

SISTEMAS DIGITALES

ESTRUCTURA: *Definiciones*

Un Sistema Digital es aquel que recibe información de tipo discreta, la procesa convenientemente y luego la transmite de acuerdo a lo establecido.



Antes de iniciar la etapa de diseño, realizaremos una serie de definiciones, con el objeto de uniformizar la nomenclatura a utilizar en tal proceso.

- **Variable Digital:** Es todo elemento, que toma solamente valores discretos bien especificado, para diferenciarlo de una variable continua.
- **Variable Binaria:** Es una variable digital que toma solamente 2 valores. Por lo general indicado en sistema de numeración binario, por lo tanto dichos valores son 0 y 1.
Las indicaremos con letras minúsculas: a, b, x, y, etc.
- **Función Digital:** Es toda relación algebraica entre variables binarias a través de las operaciones especificadas por el Álgebra de Boole; es decir suma, producto e inversión lógica. La representación gráfica se realiza a través de un diagrama en blocks dónde ingresan por un extremo las variables y por otro se obtienen tales funciones.

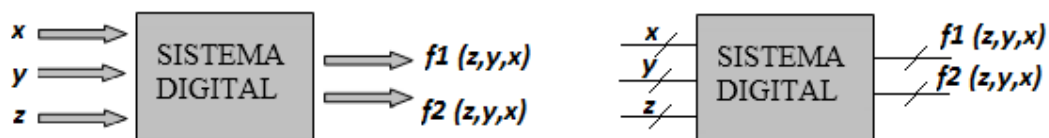
Ejemplo:

$f(z,y,x)$ = Función del Álgebra de Boole.

$$\alpha(z,y,x) = \bar{x} \cdot y \cdot [(x \cdot z + y \cdot z) + x \cdot y \cdot z]$$

$$\beta(z,y,x) = \bar{x} \cdot z + [x + \bar{y} + z \cdot x \cdot (\bar{x} \cdot y + z) + x \cdot z]$$

- **Diagrama en Bloks:** Representa al sistema digital por medio de un esquema, en el cual se colocan en el extremo izquierdo **las entradas** con flechas ingresando al block que representa al circuito propiamente dicho, y luego flechas que salen e indican **las salidas**.



- Notación tradicional

Notación moderna

- **Vector Digital:** Se denomina así a un conjunto de variables digitales que cumplen con el mismo objetivo o finalidad. *Por ejemplo* al conjunto de variables de entrada se lo llama *Vector de Entrada*. Las variables ó funciones que especifican un Vector determinado pueden ser acertadas ó negadas. Del mismo modo que lo enunciado por la Matemática Vectorial, estos vectores tendrán 3 propiedades:

MÓDULO - DIRECCIÓN - SENTIDO

1. **MÓDULO:** Es la cantidad específica de variables ó funciones, que posee un vector determinado.
Por ejemplo: $\alpha(z,y,x)$ es un vector formado por 3 variables digitales, entonces se dice que tiene módulo [3] y su notación es

$$\alpha[3] = [z,y,x]$$

2. **DIRECCIÓN:** Es el valor específico que toma el vector en un instante definido.

Se conoce también con el nombre de nivel del vector.

Por ejemplo:

$$\alpha[3] \Big|_{t_0} = [z,y,x] \Big|_{t_0} = [001]_2$$

Por ello se dice que en el instante t_0 la dirección del vector $\alpha(z,y,x)$ es $[001]_2$.

En general esta notación se realiza en el sistema de numeración binario; pero en algunos ambientes de trabajo se suele usar octal ó hexadecimal. Por lo tanto debe aclararse que sistema numérico se está usando en cada caso.

3. **SENTIDO:** Tódo vector digital puede tener dos sentidos, positivo ó negativo.

Para la especificación del sentido existen dos convenios:

- a) Signo y Valor absoluto.
- b) Signo y Complemento.

Nota: Este punto se desarrollará luego más extensamente.

- **Identificador Vectorial:** Se define como el conjunto de todos los Vectores de un Sistema Digital, ó aquellos vectores que se usan para describir el funcionamiento del mismo. En otras palabras, son los vectores que identifican al mencionado sistema digital, *Por ejemplo:* Vector de entrada V_e y vector de salida V_s .

$$\mathbf{IV} \Big| \mathbf{V_e/V_s}$$

Existen por lo tanto dos tipos de vectores:

1. **Vectores independientes:** Son aquellos conformados por variables del sistema, es decir, por elementos digitales que pueden tomar valores arbitrarios; por supuesto dentro de las especificaciones del mismo.
Por ejemplo: Vector de entrada.
2. **Vectores Funcionales:** Son aquellos formados por funciones digitales, es decir por relaciones algebraicas entre variables independientes, de tal manera que sus variaciones dependerán de ellas y del sistema digital.
Por ejemplo: Vector de Salida.

Ejemplo:

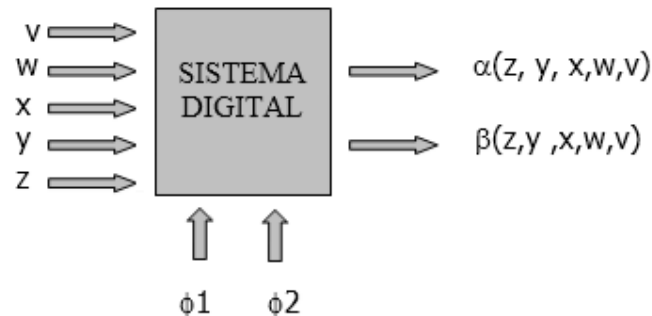


Fig. N° 3: Vectores que identifican un Sistema Digital

Tenemos entonces:

Vector de entrada	$V_e (z, y, x, w, v)$
Vector de salida	$V_s (\alpha, \beta)$
Vector de temporización	$V_\phi (\phi_1, \phi_2)$

Identificador Vectorial: $V_e / V_\phi / V_s$ ó $[z, y, x, w, v] / [\phi_1, \phi_2] / [\beta, \alpha]$

V_e, V_ϕ = Vectores independientes.
 V_s = Vector dependiente ó funcional.

