

1954

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

DATOS DIGITALES
PROCESAMIENTO CODIFICACION Y
TRANSMISION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTA EL SR.

CESAR HERNANDEZ AGUILAR

MEXICO , D. F.

1973.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

.... A MI PADRE

R E C O N O C I M I E N T O .

DESEO DAR LAS GRACIAS AL ING.
DAVID WOLF MEHL BLUM POR SUS
CONSTRUCTIVAS CRITICAS DURANTE
LA PREPARACION DE ESTE TRABAJO.

C O N T E N I D O

CAP.		PAG.
	I N T R O D U C C I O N .	1
I	LOS FUNDAMENTOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS.	1
	Información, datos, estructura de los datos. Que es una computadora. Características típicas de una computadora. Idea general del funcionamiento de una -- computadora. Codificación binaria de la información, los sistemas binario y hexadecimal. Representación de la información. Computadoras en paralelo y en serie. Comunicación hombre-máquina. La manera de trabajar de una computadora. De la instrucción a la señal de control.	
II	INTRODUCCION A LA TECNICA DE LA TRANSMISION DE DATOS DIGITALES.	28
	Introducción. Bits, bauds y ancho de banda. Modulación (de frecuencia y de fase). Deficiencias de los canales (perturbación de las señales). Sistemas de prueba para transmisión de datos. Conclusiones.	
III	INFORMACION DIGITAL, IMPLEMENTACION POR MEDIO DE SEÑALES ELECTRICAS.	64
	Informacion básica de las formas de onda. Señales -	

de onda portadora modulada. Pulsos modulados.

IV CARACTERISTICAS DE LOS CANALES DE TELECOMUNICACION. 72

Bits, bauds. Capacidad del canal. Codificación. ---
Pruebas requeridas de operación para un canal. Per-
turbación de las señales. Respuesta de atenuación -
en función de la frecuencia. Distorsión de retardo.

V SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRANSMISION DE DATOS. 95

Información general sobre la transmisión de datos.-
Principio del sistema. Economización de la anchura-
de banda mediante formación de pulsos. Modulación -
en el lado de transmisión. Demodulación. Regenera---
ción en el lado de recepción. Regeneración de la se-
ñal de C.C. Aplicación del sistema. Sistema con co-
dificación diferencial. Sistema con código de arran-
que. Construcción mecánica del sistema. Construc --
ción del equipo. Construcción de bandejas y bastido-
res. Datos técnicos. Pruebas del sistema. Detección
de errores. Probabilidad de errores. Verificación -
de paridad. Corrección de errores. Tres disposicio-
nes de un código formado por 8 símbolos de 3 dígitos
cada uno.

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

Esta tesis está inspirada por el propósito de poner un nuevo recurso al alcance de los estudiantes del area de comunicaciones de nuestra Facultad de Ingenieria. Existen, desde luego, medios de tal haturaleza, pero por circunstancias especiales, los conocimientos estaban circunscritos a grupos pequeños altamente especializados.

El tema fundamental se inclina al análisis de "un sistema de transmisión de datos digitales", moderno análisis que nos ha conducido a elaborar una referencia que aspira a traducirse en algo de utilidad práctica.

Durante los últimos años el desarrollo tecnico ha estado encaminado a satisfacer la demanda siempre creciente para la transmisión de grandes cantidades de datos entre centros separados geograficamente.

Especialmente los sistemas militares de defensa tienen urgente necesidad de equipos de transmisión de datos que permitan trabajar a mayores velocidades. El resultado de esto ha sido la construcción de un sistema de transmisión de datos con desplazamiento de fase que permite la transmisión de cifras binarias por circuitos telefonicos a una velocidad de hasta 1500 bauds, y que esta descrito en nuestro Capitulo V.

La información que ha de transmitirse se encuentra almacenada por regla general en el lado de emisión en una memoria, por -- ejemplo en forma de orificios de una cinta o tarjeta perforada, -

en forma de magnetizaciones de una cinta magnética o de una memoria de núcleos de ferrita, o como cierres de contactos de un con-- tador mecánico. Nuestro capítulo I nos proporciona las bases del procesamiento electrónico necesario para el manejo de la citada -- información. En el lado de la recepción la información recibida -- debe colocarse de nuevo en una memoria para su ulterior elabora-- ción en el proceso de manejo de datos que analizaremos.

La transmisión de datos a través de redes telefónicas --asi -- como de redes propias-- y la complejidad de los sistemas están cre-- ciendo rápidamente en la medida que los usuarios las dirigen para la transferencia confiable de grandes cantidades de información.

Este trabajo bosqueja brevemente algunas de las característi-- cas de los sistemas de transmisión de datos corrientemente usados, especialmente en consideración de las diferentes técnicas de modu-- lación y demodulación posibles.

Por supuesto no todas las técnicas han sido discutidas, por-- lo cual se mencionarán en la bibliografía algunas referencias que tratan la información directamente requerida. No se mencionan al-- gunos apuntes tomados en las clases de comunicaciones, teoría de-- la información y computadoras durante nuestra estancia en la Fa-- cultad de Ingeniería, ni se incluyen referencias de CONCLUSIONES, puesto que el diálogo constante proporciona las soluciones a los-- problemas básicos registrados en este desarrollo.

Esta exposición pretende ser útil para los interesados en la búsqueda de elementos en el campo de la comunicación digital, -- pero en términos generales ofrece una noción de lo que se encuen-- tra disponible en el campo de la transmisión de datos digitales.

CESAR HERNANDEZ AGUILAR.

C A P I T U L O I

LOS FUNDAMENTOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS

1.- Información, Datos, Estructura de los datos.

Una información es una comunicación, un mensaje a alguien --- acerca de algo. Un ejemplo de esto es: Una carta, un reporte meteo rológico, o un número de abonado.

