el ducto de salida se mantiene constante y la velocidad del fluido continúa elevándose. La presión de salida para este arreglo está mostrada en la figura 5-12.

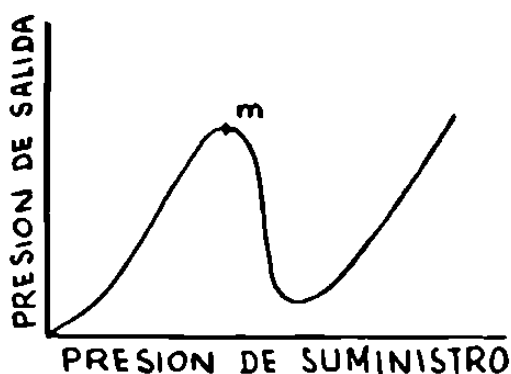


FIG. 5-12

El punto marcado con una "m" en esta gráfica representa la velocidad de suministro a la cual el cono de turbulencia aparece inmediatamente antes del tubo de salida. Si la distancia entre los tubos de suministro y de salida ha sido seleccionada adecuadamente, pequeñas perturbaciones en la corriente de suministro, cerca de la salida del tubo de suministro, causará grandes variaciones de la presión en el ducto de salida.

El chorro de suministro puede ser perturbado por otro chorro que choque con él, por intrusión de agentes mecánicos,

por ondas acústicas, o por un campo eléctrico. La sensibilidad del amplificador depende de la distancia entre los tubos, a mayor separación entre los tubos, mayor será la sensibilidad, sin embargo será menor la velocidad máxima permisible, disminuye al aumentar la separación entre tubos, por lo tanto, la distancia entre tubo de suministro y tubo de salida para un dispositivo práctico representa un balance entre la sensibilidad, y la salida útil. La sensibilidad acústica del dispositivo también depende de la separación entre tubos, las ondas acústicas son difíciles de aislar y de hecho pueden ser generadas por los mismos dispositivos, afortunadamente la distancia requerida si el dispositivo va a ser operado por otro medio, tal como un chorro de control que choque con el chorro principal a fin de producir la perturbación. Los amplificadores prácticos de turbulencia se construyen con ganancias de potencia entre 40 y 80. Por amplificadores prácticos se entiende dispositivos que puedan ser construidos, teniendo salidas que puedan ser usadas fácilmente para operar otros dispositivos fluidos.

Los amplificadores de turbulencia teóricamente pueden ser de cualquier tamaño, pero prácticamente tienen límites en cuanto a tamaño, por ejemplo, el diámetro del tubo de suministro puede variar desde 0.010 a 0.70 pulgadas, para un diámetro tan grande como este último, la longitud del tubo de suministro, requerida para tener flujo laminar sería impráctica -

mente largo. Hay un solo tamaño del tubo de suministro que produce máxima ganancia, este es aproximadamente de 0.040 pulgadas, aunque se obtienen ganancias aceptables, para aplicaciones en circuitos lógicos en el rango de 0.010 a 0.70 pulgadas. Se ha encontrado sin embargo que un diámetro de 0.030 pulgadas es prácticamente el mejor, desde el punto de vista de consumo de potencia, presión, volumen de salida, ganancia del amplificador, conveniencia en la fabricación y tamaño. Estas unidades pueden operar con presiones de suministro de aproximadamente 4 pulgadas de columna de agua, produciendo a la salida, sin carga, presiones de 2 pulgadas de columna de agua y volumen de 20 pulgadas cúbicas por minuto.

El volumen de la señal de control es aproximadamente de 3 pulgadas cúbicas por minuto, con presión de control de aproximadamente 0.3 pulgadas de agua.

La separación entre los tubos puede variar de 0.375 pulgadas a 1.9 pulgadas, pero se ha encontrado que a separaciones de 1.3 pulgadas el dispositivo es sensible a ondas sónicas, a 1.7 pulgadas es sensible a altas frecuencias, y poca sensibilidad a frecuencias abajo de 10,000 c.p.s. A distancias de 1.8 pulgadas o mayores, su sensibilidad acústica es extremadamente alta, pudiéndose obtener ganancias de presión de 1000 o aun más, en una sola etapa. Sin embargo, en general, los amplificadores de turbulencia son diseñados para ser controlados, por un chorro de aire dirigido perpendicularmente al

chorro principal, por lo que la distancia entre tubos es generalmente menor a 1 pulgada, y por lo tanto, se puede decir que no son afectados por las señales acústicas. Son usados principalmente para propósitos de control, no de potencia, teniendo curvas características como se muestra en la figura 5-13

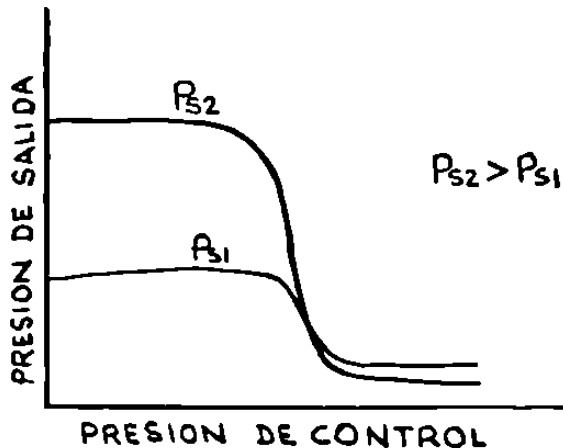
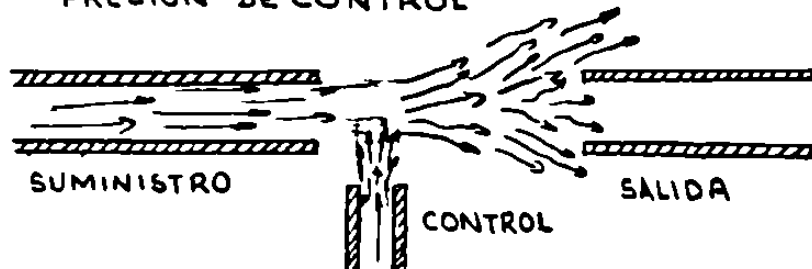


FIG. 5-13



El amplificador de turbulencia, puede ser usado en aplicaciones proporcionales, pero sus aplicaciones principales -- las tiene en los circuitos lógicos. Este amplificador hace la función lógica NOR, y pueden ser construidas todas las demás funciones lógicas utilizando únicamente el amplificador de turbulencia, utilizando únicamente una señal de control, es un inversor, puede tener hasta 10 señales de control, completamente aisladas entre sí, lo que hace que el dispositivo

posea un alto FAN IN. De igual modo puede manejar hasta 10-
 unidades se undarias, omo otra de sus ventajas (alto FAN--
 OUT), no tiene problema de adaptación de impedancias. Aun--
 que debe tenerse especial cuidado, al emplear este dispositio
 vo en circuitos de alta velocidad, por lo que respecta al --
 tiempo de recuperación del flujo turbulento a laminar, es deci
 cir el tiempo de switcheo de laminar a turbulento es aproxi-
 madamente de 2 milisegundos y de turbulento a laminar es a--
 proximadamente de 8 milisegundos, es decir el dispositivo no
 responde a pulsos de control negativos, esto se puede apre-
 ciar en la figura 5 14b)

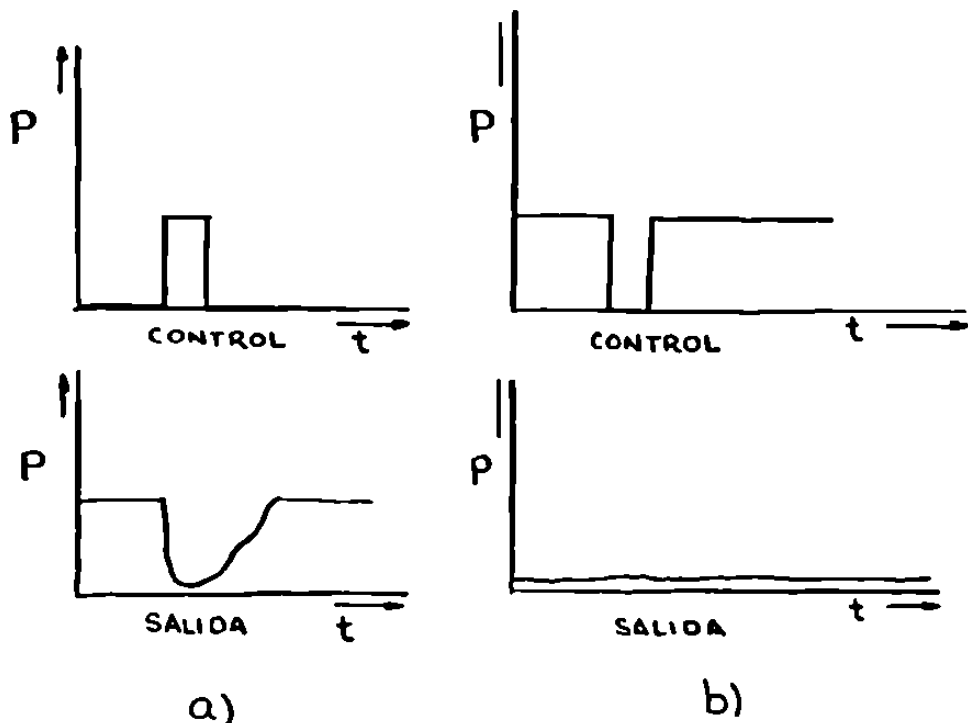


FIG 5-14

Por otro lado debe tenerse en cuenta que la presión de salida del amplificador no llega a ser cero, sobre el rango práctico de operación, por lo que las unidades secundarias acopladas al amplificador, no deben dar respuesta a las bajas señales del amplificador. Estos dispositivos pueden clasificarse en amplificador de alto volumen, Standard y miniatura, cuyas especificaciones aparecen en tabla que a continuación se expone*

	ALTO- VOLUMEN	STANDARD	MINIATURA
Número de entradas	1,2,3,4,5o6	1,2,3 o 4	2
Presión de Suministro	3" 6' col. agua	3"-5.5" col. agua	7"-9" col. agua
Gasto max. de "	80 plg ³ /min	40 plg ³ /min	12 plg ³ /min
Presión de control	0.2" 0.4" col. agua	0.2" 0.35" col. agua	0.15" a 0.3" col. agua
Gasto max. de "	3.5 plg ³ /min	3 plg ³ /min	2 plg ³ /min
Presión de salida (max)	2" col. agua	1.5" col. agua	1" col. agua
Gasto " " "	40 plg ³ min	20 plg ³ /min	6 plg ³ /min.

* Debe aclararse que los datos presentados son generales y algunos fabricantes dan especificaciones que quedan fuera de los rangos presentados.

AMPLIFICADOR DE INDUCCION.-, Este amplificador es un elemento lógico biestable, que utiliza el control sobre la capa límite para su switcheo, aparece mostrado en la figura 5-15.

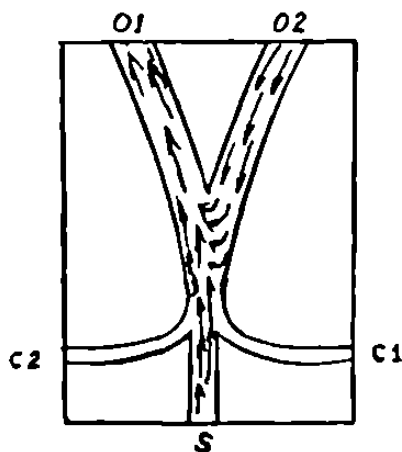


FIG. 5-15

Cuando se aplica la señal de suministro "S" el chorro se adhiere a una de las paredes de forma aerodinámica, suponiendo que esté fluyendo por la salida O1, tendremos flujo aguas arriba por el ducto O2, que esencialmente está a la presión atmosférica, por otro lado, la presión que se tiene a lo largo de la pared límite, es baja, formándose un gradiente transversal de presión en el chorro principal, que lo mantiene en una situación estable, fluyendo por la salida O1. Para lograr la conmutación del chorro hacia la otra salida, O2, se deberá aplicar un chorro de control en el ducto c1, esta señal de control se adhiere a la pared exterior del ducto O2, fluyendo tangencialmente al chorro principal en la región de interacción, entonces el gradiente de presión es in-

vertido, lo que usa que el chorro principal sea ^tswirtheado hacia el ducto de salida 02. Deben darse que la señal de control c2 esta del mismo lado que la salida 01, igualmente c1 y 02. Es de ⁱ para iniciar la operación, la señal de control debe ser aplicada, en el amplificador de inducción, en el lado opuesto al cual esta el orro principal fluyendo. Las curvas características de flujo y presión de este amplificador son similares a las del amplificador biestable de efecto Coanda.

AMPLIFICADOR DE CHORRO DIRIGIDO.- El principio esencial de este dispositivo, es la tendencia de un chorro anular, de gran razón de aspecto, dirigido del interior hacia el exterior, de formar un solo haz de fluido de sección transversal circular, a lo largo del eje de simetría tal como se muestra en la figura 5-16 a, cuando no existe señal de control.

En la figura 5-16 b, se muestra el amplificador cuando está presente la señal de control, que es un chorro de forma anular, que desvía la trayectoria del chorro principal, haciendo nula la salida del dispositivo.

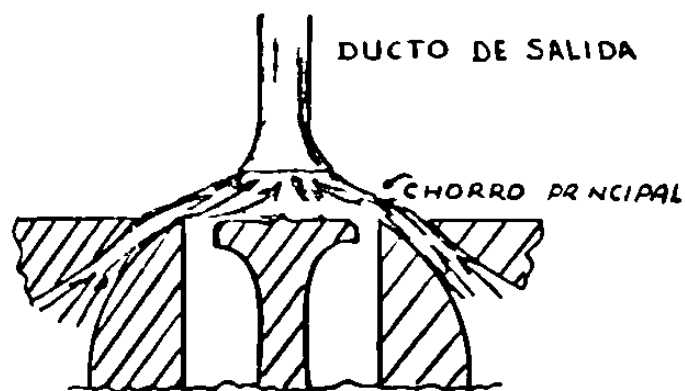


FIG. 5-16 a)

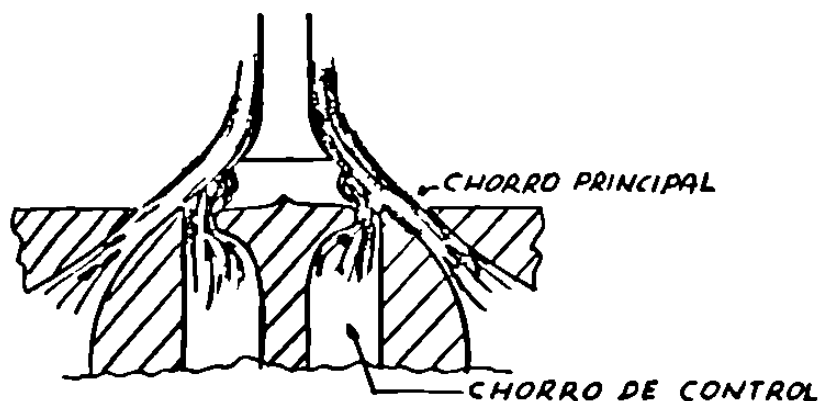
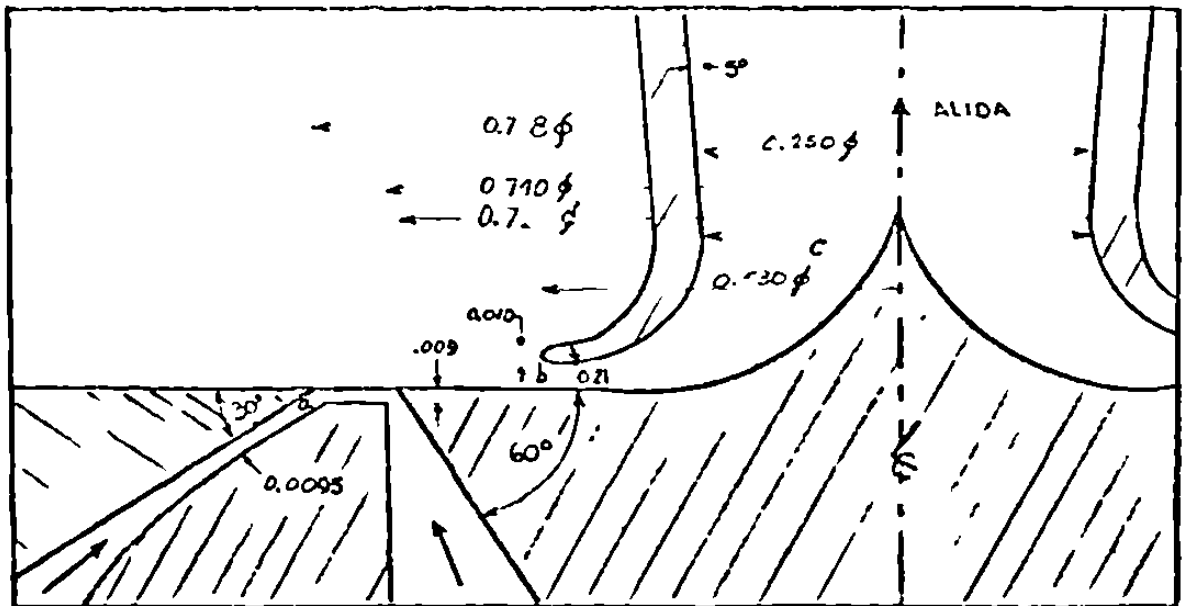


FIG. 5-16 b)

En este dispositivo se pueden colocar múltiples ductos de control, al menos cuatro, y un número similar de ductos de salida (FAN-OUT), fig. 5-17. La principal característica de este amplificador es su alta velocidad de interrupción, debido a que el chorro de potencia, es una sección anular -- muy delgada. Así mismo el aislamiento acústico entre entrada y salida es inherente al dispositivo, col cándolo entre -- uno de los p c s element s flúidicos de relativamente fã il interconexión.

CONDICIONES TIPIAS DE UN AMPLIFICADOR DE CHorro DIRIGIDO.



CHORRO DE POTENCIA

FLUJO DE CONTROL

$Q = \text{AREA DEL CHORRO} = 0.0232 \text{ PLG.}^2$ $b = \text{AREA DE RECAPTURA} = 0.035 \text{ PLG.}^2$
 $C = \text{AREA DE LA GARGANTA DEL TUBO DE SALIDA} = 0.049 \text{ PLG.}^2$

FIG. 5-18

En la figura 5-19 se muestra la curva característica de flujo de salida en función de la presión de salida de este amplificador.

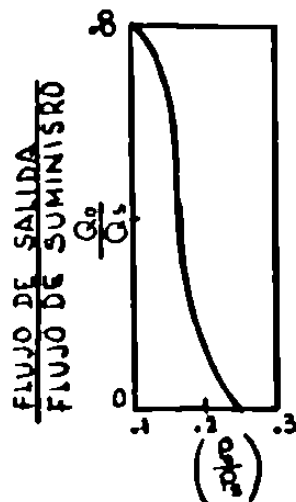


FIG. 5-19

$\frac{\text{PRESION DE SALIDA}}{\text{PRESION DE SUMINISTRO}}$

AMPLIFICADORES FLUIDICOS ANALOGICOS.-

- a) Amplificador proporcional de interacción de chorro
- b) Amplificador de Vértice
- c) Amplificador de codo de doble pierna
- d) Amplificadores modulares de impacto (directo y transversal).

Los amplificadores fluidicos analógicos son fundamentalmente similares a los amplificadores fluidicos digitales, sin embargo, su salida es un rango de valores continuos, proporcionales a las señales de control, pudiendo entonces operar en condiciones intermedias entre los valores extremos. Actualmente su uso no es tan extenso como el de los dispositivos digitales, sin embargo, su campo de aplicación es muy amplio, esperándose que puedan igualar y aun sobrepasar a aquellos, en poco tiempo, ya que se aprecia en los fabricantes la tendencia hacia la compatibilidad de dichos dispositivos, con los equipos ya existentes de control analógico neumático que operan con presiones entre 3 y 15 psi. Su uso más común lo tienen como preamplificadores para Schmitt Triggers (disparadores - Schmitt), comparadores y en procesamiento de señales.

AMPLIFICADOR PROPORCIONAL DE INTERACCIÓN DE CHORRO.

Este elemento es similar al amplificador biestable anteriormente mencionado, con la excepción de la región de interacción

ción, ya que se le da cierta forma a fin de evitar el efecto Coanda, y de esta forma impedir la adherencia del chorro con las paredes cercanas, (figura 5-20a).

El fluido de suministro es dirigido a la región de interacción, y el flujo de control también es dirigido a la región de interacción, entonces la dirección que el chorro principal o de suministro tome, después de la región de interacción dependerá de la cantidad de movimiento por unidad de área -- del chorro principal (momentum flux) y de la fuerza ejercida por el chorro de control. Se ha encontrado que la fuerza -- que produce la deflexión del chorro principal, es decir, la fuerza debida al chorro de control, se puede generar de dos formas ya sea debida a la presión, o a la cantidad de movimiento por unidad de área. En general ambas fuerzas están presentes en un amplificador proporcional.

La operación del amplificador se muestra en la figura 5-20c). Cuando las presiones de control son iguales el chorro de potencia no es deflexionado, saliendo igual cantidad de fluido en ambos ductos de salida, (figura 5-20b). Un pequeño cambio en una de las presiones de control, deflexiona el chorro principal, causando que el flujo de salida sea mayor en un ducto, que en el otro, el ducto que tiene mayor -- cantidad de fluido será el que esté alejado al ducto de control con mayor señal de presión. Ya que la diferencia en --

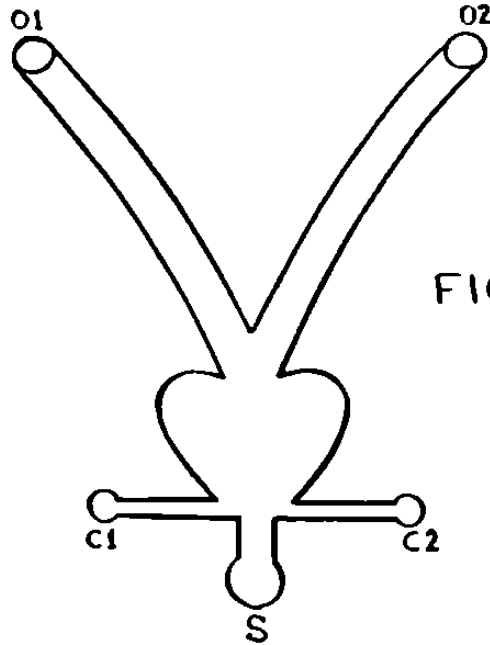
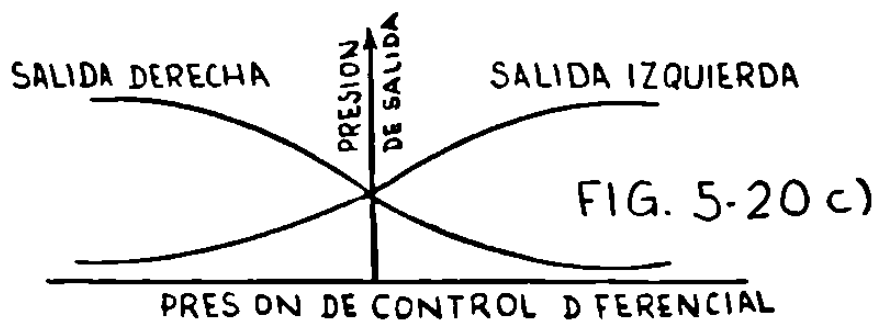
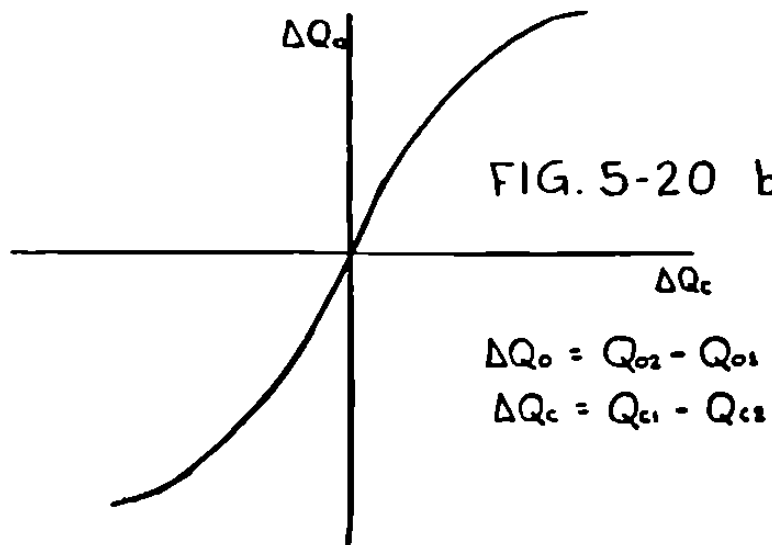


FIG. 5-20 a)



las salidas es mayor que la diferencia en las señales de control que la producen, obtenemos *amplificación* en el dispositivo.

En general estos dispositivos pueden ser construidos para obtener ganancia en potencia, presión o flujo según se requiera, en amplificadores típicos obtenemos ganancias de potencia entre 7 y 12, con ganancias de presión entre 4 y 6. Aunque es posible obtener mayores ganancias de presión, disponiendo los amplificadores en cascada, es decir las salidas de un amplificador son utilizadas directamente como entradas en el siguiente amplificador, con este procedimiento se han construido amplificadores con ganancia de presión cerca de 500.

La característica de estos dispositivos depende de la carga, por ejemplo, si a un amplificador le aplicamos la señal de control total, la cantidad de flujo en las salidas dependen de la carga, figura 5-21.