- **Estado de un sistema Digital:** Es el valor numérico que toma el Identificador Vectorial, en un instante t_i . En otras palabras, Estado es el conjunto de direcciones que identifican un Sistema Digital en un instante determinado. Podemos considerar entonces, que si en un instante específico, extraemos una muestra de las direcciones de los principales vectores puestos en juego en un sistema digital, obtenemos el estado ó estatus del mismo.

A cada estado se lo identifica a través de una letra mayúscula con un subíndice, dentro de una circunferencia y externamente el valor específico del Identificador Vectorial; es decir del estado, con los valores numéricos de todos los vectores.

Por ejemplo : Para el Identificador Vectorial $IV \left| \begin{array}{l} V_\alpha / V_\beta / V_\delta \end{array} \right.$ podemos tener el siguiente estado

$E_1 [00110] / [00] / [011]$

Un **estado** cualquiera se produce través del siguiente mecanismo: Primero se establece la dirección de los vectores independientes, y luego en función de las relaciones algebraicas establecidas, se obtendrán direcciones de los vectores funcionales.

Por ejemplo, si tenemos el siguiente Identificador Vectorial:

Identificador Vectorial:

$$IV \left| \begin{array}{l} V_e / V_s \end{array} \right. \quad \text{ó} \quad IV \left| \begin{array}{l} [d,c,b,a] / [\beta,\alpha] \end{array} \right.$$

Con las siguientes relaciones algebraicas:

$$\alpha (d,c,b,a) = c \cdot b + d \cdot a \cdot (c \cdot \bar{a} + \bar{d} \cdot b)$$

$$\beta (d,c,b,a) = \bar{d} \cdot [a + (\bar{c} \cdot \bar{d} + \bar{b} \cdot a) \cdot c \cdot b]$$

y se establece para un estado E_1 la sig. dirección del vector independiente V_e [0011], obteniéndose los vectores funcionales:

$$\alpha (d,c,b,a) = 0$$

$$\beta (d,c,b,a) = 1$$

Entonces la representación de dicho estado E_1 será:

$$\textcircled{E_1} [0011] / [01]$$

- **Transición entre estados:** Por lo enunciado anteriormente, podemos decir que mientras se mantengan las características propias de un estado, en especial su dirección, el sistema digital permanecerá en el mismo. Pero cuando se produzca una modificación de la dirección ó sentido de algún vector (externo ó interno); el sistema evolucionará a un nuevo estado, al cual tendrá su propia identidad, así en el ejemplo anterior, vemos que si varía el vector de entrada a un nuevo valor, las direcciones de los vectores α y β se modificarán para originar un nuevo estado E_2 .

Lo indicado respecto de la transición de estados, se puede apreciar en el siguiente gráfico, llamado también " grafo de transición":



La transición entre estados puede llevarse a cabo a través de dos posibilidades concretas:

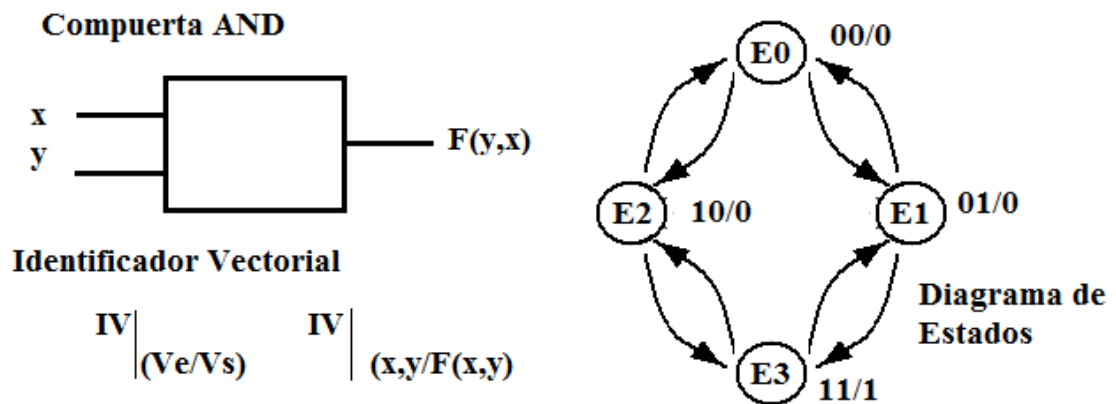
- a) Por el establecimiento de una dirección determinada ó
- b) Por el cambio de dirección en algún vector

Luego, cuando se analice el funcionamiento de un sistema en particular, se considerarán las transiciones necesarias y posibles para que sea factible el mismo; De tal manera que podrá graficarse a través de un diagrama de estados.

Luego de esta serie de definiciones estamos preparados para el análisis y diseño de un sistema digital. Comenzaremos a continuación analizando los lineamientos generales, para luego desarrollar algunos ejemplos.

- **Funcionamiento de un Sistema Digital:** Estableciendo un estado de Reposo o inicial, el funcionamiento de un sistema digital puede establecerse a través de una sucesión finita de estados, también llamado proceso.

Este encadenamiento de estados se grafica a través del "Diagrama de estados": que es un ordenamiento de los estados según se produzca la correspondiente transición:



* No se consideran transiciones NO ADyacentes.

DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES

1 - CONOCIMIENTO DEL SISTEMA:

Esta etapa consiste en el análisis y determinación básica de los objetivos a cumplir por el mismo, ya sea requerido por un tercero ó por nuestra propia necesidad. Los requerimientos de diseño pueden ser presentados de 3 formas diferentes, a saber:

- Requerimientos Verbales.**
- Diagramas Temporales.**
- Ecuaciones Lógicas ó Aritméticas.**

Comenzaremos a analizar cada una de ellas.

a) Requerimientos Verbales:

Es la forma más común de presentar las necesidades de diseño; en especial si se trata de la solicitud realizada por un tercero. Es

decir, el solicitante de un sistema digital, por lo general, establece necesidades y pautas a través del conocimiento empírico del sistema a realizar. En este caso, es menester establecer fehacientemente el **OBJETIVO** del problema a resolver, y si se pretende ó sugiere algún camino de resolución. Comúnmente, dicha información subjetiva, estará complementada por pautas bien definidas y objetivas, establecidas por requerimientos externos del sistema, como ser leyes físicas, químicas, mecánicas, etc., y el ambiente en el cual estará inmerso el mismo.