No es frecuente que una transmisión de información se efectúe solamente en un sentido desde un transmisor en una estación A hasta un receptor B. Casi siempre ocurre que la transmisión vaya también en el otro sentido, por lo menos en forma de una señal aislada para confirmación de la señal recibida.

Generalmente una transmisión se efectúa utilizando un código que consiste en símbolos señales o sonidos inteligibles para ambas partes. Un ejemplo sencillo de esto es el caso de una comunicación telefónica, la cual normalmente se efectúa en el mismo idioma. La figura 1 muestra en caso de transmisión. En ella se ven el transmisor A y el receptor B unidos por un canal que representa una línea o cualquier órgano que permite la transmisión de la información entre A y B. En la misma figura 1 se muestra un símbolo gráfico de un almacén cuyo objeto se explicará más adelante.

Habiendo mencionado lo anterior podemos ahora señalar los términos correspondientes a la transmisión digital. Dicha transmisión se efectúa mediante un código digital (que es una manera de expresar números mediante estados eléctricos discretos), y se controla utilizando en cada terminal una computadora para el tratamiento de la información denominado procesamiento automático.

El código digital es uno de los medios más sencillos para expresar conceptos como si, verdadero, encendido o marca, con 1 y -- no, falso, apagado o espacio, con 0.

Cuando la información consiste de un número grande de conceptos de clase similar y también una información tal que la computadora pueda usar (por ejemplo valores de voltajes codificados en -- forma digital), se le conoce generalmente con el nombre de datos.

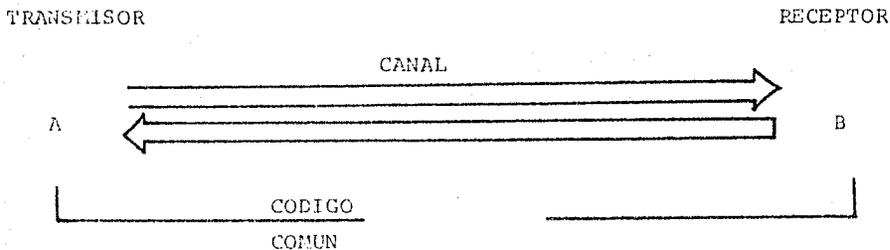


FIG.1

De acuerdo con la ISO (Organización Internacional para la Unificación de tipos (estandarización)), "Datos" (DATA) es definido - como una "Representación de hechos o ideas en una manera formalizada capaz de ser comunicada o manipulada por algún proceso", la palabra data es en realidad el plural de la palabra latina datum cuyo significado es algo dado.

Se usan disposiciones estandarizadas para obtener un bien orden de los datos. La estructura de la figura 2 nos muestra los símbolos A, B, C y D representando números digitales correspondientes a conceptos tales como los siguientes: "A" puede ser, por ejemplo, - una marca de fábrica, "B" una designación de tipo, "C" un número - de chasis, etc.; la estructura de datos para un cierto tipo de información no puede ser cambiada, pero si los datos almacenados en ella.

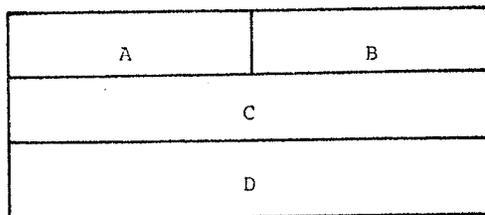


FIG.2

2.- QUE ES UNA COMPUTADORA.

Las computadoras electrónicas, llamadas también calculadoras o cerebros electrónicos, tuvieron su origen como una necesidad de caracter militar y fueron inicialmente desarrolladas en laborato---

rios de universidades. Actualmente hay muchas compañías que se dedican a la fabricación de ellas y cada una de esas compañías tiene una gran variedad de modelos, los cuales cubren una amplia gama de aplicaciones, sin embargo, todas dedican gran parte de su presupuesto a la investigación, con el fin de hacerlas cada vez más flexibles y más capaces de resolver cualquier tipo de problemas imaginables y con la mayor rapidez posible.

Como una división automática de las computadoras surge de inmediato la siguiente: Analógicas y Digitales.

En ambas clases hay una variedad enorme, desde computadoras de notable sencillez hasta la más grande y complicada. Por ejemplo, entre las analógicas encontramos a la regla de cálculo como prototipo de computadora sencilla. En este capítulo no trataremos sino de las computadoras digitales.

Las computadoras son usadas en una forma u otra en la mayoría de los negocios de la sociedad moderna. Procesos complicados de producción son controlados por computadoras. Las ventas y los cambios, usan las computadoras para el tratamiento de pronósticos y resultados. Las administraciones públicas, los bancos y las compañías de seguros usan las computadoras para contar las atribuciones y para el tratamiento de material estadístico. La reservación de boletos, que es difícil de controlar, en las grandes compañías aéreas se realiza con la ayuda de las computadoras. Complicados sistemas de defensa tienen como mecanismo central una unidad de procesamiento de datos. Gracias a su capacidad de hacer grandes cálculos con gran precisión, las computadoras han hecho posible el realizar viajes espaciales. En los últimos días se ha tratado también traducir idiomas y efectuar diagnósticos médicos con computadoras. En algunos casos las computadoras han reemplazado completamente al hombre, mientras que en otros casos sólo constituyen una ayuda para resolver los problemas más rápida y exactamente.

En el control de un proceso (ejemp: un tratamiento químico ó producción de un detalle) con computadora, los datos deben ser procesados en TIEMPO REAL. El procesamiento de tiempo real significa que las ocurrencias deben ser procesadas en el mismo orden en que tuvieron lugar, y los resultados deben ser empleados de inmediato.

Una central telefónica trabaja en tiempo real, es decir, las-

señales que llegan a la central como una llamada: información de dígitos, alarmas, etc. deben ser recibidas y procesadas sin retraso. Si por ejemplo, la recepción de dígitos no se lleva a cabo en la central llamada durante el tiempo de la señalización de dígitos desde la central que llama, esta información se perderá por lo tanto, la central llamada no podrá hacer la conexión deseada. Esto significa que la computadora que controla una central telefónica debe trabajar en tiempo real. El establecimiento de una conexión telefónica entre dos personas es un proceso.