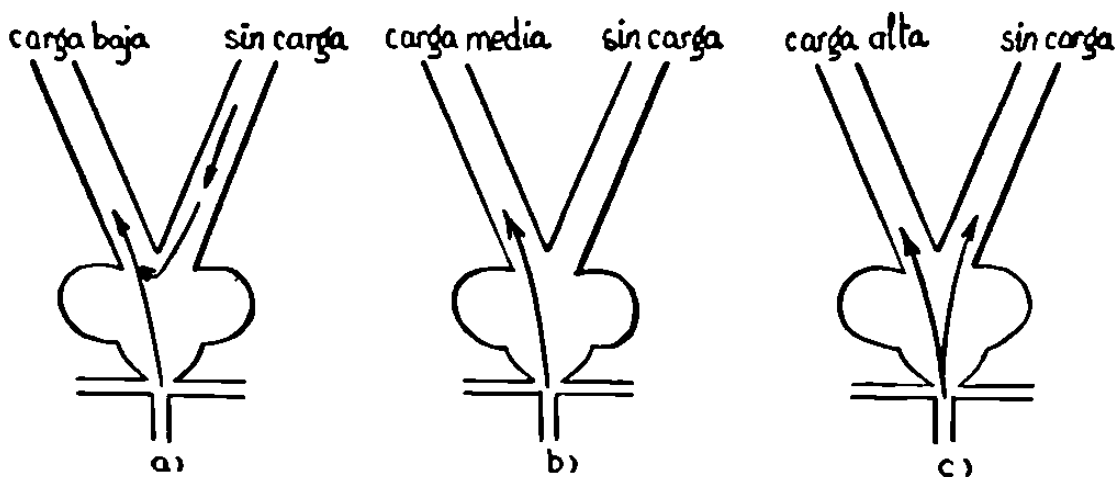


FIG. 5-21

Si consideramos un amplificador con carga baja en una salida y ventilada a la atmósfera la otra, se aspira fluido por la salida sin carga fig. 5 21a . Si se aumenta un poco la carga, no se aspirará fluido fig.5 21b . A una carga aun mayor, algo de fluido saldrá por la salida sin carga fig.5-21c). Entonces si ésta fuga debe ser evitada, limitamos la carga máxima que puede manejar el amplificador.

AMPLIFICADOR DE VORTICE.

Este elemento, también llamado resistencia fluidica variable, basa su principio en la formación de un vórtice o remolino en una cámara cilíndrica, en la que se puede modular el chorro de potencia, es decir, el dispositivo tiene una impedancia de entrada variable, esta variación en la impedancia dependerá del flujo de control, el amplificador aparece mostrado en la figura 5 22.

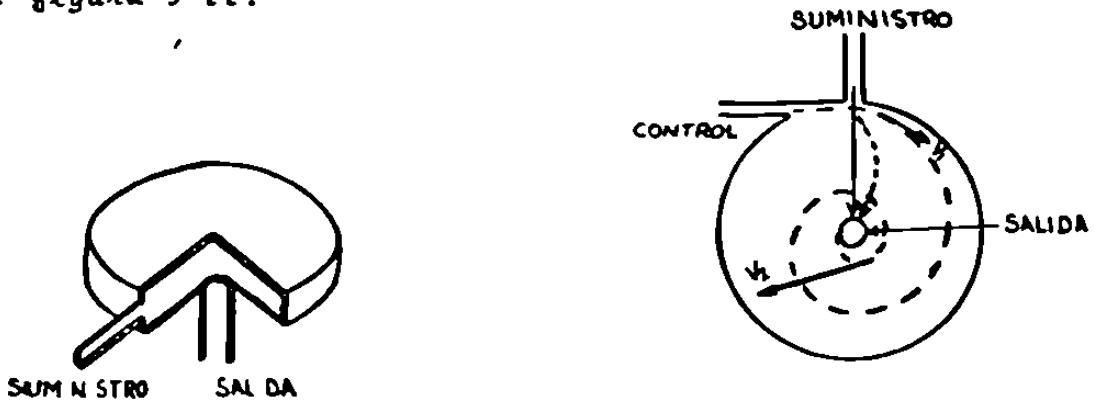


FIG. 5-22

Si no existe flujo de control, el flujo de suministro fluye, a lo largo de un radio hacia el centro de la cámara, saliendo por el ducto que se dispone en el centro de la misma, (línea sólida), siendo esta la indicación del máximo flujo en el amplificador. Al estar presente un flujo de control tangencial, este le imparte al flujo principal una componente rotacional, y los flujos combinados pasan a la cámara con componentes de velocidad tangencial y radial, debido a la conservación de la cantidad de movimiento, tanto la velocidad tangencial, como la angular se incrementan, a medida que el flujo se mueve hacia el interior, es decir al disminuir el radio. Este cambio en la velocidad causa esfuerzos cortantes en la masa rotatoria de fluido, tendiendo a acelerar las capas exteriores, y desacelerar las interiores teniendo como resultado neto, el incremento de la velocidad angular promedio. El incremento de la energía involucrado en este proceso, es obtenido de la caída de presión en el fluido a medida que este se mueve hacia el interior en contra del campo centrífugo. Debido a esta caída de presión, menor cantidad de fluido podrá ser expulsado a través de orificio de salida, entonces, efectivamente, la introducción del vórtice o remolino en la cámara, estrangula el flujo de fluido a través de ella, las curvas típicas de flujo de salida contra presión de control aplicada se muestran en la figura 5 23. Donde se puede apreciar -

que el flujo es reducido al aumentar la presión de control.

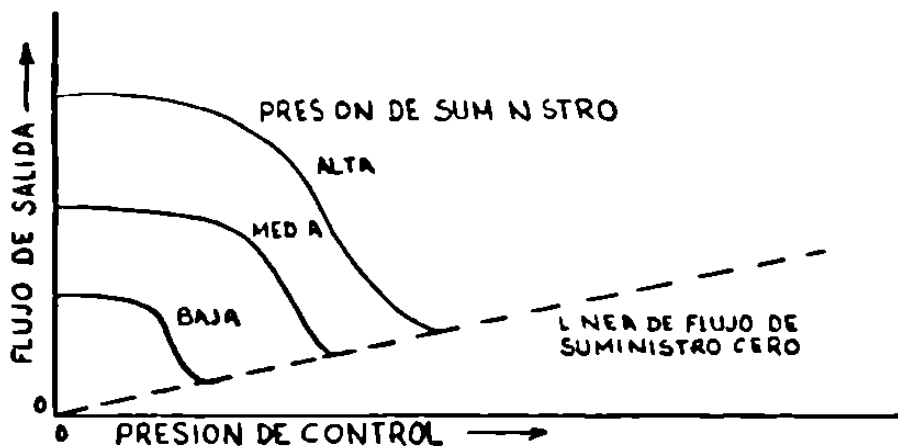


FIG. 5-23

Cuando la presión de ^{control} suministro, es suficientemente alta, el flujo de suministro es cero, o aun ligeramente invertido, es decir el flujo de control, puede eliminar completamente el flujo de suministro, sin embargo habrá cierta cantidad de flujo a la salida, que será el que se esté introduciendo por el ducto de control, (línea punteada). Cuando se alcanza esta condición, al incrementar la presión de control se incrementa el flujo de salida, entonces para altas presiones de control las curvas de flujo contra presión de control (fig. 5-23) serán tangentes a la línea de cero flujo de suministro, la gráfica 5-23 se ha hecho manteniendo la presión de suministro constante, y variando la presión de control. Se podría también obtener las gráficas, manteniendo constante la presión de control y variando la presión de suministro figura 5-24.

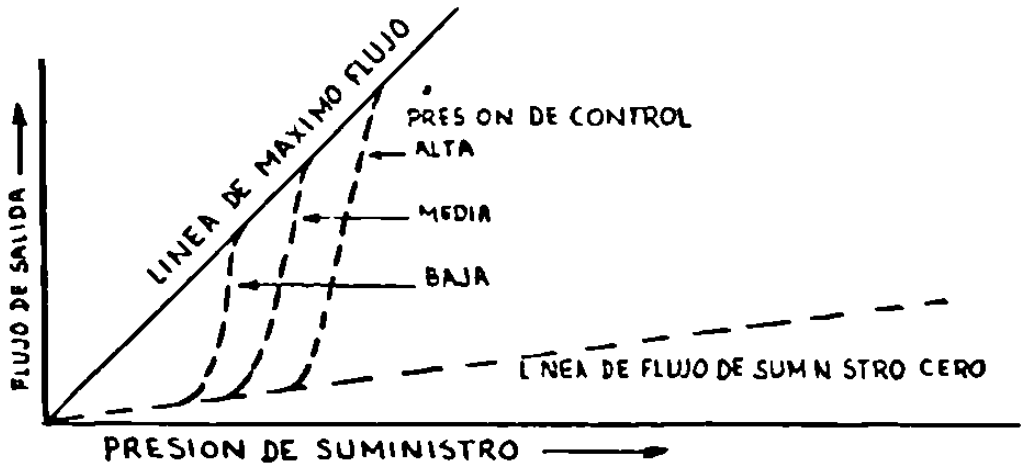


FIG. 5-24

En la figura 5-25 se muestran curvas características de un amplificador de vórtice, comercial.

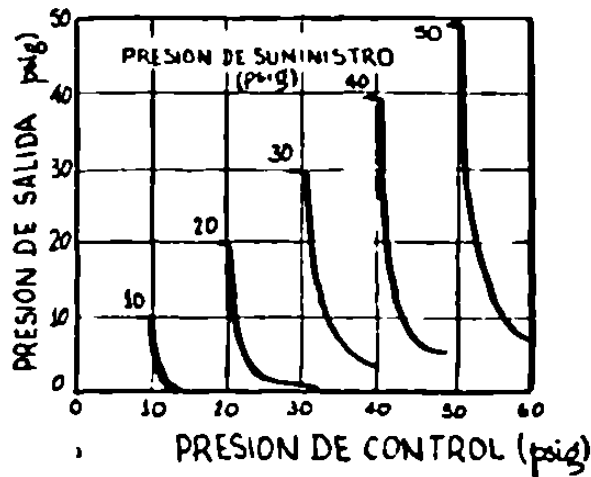


FIG. 5-25

En esta gráfica se puede apreciar, que para una presión de suministro dada, es necesaria una presión de control similar, para producir estrangulamiento del flujo de suministro, es decir, si la presión de suministro, es por ejemplo 30 psig, se necesita una presión de control por lo menos de 30 psig. para forzar el flujo dentro de la cámara

y causar el movimiento de vórtice, ésta característica hace al dispositivo, diferente a los otros tipos de amplificadores en los cuales pequeñas presiones de control, se aplica a presiones de suministro mucho mayores.

AMPLIFICADORES DE CODO DE DOBLE PIERNA.-

El principio en que se basa este amplificador, es el control sobre el punto de separación de un flujo sobre una superficie curvada, esta separación se puede controlar en cuatro formas, las cuales se indican en la figura 5-26, siendo la más efectiva la forma d) o sea a contraflujo.

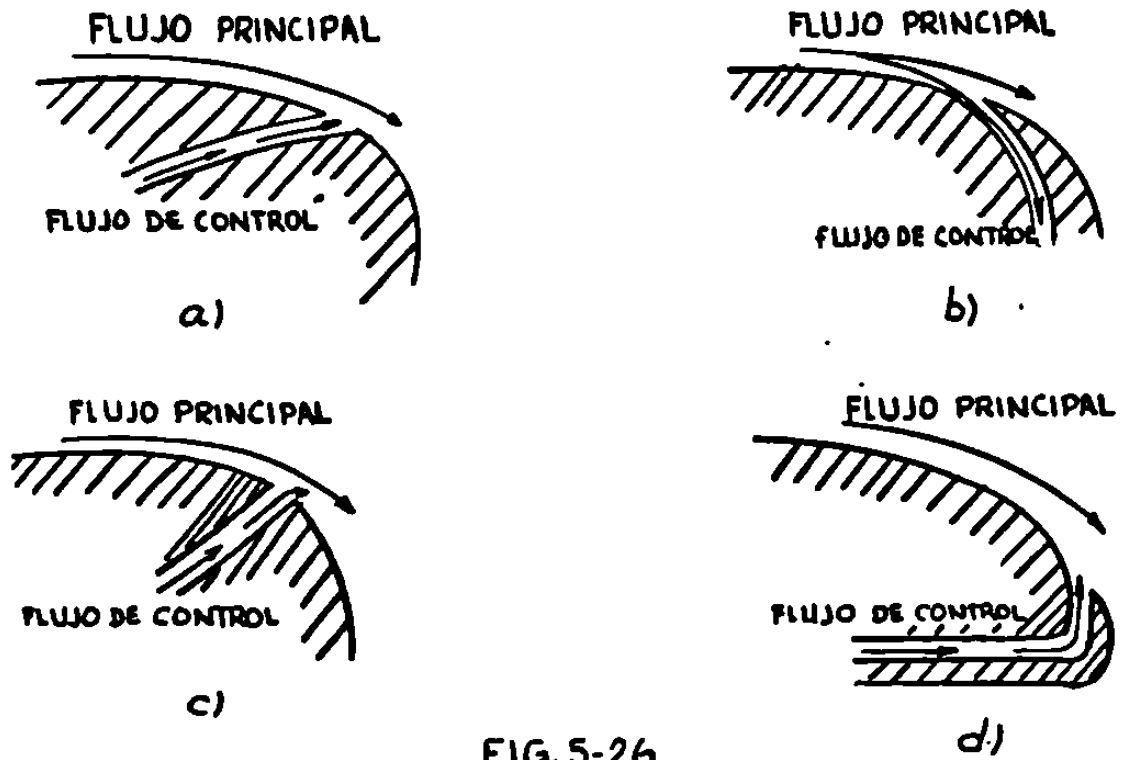
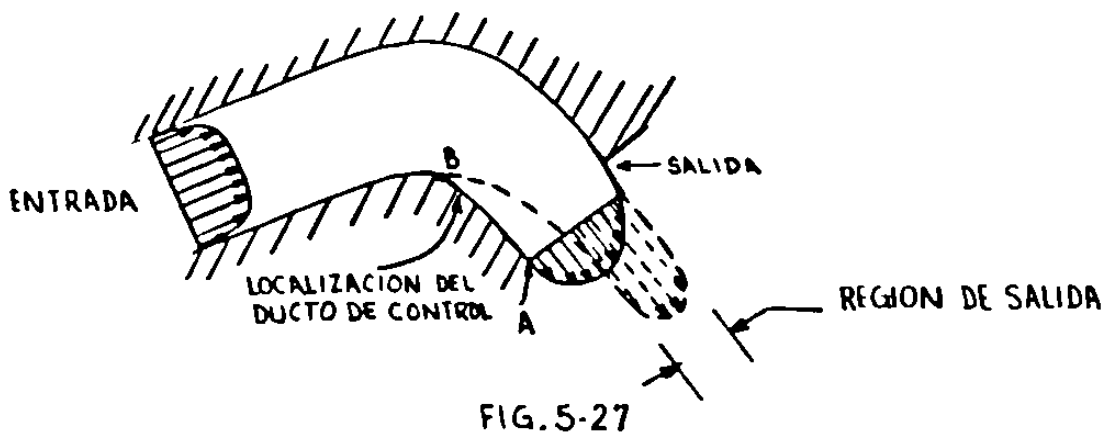


FIG. 5-26

Si consideramos un ducto curvado tal como el de la figura 5-27, el perfil de velocidad del flujo a la entrada, es típico del flujo en canales como se muestra en la figura, si el radio de curvatura de la pared interna es pequeño, - habrá un punto en el cual el fluido se separa de dicha pared, por ejemplo en el punto A, teniéndose un perfil de velocidad como aparece con líneas llenas en la misma figura.



Sin embargo podemos de las maneras antes mencionadas, - controlar el punto de dicha separación. Al hacer que el punto de separación quede aguas arriba de A, por ejemplo en B, ocurren cambios significantes en la cantidad de movimiento - por unidad de área, del flujo que pasa a través de la región de salida.

En el amplificador de doble pierna, fig 5-28 utilizamos, dos fenómenos de la dinámica de los fluidos que son, la separación del flujo en un canal curvado y el intercambio de cantidades de movimiento entre dos flujos.

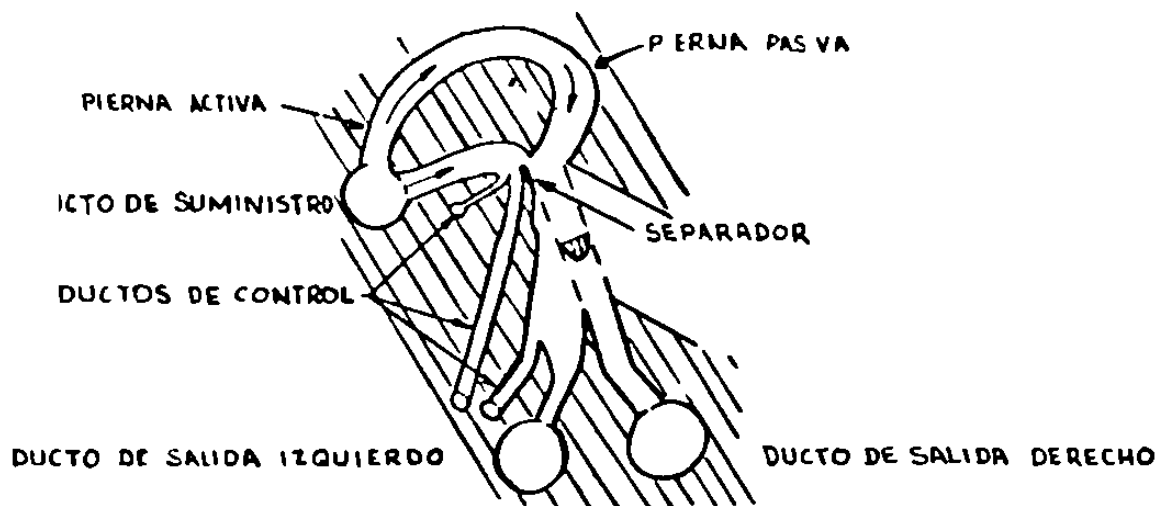


FIG. 5-28

En un amplificador de codo de doble pierna, el conducto curvado original ha sido modificado, por la adición de un separador y ventilas o sangría. Para drenar el flujo, excepto el que va por la región de salida (fig. 5-27). Además se ha dispuesto un ducto principal, llamado pierna pasiva, colocado de tal manera que su flujo interacciona con el flujo del otro ducto llamado pierna activa, produciéndose un intercambio entre sus cantidades de movimiento.

En este amplificador también se tienen dos ductos de salida, cuando no existe flujo de control, la magnitud de la cantidad de movimiento por unidad de área, es baja cerca de la salida de la pierna pasiva, el flujo que proviene de la

pierna activa, se combina, con el de la pierna pasiva y dan directamente sobre la salida izquierda, cuando se aplica una señal de control, la magnitud de la cantidad de movimiento por unidad de área de la pierna activa se incrementa y el flujo de la pierna pasiva no es capaz de flexionarlo teniendo salida por el ducto derecho de salida, cuando se tiene aplicada la máxima señal de control, el flujo combinado de ambas piernas saldrá totalmente por la salida derecha.

De acuerdo con quienes desarrollan este amplificador -- las características básicas del mismo son:

- a) La caída de presión a través del amplificador es relativamente baja, debido a los grandes pasajes y bajas velocidades posibles en las corrientes de fluido.
- b) El ruido es usualmente de baja magnitud y frecuencia, debido a las velocidades relativamente bajas en el fluido.
- c) La ganancia de flujo es extremadamente alta
- d) El diseño puede ser hecho para manejar eficientemente -- flujos extremadamente altos.

Sin embargo este amplificador presenta ciertas limitaciones entre las cuales podemos citar:

- a) bajas ganancias en presión
- b) tiempo de respuesta, relativamente bajo
- c) simplicidad en su construcción.

Las características de funcionamiento del amplificador se muestran a continuación.

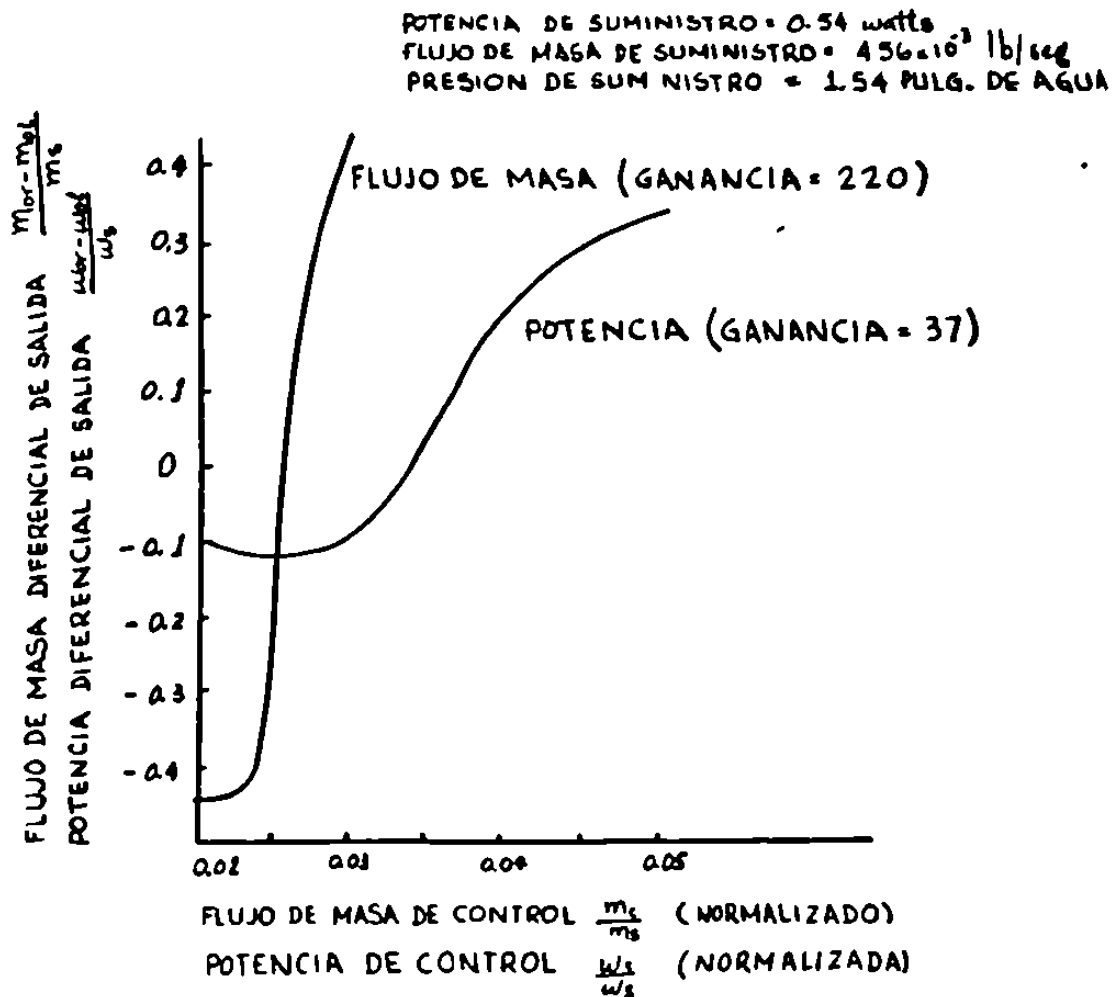


FIG. 5-29

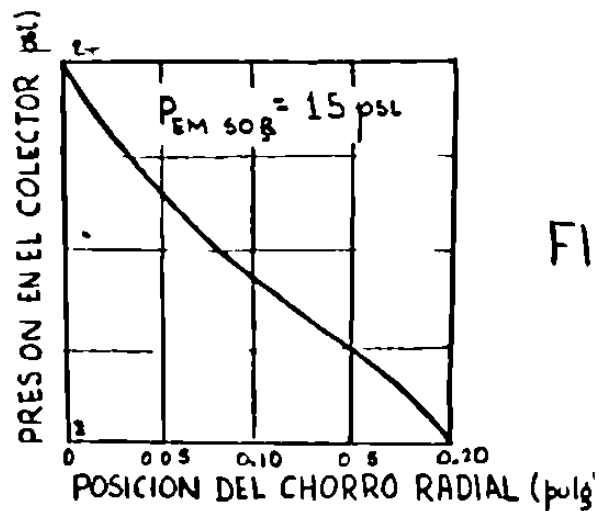


FIG. 5-31

Para presiones de suministro fijas, el perfil del chorro radial y la presión máxima en el plano de impacto dependen de la separación entre toberas como se muestra en la figura 5-32.

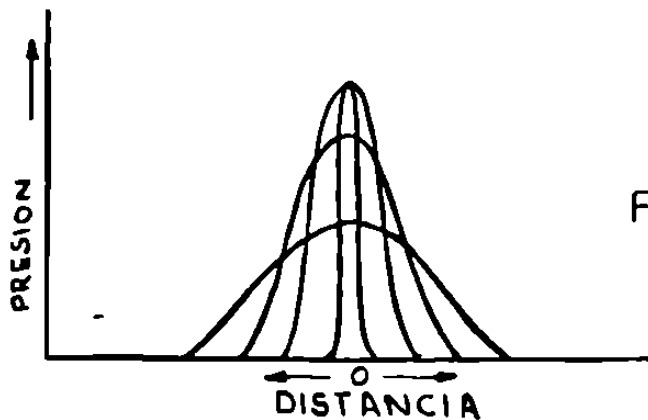


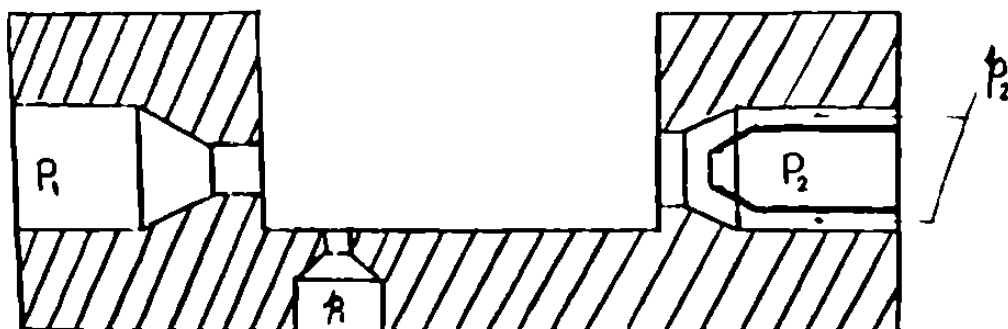
FIG. 5-32

En la que el perfil mas estrecho corresponde a la menor separación.

El control del plano de balance o impacto puede ser variado en 2 formas, que engendran los dos tipos de amplificadores, el de impacto transversal y el de impacto directo.