Para simplificar los pasos sucesivos, conviene realizar una tabla con las tareas a realizar. Esta tabla, llamada **Tabla de Requerimientos y Objetivos (TRO)**, tendrá una fila para cada tarea a realizar, dónde se especificará claramente, Nombre Funcional de la Tarea, Requerimientos a cumplimentar en cada caso y Objetivos de la misma; ya sean parciales ó totales. Dicha tabla será realizada a gusto y proceder del diseñador, pero al menos debe cubrir lo mostrado en el diagrama precedente, de la siguiente forma:

TAREA		OBJETIVO	DESCRIPCIÓN FUNCIONAMIENTO
Nº	NOMBRE FUNCIONAL		
1	Tarea #1	Objetivo #1	Funcionamiento 1
2	Tarea #2	Objetivo #2	Funcionamiento 2
....	Tarea	Objetivo	Funcionamiento
n	Tarea #n	Objetivo #n	Funcionamiento n
....	Tarea	Objetivo	Funcionamiento

Ejemplo: Supongamos que deseamos diseñar un "lavarropas automático", por lo cual la tabla antes citada contendrá aproximadamente:

TAREA		OBJETIVO	DESCRIPCIÓN FUNCIONAMIENTO
Nº	NOMBRE FUNCIONAL		
1	Encendido	Inicio trabajo	Chequeo funcionamiento de los elementos componentes del sistema: hidráulicos, electromecánicos, electrónicos, etc.
2	Estado de reposo	Espera función	Revisión del estado de reposo ó de inoperabilidad: <ul style="list-style-type: none"> • Válvulas cerradas. • Motores detenidos • ¿Nivel de agua en tambor? • ¿Puerta carga cerrada? • etc.,..... etc.
3	Determinación Programa	Forma Lavado	Programación específica
4	Etc., etc.

Continúa con el análisis y descripción del sistema

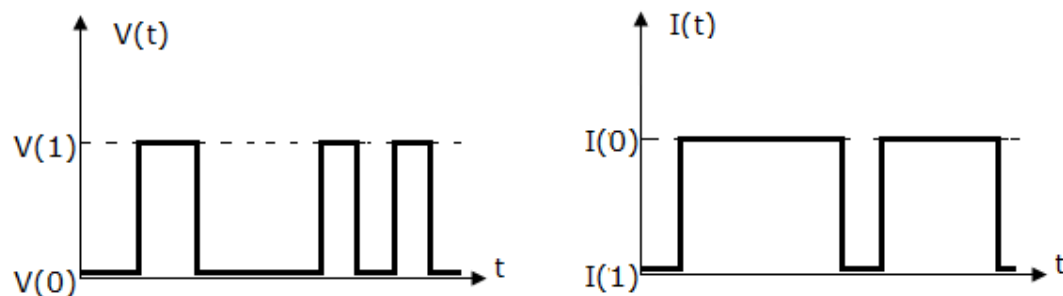
De esta manera se busca implementar las pautas básicas de funcionamiento, esto originará un desarrollo claro y objetivo del sistema digital a diseñar. Mientras mejor se defina y desarrolle este proceso, más completo será el mismo. También es necesario recordar que en este análisis siempre faltarán algunas especificaciones, otras se fusionarán ó modificarán convenientemente y algunas deberán ser desechadas; pero lo importante es obtener un punto de partida lo más organizado y completo posible. De lo mencionado, se debe sacar en claro que es necesario estar atentos y proclives a realizar las modificaciones adecuadas.

b) Diagramas Temporales:

Un diagrama temporal, es la representación gráfica de una función respecto del tiempo. Y en caso de plantearse varias variables, se realiza el diagrama sincronizado a partir del tiempo inicial t_0 . Por lo general, se trata de la representación de algún parámetro físico. En nuestro caso, ese parámetro es por lo general de índole eléctrico, así por ejemplo:

$$\text{Tensión } V = V(t); \quad \text{Corriente } I = f(t); \quad \text{Potencia } P = f(t)$$

Este parámetro se representa en un sistema de ejes coordenados, cuya ordenada sea dicha función y la absisa el eje temporal:

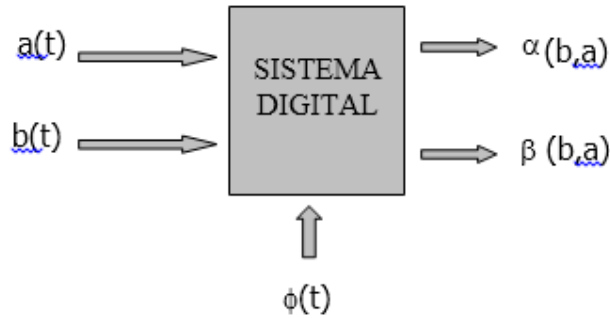


Por lo tanto, para el diseño de sistemas digitales, éste es un proceso donde se conoce fehacientemente el diagrama de tiempo del sistema que se pretende diseñar. Es decir, la variación digital en el tiempo del identificador vectorial. Este es un caso común para el diseño de partes circuitales, donde se tiene un acabado conocimiento de la forma de onda del sistema que se desea diseñar, y su relación con las de otros circuitos ó subsistemas asociados.

Como ocurre en la mayoría de los casos; cuando tales vectores son muchos, se agrupan los gráficos en forma vertical, haciendo coincidir el origen del sistema de coordenadas y tratando de usar en todos la misma escala. De tal manera que se pueda realizar una evaluación comparativa del Identificador Vectorial en su conjunto. Es decir una comparación de los distintos vectores desarrollados en el tiempo.