Si se compara una computadora AD (Procesamiento de datos Administrativos) con una computadora para control de una central telefónica, se encuentra que requerimientos considerablemente más grandes deben ser hechos en la última para llenar la condición de tiempo real. Si una computadora AD es puesta a trabajar para calcular los fondos de la cuenta bancaria del Sr. Total a las 9 de la mañana o a las 3 de la tarde, no es gran importancia, el resultado no se verá influenciado; ahora bien, si suponemos que el Sr. Hernández usa su aparato telefónico a las 9 de la mañana para llamar al Sr. Total la computadora de la central telefónica debe inevitable e inmediatamente, sentir y registrar que el Sr. Hernández quiere usar la central telefónica para ponerse en contacto con su amigo, el Sr. Total.

Características típicas de una computadora.

- 1.- La computadora es un instrumento electrónico para el procesamiento automático de datos.
- 2.- La computadora efectúa largas series de operaciones de acuerdo con un programa que ha sido hecho de antemano.
- 3.- De acuerdo con los resultados previamente obtenidos la computadora puede escoger entre diferentes trayectorias en el programa, es decir, puede tomar decisiones.
- 4.- Algunas computadoras pueden también tratar sus propios programas, es decir, modificar sus propias formas de trabajo.
- 5.- La computadora trabaja con una velocidad de millones de operaciones por segundo.

La característica relacionada con los números tres y cuatro,-

ha sido la base de especulaciones en ciencia ficción en donde los robots y computadoras pueden tomar decisiones que conducen a incidentes imposibles de controlar, actualmente no hay razón para temer tal desarrollo.

La computadora es muy rápida y si se compara con el cerebro humano, la computadora es considerablemente superior en lo que se refiere a rapidez. La rapidez de la computadora es aproximadamente 10 000 veces más grande que la del cerebro humano. Hasta cierto punto, el hombre es compensado por el hecho que el cerebro tiene una mayor densidad de almacenamiento en sus componentes, esta es de aproximadamente 10^6 veces mayor en el cerebro. Finalmente mencionaremos que es principalmente su rapidez lo que ha dado a las computadoras su gran importancia.

3.- IDEA GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA COMPUTADORA.

Para las labores mencionadas anteriormente se requiere que la computadora tenga un dispositivo de almacenamiento, memoria en parte para almacenamiento temporal de datos, y en parte para almacenamiento de largo tiempo. Las operaciones aritméticas son realizadas por una unidad aritmética que consiste en circuitos y registros. La información es alimentada vía un dispositivo de entrada y el resultado calculado es obtenido vía un dispositivo de salida. Una unidad de control controla las operaciones que la computadora realiza. Un diagrama de bloques es mostrado en la fig.3, aparte de estas unidades, también son necesarias una unidad "fuente de poder" y una consola para arranque y supervisión del funcionamiento, así como, localización de errores.

Cuando una labor va a ser tratada por la computadora, primeramente un programador hace un programa para la solución del problema. El programa consiste de una serie de ordenes e instrucciones que la computadora debe seguir. La computadora no puede hacer nada sin instrucciones. Evidentemente no es más inteligente que su programador. El programa está escrito en un código que la computadora puede interpretar. Posteriormente, el programador debe controlar que la computadora efectúe las operaciones correctamente y en el orden requerido.

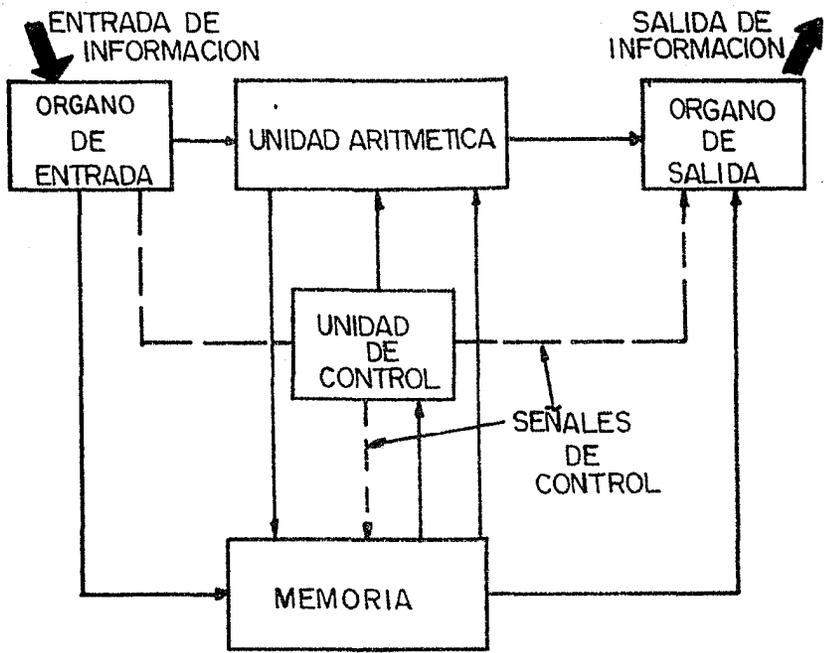


FIG. 3

El programa escrito es alimentado a la memoria de la computadora a través de los dispositivos de entrada. La alimentación de los datos que van a ser tratados se lleva a cabo en la misma forma.

Cuando el tratamiento de los datos principia, las instrucciones que son alimentadas a la memoria producen señales de control de la unidad de control hacia la unidad aritmética y la memoria. De este modo las operaciones son realizadas en la forma que el programa indica. El resultado es almacenado en la memoria para ser entregado vía el dispositivo de salida al final del tratamiento o cualquier otro momento favorable. Los resultados pueden, por ejemplo, ser obtenidos escritos a máquina o registrados en una cinta magnética.