AMPLIFICADOR MODULADOR DE IMPACTO TRANSVERSAL (M.I.T.).- Este amplificador, figura 5-33, es esencialmente un amplifica

don de ganancia negativa.



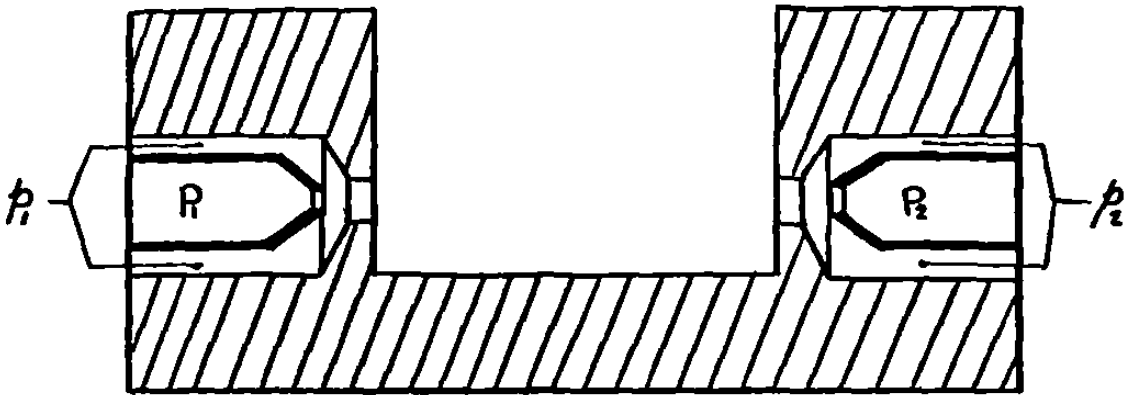
P_1 y P_2 son presiones de suministro
 p_1 es presión de control
 p_2 es presión de salida

FIG. 5-33

La señal de control cho a transversalmente con el chorro principal, causándole cierta deflexión, que a su vez se refleja, como una disminución de la fuerza del chorro de potencia - en el plano de impacto, causando que este se desplace y por lo tanto disminuya la señal de salida.

La ganancia de presión de estas dispositivos, sin carga, generalmente está entre 20 y -100, mientras la ganancia de flujo a plena carga esta entre 5 y 30. Las relaciones de impedancia de entrada a impedancia de salida, usualmente estan - las cercanías de 1:1 a 3:1.

AMPLIFICADOR MODULADOR DE IMPACTO DIRECTO.- (MID) Este es - un amplificador de ganancia ^a positiva, figura 5-34



P_1 y P_2 son presiones de suministro

p_1 es presión de control

p_2 es presión de salida

FIG. 5-34

En este dispositivo el plano de balance es movido por -- una señal de presión (p_1) aplicada alrededor de una de las señales de suministro, esta señal causa un cambio en la cantidad de movimiento, aguas abajo, del chorro de potencia, cambiando la posición del plano de balance, este método no causa deflexión en el chorro principal, ganancias de presión en este dispositivo se han obtenido en las cercanías de 200.

Debido a su configuración, y al hecho de tener dos fuentes de suministro, se presta a confusión, el distinguir entre la salida y la señal de control, llamaremos emisor y colector,

respectivamente a los ductos de suministro, el ducto de control será el más cercano al emisor y el ducto de salida el más cercano al colector.

Curvas características de presión de salida VS presión de suministro. figura 5-35.

En éstas curvas se ha graficado la presión de salida (p_2) - contra la presión de suministro P_1 , manteniendo la otra presión de suministro constante (P_2) y sin señal de control ($p_3=0$)

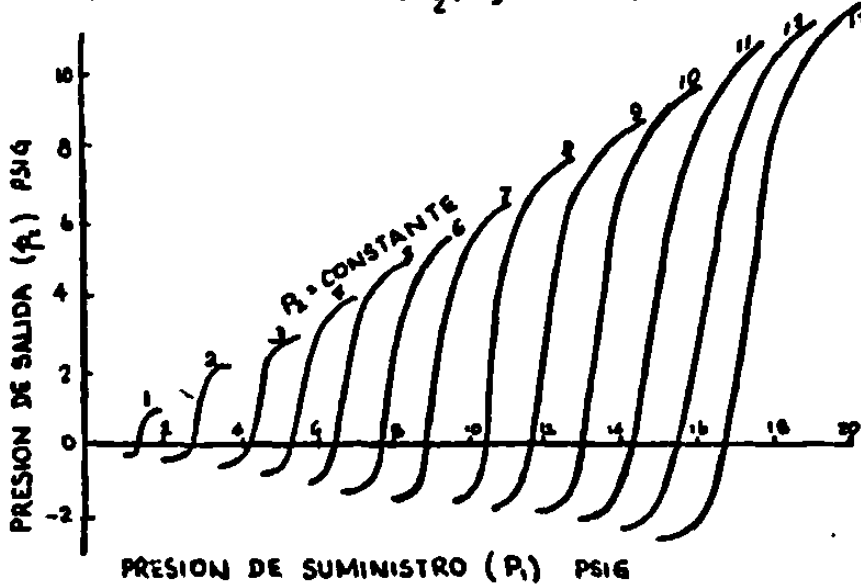


FIG. 5-35

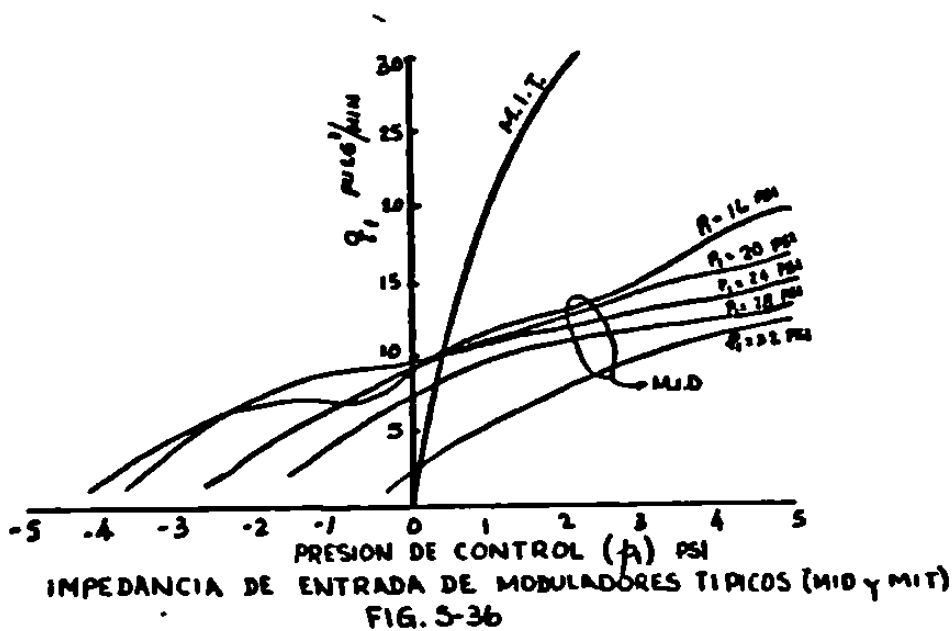
Estas curvas características son esencialmente las mismas para ambos moduladores de impacto, el transverso y el directo, con la diferencia que ellos tienen generalmente diferentes puntos de operación (M.I.D. tiene ganancia positiva mientras que el M.I.T. tiene ganancia negativa).

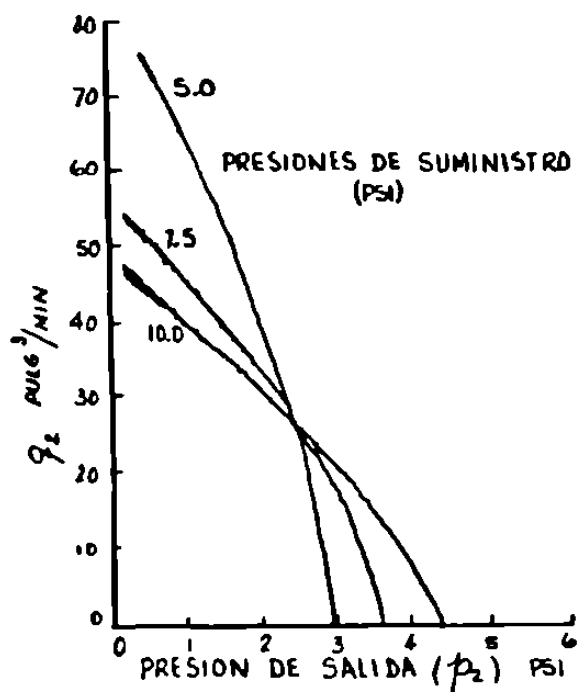
La diferencia que podría ser mencionada entre el modulador de impacto directo (MID) y el transverso (MIT) es que el orificio de control en el directo puede ser arreglado de tal forma que proporcione un espaciamiento no lineal en las curvas de presión de salida VS presión de suministro, de manera que en estas regiones de espaciamiento desigual, la ganancia puede ser mucho más alta que en las unidades simétricas. Podríamos también indicar que los moduladores de impacto directo pueden ser operados como elementos bistables, en este caso las curvas de presión de salida VS presión de suministro, son lazos de histéresis.

IMPEDANCIA DE ENTRADA.- La impedancia de entrada del modulador de impacto transverso es debido al orificio de salida de la señal de control, ya que el chorro principal o de potencia no le causa interferencia. La impedancia de entrada de modulador de impacto directo, es función de la presión de suministro (P_1) y es generalmente mucho mayor que la del modulador de impacto transverso. De hecho hay rangos de presión de entrada, para los que la impedancia de entrada puede ser infinita o negativa, esto dependerá de la configuración de la tobera de suministro y del orificio de control.

Las curvas típicas de impedancia de entrada aparecen en la figura 5-36.

IMPEDANCIA DE SALIDA.- Las curvas características que determinan la impedancia de salida, son gráficas de flujo de salida vs presión de salida, tomadas, haciendo varias la resistencia de carga desde cero a infinito. Esta gráfica se hace para diferentes valores constantes de las señales de control (P_1), obteniéndose un gran número de curvas, para cada presión de suministro (P_1). Sin embargo se tiene otra variable que es la otra presión de suministro (P_2), lo que hace bastante complejo al problema, sin embargo nos permite una selección de presiones de suministro que produzcan la misma salida lo que le da más versatilidad al dispositivo. Es decir, para un punto de operación su particular, habrá cierto número de valores de presiones de suministro que satisfacen los requerimientos de operación, esto se muestra en la figura 5-37.





CARACTERISTICAS DE SALIDA

FIG 5-37

GANANCIA DE PRESION.- El modulador de impacto directo es el amplificador que tiene mejor ganancia de presión, pudiéndose utilizarlo como amplificador operacional, conectándolo en cascada de cuatro etapas se han conseguido ganancias de presión de 12,00. Curvas típicas para un amplificador aparecen en la figura 5 38.

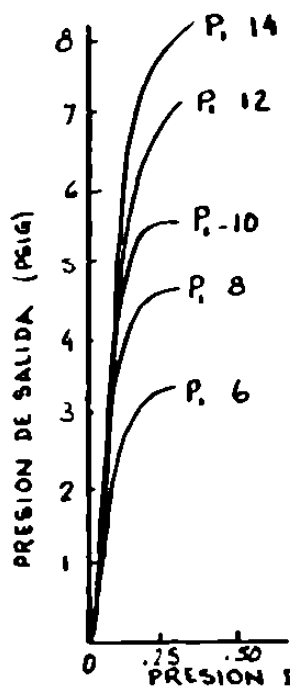
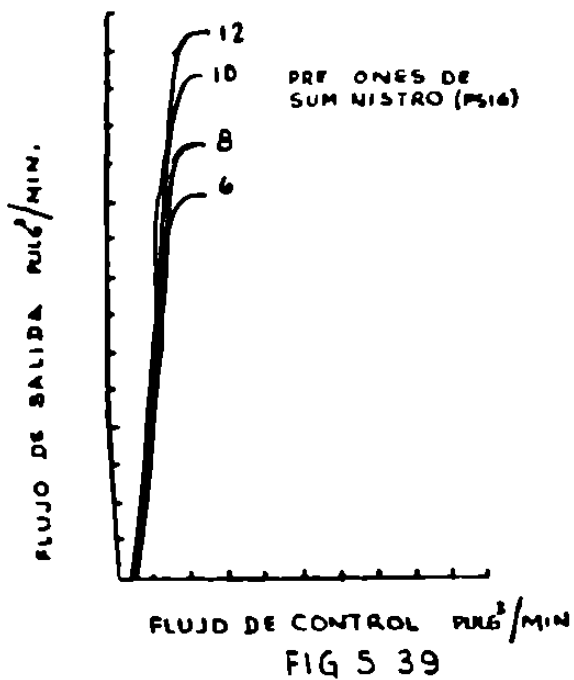


FIG. 5-38

Las gráficas de flujo correspondiente a la figura 5-38, se muestran en la 5 39



AMPLIFICADOR OPERACIONAL.- Los amplificadores moduladores pueden ser utilizados como amplificadores operacionales, en la figura 5 40 se muestra un esquema generalizado del circuito de control de un amplificador operacional.

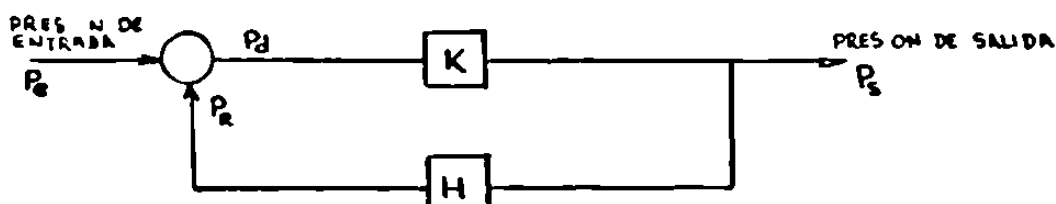


FIG. 5 40

El elemento amplificador activo, "K", en este caso es una serie de moduladores de impacto conectados en cascada.

La presión de salida Ps es retroalimentada, a través del elemento pasivo "H", para ser comparada con la señal de entrada Pe. en el elemento de suma. La salida es entonces corregida, de acuerdo a la señal de error Pd. La función de transferencia o ganancia del amplificador, puede ser escrita como:

$$\frac{P_s}{P_e} = \frac{K}{T + KH}$$

donde K y H son las ganancias de, lazo delantero y de retroalimentación respectivamente. Ya que la ganancia del lazo KH es mucho mayor que uno, la ganancia del circuito puede ser determinada por el valor de la ganancia de retroalimentación.

EL ELEMENTO AMPLIFICADOR ACTIVO.- De la función de transferencia antes mencionada es evidente que si se utiliza un elemento pasivo en la retroalimentación, es decir $0 \leq H \leq 1$, - la ganancia puede ser variada de K a $\frac{K}{1+K}$, si se utilizan - como antes se dijo moduladores de impacto en cascada, que -- proporcionan altas ganancias, por ejemplo, ganancias mayores de 10,000, entonces la ganancia del circuito podrá variar de K a 1. Entonces como mencionamos antes, como elemento amplificador activo, podríamos utilizar modulador de impacto conectados en cascada de cuatro etapas, cuya características a parece en la figura 5-41.

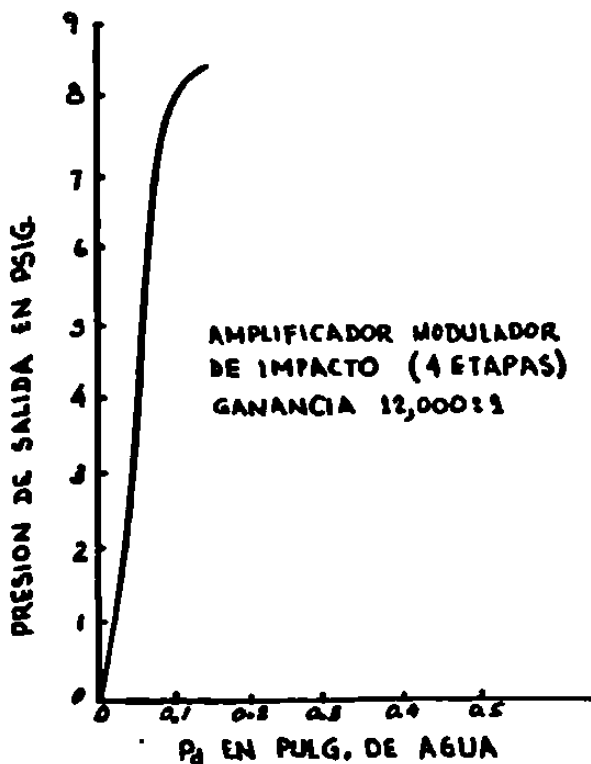
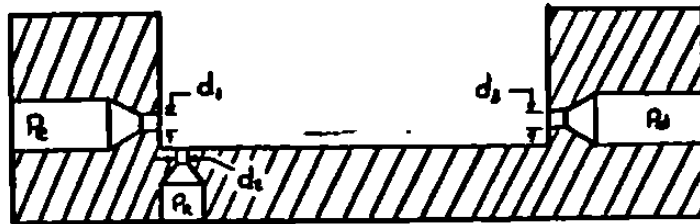


FIG. 5-41

EL PUNTO DE SUMA: (COMPARADOR) Las condiciones usuales de operación de un comparador o punto se suma, queda establecida por la ecuación $P_d = a P_e - b P_R$, en la que a y b son constantes de proporcionalidad, entonces como punto de suma podremos utilizar, el modulador de impacto de tres terminales -- que aparece en la figura 5-42.



M.I. 3T
FIG. 5-42

La señal de entrada P_e , es aplicada al orificio d_1 , y recogida en el orificio opuesto d_3 . Si, entonces, se aplica la señal de retroalimentación P_R al orificio d_2 , el chorro de entrada será deflexionado, reduciéndose la presión en el colector, P_d , de una forma proporcional a la magnitud de la señal retroalimentada. Este dispositivo opera de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$P_d = \alpha P_e - \frac{m}{1-b} P_R$$

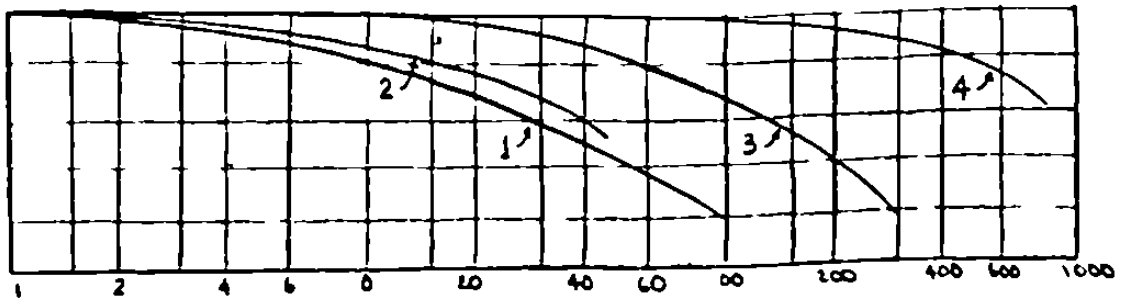
en la que las constantes α , m y b dependen de la geometría del dispositivo, y las relaciones en el circuito.

RETROALIMENTACION.- El elemento de retroalimentación debe llenar especificaciones rígidas. La ganancia de retroalimentación debe ser variable de cero a uno, y lineal sobre el -- rango de presión de salida. Aunque casi cualquier elemento pasivo resistivo puede llenar el rango de ganancia requerida, ninguno es suficientemente lineal para ser elemento de retroalimentación. Los materiales porosos, en algunos casos presentan características de resistencia altamente lineal, pero son muy sensitivos a las técnicas de fabricación y tienden a obstruirse fácilmente. Los tubos capilares, cuando -- son suficientemente largos, presentan características bastante lineales, sin embargo deben usarse varios de ellos en -- paralelo para que permitan pasar suficiente flujo. Un método de obtener una resistencia bastante lineal, es con un par de orificios axialmente opuestos con un espacio variable en -- tre ellos, la ganancia es determinada por el volumen entre -- los orificios, y la salida del amplificador ve la misma impe -- dancia, aun cuando la ganancia de la retroalimentación sea -- variada.

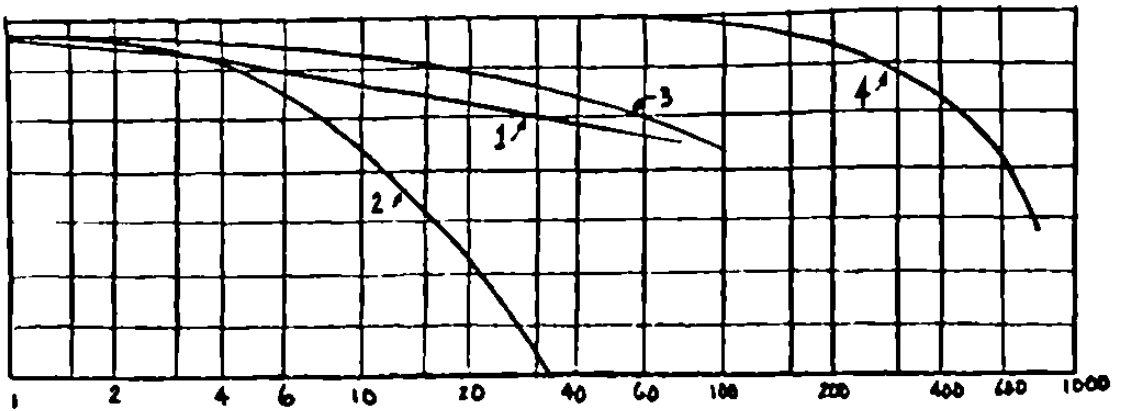
De lo anterior obtenemos las siguientes conclusiones; -- cada elemento es adecuado para determinadas operaciones, de los digitales podríamos decir, que pueden ser monoestables o biestables, se utilizan para formar funciones lógicas, el am -- plificador de turbulencia es el de más fácil conexión, alto fan-in y fan-out, el amplificador de chorro dirigido es el --

de más rápida e intensidad de switcheo.

De los nólogos diremos, que el de vórtice es el mejor para modulación de potencia, es un restriktor variable, el mejor amplificador de flujo es de do de doble pierna, - el modulador de impacto es el mejor amplificador de presión, el proporcional, de interacción de chorro, es el mejor amplificador de potencia, se le puede utilizar como amplificador de flujo o de presión.



FRECUENCIA (c.p.s)

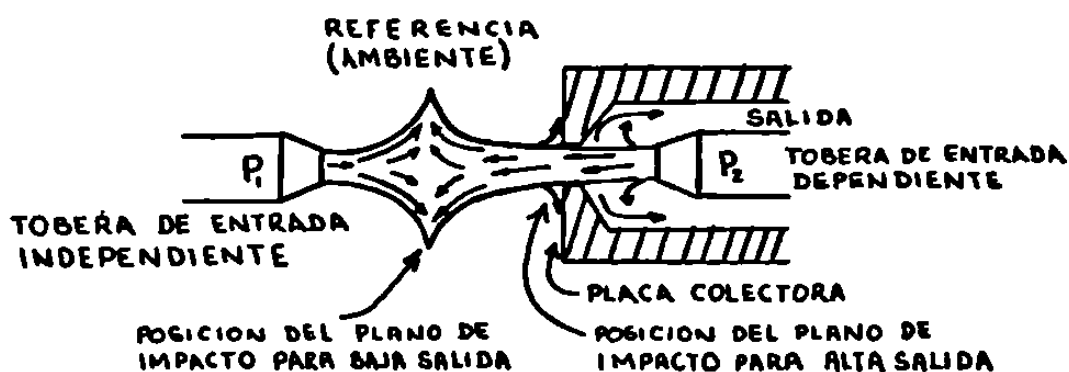


FRECUENCIA (c.p.s)

- DIAGRAMA DE BODE PARA ALGUNOS AMPLIFICADORES FLUIDICOS ANALOGICOS
- ① INTERACCION DE CHORRO (CON CARGA)
 - ② CODO DE DOBLE PIERNA (SIN CARGA)
 - ③ VORTICE
 - ④ IMPACTO TRANSVERSO (CARGA MUERTA)

FIG. 5-43

MODULADOR DE IMPACTO DE SUMA.- (SUMMING IMPACT MODULATOR)
(S.I.M.) Este es un elemento que utilizaremos posteriormente en el diseño de ciertos circuitos, es en sí una modificación a los moduladores de impacto antes mencionados, esquemáticamente se presenta en la figura 5-44.



MODULADOR DE IMPACTO DE SUMA (M.I.S.)

FIG. 5-44

Este dispositivo es un comparador flúidico analógico de presiones, su función es amplificar la diferencia entre dos señales. Su función es la siguiente, compara los dos niveles

de presión transmitidos a sus toberas de entrada, la dependiente y la independiente, produciendo una presión de salida proporcionalmente lineal a su diferencia.

Para proporcionar ganancia positiva, la presión de entrada a la tobera dependiente, se ajusta a un nivel de control determinado y se varía la presión de entrada a la tobera independiente, con respecto a este nivel de control. - - Cuando la magnitud de la presión en la entrada independiente es mayor que la presión en la entrada dependiente, se obtiene señal de salida, incrementando la presión independiente, se incrementará la presión de salida, en una forma que es linealmente proporcional, como antes se dijo a la diferencia de presiones de entrada, este elemento puede utilizarse como punto de suma (SUMMING JUNCTION).

Una de la toberas la hemos llamado independiente debido a que su flujo no es afectado por las condiciones de salida, sino únicamente por las condiciones ambiente, la presión de suministro y el área transversal de salida, en cambio en la tobera que hemos llamado dependiente, el flujo de la misma sí es afectado por las condiciones de salida.

Cuando ambas toberas son activadas se forma el plano de impacto cuya posición dependerá de la fuerza relativa de ambos chorros o sea de la diferencia en los niveles de las presiones de entrada. Cuando es mayor la presión de la tobera

dependiente que la presión de la tobera independiente, la posición del plano de impacto⁴ se acerca hacia la tobera independiente, esto corresponde a la posición de baja salida, -- cuando la presión de la tobera independiente excede a la presión de la tobera dependiente, el plano de impacto se aproxima a la placa colectora, correspondiendo esto a la posición de alta salida. Esto se puede observar mejor en la curva -- tlpica de ganancia de presión que se muestra en la figura -- 5-45.