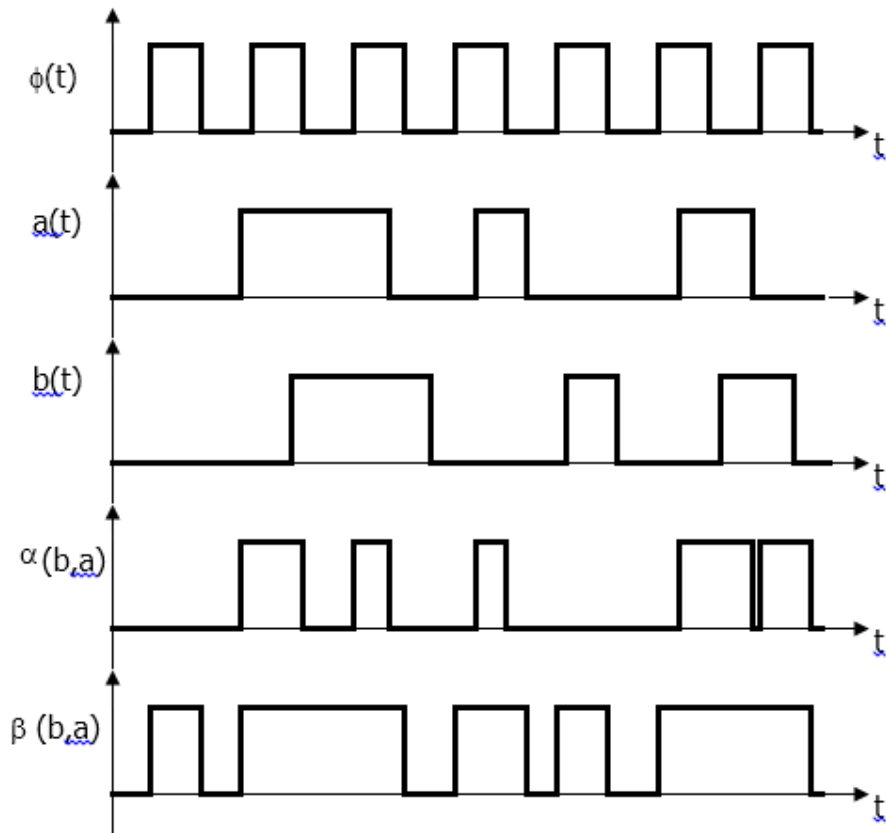
Ejemplo:

Si tenemos el siguiente Sistema Digital:



Vemos que tiene dos vectores entrada V_e , V_ϕ y un vector de salida V_s
 Por lo tanto el Identificador Vectorial IV es:

Y el Diagrama temporal es: $IV \left| \begin{matrix} V_e/V_\phi/V_s \\ a,b/\phi/\alpha,\beta \end{matrix} \right.$



De esta forma tenemos representada toda la información, con la que excitamos al sistema digital y la que deseamos obtener, con el objetivo de lograr un diseño acorde a las necesidades.

c) Ecuaciones Lógicas ó Aritméticas:

En el comienzo del diseño se presentan las expresiones algebraicas con las que hay que cumplir. Estas pueden ser lógicas, aritméticas ó de cualquier otro tipo. Por ejemplo, podemos establecer el diseño de un sistema que cumpla con las siguientes funciones lógicas:

$$\alpha(x,y,z) = \overline{x \cdot y} + \overline{x} + z \cdot y$$

$$\beta(x,y,z) = \overline{x \cdot z} + [x \cdot y + z \cdot x (\overline{x \cdot y} + \overline{x \cdot z}) + \overline{x \cdot y}]$$

De ésta manera partimos conociendo exactamente los vectores puestos en juego y el identificador vectorial, con lo cual el diseño es muy sencillo. Evidentemente es la forma más sencilla y precisa de especificar las necesidades a cumplimentar por un sistema digital. Por supuesto que además de las ecuaciones, se pueden especificar algún tipo de restricciones o necesidades especiales para los vectores con los que se trabajará.

2-DETERMINACION DE VARIABLES Y VECTORES:

Podemos dividir este punto en dos tipos de determinaciones a realizar:

- a) Definición de variables, Vectores e Identificador Vectorial.
- b) Características lógicas, funcionales y tecnológicas de los vectores.

a) Definición: - *Variables, Vectores, Identificador Vectorial* -

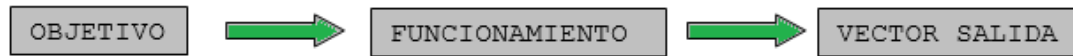
Establecidas las necesidades de diseño de un sistema digital, pueden ocurrir con los datos dos cosas:

1) Datos perfectamente definidos: En éste caso se cuenta para el diseño con el conocimiento lógico y tecnológico de las variables, vectores e identificador vectorial. Esto ocurre por lo general cuando los requerimientos de diseño se presentan en forma de diagramas temporales ó ecuaciones lógicas.

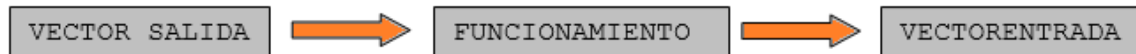
2) Datos parcialmente definidos ó indefinidos: Ocurre cuando los requerimientos son verbales, y por lo general no existe una definición explícita de las variables, y por ende de los vectores del sistema.

Por lo tanto, es necesario analizar con detenimiento las pautas indicadas con el objeto de despejar las variables y funciones que se pondrán en juego en el proceso de diseño. En líneas generales, los requerimientos verbales piden el cumplimiento

de ciertas pautas funcionales para obtener los resultados buscados (Funciones, Vector de Salida). Así el diseñador debe retrotraer su atención para determinar exactamente cuales son las variables, es decir el vector de entrada necesario para cumplir con tales objetivos.



Y luego el proceso inverso: .