EN SUMA:

LA UNIDAD DE ENTRADA proporciona los medio de comunicación entre el proceso y la computadora. Acepta señales de entrada del equipo periférico y las envía a la memoria en donde se almacenan para utilizarse en el procedimiento de resolución de problemas.

LA UNIDAD DE MEMORIA almacena toda la información pertinente-
producida por el proceso y los programas que la computadora debe -
seguir y las soluciones sobre las que debe actuar.

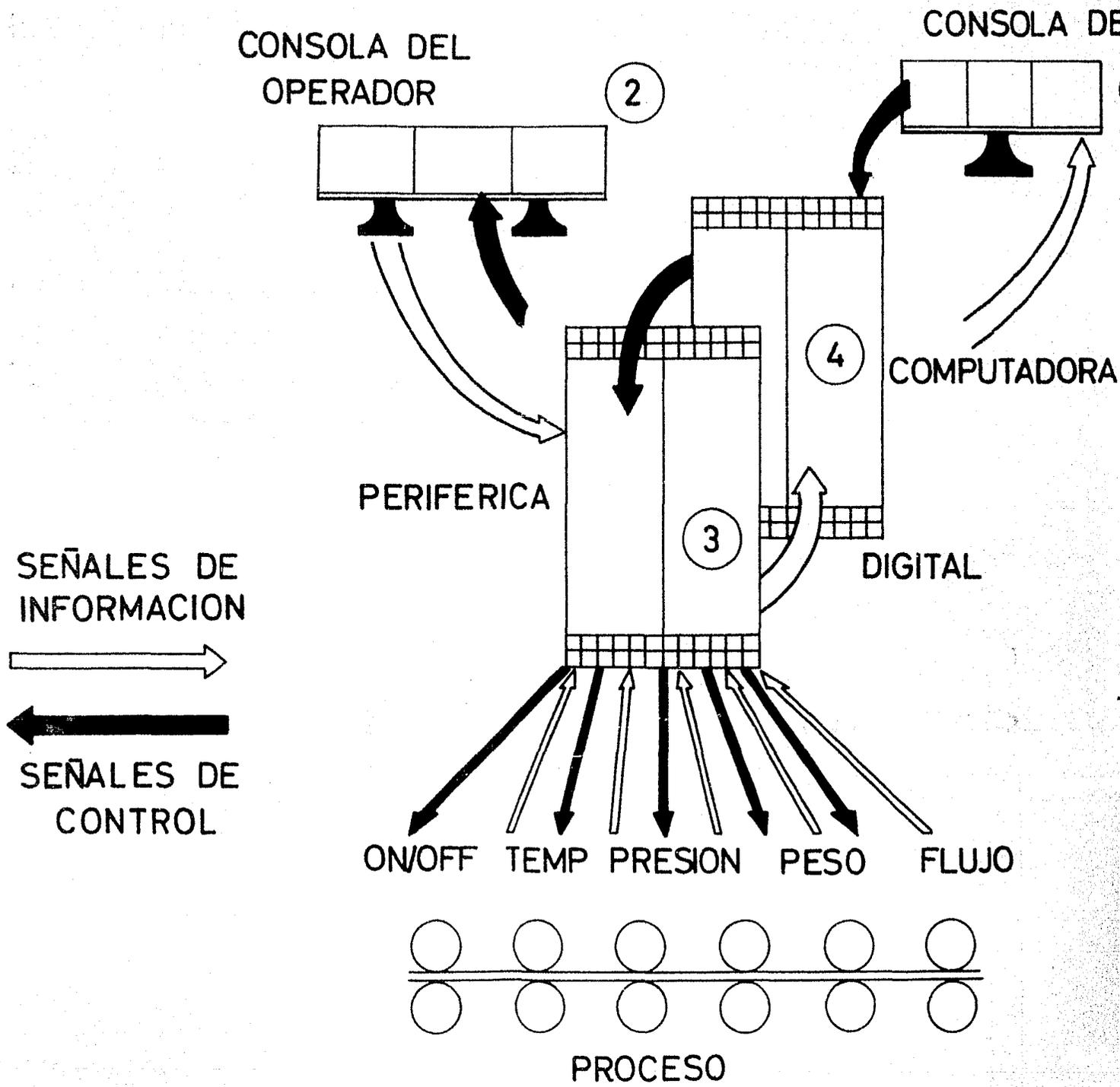
LA UNIDAD ARITMETICA acepta información de la unidad de memo-
ria, hace los calculos necesarios y transfiere la respuesta de nue-
vo a la unidad de memoria. Las comparaciones se hacen también en -
la unidad aritmética.