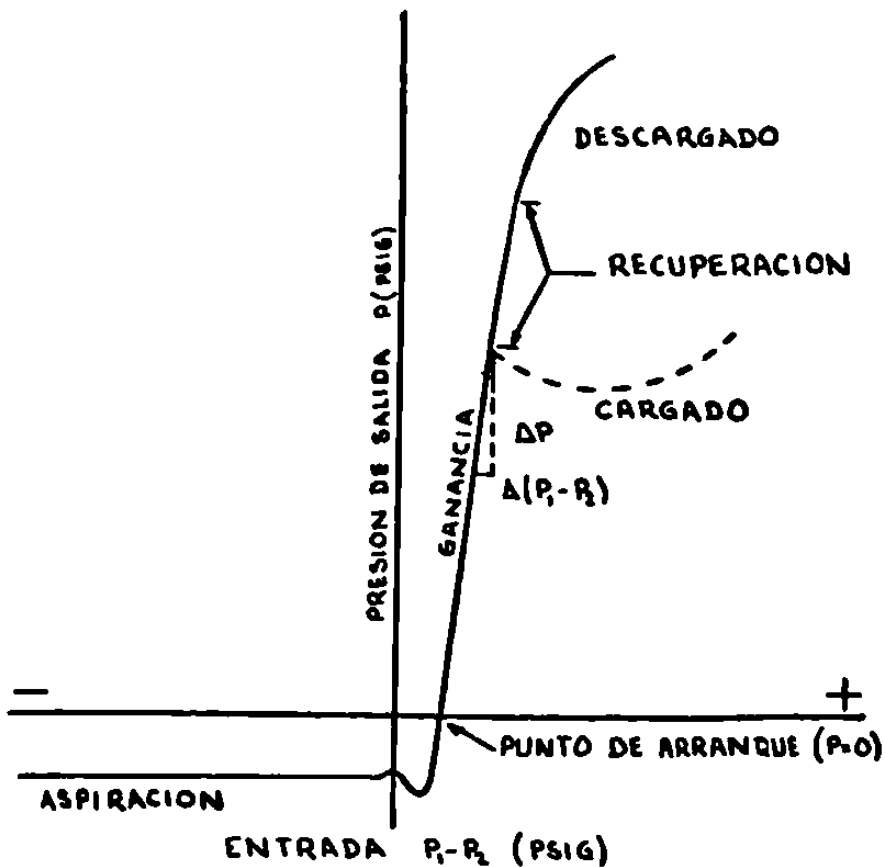


FIG 5-45

La variable de entrada es la diferencia entre las presiones de entrada $P_1 - P_2$, la variable de salida es la presión en la cámara del colector, P . Empezando por la parte inferior izquierda de la curva, donde la presión independiente P_1 es menor que P_2 , el plano de impacto estará cerca de la tobera independiente, de forma que el flujo de la tobera dependiente - fluye libremente a través del orificio del colector, causando un vaclo en la cámara de salida. Cuando las dos presiones -- son cercanamente iguales, ocurre la condición de salida a presión ambiente, en este punto el plano de impacto esta en contacto con la placa colectora, el flujo en la tobera dependiente es el mismo que si estuviera saliendo libremente a la atmósfera. Esta condición nos define el punto de arranque.

A medida que se aumenta la presión de la tobera independiente P_1 , el plano de impacto se mueve dentro de la cámara de salida, causando que la tobera dependiente ceda parte de su presión total, a la cámara de salida, en esta región de la curva se desarrolla la característica más importante del amplificador, que es su ganancia de presión. La presión de salida es, sobre el rango de operación útil, linealmente proporcional, a la diferencia de presiones de entrada, la ganancia de presión es entonces, la pendiente de la parte recta de la gráfica.

El punto final del rango útil de ganancia de este amplificador es, la recuperación, o sea la máxima presión de salida derivada del dispositivo como una función de los niveles -

de presión de entrada. En este punto el plano de impacto - esta existente en el letrero, deteniendo el flujo de la tubería existente, causando que ésta proporcione la máxima presión a la cámara de salida.

Aquí se pueden explicar dos casos, que el amplificador esté desarmado o que esté cargado, las curvas para estos casos aparecen punteadas como extensiones del rango de operación. Lo que sucede en el caso de que se tenga carga es que el plano de impacto, pueda crear solamente una cierta presión de salida, antes de deslizarse dentro de la cámara del oleón permitiendo que escape presión de la cámara de salida, mostrándose en la gráfica un pico perfectamente definido.

En la figura 5-46 se muestran las curvas características de operación para diferentes presiones de la tobera dependientes.

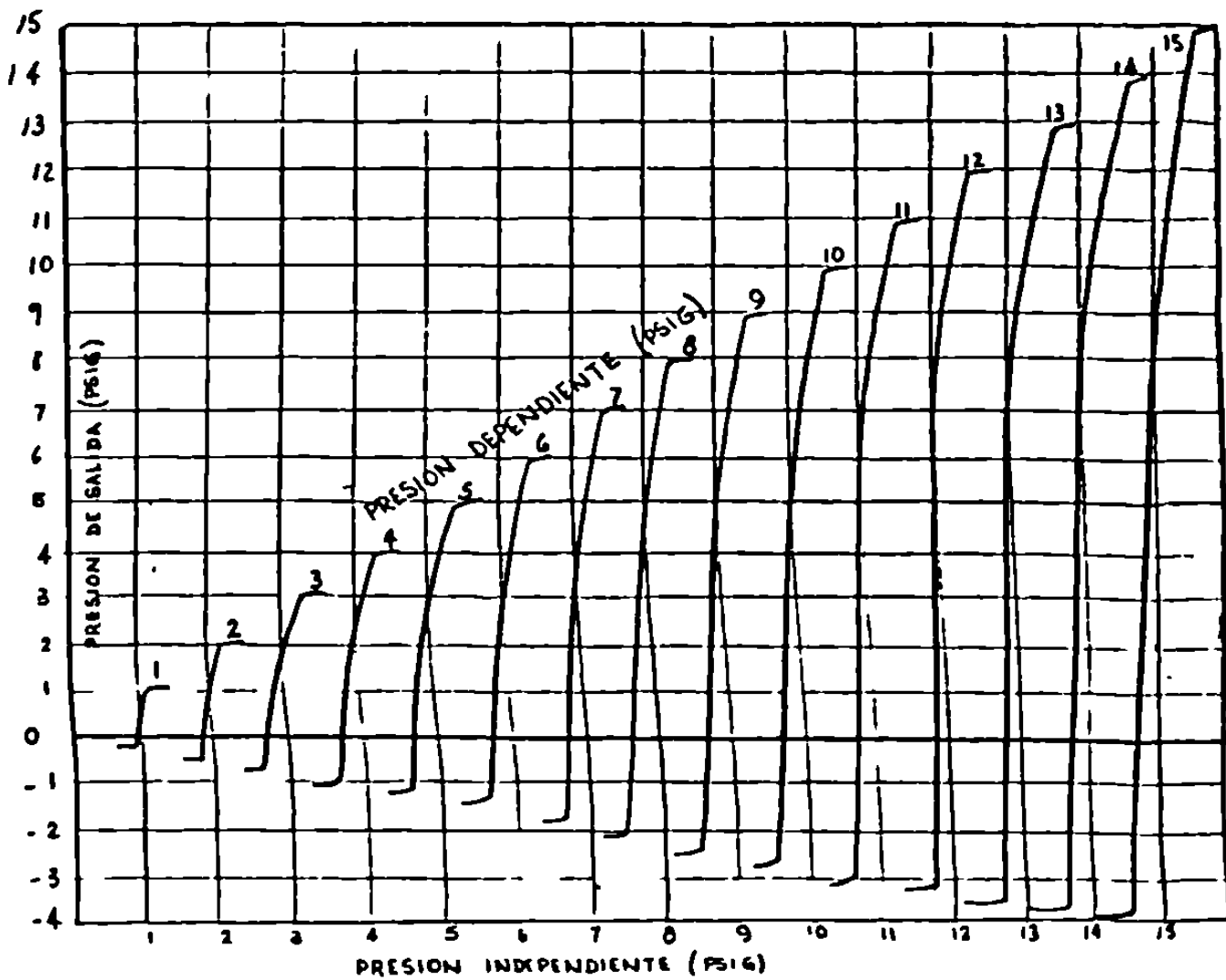


FIG. 5-46

EN ORES E IN ERFA ES O TRAN D T RES.

Los sensores son dispositivos utilizados para detectar un determinado parámetro en un circuito, que puede ser, posición, temperatura, desplazamiento angular, aceleración -- etc, aquí hablaremos de algunos de los sensores más importantes desde el punto de vista de los circuitos fluidicos.

Sensor de contrapresión.- Este dispositivo que aparece en la figura 5 47, opera de la siguiente forma.

El flujo del suministro que es constante, escapa libremente por el lado de descarga, cuando no existe ninguna interferencia para el flujo en dicha descarga, en estas condi-

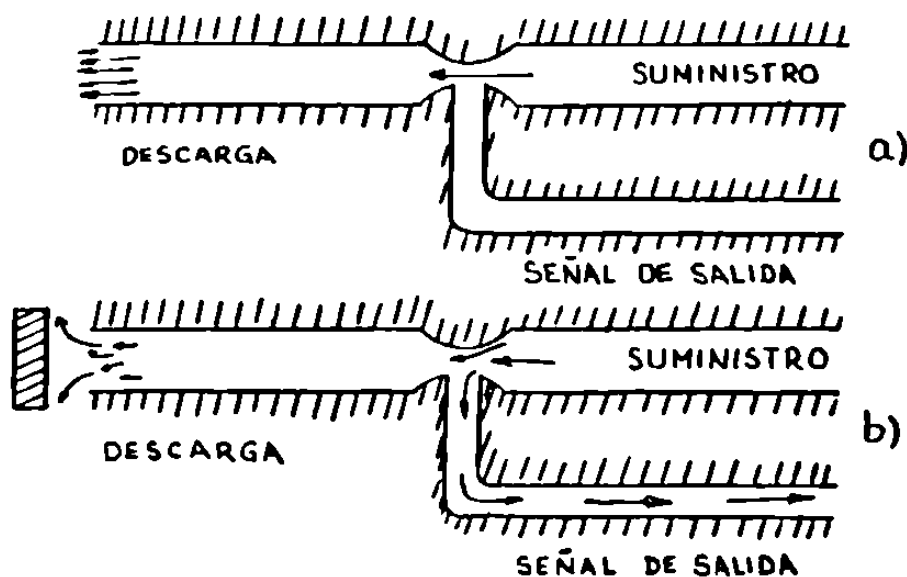


FIG. 5 47

ciones la señal de salida es cero, fig. 5 47 a).

Cuando un objeto se aproxima por el lado de descarga, provoca una onda de contrapresión, que hace aparecer la señal de salida del dispositivo, (fig. 5 47 b).

Basado en lo anterior se pueden hacer botones para arranque o paro, interruptores y transductores de posición.

Sensor de chorro interrumpible.- Este dispositivo similar al anterior se muestra en la figura 5-48.

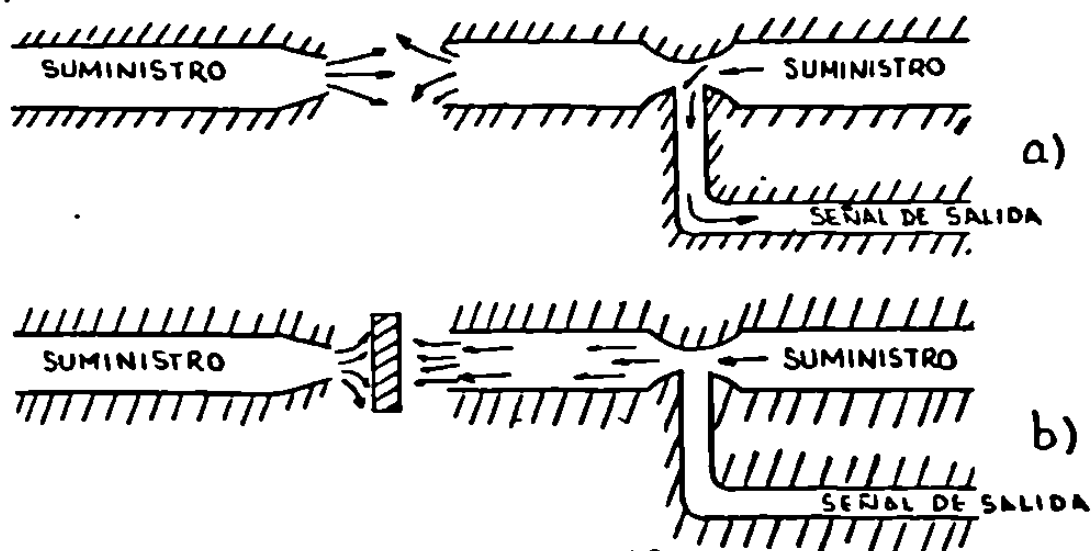


FIG 5-48

Se tienen dos chorros opuesto que al ser interrumpidos por el elemento que se quiere detectar, hacen desaparecer la señal de salida.

SENSOR SONICO. - Este dispositivo emplea el principio del amplificador de turbulencia, figura 5 49.



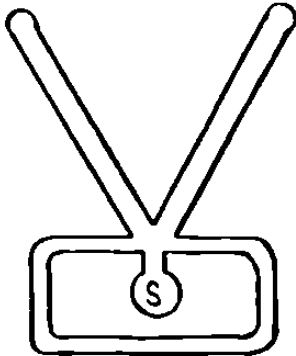
FIG. 5-49

Se tiene un emisor de sonido de muy alta frecuencia, - inaudible, que provoca perturbación en el chorro de suministro, haciendo que la señal de salida sea cero, al pasar un objeto entre el amplificador y el emisor, este aísla la --- fuente de sonido, por lo que el fluido de suministro alcanzará el tubo receptor, produciendo salida en el sensor, este sensor puede trabajar con separaciones hasta de 5 pies. Puede utilizarse como contador, pudiendo contar objetos, de 2 pulgadas de ancho, a razón de 10 por segundo.

SENSOR DE TEMPERATURA. - Un oscilador fluidica fig. 5-50 puede ser usado como sensor de temperatura, ya que la frecuencia del - oscilador es función de la longitud de la trayectoria de re- troalimentación externa del oscilador o sea del tiempo que requiere la señal para viajar esta longitud, y este tiempo dependerá también de la velocidad del Sonido en el fluido, -

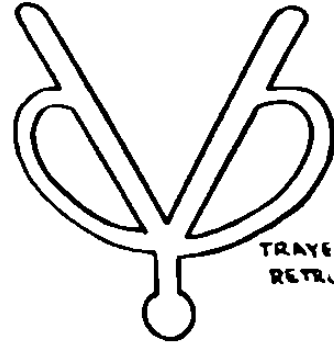
la que a su vez depende de la temperatura.

SA DA ZQ ERDA SALIDA DERECHA



OSCILADOR SONICO

DUCTOS DE SALIDA



DUCTO DE SUMINISTRO

FIG 5-50

El oscilador sónico ha sido ampliamente investigado por C.E. Spyr pulos de los laboratorios Harry Diamond quien encontró que la frecuencia de oscilación está dada por la ecuación.

$$F = \frac{A_0}{2L} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{2L}} \quad A_0 = 49.0 \sqrt{T}$$

en la que A_0 es la velocidad libre del sonido que depende de T que la temperatura absoluta ($^{\circ}R$) en el canal de retroalimentación.

En la figura 5 51 se muestran valores medidos de frecuencia de oscilación en funciones de la temperatura para un rango limitado, también se muestra que la frecuencia depende de la presión aplicada, lo que indica que el sensor deberá --

ser operado por una fuente de presión perfectamente regulada.

Los sensores fluidicos de temperatura tienen un tiempo de respuesta mucho mas corto que el de los termopares.

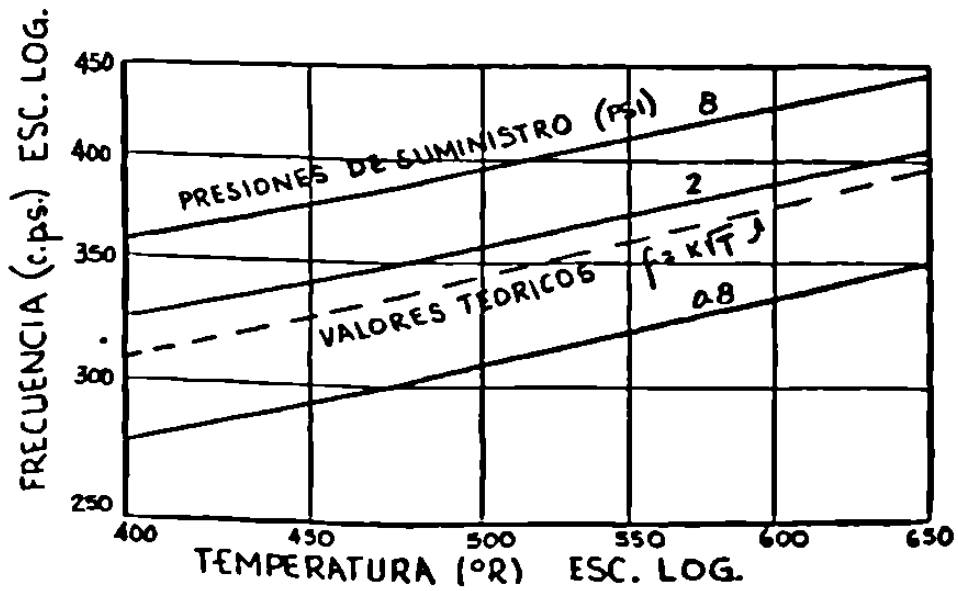


FIG. 5-51

TRANSDUCTORES E INTERFASES.- En algunos casos, un circuito de control, puede ser puramente fluidoico, sin embargo muchas veces se necesita que las entradas o salidas del sistema de control sean señales mecánicas o eléctricas, esto hace necesario el uso de transductores de entrada, cuyo objeto es convertir señales mecánicas o eléctricas a fluidicas al nivel de operación del circuito de control, quién se encarga de -- procesar estas señales y enviar la señal de salida adecuada, esta señal de salida en general, no posee la potencia suficiente para operar un determinado actuador, por lo que necesitamos amplificarla, esto lo hacemos a través de elementos de interfaces, el diagrama de flujo de lo anterior quedaría de la siguiente forma:



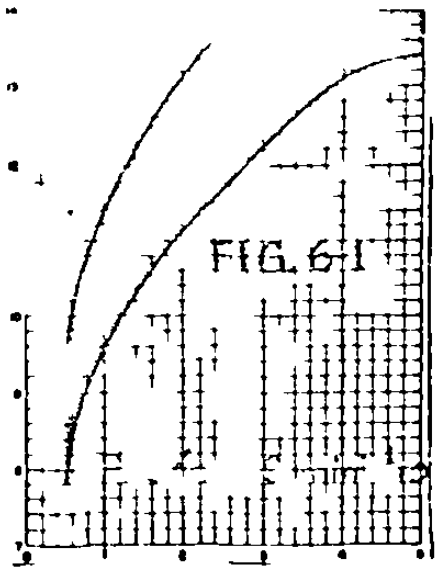
C A P I T U L O VI

DISEÑO DE CIRCUITOS FLUIDICOS.-

Los circuitos que a continuación se presentan serán implementados básicamente con elementos NOR, por lo que antes de pasar a los circuitos expondremos las características del elemento NOR, que posteriormente utilizaremos.

ELEMENTO NOR.- Este elemento lógico catalogado por sus fabricantes (JOHNSON SERVICE CO.) como FLB-251 está basado en el principio patentado, de los moduladores de impacto. Es un elemento lógico de ganancia negativa, con cuatro entradas completamente aisladas entre sí, teniendo asimismo un gran FAN-OUT, puede manejar hasta 10 unidades de iguales características, aunque el FAN-OUT, dependerá como se mostrará en gráficas posteriores, de la presión de suministro, otra de sus características es que la salida es completamente aislada de la presión de entrada, es decir, cambios en salida no afectan ni el flujo ni la presión de entrada, tiene muy buen tiempo de respuesta, 300 microsegundos a 1 psig., y un bajo consumo de aire, la potencia requerida es menor de 0.2 watts a 1 psig. Todo lo anterior se aprecia mejor en las gráficas 6-1 a 6-6 que se muestran a continuación:

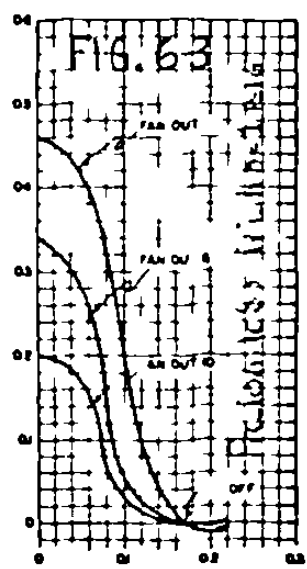
CAJALIDAD DE FAN OUT



(PSIG)

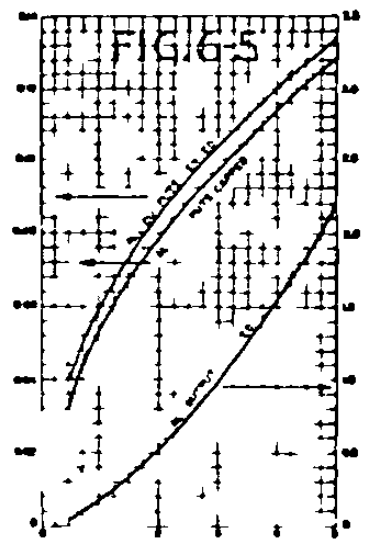
CARACTERISTICAS DE FAN OUT

PRESSION DE SALIDA (PSIG)



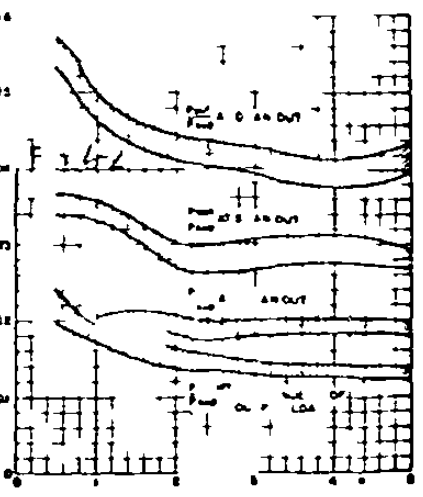
PRESSION DE ENJACA (CARACTERISTICA ENTRADA SALIDA)

FLUJO DE UMIN TRO (S.F.M.)



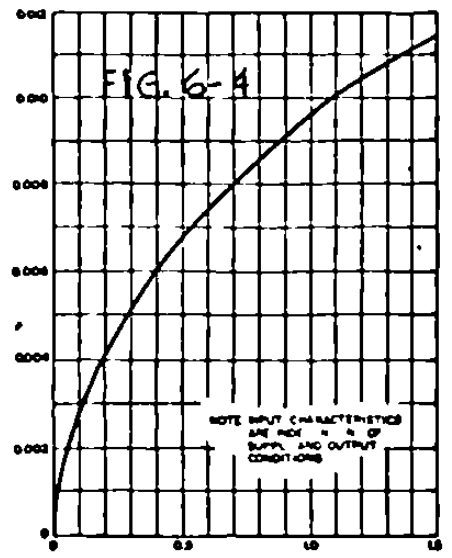
CARACTERSTAS DE S.M.N.S RO

RELACION DE PRESSION (PRESSIONES INMEDIAS)



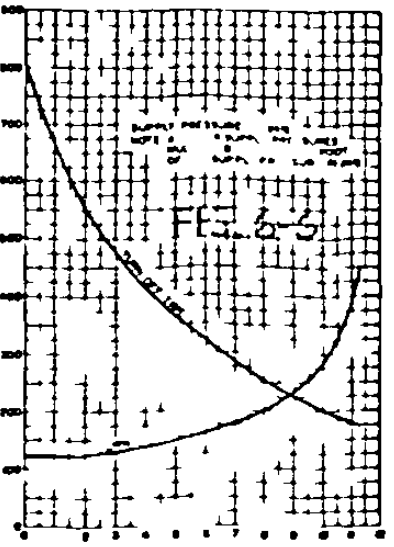
PRESSION DE SUJIN TRO (PSIG) RECUPERACION DE PRESSION Y CORTE

FLUJO DE ENTRADA (SCFM)



CARACTERISTICAS DE ENTRADA

TIEMPO DE SWITCHEO (MICROSEGUNDOS)



FAN OUT EXISTENTE TIEMPO DE SWITCHEO

Para empezar nuestra implementación de circuitos podríamos hacerlo con las funciones lógicas básicas que se mostraron en el capítulo III, continuando con los elementos FLIP-FLOP - cuya característica principal es que almacenan el estado previo en que se encontraban, aun en ausencia de la señal de control que provocó dicho estado, a esto es lo que llamamos memoria.

Expondremos a continuación sólo 2 tipos de ellos el FLIP FLOP R S y el R S-T.

FLIP FLOP R S. Este elemento es utilizado donde se requiere capacidad de memoria o almacenamiento de información, se construye con dos elementos NOR conectados en la siguiente forma:

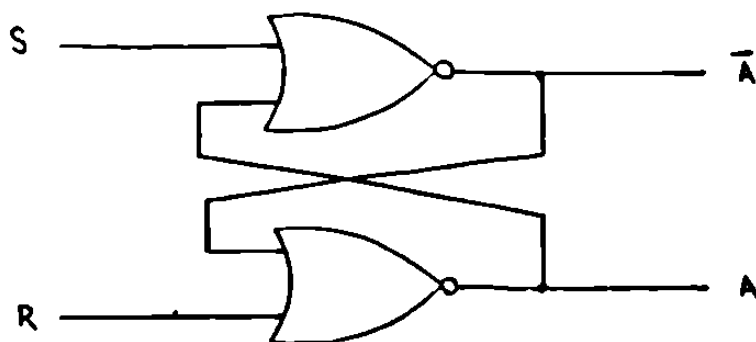


FIG 6-1

Este dispositivo es de naturaleza biestable, la compuerta 1 (salida \bar{A}) será uno cuando exista señal "R" y no exista "S", la salida A será en éste caso igual a cero, al estar presente la señal "S" y no la señal "R" la salida A será uno y cero la salida \bar{A} . Al desaparecer las señales de entrada "S" o "R" el

FLIP FLOP tendrá el estado en que se encontraba antes - de desear en las señales, a continuación se presenta la tabla de la verdad y la ecuación de dicho FLIP-FLOP.