El siguiente gráfico indica como es el procedimiento:

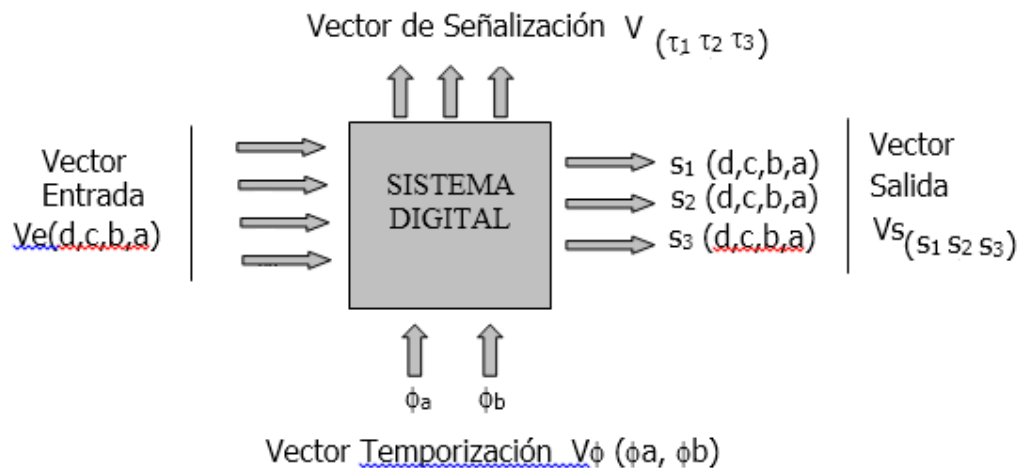
A veces, es necesario realizar varios intentos hasta determinar claramente cuales son estos parámetros. Inclusive, en algunas oportunidades, es necesario analizar el proceso buscando nuevos detalles de funcionamiento del sistema. Así, de este modo, ampliar el conocimiento integral del problema y redefinir, si es necesario, los vectores del sistema. Inclusive, hasta podemos encontrar la posibilidad de establecer algún nuevo vector, como: temporización, estado interno, señalización, etc. Una vez determinado los vectores, es decir el identificador vectorial del sistema, es conveniente trazar un diagrama en blocks con ellos:

Por ejemplo: A partir de un problema determinado identificamos los sig. vectores.

- Ve:** Vector de Entrada cuyas variables son d,c,b,a => $V_e(d,c,b,a)$
- Vφ:** Vector de Temporización cuyas variables son φa,φb => $V_\phi(\phi_a, \phi_b)$
- Vτ:** Vector de Señalización cuyas variables son c1, c2, c3 => $V_\tau(\tau_1, \tau_2, \tau_3)$
- Vs:** Vector de Salida cuyas variables son s1, s2, s3 => $V_s(s_1,s_2,s_3)$

De lo enunciado tenemos:

Identificador Vectorial: $V_e / V_\phi / V_\tau / V_s$



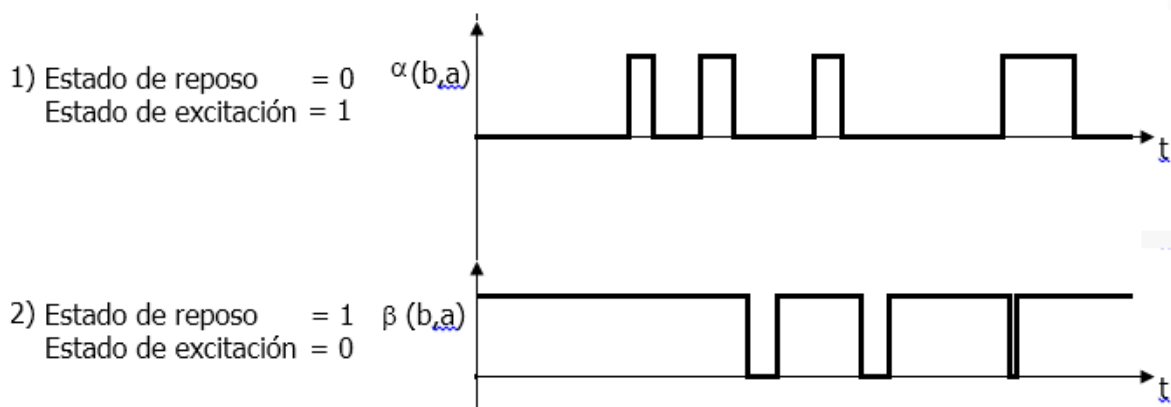
De esta manera tenemos perfectamente definidos digitalmente los vectores que forman parte del sistema. Luego se deberá establecer la funcionalidad lógica del sistema.

b) Característica de los vectores: - Lógica, Funcional, Tecnológica -

Una vez definidos los vectores, es necesario conocer el estado lógico, tecnológico y funcional de los mismos. Para realizar este análisis debemos indicar que toda variable digital tiene dos (2) estados perfectamente diferenciados, de los cuales tenemos:

- **Estado de Reposo:** Es aquel en el que se encuentra la variable cuando el sistema está desactivado, ó en el cual permanece la mayor parte del tiempo.
- **Estado de excitación:** Es el estado al cual pasan las variables cuando se activan.

En ambos casos pueden ser cero (0) ó uno (1), por ejemplo:



Por lo general, el tipo de excitación está determinado por parámetros externos.