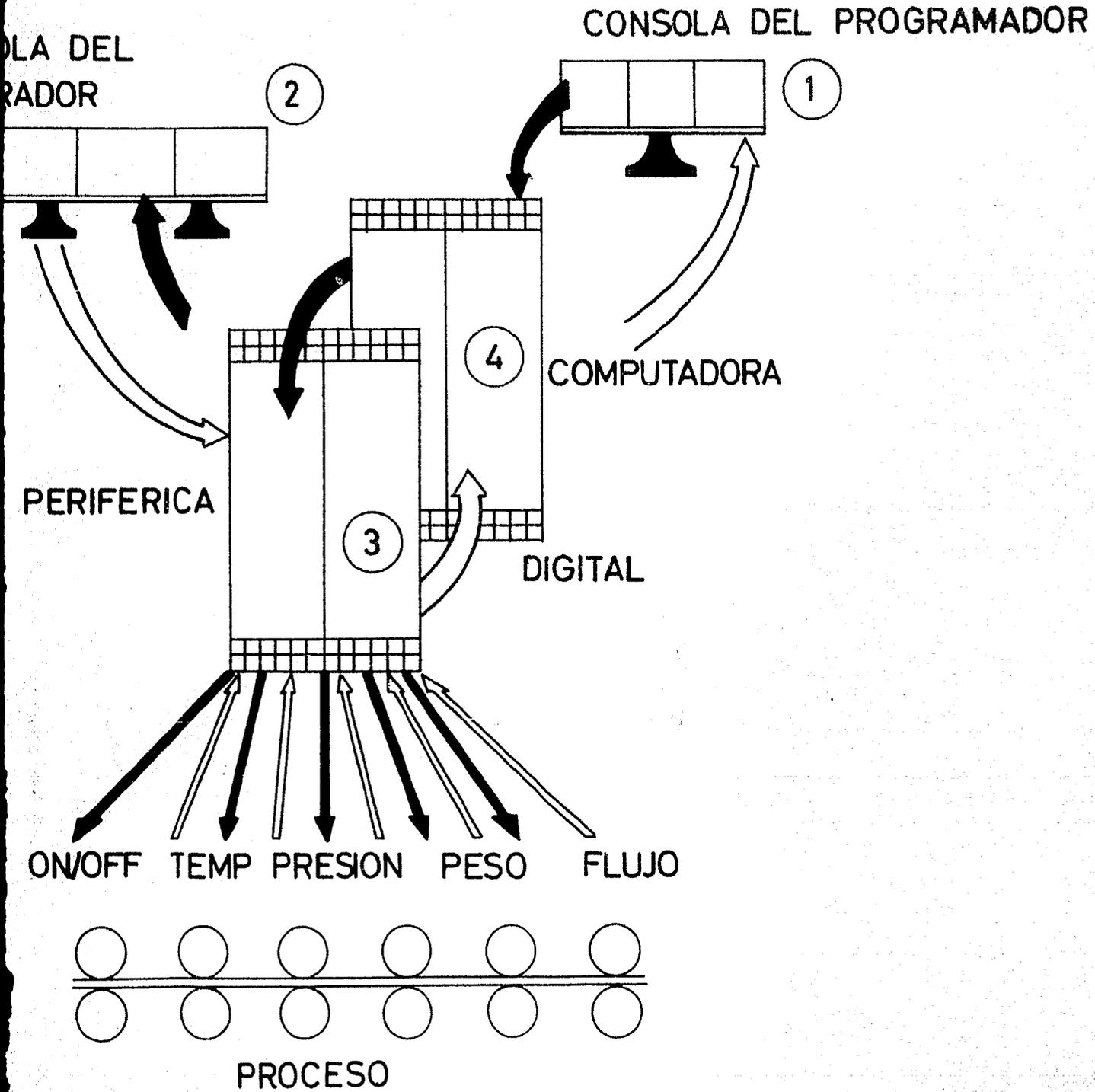
LA UNIDAD DE CONTROL conecta la información que debe transfe-
rirse y los medios por la que debe transferirse de manera que cual-
quier instrucción que pudiera pedir el programa, pueda ser ejecuta-
da.

LA UNIDAD DE SALIDA acepta las soluciones a los problemas en-
forma de impulsos eléctricos, los acumula en grupos significativos
y bajo una señal de la unidad de control los transmite al equipo -
periférico y al proceso.

Como una regla general, todas las labores dentro de la compu-
tadora son llevadas a cabo en forma binaria. Los dispositivos de -
entrada y salida proporcionan datos en forma de caracteres hexade-
cimales, decimales o alfanumericos. Dígitos binarios solo estan en-
trando y saliendo de las unidades de memoria y aritmética. Conse-
cuentemente la computadora también debe tener un convertidor entre
el sistema binario y el sistema numérico en el cual la información
es alimentada y obtenida en la entrada o salida respectivamente.

El esquema adjunto nos darpa una idea general de una computado-
ra de control de proceso. El juego básico de instrucciones, dicien-
dole a la computadora que debe hacer, cuándo lo debe hacer, etc.; -
se alimenta desde la CONSOLA DEL PROGRAMADOR (1). La información --
suplementaria se origina en la CONSOLA DEL OPERADOR(2). Toda infor-
mación necesaria acerca del proceso se alimenta en forma de señales
análogas o digitales al EQUIPO PERIFERICO (3), en donde se organiza
y convierte en valores numéricos. EL PROCESADOR CENTRAL (4) actúa -
sobre esta información en la forma en que se requiera y envía sus -
conclusiones otra vez al equipo periférico en donde nuevamente se -
organiza y se alimentan señales de control a la línea de proceso.





4.- CODIFICACION BINARIA DE LA INFORMACION. LOS SISTEMAS BINARIO- Y HEXADECIMAL.

En el sistema numérico binario, es decir, sistema numérico -- con base 2, solo existen dos dígitos diferentes a saber, 0 y 1. -- Compare con el sistema numérico regular con base 10 que tiene 10 - símbolos de dígitos a saber, 0, 1,8,9. Con relación a esto puede indicarse que también existen otros sistemas numéricos ejem: el sistema hexadecimal que tiene la base 16. Ver fig. 1.