R	S	A	A(T)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	N.D.
1	1	1	N.D.

RS 0

$A(T) = \bar{R}A + S$. Ecuación -
del FLIP-FLOP RS

FLIP FLOP R S-T. Este dispositivo es muy utilizado en - contadores binarios, consiste en un arreglo de 6 compuertas NOR como sigue:

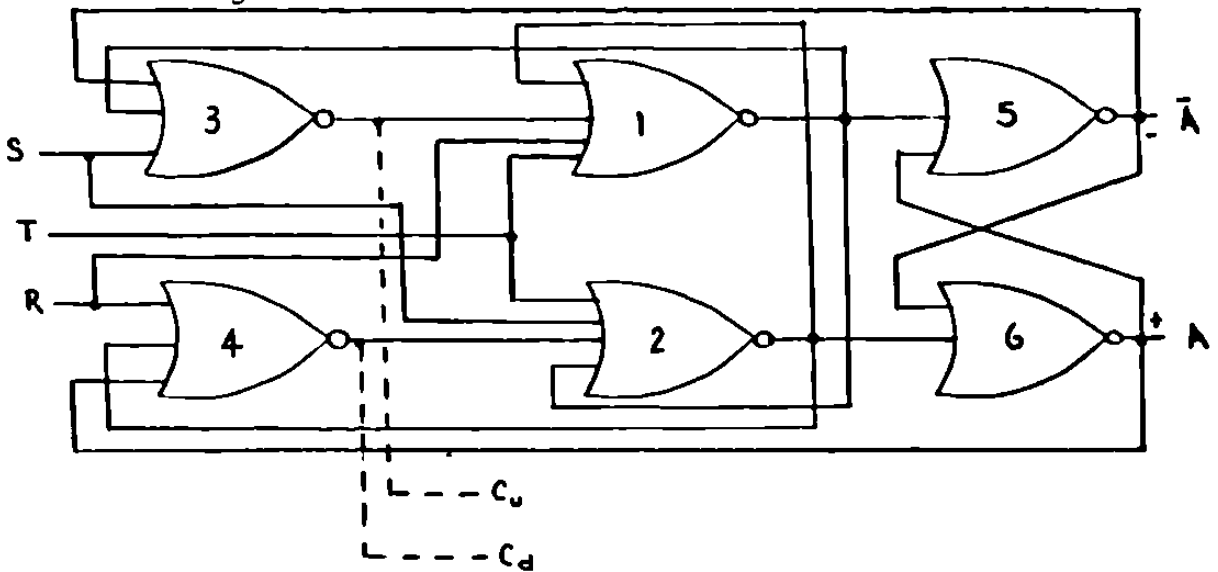


FIG 6-2

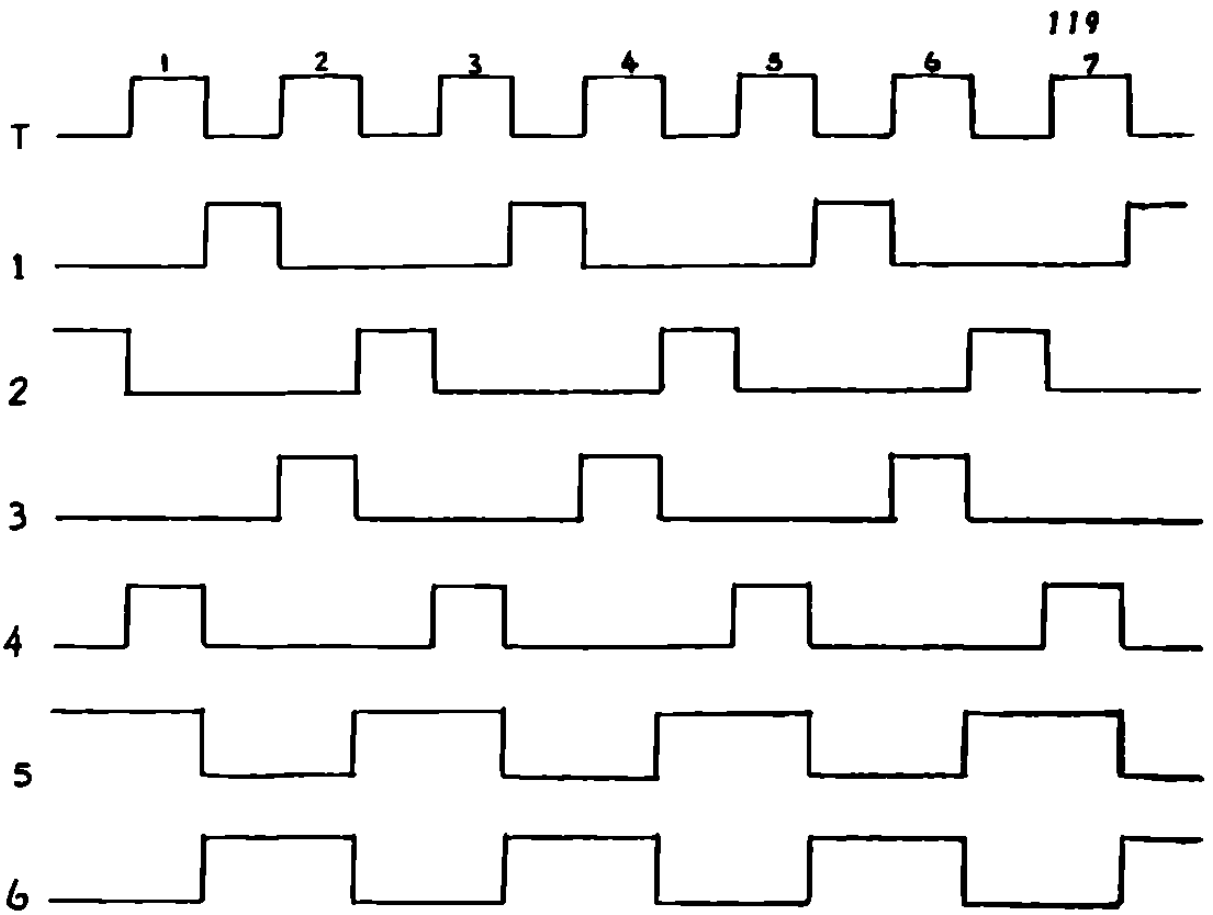


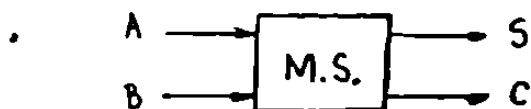
FIG. 6-3

FUNIONAMIENTO. - En la figura 6-3 se muestra, la respuesta de cada uno de los seis elementos NOR que integran el FLIP-FLOP, a un tren de pulsos de entrada "T". Cada pulso de entrada cambia el estado de los NOR de salida 5 y 6, en la parte negativa del pulso de entrada, es decir cuando este cambia de 1 a 0. Se puede apreciar que se necesitan 2 pulsos de entrada para formar un ciclo completo a la salida, (NOR 5 o NOR 6) por lo que este circuito hace las veces de divisor de frecuencia, es decir si se aplica el tren de pulsos de entrada a una determinada frecuencia, la frecuencia a la salida del circuito es la mitad de la frecuencia de entrada, las salidas de los NOR 5 y 6 son complementarios, como se puede ver en la fig. 6-3, en la cual aparecen las salidas de los NOR 5 y 6 desplazadas 180° , una con respecto a la otra.

Como se dijo al principio este circuito puede ser utilizado en contadores binarios de varias etapas, conectándose en cascada, en tal caso las salidas de los elementos NOR 3 y 4 que aparecen punteados pueden utilizarse como señales de disparo en las etapas subsecuentes.

DISEÑO DEL MEDIO SUMADOR. - Este circuito sirve para sumar dos dígitos binarios, se usa también como comparador digital, ya que tiene salida cuando son diferentes las entradas, según se puede apreciar en su tabla de la verdad.

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

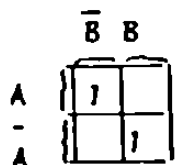


Las ecuaciones Booleanas de las salidas son:

$$S = \bar{A}B + A\bar{B}$$

$$C = AB$$

Trataremos ahora de minimizar dichas expresiones:



$$S = \bar{A}B + A\bar{B}$$

$$C = AB$$

Estas ecuaciones ya son mínimas, por lo que a continuación implementaremos el circuito con elementos NOR.

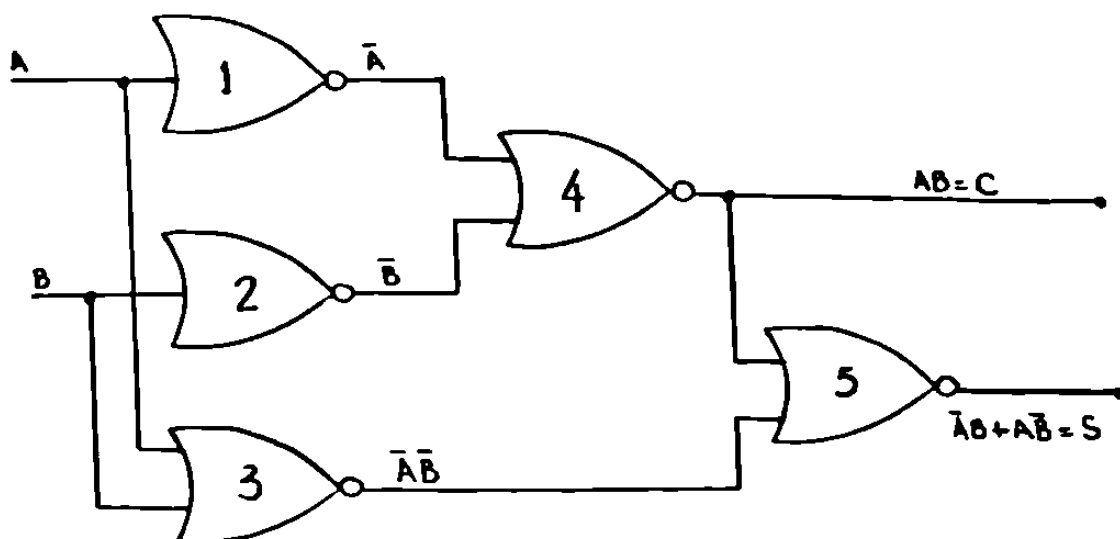


FIG. 6-4

DISEÑO DEL SUMADOR COMPLETO.- El medio sumador visto antes sirve para hacer la suma de dos señales de entrada únicamente, cuando es necesario sumar dos números binarios, conteniendo cada uno de ellos varios dígitos binarios, se hace necesario un circuito más completo que tome en cuenta, el "llevamos" que se genera al sumar dos unos, y que afecta a la columna siguiente, como se muestra en la siguiente operación.

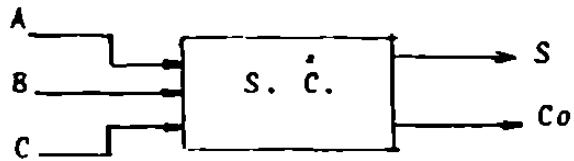
Modo normal de efectuar una suma binaria

$$\begin{array}{r} 11010 \\ 11101 \\ \hline 110111 \end{array} \begin{array}{l} \text{Sumandos} \\ \\ \text{Suma total} \end{array}$$

Otra forma de efectuar dicha suma.

$$\begin{array}{r} 11010 \\ 11101 \\ \hline 00111 \\ 11 \\ \hline 110111 \end{array} \begin{array}{l} \text{Sumandos} \\ \\ \text{suma parcial} \\ \text{"llevamos"} \\ \text{Suma total} \end{array}$$

De tal manera que el circuito de un sumador completo - debe tener 3 entradas, 2 corresponderán a los dígitos que se están sumando y la tercera que designaremos por C_i corresponderá al "llevamos" generado en la etapa del anterior conteo, asimismo tendrá dos salidas, una que será el resultado de los dos dígitos que se están sumando S , y la otra salida C_o , será el "llevamos" que se puede haber generado y que será una de las entradas de la siguiente etapa.



Por lo que la tabla de la verdad del sumador completo será la siguiente:

A	B	C_i	S	Co
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

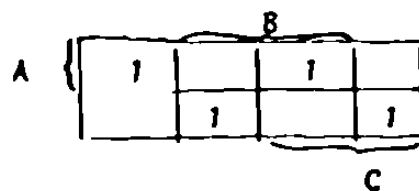
Las ecuaciones Booleanas de las salidas del circuito - S y Co tomadas de la tabla de la verdad son:

$$S = \bar{A}\bar{B}C_i + \bar{A}B\bar{C}_i + A\bar{B}\bar{C}_i + ABC_i$$

$$Co = ABC_i + \bar{A}BC_i + A\bar{B}C_i + ABC_i$$

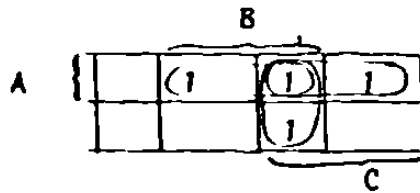
Trataremos a continuación de minimizar dichas ecuaciones:

Para S:



$$S = \bar{A}\bar{B}C_i + \bar{A}B\bar{C}_i + A\bar{B}\bar{C}_i + ABC_i$$

Para C_0 :



$$C_0 = AB + AC_i + BC_i$$

Va habiendo obtenido las ecuaciones finales deseadas implementaremos el circuito correspondiente:

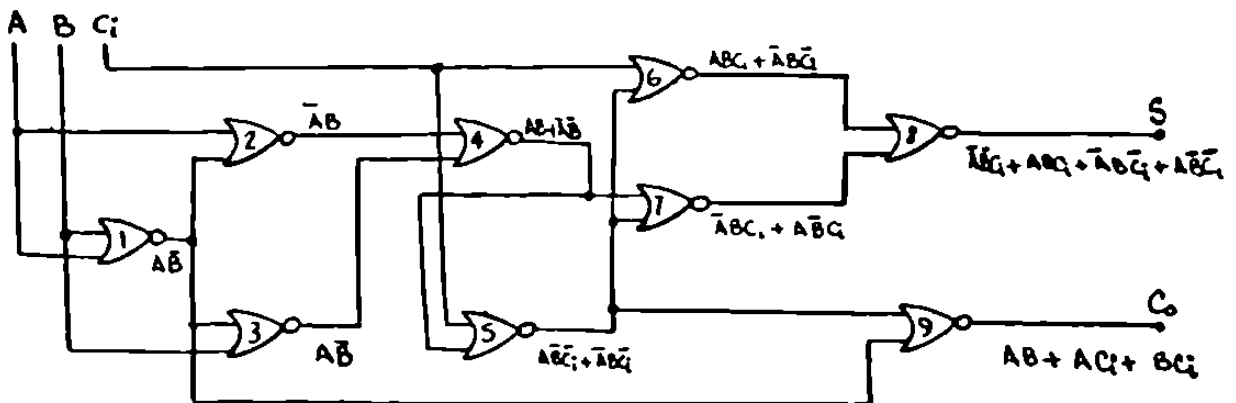


FIG 6-5

El circuito sumador completo puede también construirse a partir de medios sumadores, utilizando dos de estos medios sumadores interconectados entre sí y sus salidas a través de un elemento OR, como se muestra en el esquema a continuación.

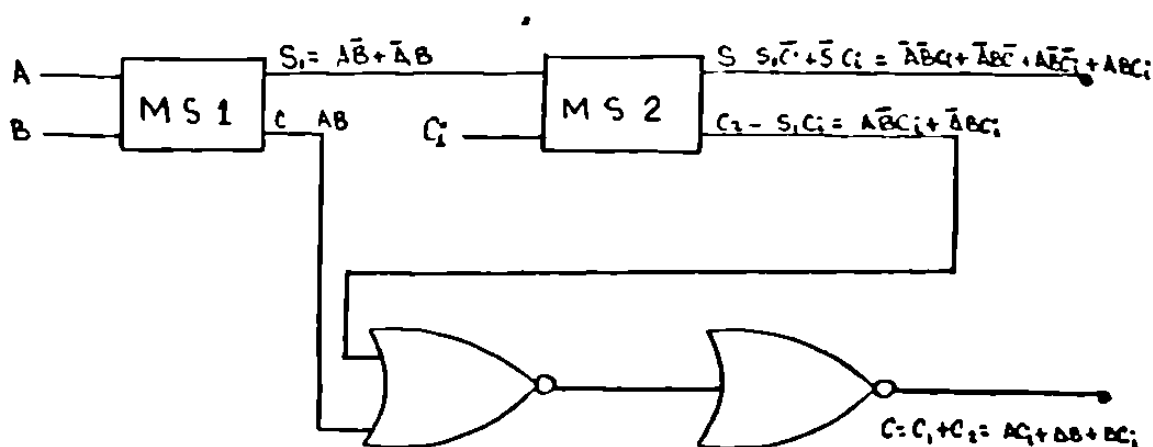


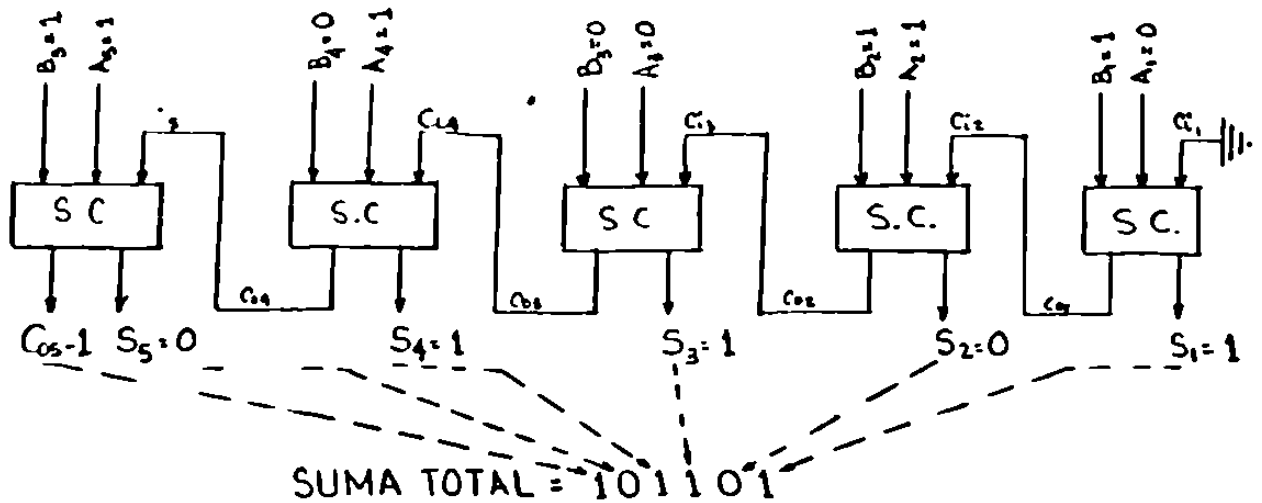
FIG. 6-6

De esta manera no logramos ninguna economía por lo que ha elementos se refiere, ya que para implementar el circuito de este modo, son necesarios 12 elementos NOR.

Cada etapa del sumador completo se conecta en cascada - con las otras etapas para efectuar la suma de dos números bi narios, necesitándose una etapa por cada dos dígitos binarios a sumarse, cuando el arreglo es paralelo, que es la forma -- más rápida, aunque no más económica, de efectuar la suma, a continuación se muestra la forma de conexión.

	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1
	1	1	0	1	0
	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1
+	1	0	0	1	1
	1	0	1	1	0
	C_5	S_5	S_4	S_3	S_2

$$C_1 = 0; C_2 = 1; C_3 = 0; C_4 = 0; C_5 = 1$$

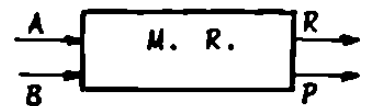


DISEÑO DEL MEDIO RESTADOR. - Este circuito tiene la misma salida que el medio sumador, en lo que respecta a la diferencia, es decir, la salida de suma "S" es la misma que la salida de resta "R", no así la otra salida esto se verá mejor en la tabla de la verdad.

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

$$R = \bar{A}B + A\bar{B}$$

$$P = \bar{A}B$$



Estas ecuaciones son mínimas, por lo que para implementar el circuito, únicamente modificaremos el circuito que aparece en la fig. 6 4

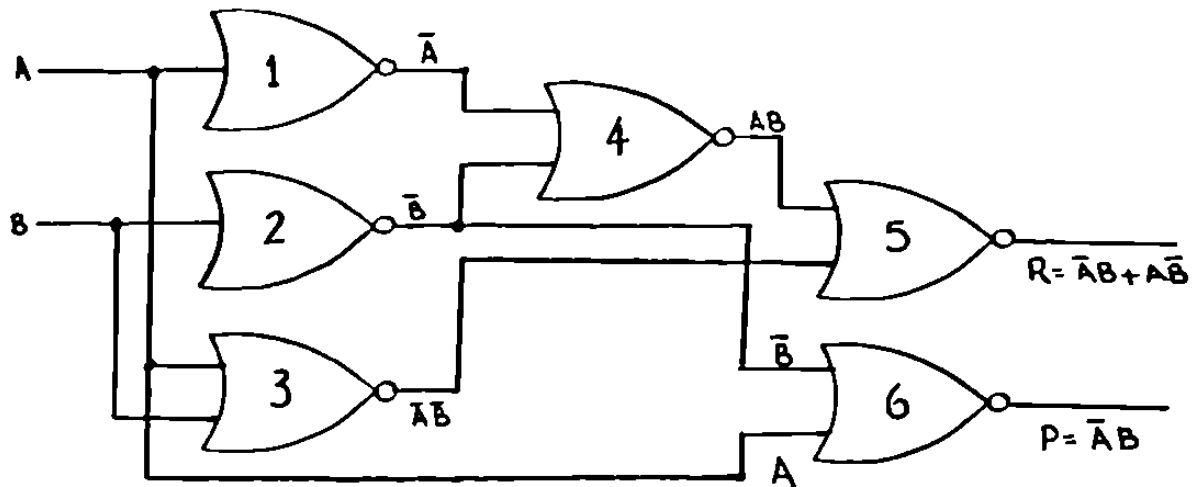
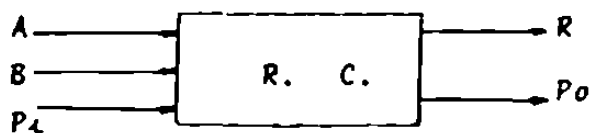


FIG. 6-7

DISEÑO DEL RESTADOR COMPLETO.- Este circuito será similar también de sumador completo, tendrá tres entradas, cada una de las cuales corresponderá a cada dígito del minuendo "A", del sustraendo "B" y de lo que se pidió prestado " P_i " y dos salidas que serán el resultado de la resta "R" y lo que se está pidiendo prestado " P_o ".

En un diagrama de bl que quedaría representado como sigue:



La tabla de la verdad y las ecuaciones para este circuito son las siguientes:

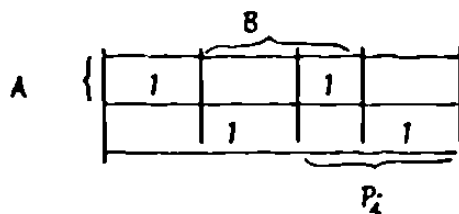
A	B	P_1	R	P_0
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

$$R = \bar{A}B\bar{P}_1 + \bar{A}\bar{B}P_1 + AB\bar{P}_1 + ABP_1$$

$$P_0 = \bar{A}B\bar{P}_1 + \bar{A}\bar{B}P_1 + \bar{A}B\bar{P}_1 + ABP_1$$

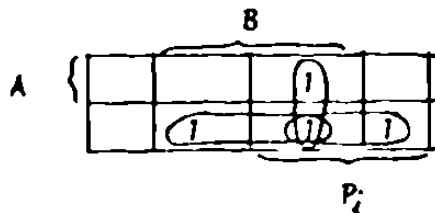
Trataremos a continuación de minimizar dichas ecuaciones

Para R:



$$R = \bar{A}B\bar{P}_1 + \bar{A}\bar{B}P_1 + \bar{A}B\bar{P}_1 + ABP_1$$

Para P_0 :



$$P_0 = \bar{A}B + B\bar{P}_1 + AP_1$$

Comparando éstas ecuaciones con las del sumador completo vemos que, la ecuación para "S" es igual que la ecuación para "R" y solo hay ligeros cambios en las ecuaciones de "Co" y "Po" por lo que el circuito lo implementaremos a partir del circuito sumador completo, de la forma siguiente:

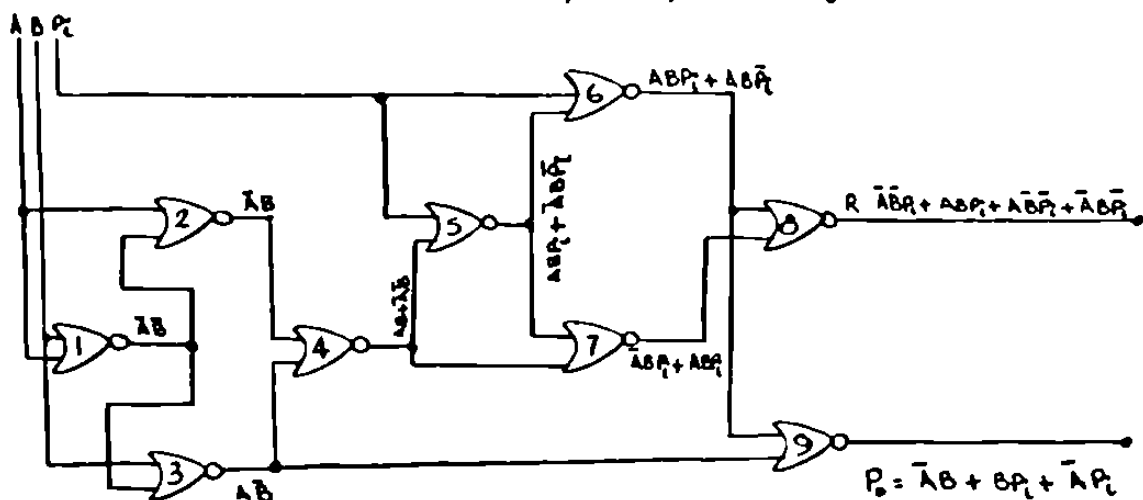


FIG. 6-8

De igual manera que se hizo la conexión para el sumador completo, se hace para el restador completo, cuando se requiera efectuar la resta de dos números binario, pudiéndose hacer la conexión en paralelo o en serie.