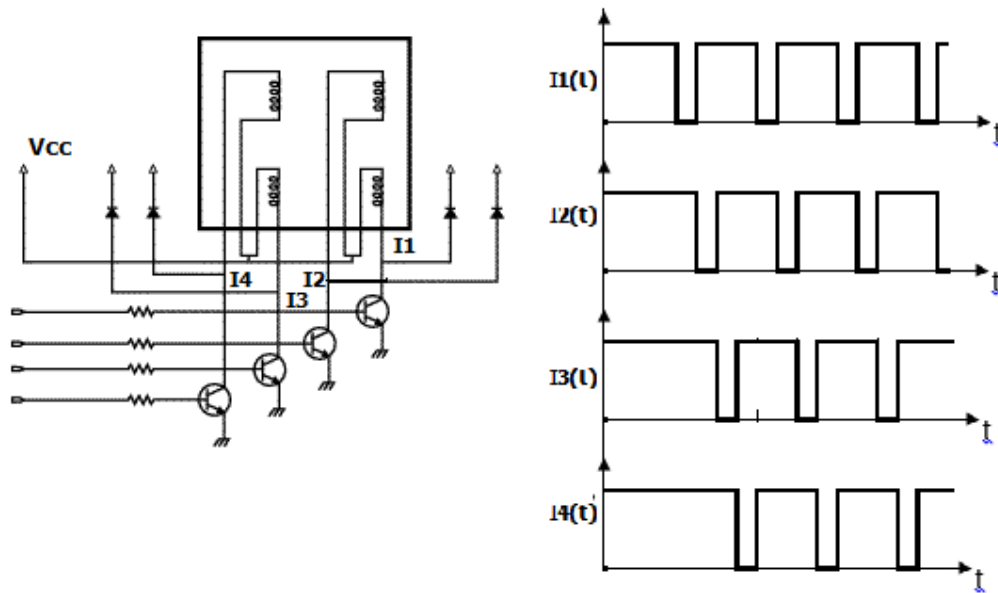
Lo podemos verificar en el siguiente *ejemplo, de acuerdo al vector de que se trate.*

a) Vector de Salida: Depende del elemento a excitar, y en cada caso, de su estado de reposo natural; que por supuesto normalmente es función de algún otro parámetro, por ejemplo:

- **Elemento a Excitar:** Motor Paso a Paso.
- **Conexión:** Tres bobinados con un punto común conectado a Vcc y el otro extremo de cada bobina es excitado adecuadamente.
- **Excitación:** Circulación de corriente, lo cual se logra colocando a masa, ó sea a 0 Volt el extremo de fase de cada bobina.

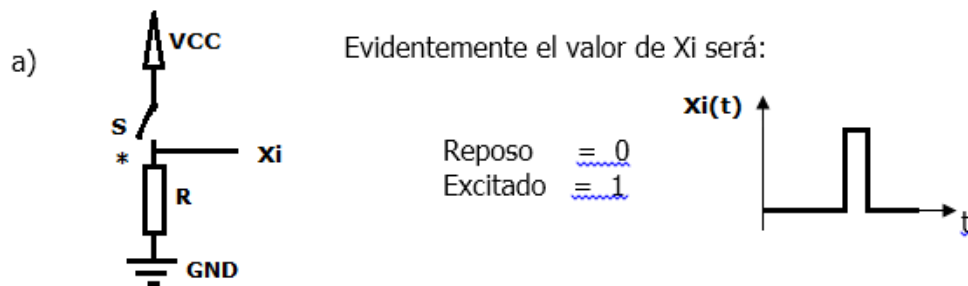
Es decir, que el estado de reposo corresponde a no circulación de corriente, para ello es necesario mantener en valor alto (1) el extremo de dicho bobinado

y luego para excitarlo se debe bajar a cero (0) con el objeto de lograr circulación de corriente.

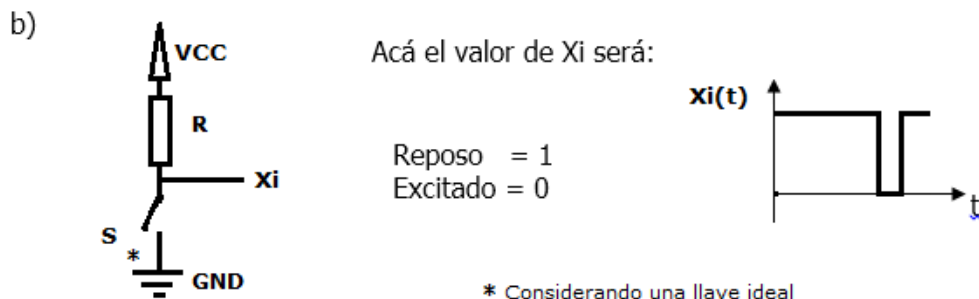


b) Vector de Entrada: Con la excitación externa de un sistema digital ocurre lo mismo que para el caso anterior, todo depende del dispositivo y conexasión a partir del cual se obtendrá la señal digital. Así tendremos casos en que el estado de reposo es cero (0) y en aquellos que es uno(1).

Por ejemplo: supongamos un sensor determinado que por detalles funcionales tenga el siguiente conexasión (en el gráfico se está simulando con una llave).



O el caso contrario:

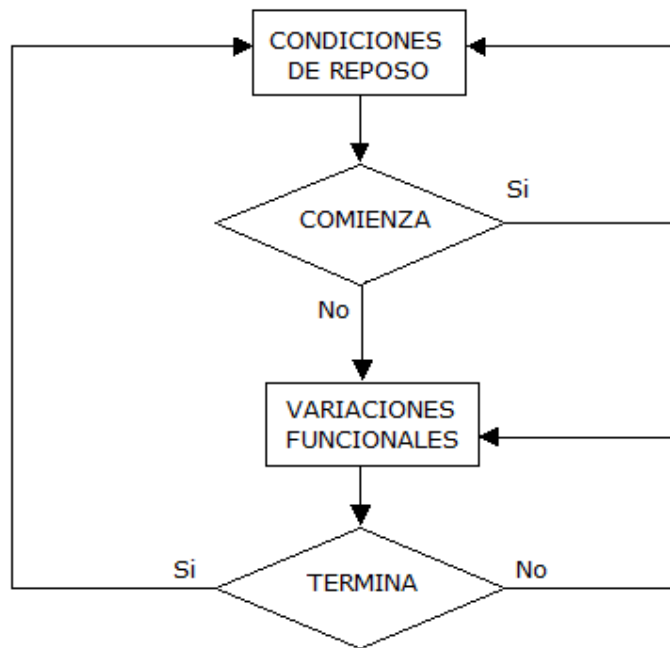


Conviene que todas las variables o funciones que conforman un vector estén definidas de igual forma.