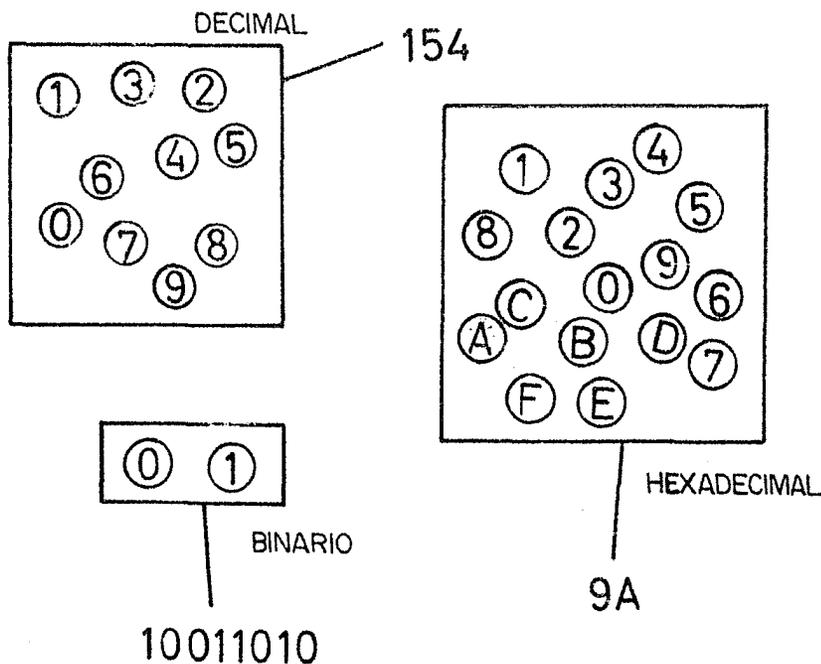


Fig. 4 Los sistemas numéricos tienen almacenes de caracteres - de diferente tamaño. En la figura podemos ver como el - número 154 es escrito por medio de los tres sistemas -- numéricos.

En los elementos electrónicos y magnéticos que son conocidos-

hoy en día aparece que solo se puede hacer uso de dos estados de trabajo estables de largo tiempo. Un ejemplo de esto es la válvula electrónica (tubo electrónico), transistores y relevadores. Se puede hacer a un tubo electrónico conductor o bloqueador y el mismo principio es aplicable al transistor y al relevador. Consecuentemente estos son los estados que llamamos estado 1 y estado 0. Ver fig. 5.

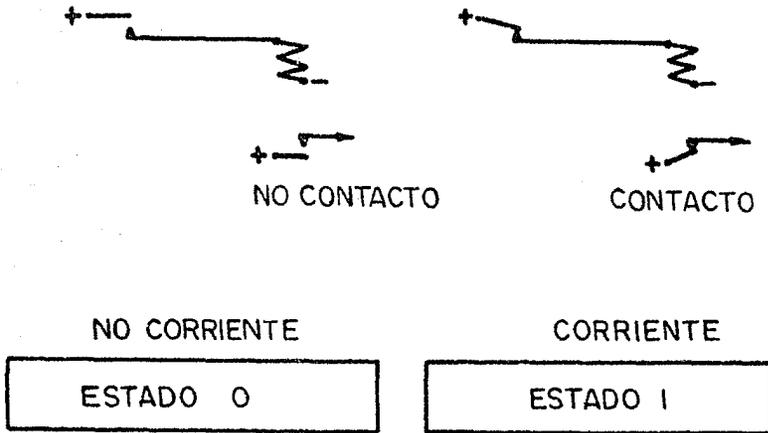


FIG. 5

En los circuitos lógicos de una computadora moderna, se usan transistores, lo que implica que si podemos encontrar un lenguaje con solo 2 símbolos, la computadora podrá entender y tratar la información que está escrita con estos símbolos; la información codificada con la ayuda de los dos símbolos digitales binarios, 0 y 1, puede consecuentemente, ser tratada por una computadora.

Se tienen sencillas leyes de cálculo para el sistema numérico binario. Son sencillas desde el punto de vista que son fáciles de aplicar en componentes electrónicas. Quizás no son tan sencillas - para el hombre, puesto que los números serían demasiado grandes, - pero para una computadora este sistema numérico es el más práctico hoy en día; ni tampoco es la computadora sutil para el sistema numérico decimal a el cual el hombre está tan ligado.

TABLA DE CONVERSION

DECIMAL (10)	BINARIO (2)	HEXADECIMAL (16)
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	1000	10
17	10001	11
18	10010	12
20	10100	14
40	101000	28

FIG. 6

Todos los números naturales pueden ser escritos en forma binaria.

Por lo que al sistema hexadecimal concierne, 16 símbolos diferentes para dígitos, son necesarios. A parte de los símbolos usuales de los dígitos 0 - 9, las primeras seis letras en el alfabeto son utilizadas, es decir, A,B,C,D,E,F. Ver. Fig. 6.

Puesto que ciertos números pueden ser interpretados como decimales, binarios o hexadecimales, generalmente se indica la base -- del sistema numérico como un índice para que no se cometa ningún error. ejem.: $(10)_2, (10)_{16}$

Un número hexadecimal también es escrito como se muestra a -- continuación: $(12A7)_{16} = 12A7$

¿Cuál es el número correspondiente en sistema decimal de: $(13E)_{16}$?

$$(13E)_{16} = 1 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + E \times 16^0 = 256 + 48 + 14 = (318)_{10}$$

¿Cómo se escribe $(13E)_{16}$ en forma binaria?

1	3	E
0001	0011	1110

La conversión de binario a hexadecimal es hecha en el sentido opuesto. Divida en número binario en grupos de 4 dígitos binarios en cada uno, principiando por la derecha; verifique si los valores de la figura 7 son correctos.

El sistema hexadecimal es a menudo usado en lugar del binario para obtener una manera abreviada de escritura.

Para escribir el número 18 en forma binaria, 5 posiciones son requeridas, $(18)_{10} = (10010)_2$. Con una posición binaria se pueden codificar dos valores correspondientes a 1 y 0. Con dos posiciones se pueden codificar 4 valores, correspondientes a 00, 01, 10, 11. Tres posiciones son suficientes para $2^3=8$ valores, cuatro para $2^4=16$ y genericamente se pueden codificar 2^N valores con N posiciones.

CANTIDAD DE POSICIONES BINARIAS.

1				0			
11		10		01		00	
111	110	101	100	011	010	001	000

FIG. 7

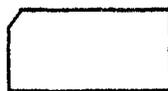
Consecuentemente más posiciones son necesarias en codificación binaria que en por ejem: codificación decimal, lo que resulta en más componentes en la computadora. Esto esta compensado por el hecho de que las componentes binarias pueden ser hechas simples y con grandes tolerancias y por lo tanto baratas.