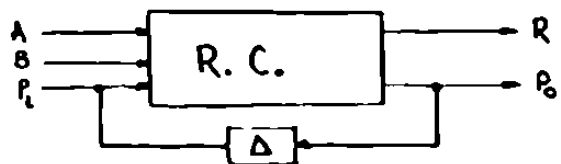
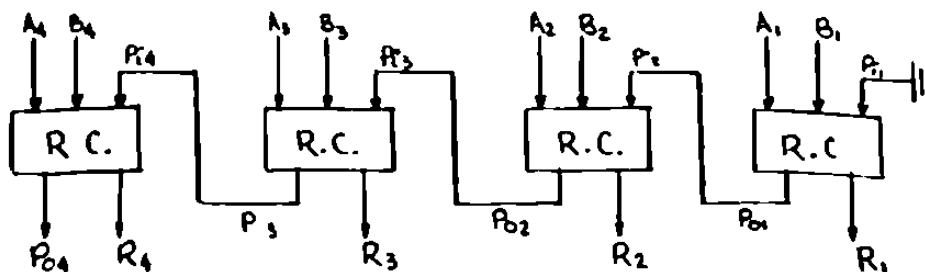


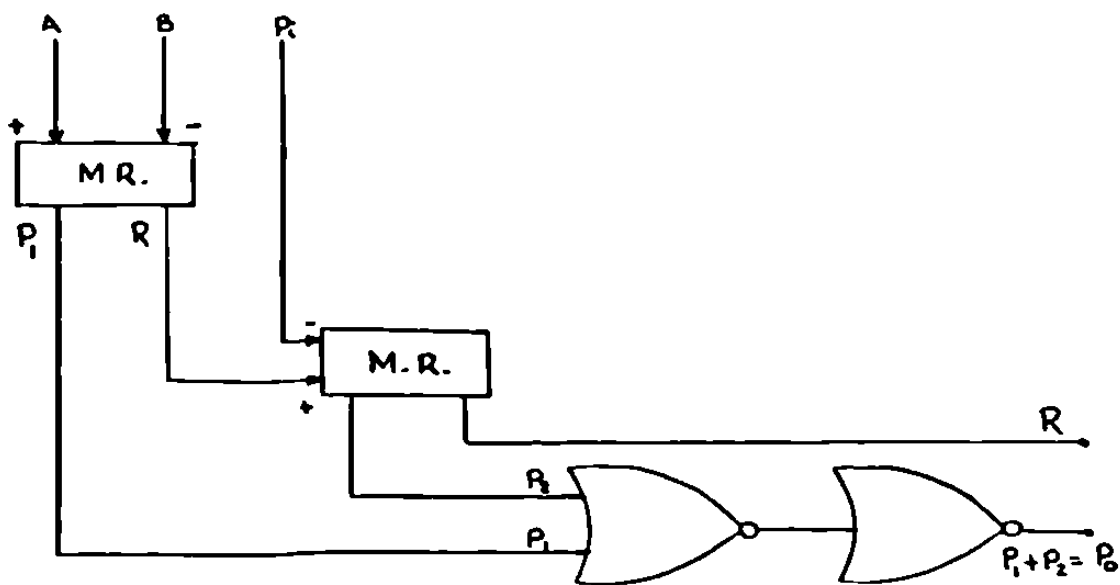
FIG 6-9

RESTADOR COMPLETO SERIE



RESTADOR COMPLETO PARALELO

FIG. 6-10



ETAPA DE RESTADOR COMPLETO, CONSTRUIDO A PARTIR DE MEDIOS RESTADORES

FIG. 6-11

CAPÍTULO VII

CONTADOR BINARIO

Los contadores binarios son ampliamente utilizados en aplicaciones fluidas, para efectuar el control de alguno o alguna serie de eventos, básicamente los contadores se construyen a partir de los flip flop tal como el R S T del cual se habló en el capítulo anterior, dependiendo de la cantidad que se quiera contar, será el número de flip flop utilizados, esto se puede expresar por la siguiente ecuación: $C = 2^n - 1$

donde $C =$ cantidad que se puede contar

$n =$ número de etapas del contador (número de flip-flop R S T empleados)

aquí expndremos un contador binario de cuatro etapas, por lo que el máximo conteo que se puede obtener será de 15 eventos.

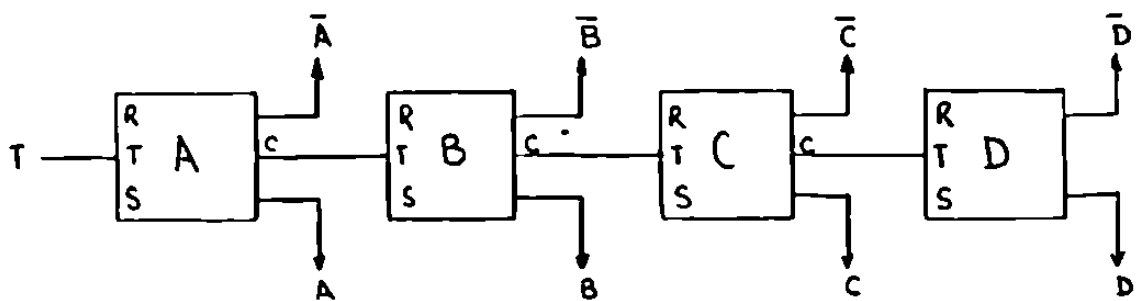


FIG 7-1

L.P	1	2	4	8	EVENTO Nº
T	A	B	C	D	
1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
1	0	1	0	0	2
1	1	1	0	0	3
1	0	0	1	0	4
1	1	0	1	0	5
1	0	1	1	0	6
1	1	1	1	0	7
1	0	0	0	1	8
1	1	0	0	1	9
1	0	1	0	1	10
1	1	1	0	1	11
1	0	0	1	1	12
1	1	0	1	1	13
1	0	1	1	1	14
1	1	1	1	1	15

En el contador binario, cada etapa de conteo tiene asignada un lugar de peso, como se muestra en la tabla, correspondiendo el menor, a la etapa del flip flop "A", y el mayor al flip-flop "D".

Cada uno de los flip flops tiene la salida directa y la salida complementaria, suponiendo que enviamos la señal de restablecimiento "R" en los flip flops, tendremos la señal fluyendo por las salidas complementarias \bar{A} , \bar{B} , \bar{C} y \bar{D} , obteniéndose salida cero por A, B, C y D.

Cuando la señal de disparo T es enviada al primer flip flop A , éste que responde a la primera etapa, cambiará su estado, es decir A será igual a uno, este cambio se efectúa cuando la señal de disparo T cambia de 1 a 0, y se ocurrirá cambiando en respuesta a cada uno de los pulsos de entrada.

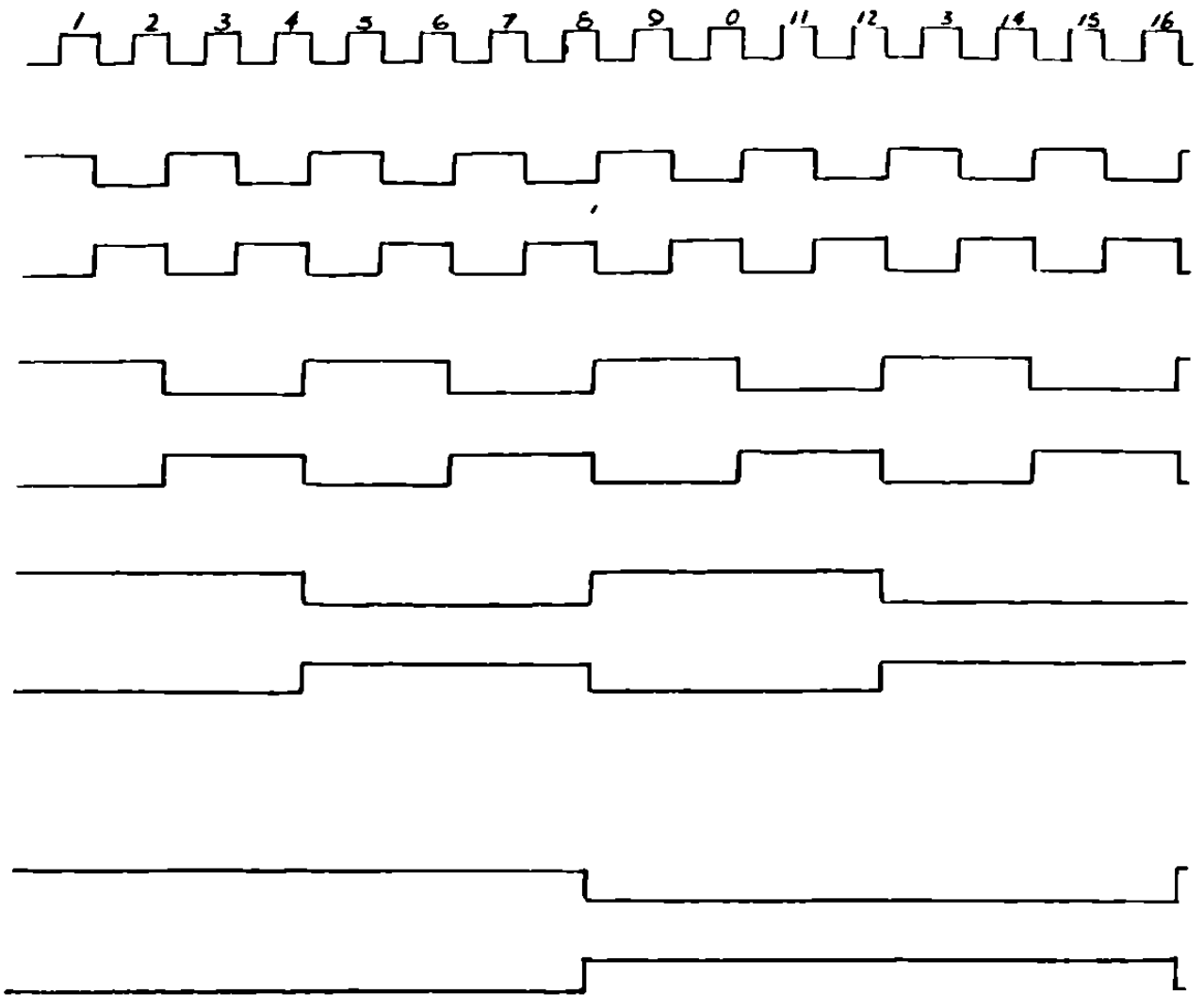
La segunda, tercera y cuarta etapa del contador no se ven afectadas por el primer pulso T , sin embargo, el segundo pulso de entrada, que cambia la etapa 1 al estado lógico cero ($A = 0$), simultáneamente causa que la segunda etapa cambie al estado lógico 1, ($B = 1$).

La segunda etapa cambiará de estado en respuesta a cada segunda señal de entrada, es decir a cada dos pulsos de entrada o ocurrirá el cambio.

La tercera etapa del contador no responde, sino hasta que es enviado el cuarto pulso de entrada, y cambiará de estado cada cuatro pulsos.

Al igual que las anteriores la cuarta etapa cambiará en el octavo pulso, y estará cambiando de estado cada ocho pulsos de entrada.

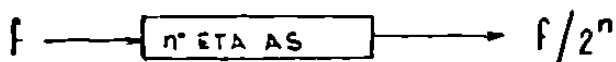
Todo lo anterior se aprecia en la siguiente figura en la que mostramos las formas de onda de cada etapa del contador:



FORMAS DE ONDA DE CONTADOR BINARIO DE CUATRO ETAPAS

FIG. 7 2

Este contador, podría utilizarse como antes se dijo - como un divisor de frecuencia, cada etapa divide entre dos la frecuencia de entrada, en este caso por ejemplo, en que se tienen cuatro etapas, la frecuencia de salida en la última etapa sería igual a la frecuencia de entrada dividida entre 2^n , donde "n" es el número de etapas.

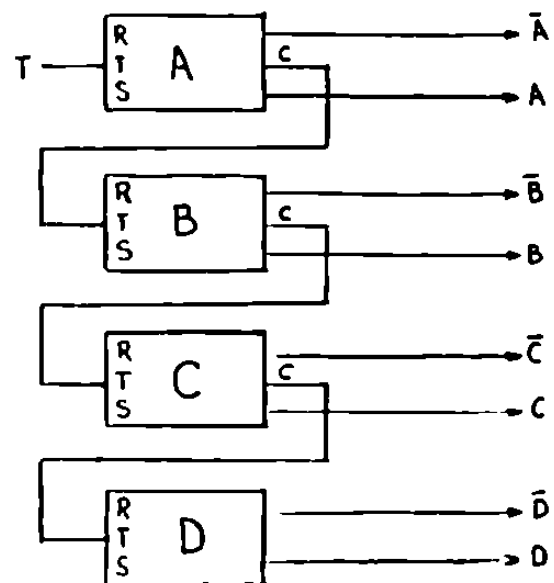


DECODIFICADOR BINARIO A DECIMAL. - En el circuito contador que se presentó antes, se tienen las salidas en sistema binario, muchas veces es necesario obtener las salidas en otra forma, - por ejemplo, en el sistema decimal, ya sea por su más fácil interpretación, o por ser compatible con otras partes del sistema, esto se logra de decodificando dichas señales de salida.

Un decodificador es una red lógica, que hace la conversión de un código o sistema a otro, dentro de un circuito.

Un decodificador de sistema binario a sistema decimal, para el circuito contador de cuatro etapas se mostrará a continuación, en forma esquemática:

A	B	C	D	N
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	2
1	1	0	0	3
0	0	1	0	4
1	0	1	0	5
0	1	1	0	6
1	1	1	0	7
0	0	0	1	8
1	0	0	1	9
0	1	0	1	10
1	1	0	1	11
0	0	1	1	12
1	0	1	1	13
0	1	1	1	14
1	1	1	1	15



Para implementar el circuito, se necesitan 16 elementos NOR, y se dispone de las señales de salida, A , \bar{A} , B , \bar{B} , C , \bar{C} y \bar{D} del contador.

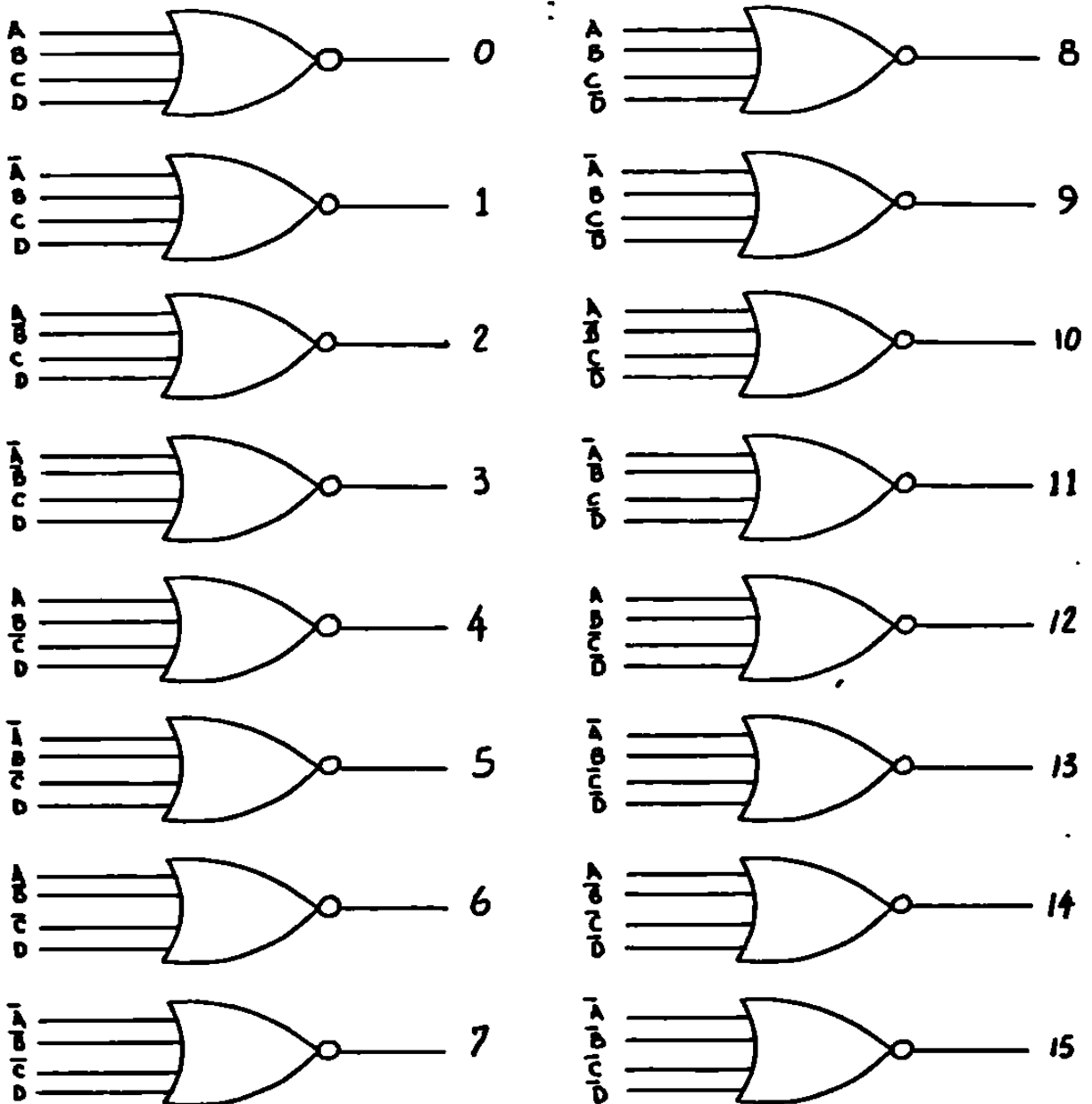


FIG. 7-3

CODIFICADOR DE DECIMAL A BINARIO. Del circuito anterior podemos notar que se pueden construir convertidores de un sistema a otro, diferentes al convertidor de binario a decimal, el circuito que aquí tratamos y que hemos llamado codificador de decimal a binario es también un circuito lógico, cuya función será convertir resultados obtenidos de un contador de decimal, a su equivalente binario.

El circuito consiste de 10 elementos NOR, con 10 líneas de entrada, que corresponden a los números del 0 al 9. Se tendrá una sola señal de entrada presente, (estado lógico 1) - a un tiempo, las diez señales de entrada son transmitidas, a 6 elementos NOR. La salida de los últimos 4 elementos NOR, son similares a las salidas de un contador binario de cuatro etapas.

El circuito en sí es entonces un codificador 8-4 2-1 y se muestra a continuación:

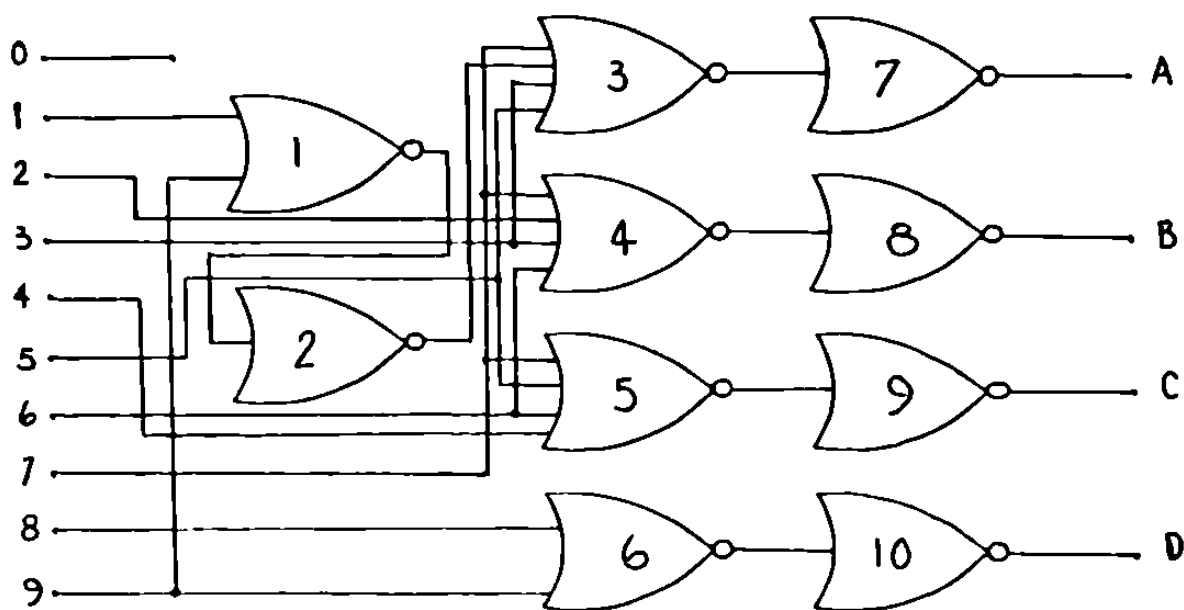


FIG. 7 4

CONTADOR DECIMAL. - El contador decimal se emplea cuando se desea expresar la salida de un contador directamente en números decimales, el circuito tiene una entrada para restablecer 9 de las 10 salidas, es decir poner en estado cero todas las salidas del contador excepto una, a través de un flip-flop R-S-T le llegan al circuito los pulsos del conteo. Suponiendo que el circuito tenga ceros en sus salidas, al recibir el primer pulso de entrada, aparecerá señal de salida en el elemento correspondiente al número decimal 1, eliminándose al mismo tiempo, la señal que indicaba el número decimal cero. - Es decir para cada pulso de entrada al contador, el estado lógico de salida avanzará al siguiente valor decimal, desapareciendo la señal de salida del elemento NOR que representa se el anterior valor.

El circuito será formado con 36 elementos NOR, 6 de los cuales serán utilizados en construir el flip-flop R-S-T. Los 30 elementos restantes, forman el circuito en sí, existiendo entre ellos un patrón de conexión con trayectorias de retroalimentación.

Este patrón de conexión abarca seis elementos adyacentes y se repite a través de todo el circuito contador, que se muestra en la figura 7-5.

El contador opera de la siguiente forma: Al enviar la señal "n" de restablecimiento, todos los elementos de salida adoptarán el estado cero, excepto el NOR (3) que corresponde al

SEÑAL DE DISPARO A SIGUIENTE ETAPA

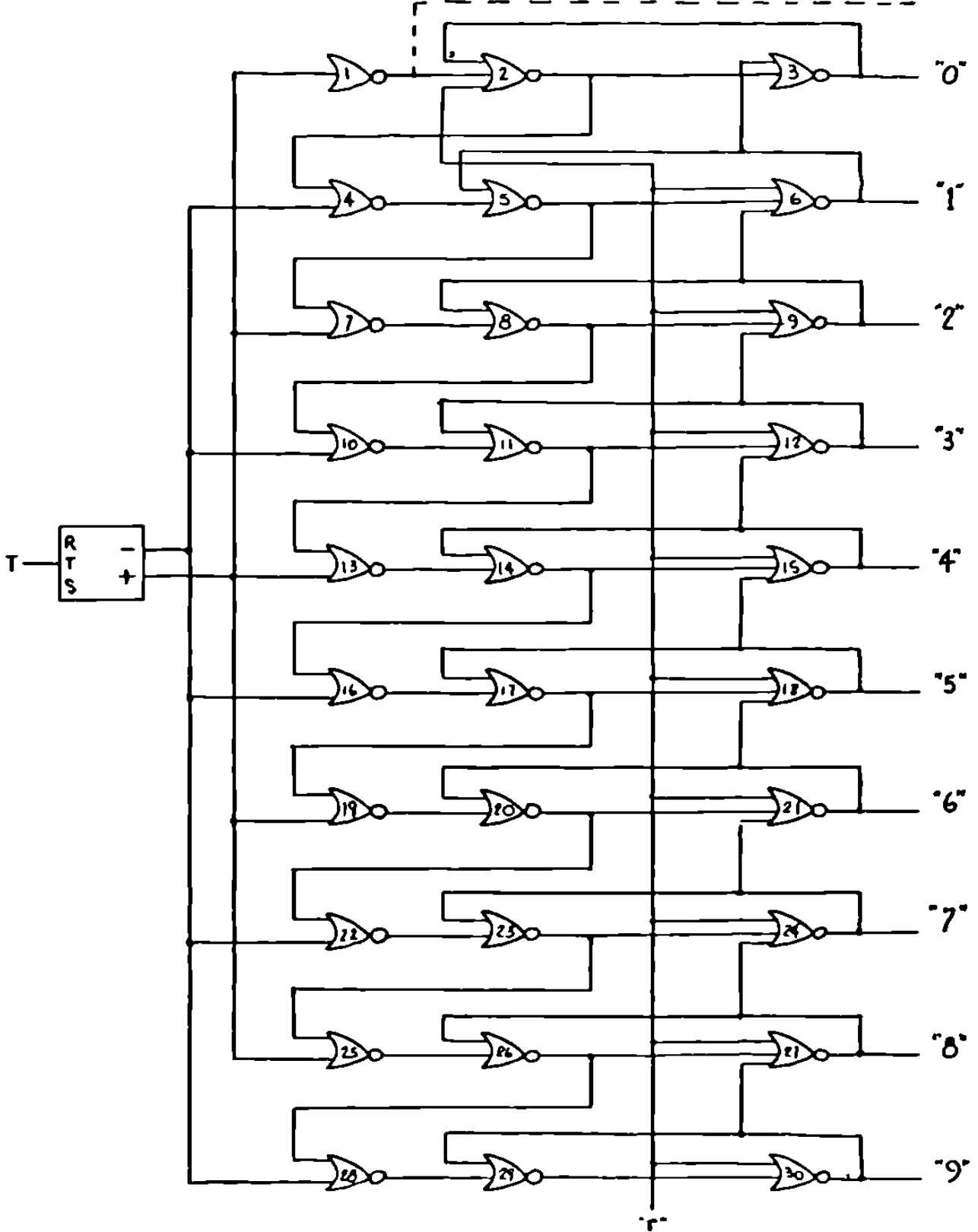


FIG 7-5

valor cero, este NOR 3 tiene señal de salida debido a que el NOR 2 tiene salida cero, porque recibe la señal "x". En este estado el flip-flop tiene salida negativa, la cual actúa sobre el NOR 4, por lo que éste, entre otros, no tiene señal de salida, lo que a su vez permite señal de salida - del NOR 5, que impedirá la salida del NOR 6.