3-ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO:

Esta es la etapa más importante del desarrollo de nuestro proyecto, pues es aquí dónde se determina el funcionamiento lógico del futuro sistema digital. Cualquier error de conocimiento y/o análisis funcional cometido en este paso, será insalvable por etapas técnicas posteriores; y requerirá de un rediseño del mismo.

Se puede comenzar realizando un diagrama de flujo, dónde se muestren las necesidades funcionales normales del sistema. Llamamos normales a los detalles enunciados y analizados en las etapas anteriores. Existiendo, luego la posibilidad de realizar las innovaciones adecuadas. Se lo conoce como Diagrama de Flujo de Funcionamiento, en el cual además se deberán considerar los flujos anormales, señalización, errores, etc.; y cuyos lineamientos generales se establecen en el siguiente diagrama:



Una vez conocido el flujo funcional del sistema; que establece los lineamientos elementales y externos del mismo, se realizará un análisis más cercano al circuito digital propiamente dicho; lo cual se ejecuta a través de un diagrama que va analizando estado a estado. Este deberá cumplimentarse para lograr los objetivos buscados. Esto se realiza a través del llamado *Diagrama Funcional de Estados*, ó simplemente *Diagrama de estados*, cuya realización y características analizaremos a continuación.

Diagrama Funcional de Estados:

Este Diagrama se caracteriza por un análisis detallado de las variaciones numéricas del Identificador Vectorial; es decir de la consideración de los diferentes estados por los que transitará sucesivamente el sistema digital buscado.

Método para realizarlo:

Como primera medida se deben realizar y considerar:

- Diagrama de flujo de funcionamiento.
- Tabla de Requerimientos y Objetivos.
- Diagramas de Tiempo y/o ecuaciones lógico-aritméticas.
- Características lógicas y tecnológicas de los vectores establecidos.

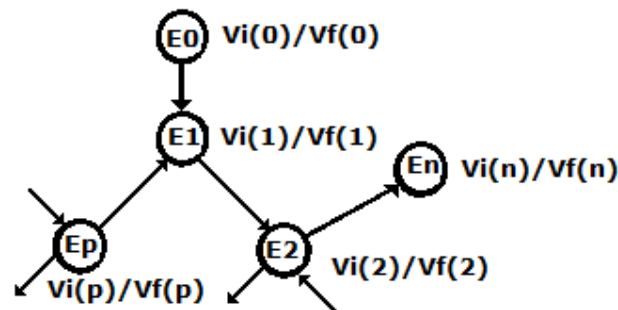
Luego:

1. Se traza un diagrama, dónde se van produciendo las variaciones adecuadas de los vectores independientes.
2. A partir del paso anterior se obtienen los resultados específicos en los vectores funcionales.

El procedimiento indicado se efectúa paso a paso, de acuerdo a los requerimientos funcionales del sistema en desarrollo. Se parte de un estado de reposo, lo cual fija valores para el identificador vectorial propios del mismo. A partir de allí, se realiza el diagrama para el flujo normal y requerido de nuestro sistema. Se establecen en primer lugar las transiciones a nuevos estados por variación del ó los vectores independientes, y determinando lo que se espera ó necesita de los vectores funcionales, como se aprecia a continuación:

Supongamos tener un **I**dentificador **V**ectorial [V_i / V_f]. Con Vectores independientes $V_i(n)$ y vectores funcionales $V_f(n)$.

1. Al estado de reposo inicial le llamaremos E_0 , con $[V_i(0)/V_f(0)]$.
2. Si cambiamos el vector independiente a $V_i(1)$, obtendremos $V_f(1)$; de acuerdo a las pautas funcionales establecidas.
3. Así variando sucesivamente V_i obtendremos los correspondientes V_f , y de esta forma se logra establecer un diagrama que representa detalladamente el funcionamiento del Sistema Digital en proyecto; como puede observarse en la siguiente figura, recordando que siempre será finito y totalmente definido:



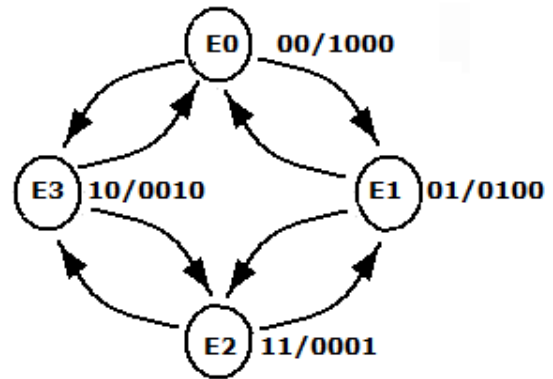
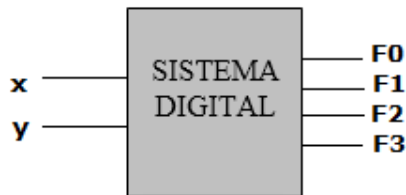
Observando la figura anterior, se puede inferir que habrá dos tipos de Diagramas de Funcionamiento, bien diferenciados:

1. **Diagramas Determinado:** Son aquellos en los cuales cada estado queda unívocamente determinado por el valor de las direcciones de los vectores que componen el identificador vectorial, es decir que no se repiten estados para los vectores independientes. Es decir a cada combinación de los vectores independientes corresponde una única combinación de los vectores funcionales.
2. **Diagramas Indeterminado:** Son aquellos para los cuales cada estado no solo depende del valor de las direcciones específicas, sino también de la secuencia que ha seguido el sistema, es decir que debe tener memoria o recordar el camino transitado para saber lo que debe hacer.