5.- REPRESENTACION DE LA INFORMACION.

Las tarjetas perforadas, así como las cintas perforadas donde "1" corresponde a un "todo" y "0" corresponde a un "no todo" ("1" es representado por "un todo" y "0" es representado por "un nada") en determinados sitios, son ejemplos de representación física de 0 y de 1. Vease fig. 8.

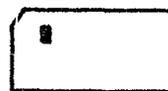


TARJETA PERFORADA



CERO

0



UNO

1

FIG. 8

Otro ejemplo es el núcleo de ferrita, el cual está compuesto de una material que es posible magnetizar. "1" es representado por un flujo magnético en una dirección y "0" por un flujo en la dirección opuesta. Vease fig. 9.

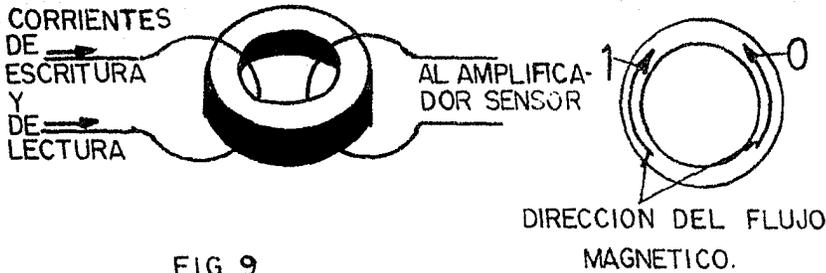


FIG. 9

De esta manera un núcleo de ferrita contiene un dígito binario. Comúnmente se usa la expresión "bit" para nombrar el dígito binario: **BI**nary **di**git.

Dentro de un computador el 0 y el 1 son normalmente representados por un potencial eléctrico que debe adoptar diferentes valores para los dos valores binarios.

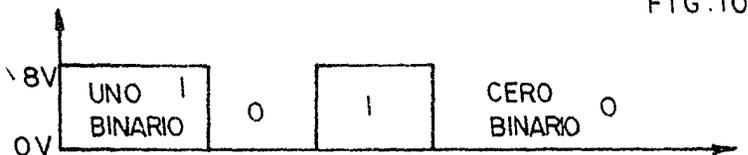
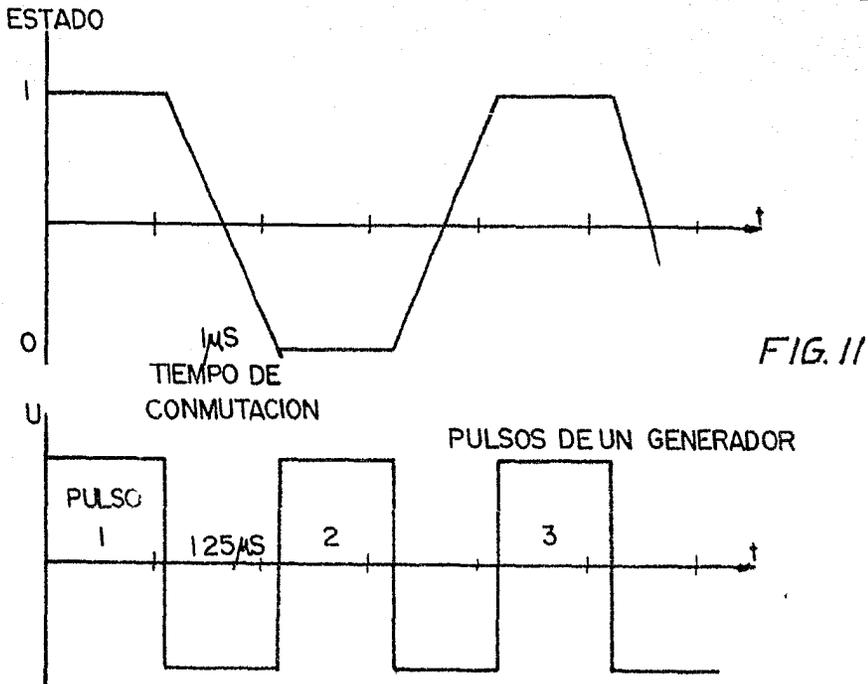


FIG. 10

Ejemplo de representación de dígitos binarios en un computador.

En el área comprendida entre 0V y 8V es complicado conocer -- que valor existe. Sin embargo un computador está construido de manera tal que el valor es proporcionado únicamente en espacios de tiempo determinados, los cuales son escogidos de manera tal que no exista riesgo de ambigüedad. Los pulsos de tiempo son generados -- por un generador de pulsos de reloj que tiene una frecuencia fijada de tal manera que los componentes tengan tiempo suficiente para ajustarse.

Ejemplo: Un componente necesita un microsegundo para conmutar se del estado 1 al estado 0. Entonces su tiempo de trabajo puede -- ser controlado por un generador de pulsos de reloj con una frecuencia de 400 KHz. Cada medio período de la señal de reloj dura 1.25-microsegundos y consecuentemente el componente tiene tiempo para -- conmutarse entre dos medio períodos positivos en sucesión. Este -- componente puede ser por ejemplo un flip-flop biestable. Fig. 11



El pulso número 1 le dice al componente "cambia de estado"; - el componente cambia su estado y está listo dentro de un microsegundo. El pulso número 2 viene 0.25 seg. más tarde y dice: "cambia de estado" y así sucesivamente.