Cuando entra un pulso de conteo, el flip-flop da salida positiva, lo que permite salida del NOR 4, que a su vez -- pone en cero la salida del NOR 5, para permitir la salida - del NOR 6 que representa el número decimal 1, esta señal es retroalimentada al NOR 3 por lo tanto la señal de salida de este, que correspondía al decimal cero, desaparece.

Esta misma secuencia se repite a través del circuito, para cada pulso de entrada.

Este contador decimal, es un contador de decadas y pueden conectarse varios de ellos en cascada para formar un -- contador de varios dígitos decimales.

En caso de conectarse varios de estos contadores en cas cada, las entradas de disparo en las etapas subsecuentes se tomarían de la salida del NOR 1, que aparece punteada en el circuito.

E E OR DE CONTEO.- Este circuito, que a continuación veremos puede ser utilizado en combinación con un contador binario, para dar señal de salida cuando el conteo del contador iguale, al número que de antemano se ha fijado en el switch selector, es decir el circuito selector de conteo se programa por medio de un switch selector mecánico, y el circuito dará señal de salida cuando el contador que lo alimenta alcanza al número pre-seleccionado. Es un circuito muy útil, por ejemplo, para dar la señal que inicie una operación, sólo cuando un cierto número de objetos haya sido contado.

Para formar el circuito selector de conteo, vamos a suponer que disponemos de un contador binario de 4 etapas como el antes visto, es decir, disponemos de 8 salidas del contador, 4 salidas directas A, B, C y D y sus complementos \bar{A} , \bar{B} , \bar{C} y \bar{D} además tendremos otras cuatro señales de switch selector, que llamaremos a, b, c, y d, éstas 12 señales serán las entradas al circuito, que consistirá de 17 elementos NOR, formados en cuatro grupos similares de 4 elementos NOR cada grupo, y el NOR final que da la señal de salida. A continuación mostramos un diagrama bloque del circuito incluyendo el contador.

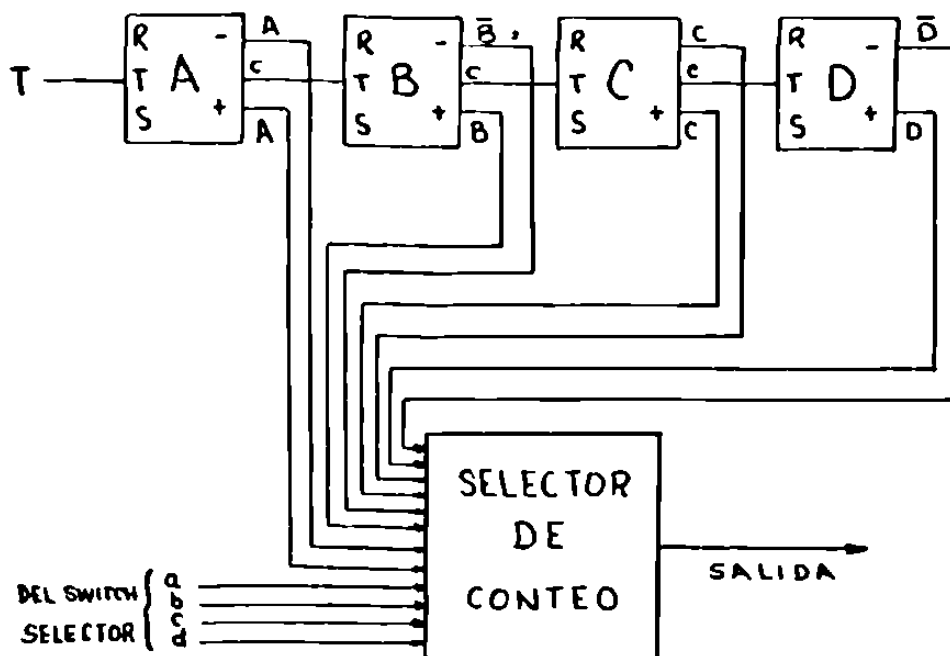
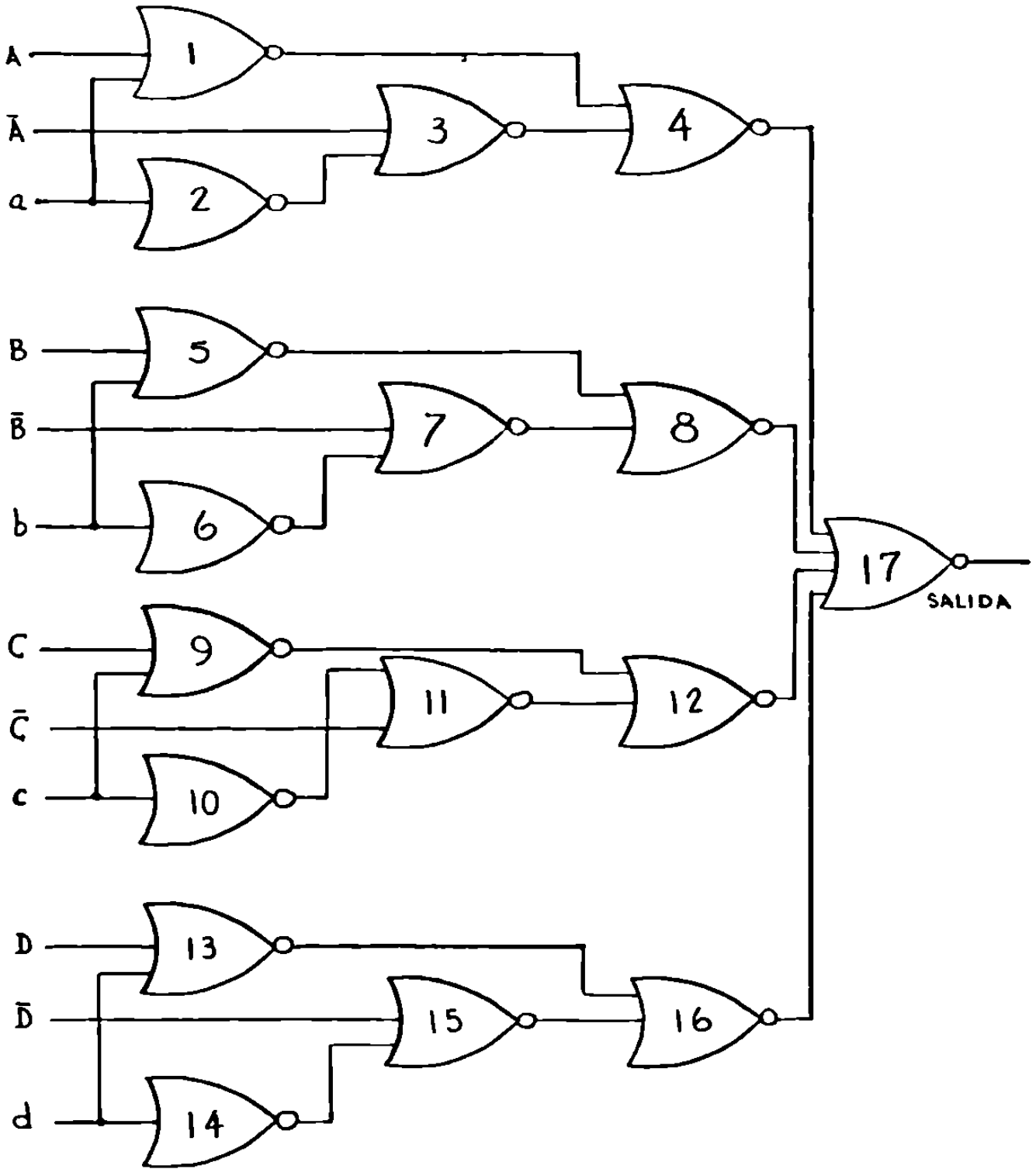


FIG 7-6

El circuito trabaja de la siguiente manera, supongamos que queremos la señal de salida cuando el contador binario ha contado 12 objetos, en este momento las salidas del contador serán las siguientes: $A = 0$ $B = 0$ $C = 1$ $D = 1$

Para éste caso el switch selector, se ha ajustado de antemano para las siguientes salidas $a = 0$ $b = 0$ $c = 1$ $d = 1$.

Queda que las señales que están llegando al circuito selector, son tales que las salidas de los NOR'S 4, 8, 12 y 16 son cero, lo que permite al NOR 17 dar señal de salida.



CIRCUITO SELECTOR DE CONTEO

FIG. 7-7

C A P I T U L O V I I I

CIRCUITOS DE RETARDO DE TIEMPO.

En este capítulo expndremos algunos circuitos muy útiles en sistemas digitales, tales como circuitos de un disparo en sus tres formas, osciladores, elementos de Histéresis y convertid res analógicas a digitales.

CIRCUITOS DE UN DISPARO. Como antes se mencionó, p demos formar 3 tipos de circuitos de un disparo, estos son circuitos que generan un pulso de salida de duración limitada, en respuesta, a una señal de entrada de mayor duración, el pulso de salida se puede generar: 1° Cuando la señal de entrada cambie de 0 a 1 (parte positiva); 2° Cuando la señal de entrada cambie de 1 a 0 (parte negativa) 0; 3° Para ambos cambios.

1er. Caso : En la figura 8 1 a) y b mostramos el circuito -- que corresponde a este caso, con sus formas de onda respectivamente:

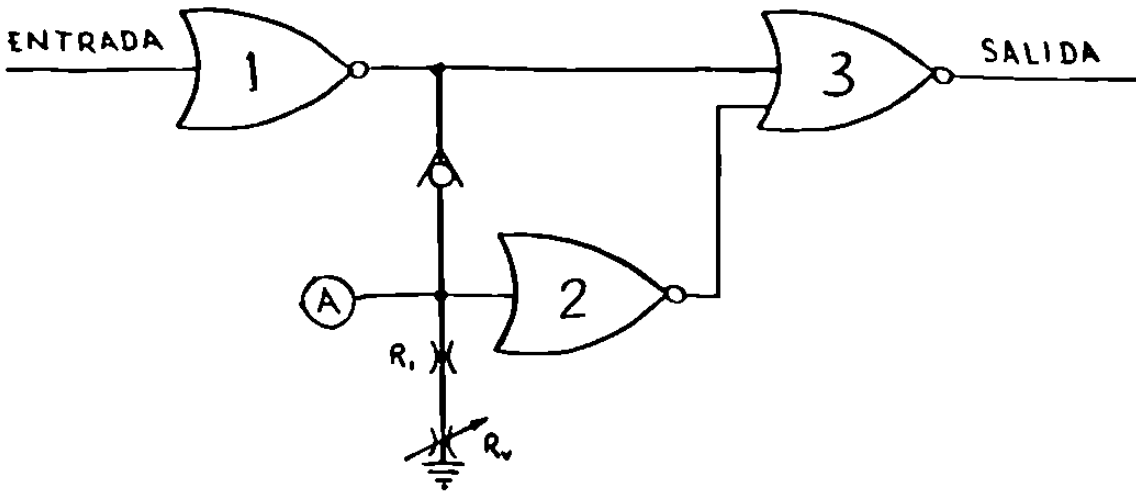


FIG. 8-1 a)

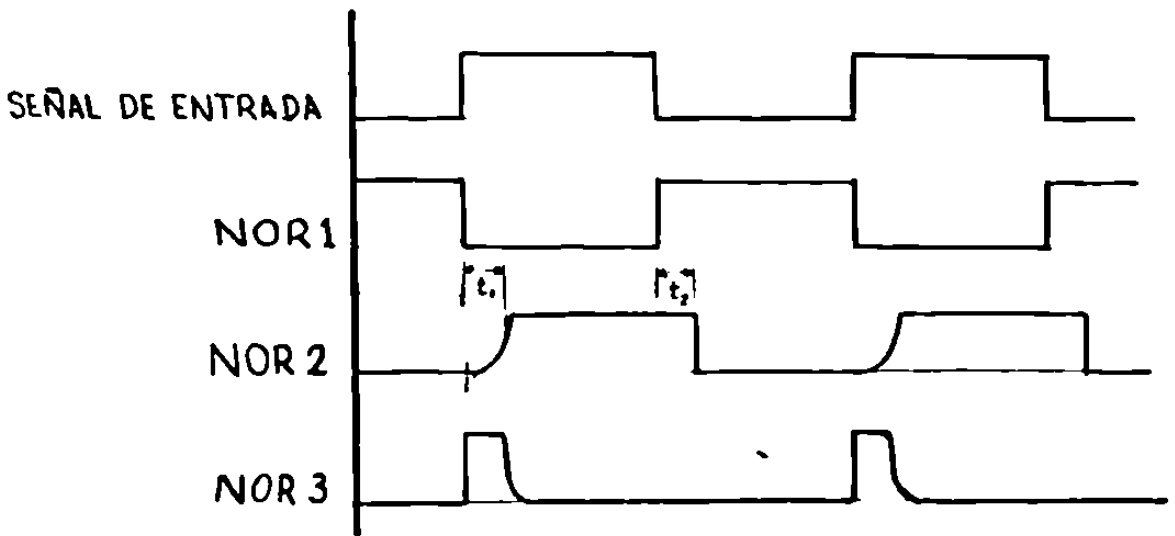


FIG 8-1 b)

Como se ve el circuito consta de 3 elementos NOR, un -
 a multivibrador, una restricción fija, una variable y una válvula
 de retención.

La combinación de los elementos pasivos, restricciones y acumulador son quienes producen el retardo de tiempo, que limita la duración del pulso.

El circuito opera de la siguiente forma: En ausencia de señal de entrada, el NOR 1 dará señal de salida, que es transmitida al NOR 3, haciendo que la señal de salida de éste sea cero, y a través de la válvula de retención, al NOR 2 y al acumulador, éste flujo que pasa por la válvula de retención carga al acumulador, mientras algo de él escapa a la atmósfera a través de las restricciones R_1 y R_v , debido a la resistencia al paso del fluido ofrecida por estas restricciones, se producirá una elevación de presión en el acumulador, que logrará switchear el NOR 2, este retardo que se ha producido para switchear el NOR 2, es debido al cargado del acumulador, hasta que alcanza cierta presión y aparece como t_2 en la gráfica.

Cuando se aplica la señal de entrada, el NOR 1 dará salidas cero, el NOR 3 en este instante recibe señales cero, por lo que dará señal de salida, mientras tanto, el acumulador se empezará a descargar, pero mantiene señal a la entrada del NOR 2, cuya salida será cero, una vez que la presión del acumulador desciende lo suficiente para switchear el NOR 2, desaparecerá el pulso de salida. Es de ir la duración del pulso de salida esta dada por el tiempo de descarga del acumulador.

Entonces para variar el ancho del pulso de salida, variando el volumen del audífono, o variando la restricción variable.

2° Caso: En este caso el circuito funciona de forma similar al anterior, solo que, el pulso de salida se genera cuando el pulso de entrada cambia de uno a cero. La figura 8-2 a) y b) muestran el arreglo del circuito y la forma de onda.

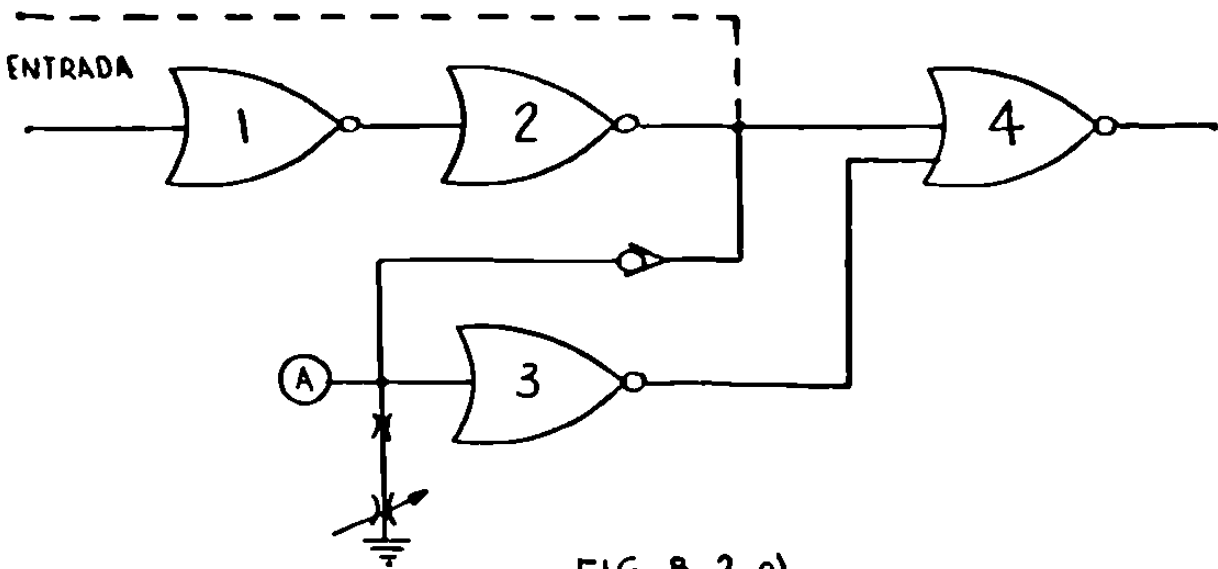


FIG. 8-2 a)

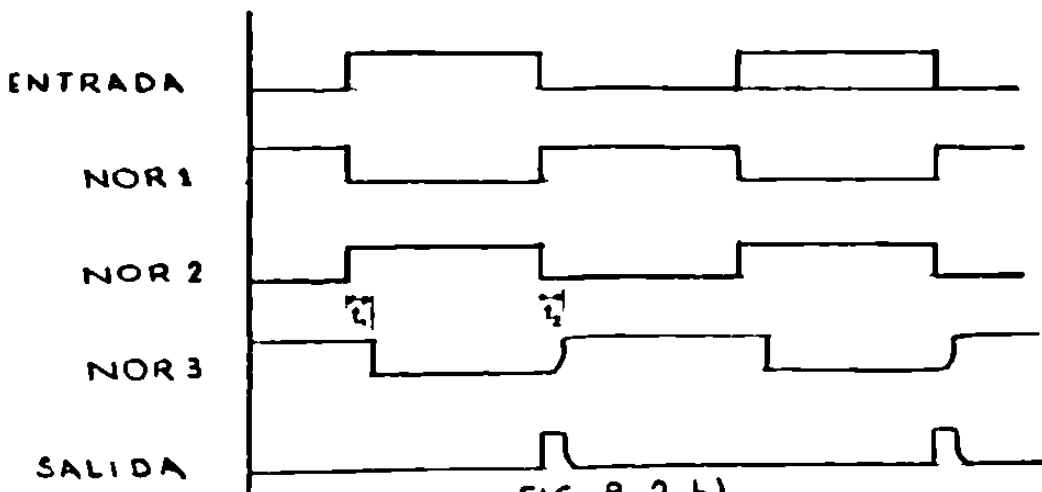


FIG. 8-2 b)

En el primer caso usamos un número impar de elementos NOR, en este caso usaremos un número par, el circuito puede hacerse con 2 o 4 elementos NOR, por lo siguiente, si la señal de entrada proviene de otro elemento NOR, nos podemos ahorrar las NOR 1 y 2, (línea punteada en el diagrama), si la señal proviene de un sensor utilizamos los NOR 1 y 2, como etapa de amplificación. Al emplear un número par de elementos NOR, obtenemos un deslizamiento de la señal de salida con respecto a la de entrada, por lo que el pulso de salida se generará cuando la señal de entrada cambie de 1 a 0.

El circuito trabaja de la siguiente manera:

En ausencia de la señal de entrada el NOR 3 da señal de salida, lo que impide la salida del NOR 4 inicialmente.

Cuando la señal de entrada es aplicada empieza a cargarse el acumulador, pero mientras no alcance la presión de switcheo del NOR 3, este seguirá manteniendo señal en su salida, este retardo aparece como t_1 en el diagrama de formas de onda, es el tiempo de carga del acumulador, el NOR 4 dará salida cero debido a que le llega la señal de entrada.

Cuando desaparece la señal de entrada, el NOR 4 da salida 1, debido a que sus dos entradas son cero, esto ocurre mientras se descarga el acumulador lo suficiente, una vez que se descarga al nivel adecuado switchea al NOR 3 que a su vez switchea el NOR 4 terminando la salida de este. Esto aparece como t_2 en la figura 8-2b' o sea que el circuito genera el pulso de salida en

la parte negativa del pulso de entrada, y la duración del pulso está nuevamente controlada por el tiempo de descarga del capacitor.

3er. Caso: El tercer caso es una combinación de los dos anteriores, es decir, el circuito generará pulsos de salida, tanto en la parte positiva, como en la negativa de la señal de entrada. Se muestra en las figuras 8-3 a) y b).

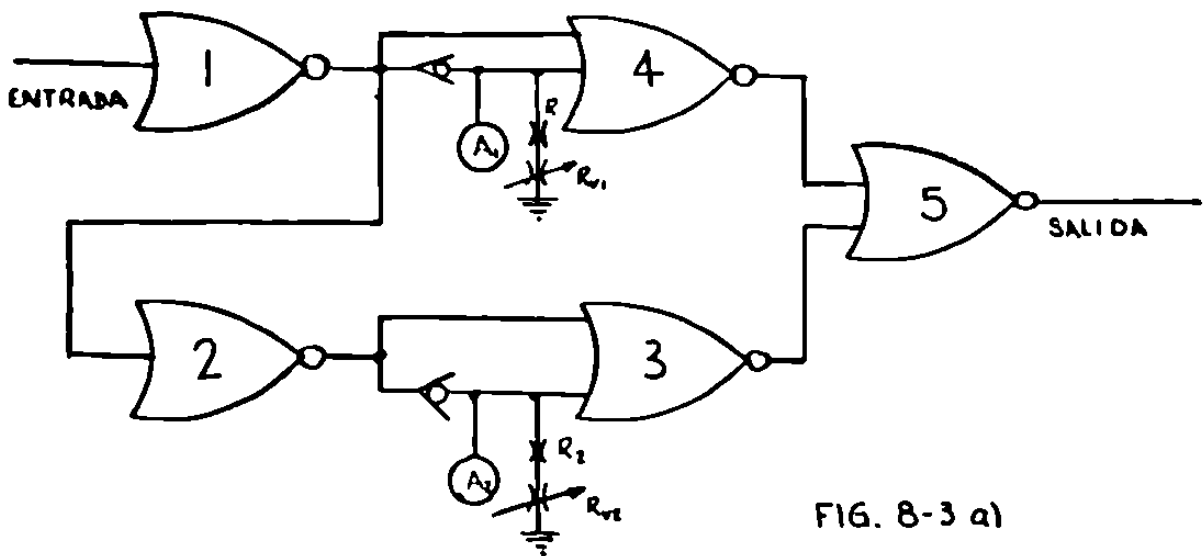


FIG. 8-3 a)

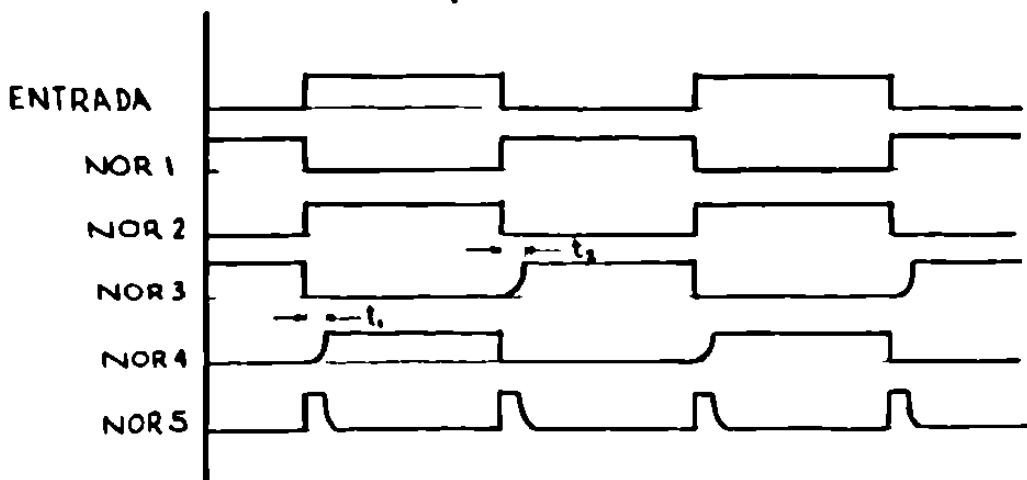


FIG 8-3 b)

ble R_1 , en la línea de entrada, o se muestra en la fig. 8 4a).

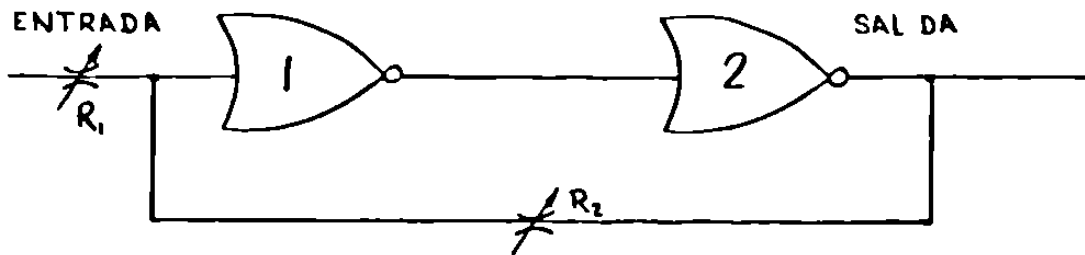


FIG. 8-4 a)

La operación del circuito es la siguiente, cuando no existe señal de entrada, la salida es cero, cuando se aplica señal de entrada, la salida permanecerá en cero, mientras la señal de entrada no alcance un nivel de presión predeterminado, al que llamaremos nivel de control de disparo, y es determinado por la restricción R_1 , cuando este nivel es alcanzado, la salida del circuito adoptará el nivel lógico 1, esta salida se mantendrá aunque la señal de entrada vaya disminuyendo su magnitud, hasta que alcanza un valor determinado, que llamaremos, nivel de control de histéresis, punto en el cual, la salida cambia nuevamente a cero, esto se muestra en la figura 8 4 b).