Recordemos cuando presentamos los posibles sistemas digitales:

A₁) Identificador Vectorial [Ve/Vs]

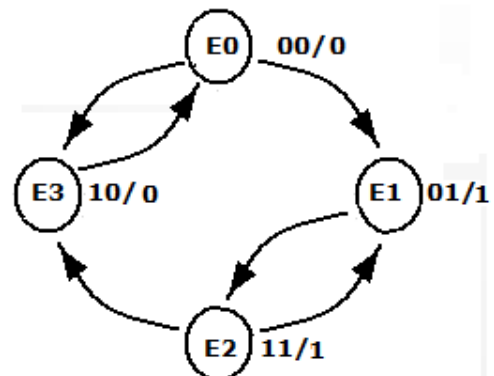
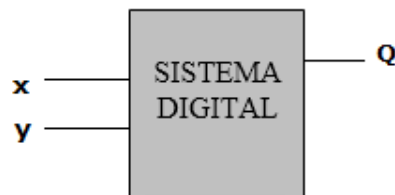
Ve = Vector de Entrada [y,x]
 Vs = Vector de Salida [F₀, F₁, F₂, F₃]



Vemos que para cada vector de entrada existe un único estado, por ello si especificamos una dirección para Ve, tal como [0,0], tenemos definido el estado E₀, con Vs [0001] y no existe posibilidad de discrepancia.

A₂) Identificador Vectorial [Ve/Vs]

Ve = Vector de Entrada [y,x]
 Vs = Vector de Salida [Q]



Sin embargo en este sistema, todos los vectores de entradas no definen un único estado, sino que existen casos como para Ve [0,0] en los cuales no se puede saber si nos encontramos en el estado E₀ [00 / 0] ó en E₂ [00/1], sino damos alguna información extra, como ser cual fue el estado anterior y cual puede ser el posterior; es decir, hablamos de la historia del sistema.

Por lo enunciado en los párrafos anteriores, estas diferencias fundamentales en el funcionamiento, origina dos grandes tipos de Sistemas Digitales:

1) Sistemas Digitales Combinacionales: Son aquellos sistemas digitales dónde las funciones de salida quedan perfectamente definidas por la combinación de las variables de entrada; ó dicho en forma más general, dada la dirección de los vectores independientes se explicita un único estado en el diagrama de funcionamiento. De esta manera la posible cantidad de estados es finita, pues tendremos como máximo 2^n , dónde n son las variables independientes. Mostrado en el primer ejemplo anterior.

2) Sistemas Digitales Secuenciales: Son aquellos sistemas dónde cada estado no queda definido solamente por el valor de los vectores, sino que además depende de la secuencia que ha seguido el funcionamiento del mismo; tal como lo muestra el segundo ejemplo mostrado anteriormente.

Es decir, teniendo un identificador vectorial determinado, habrá algunos casos en los cuales la definición de los vectores independientes no será condición suficiente para determinar específicamente en que estado se encuentra el sistema, sino que será necesario definir un nuevo vector para obtener esta posible identificación. Por supuesto, que los dos tipos de sistemas indicados, tienen caminos de diseño totalmente diferentes; es por esto, que a partir de aquí el proceso técnico de desarrollo se divide en dos ramas. Si a través del Diagrama de Estados no queda muy claro de que tipo de sistema estamos diseñando; se puede realizar una Tabla de Funcionamiento provisoria para esclarecer la identidad funcional del mismo, la cual se realiza de la siguiente forma:

Tabla de Funcionamiento: Se realiza una tabla con tres columnas:

- 1º Columna: Vectores Independientes.
- 2º Columna: Vectores Funcionales.
- 3º Columna: Estados de funcionamiento.

Por supuesto, que cada columna tendrá las subdivisiones necesarias para colocar los diferentes vectores, y dentro de ellos las variables que lo conforman. Luego se van colocando las direcciones de los vectores independientes, con los valores de las funciones que le corresponden, y junto a ellos el estado al cual está asignado. Es decir, se transcribe en una tabla, el diagrama de estados realizado anteriormente, pero en sentido inverso; tal cual se observa en el siguiente esquema. Posteriormente lo aplicaremos a los ejemplos anteriores.

Construcción de la tabla de funcionamiento:

	Vectores Independientes	Vectores Funcionales	Estados E_i
→	Dirección ---->	Dirección --->	E_n
→	Dirección ---->	Dirección --->	E_{n+1}
→	Dirección ---->	Dirección --->	E_n
	etc.	etc.	

Realizemos la tabla de funcionamiento de los ejemplos vistos:

Ejemplo A1

Vector de Entrada	Vector de Salida	Estados
y x	F0 F1 F2 F3	Ei
0 0	1 0 0 0	E0
0 1	0 1 0 0	E1
1 0	0 0 1 0	E2
1 1	0 0 0 1	E3

Como vemos en la tabla anterior, para el caso de Sistemas Digitales Combinacionales la tabla queda perfectamente explicitada; es decir, para cada Vector independiente existe un único vector de salida y por ende un solo estado.

Ejemplo A2

Vector de Entrada	Vector de Salida	Estados
y x	Q	Ei
0 0	¿?	E0 ó E2
0 1	1	E1
1 0	0	E3
1 1	---	---

Vemos que la tabla de un Sistema Digital Secuencial no se puede completar como en el caso anterior, pues los estados no quedan perfectamente definidos en una línea. Es decir, la dirección de los vectores no identifican unívocamente cada estado y por lo tanto este tipo de construcción es irrealizable. Sin embargo nos sirve para tomar el camino apropiado de su diseño. De acuerdo a lo visto, ya tenemos perfectamente diferenciados los dos grandes tipos de sistemas digitales y por lo tanto analizaremos la forma de diseñar cada uno de ellos.

En primer lugar veremos el diseño de los sistemas combinacionales, hasta el punto que la realización se hace común a ambos desarrollos, para luego seguir con la descripción y análisis de las etapas de diseño de un sistema secuencial. Terminando, como se mencionó oportunamente, con la implementación lógico-circuital, que es idéntica para ambos tipos de sistemas.

Las etapas sucesivas a realizar en el diseño de un sistema digital; sea éste Combinacional ó Secuencial están indicadas en la hoja siguiente a través de un diagrama resumido, que muestra todos los pasos que estamos desarrollando.