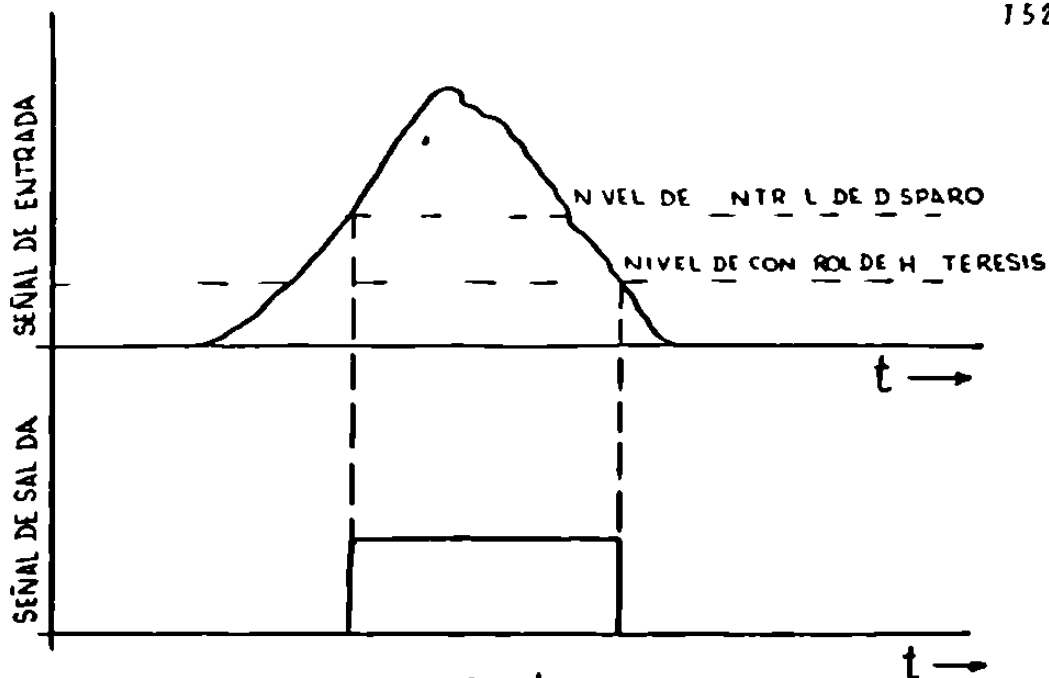


FIG. 8-4 b)

El porqué se le llama a este circuito, elemento de Histeresis lo podemos apreciar si graficamos la señal de salida -- contra la señal de entrada, como se ve en la fig. 8 4 c).

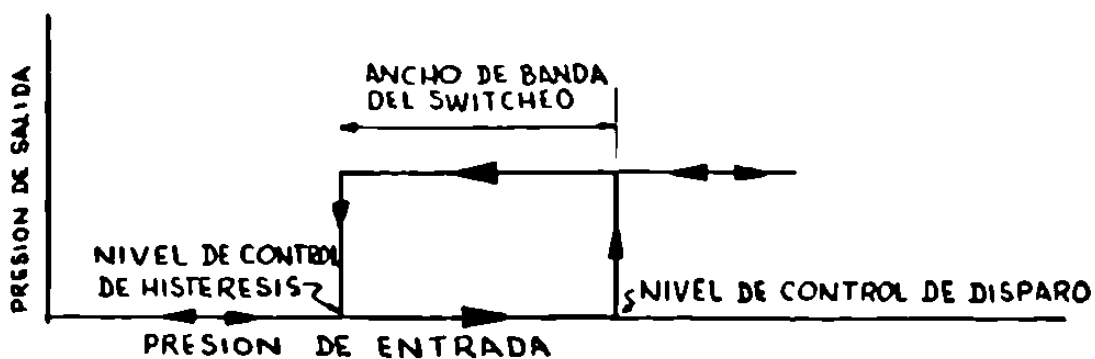


FIG. 8-4 c)

El ancho de banda está determinado por el valor de la restricción variable R_2 , y viene siendo la diferencia de amplitud que existe entre el nivel de disparo y el de Histeresis.

DISPARADOR SCHMITT.- El disparador Schmitt, es una forma restringida del elemento de histéresis. Como antes vimos, el ancho de banda del circuito de histeresis se puede variar, si lo hacemos lo más estrecho posible, es decir, el nivel de control de histeresis, igual al nivel de control de disparo, lo que obtenemos como señal de salida es un impulso, a esto se le conoce como disparador Schmitt, se le puede utilizar, para saber si la magnitud de una señal de entrada es mayor o menor, que una señal prescrita. El circuito se muestra a continuación.

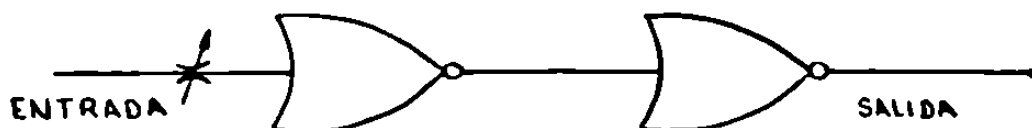


FIG. 8-5

OSCILADORES FLUIDICOS.- Al final del capítulo V hablamos de los osciladores fluidicos, usados como sensores de temperatura pero no es esta su única función ya que se usan, en forma comercial o en laboratorio, como generadores de pulsos de reloj, como base de tiempo, al generar el tren de pulsos a determinada frecuencia, en el control de sistemas de secuencia, etc.

Las características de los osciladores fluidicos por lo que respecta a exactitud, repetibilidad, rango de frecuencia de operación, sensibilidad a la presión y temperatura, etc, depende grandemente de su modo de operación, pudiéndose obtener

repetabilidad en errores de 1% o menos, por lo que respecta a variación de frecuencia de salida, por cambios de presión o temperatura, se hacen compensaciones, que no limitan la variación de frecuencia en un +1% sobre el rango de presión de operación y sobre los 100°F.

TIPOS DE OSCILADORES.- La mayoría de los osciladores fluidicos, son amplificadores fluidicos en los cuales, una señal de salida es retroalimentada, con un desplazamiento adecuado, para provocar, la oscilación periódica, existen muchos tipos de osciladores, tales como el WEDGETONE O EDGETONE, EL RINGTONE, OSCILADOR SONICO, OSCILADOR DE RELAJACION, OSCILADOR DE VORTICE, ETC. (VER FLUIDIC OSCILATORS DE CARL J. CAMPAGNUOLO Y HENRY C. LEE, DE LOS LABORATORIOS HARRY DIAMOND). Aquí veremos únicamente osciladores contruidos, a partir de elementos NOR.

El tipo más sencillo de oscilador, consiste en retroalimentar la salida de un NOR, como se muestra en la figura 8-6.

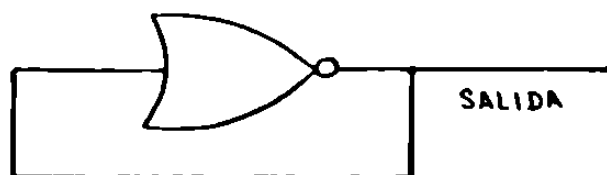


FIG 8-6

La señal de salida se retroalimenta por la línea de retroalimentación a la velocidad del sonido, por lo que la frecuencia

en este sistema el delay depende de la longitud de la trayectoria de retroalimentación, ya que el retardo se establece, entre la salida y la entrada al NOR, a través de la retroalimentación, a este retardo se le llama Tiempo Sónico de Transporte, a mayor longitud de retroalimentación, mayor tiempo de transporte y por lo tanto menor frecuencia. La frecuencia en este oscilador es del orden de unos cientos de ciclos por segundo.

En la línea de retroalimentación del circuito anterior, puede instalarse una combinación restricción acumulador, con lo que se consigue un oscilador de baja frecuencia, esto se muestra en la figura 8-7.

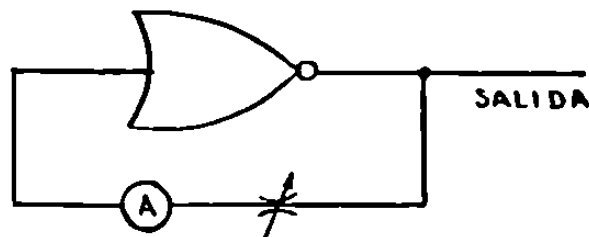


FIG. 8-7

Entonces, en adición al tiempo de transporte propio de la línea de retroalimentación, el circuito tiene otro retardo de tiempo inherente a la respuesta de la combinación acumulador restricción, ya que se requiere algún tiempo para que la presión a la entrada del NOR alcance el nivel adecuado para el establecimiento del mismo.

La frecuencia de salida se puede variar que sea de unos

cuántos y los períodos con un acumulador relativamente grande.

OSCILADOR DE DOBLE FRECUENCIA.- A continuación se presenta un circuito, en el cual se pueden obtener dos valores de frecuencia, dependiendo de la combinación de acumuladores elegida por medio de un switch selector.

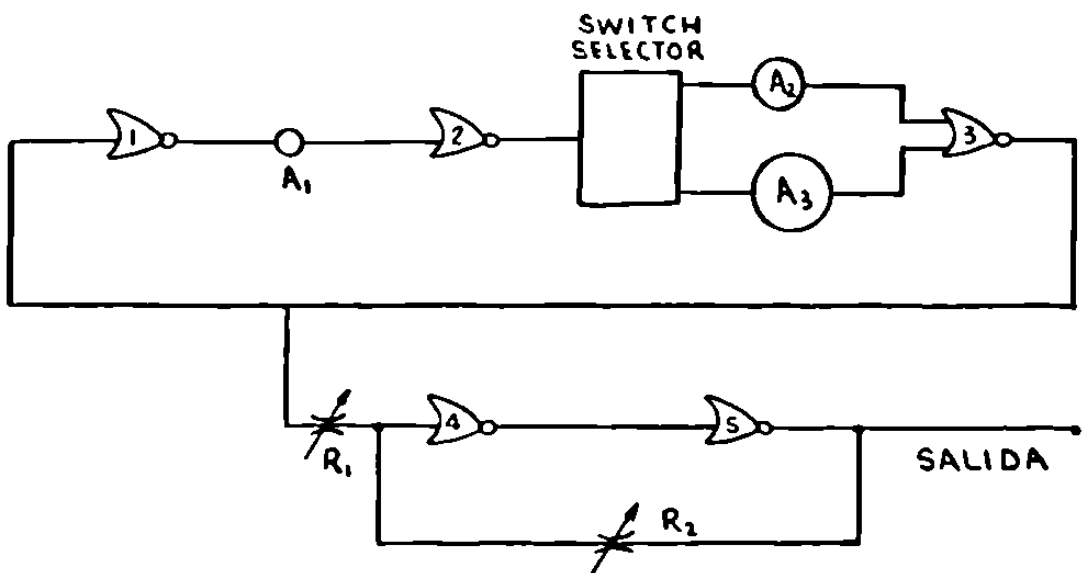


FIG 8-8

El circuito consta de dos retardos de tiempo, uno introducido por el acumulador A_1 , colocado entre los NOR 1 y 2, y otro por el acumulador A_2 o A_3 , según se seleccione con el switch selector. La combinación de estos acumuladores, será quien dicte la frecuencia de salida, A_1 con A_2 para alta frecuencia y A_1 con A_3 para baja frecuencia.

El circuito consta además de un elemento de histeresis,-

que es alimentado por la salida del NOR 3, la salida del elemento de histeresis que es la salida del circuito oscilará a la misma frecuencia que el NOR 3, pero su forma de onda será más regular, aproximándose a la forma de onda cuadrada.

OSCILADOR DE BAJA FRECUENCIA CON ANCHO DE PULSO VARIABLE.-

En muchas de aplicaciones de circuitos fluidicos a sistemas automáticos de control, se hace necesario el empleo de osciladores para suministrar los pulsos de mando que activan las operaciones del sistema, a veces es imperante que el tren de pulsos sea de muy baja frecuencia y con duración de pulso variable, en estos casos se puede emplear el circuito que a continuación describimos, figura 8 9.

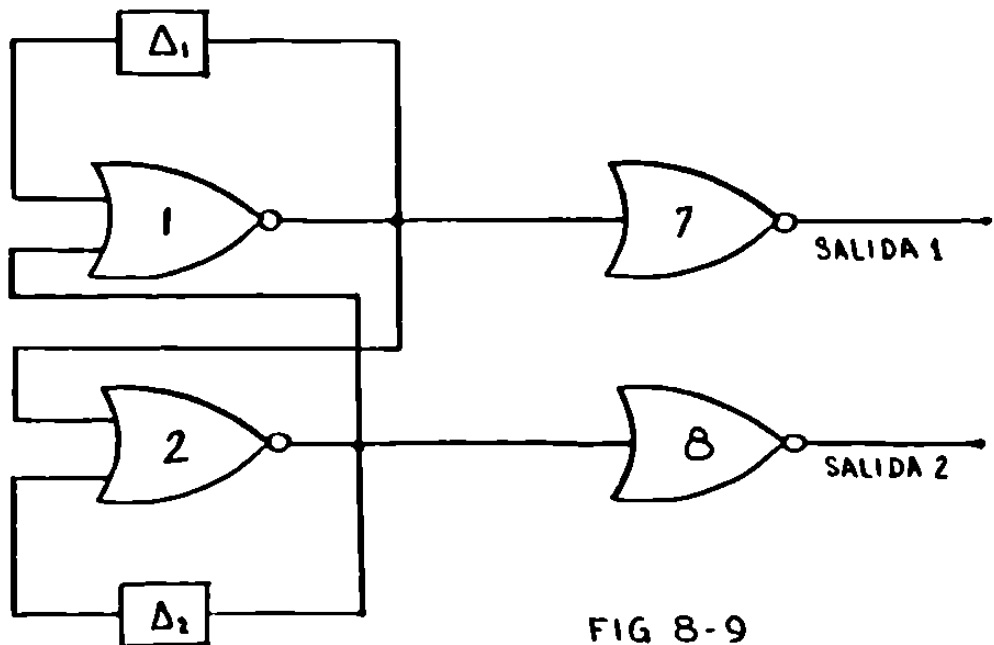


FIG 8-9

Este circuito genera pulsos a baja frecuencia y la duración de estos pulsos, tanto el 1 como el 0 lógico de ellos, - pueden ser controladas, independientemente.

Los elementos prendidos en el retardo Δ_1 junto con el N R 1, podrían, por ejemplo, producir el uno lógico del pulso, y el retardo Δ_2 en el N R 2 el cero lógico.

La función del circuito esta entrada alrededor de la operación del flip flop, compuesto por los NOR'S 1 y 2, por lo que la operación es controlada, por los tiempos de duración tanto del 1 como del 0 lógico, en la salida de dichos elementos.

Los elementos NOR 7 y 8 son usados para aislar la carga, de las salidas del flip flop.

La retroalimentación directa de un NOR del flip flop al otro N R, permite, que si uno de ellos tiene señal de salida, el otro no la tenga, sino hasta que dicha señal después de pasar por el retardador, switchee el N R del cual proviene, permitiendo la señal de salida del otro NOR.

Con este circuito se pueden obtener frecuencias que varían desde los 0.08 a los 60 ciclos por segundo, o sea períodos aproximados de 12 segundos a 16 milisegundos, pudiéndose ajustar la duración de los pulsos, tanto en la parte uno o cero lógicos independientemente en un rango que puede variar des

de los 8 milisegundos a 6 segundos.

CONVERTIDOR ANALOGICO A DIGITAL.- En ciertas aplicaciones, - circuitos de control digital, pueden obtener sus señales de entrada, a partir de senales de naturaleza analógica. Por ejemplo, se requiere un circuito digital, que de señal de salida, - no sólo cuando esté presente una senal de entrada, sino cuando esta señal alcance un nivel determinado, en este caso la señal analógica de entrada se convierte en digital, a través del convertidor, antes de aplicarse al circuito de control.

Aquí mostramos un circuito convertidor analógico-digital, en el cual la senal de entrada pueda convertirse en cinco señales digitales de salida fig. 8 12.

Vamos a suponer que queremos señales de salida en un rango de la senal analógica de entrada entre 3 y 5 psig. detectamos las presiones P1 P2 P3 P4 y P5 a través de moduladores de impacto S1 S2 S3 S4 y S5 respectivamente (descritos en el cap. - V) , que han sido previamente calibrados por medio de las restricciones variables $R_1 - - - - R_5$, a presiones de 3, 3.5, 4. 4.5 y 5 psig.

Esto quiere decir que los moduladores darán senales de salida, cuando las presiones de entrada alcancen sus respectivos niveles de referencia, estas senales de salida de los moduladores son enviados a los arreglos NR, que son OR de una entrada

y sirven como amplificadores y aisladores de las señales de salida de los moduladores, o sea que la magnitud de la señal digital de salida es independiente de la señal de salida de los moduladores, aunque van en fase, la magnitud de la señal de salida depende de la presión de suministro y de la calibración dada a la restricción R_5 . La señal de suministro por ejemplo para este circuito podría ser de 10 psig. y las salidas $P_1 - - - - P_5$ son reguladas a través de R_8 , de tal modo que su magnitud sea compatible, con la entrada del circuito de control, al cual van dirigidos.

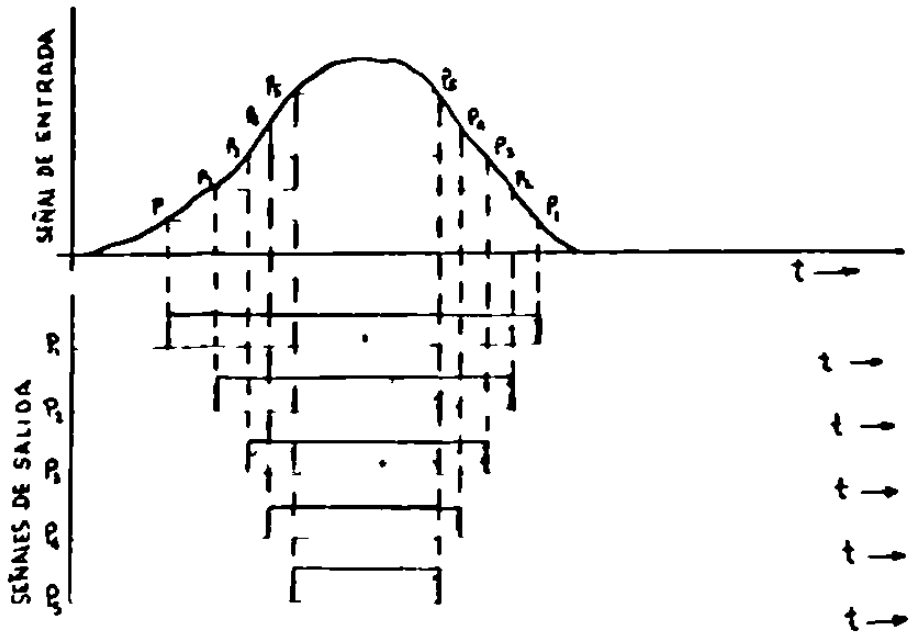
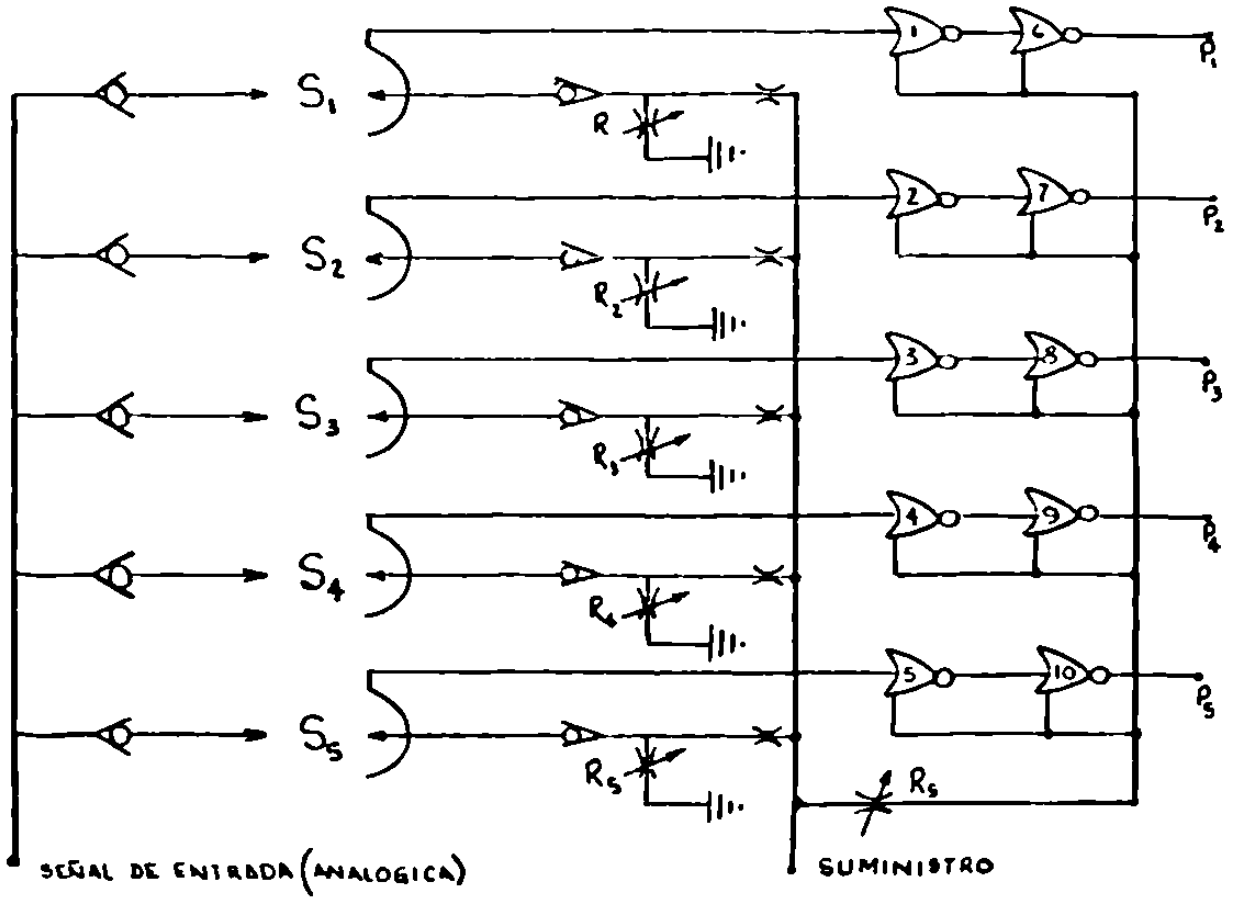


FIG 8-12

APENDICE "A" SIMBOLOGIA

	OR	AND	NOT	NOR	NAND	FLIP-FLOP	OSCILADOR
U.S.A.S.I.							
NEMA							
NFPA/ASA							
STD.							
OTROS							

EPII .

El contenido de este trabajo nos muestra un panorama general acerca de los sistemas fluidicos y sus posibilidades, las cuales son muy extensas, no pretendemos esta comparación entre esta nueva tecnología, y los sistemas eléctricos o electrónicos, sino unicamente mostrar su gran potencial, ya que en el mejor de los casos, la solución mas adecuada a un determinado problema de control será una solución híbrida, que combine lo mejor de cada sistema.

Como se mencionó en el capítulo V los sistemas fluidicos presentan muchas ventajas, como son ALTA CONFIABILIDAD, debido a que no tienen partes en movimiento que puedan romperse, deformarse o gastarse. Pueden trabajar en medios ambientes adversos, esto se logra escogiendo adecuadamente el material para su fabricación. -- ALTA VELOCIDAD de operación en relación con sistemas electromecánicos, neumáticos o hidráulicos aunque no comparable con sistemas electrónicos, pueden usarse donde se requieran velocidades de respuesta de milisegundos. Debido a su SIMPLICIDAD son de muy fácil mantenimiento.

Entre sus principales desventajas podemos mencionar su consumo continuo de potencia, aunque la operación del sistema sea intermitente.

Su baja velocidad de respuesta comparada con los sistemas electrónicos. La transmisión de señales a grandes distancias, ya -

que, debido a los fenómenos de la dinámica de los fluidos en que se basan, están limitados a la velocidad del sonido, finalmente, se requiere un filtrado cuidadoso (5 micrones) del aire para evitar obstrucciones en los conductos.

Como comentario final, podrían indicarse que estos sistemas adolecen ~~de falta~~ de información para su diseño, aunada con el poco conocimiento que de dichos sistemas tenemos, los hacen poco populares en nuestro medio. Sin embargo esperamos que en un futuro no muy lejano estos sistemas alcancen tanta popularidad como sus semejantes electrónicos.

BIBLIOGRAFIA

LOGIC DESIGN WITH INTEGRATED CIRCUITS.
WILLIAM E. WICKES
JOHN WILEY & SONS, INC.

DIGITAL COMPUTER DESIGN FUNDAMENTALS
YAOHAN CHU
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.

INTRODUCTION TO FLUID POWER CIRCUITS AND SYSTEMS.
RUSSELL HENKE
ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY

FLUID APPLICATION BULLETINS.
JOHNSON SERVICE COMPANY
FLUIDIC PRODUCTS DEPARTMENT

FLUID AMPLIFICATION SYMPOSIUM.
AD 297 935
PROCESSED FOR
DEFENSE DOCUMENTATION CENTER
DEFENSE SUPPLY AGENCY.

FLUID AMPLIFICATION SYMPOSIUM VOL II.
AD 601 500
PROCESSED FOR
DEFENSE DOCUMENTATION CENTER
DEFENSE SUPPLY AGENCY.

FLUID AMPLIFICATION SYMPOSIUM VOL III.
AD 601 501
PROCESSED FOR
DEFENSE DOCUMENTATION CENTER
DEFENSE SUPPLY AGENCY

FLUIDIC SYSTEM DESIGN VOL. II.
REPRINTED FROM MACHINE DESIGN.

DESIGN GUIDE PURE FLUID DEVICES
O. LEW WOOD.

FLUIDIC OSCILLATORS
CARL J. CAMPAGNUOLO
HENRY C. LEE
HARRY DIAMOND LABORATORIES

PURE FLUID AMPLIFYING AND LOGIC ELEMENTS
THEIR APPLICATION AND FUTURE POTENCIAL
S.Y. LEE. DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING. M.I.T.