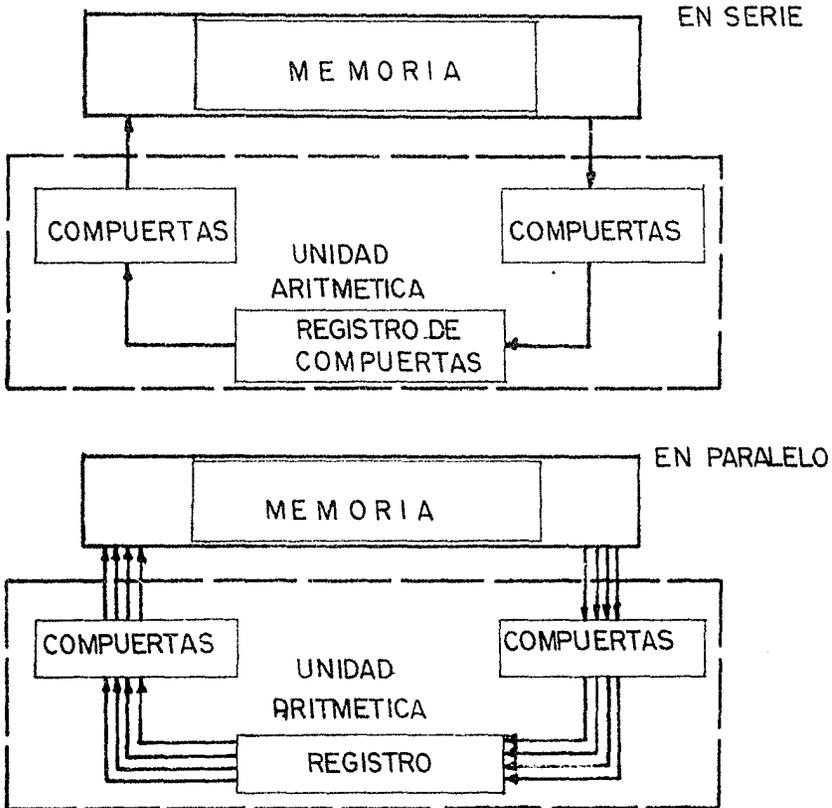
6.- COMPUTADORAS EN PARALELO Y EN SERIE.

Se pueden distinguir dos tipos de computadoras, si se toman - como base la manera de representar la información, estas son: las computadoras en paralelo y las computadoras en serie.

En una computadora en paralelo el tratamiento de todos los dígitos binarios en un número, se realiza simultáneamente - paralelamente. La computadora en serie trata los dígitos de uno en uno, en orden cronológico -en serie-. La transmisión de un número entre -- las diferentes unidades de un computador (por ejemplo: de la memoria a un registro, en la mitad aritmética) se ilustra en la fig.12 Los pulsos que representan los dígitos binarios en un número, aparecen simultáneamente en las líneas de transmisión, en el caso de una computadora en paralelo; mientras que en caso de la computadora en serie, la transmisión se realiza en forma de un tren de pul-

En consecuencia esta última computadora tiene que tratar un solo dígito a la vez. Por otro lado la computadora en paralelo, requiere para cada operación, tantos circuitos como números binarios en el número total. La computadora en serie, no requiere tantos componentes, y es por lo tanto más barata, pero también más lenta.

FIG.12



En una computadora una palabra es igual al número de dígitos binarios que representan valores de números o grupos de letras. Estas pueden ser operaciones para cálculos o una instrucción. Una palabra, es la unidad en la transmisión entre las diferentes partes de una computadora, y en almacenamiento en la memoria, una célula de memoria puede almacenar una palabra. Una célula de memoria con-

siste en un número dado de núcleos de ferrita, la computadora esta diseñada para operar con longitudes de palabras fijas o variables, en el último caso existe un nivel máximo condicionado por el diseño físico del sistema. La fig. 13 muestra un ejemplo de la representación en pulsos de la palabra 10011, en serie (a) y en paralelo (b).

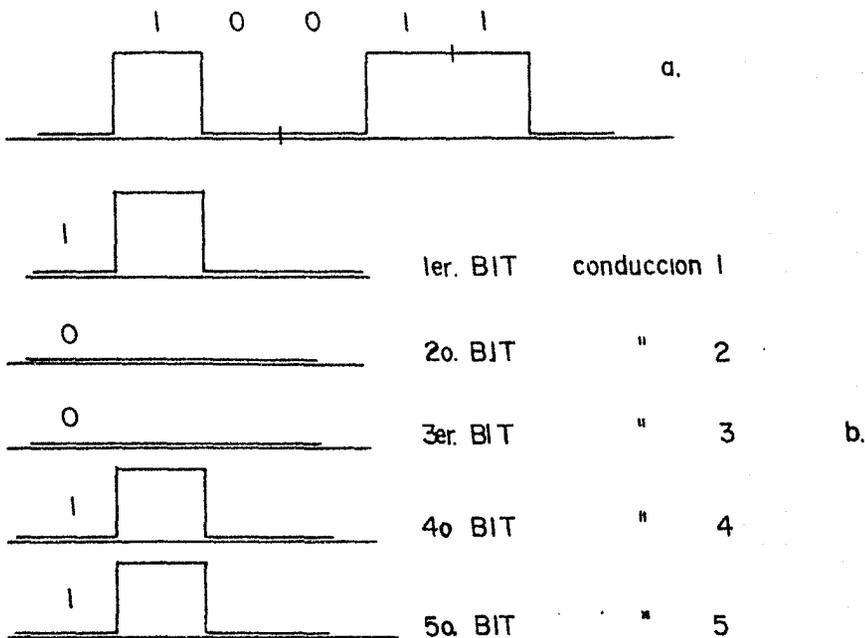


FIG. 13

La computadora o procesador, como se le llama en el sistema -AKE de tiempo real es una computadora en paralelo, con un largo de palabra de 16 bits. Cuando se realiza en transporte de datos de -- una palabra, estos datos existen simultáneamente en 16 líneas.

7.- COMUNICACION HOMBRE-MAQUINA.

La comunicación entre el hombre y la máquina toma lugar en -- forma de transmisión de datos, por medio de órganos de entrada y -- de salida (órganos IO). La fig. 14 muestra un compendio de los ór-

ganos IO, los cuales son usados actualmente en el sistema AKE, y - los cuales estan planeados para usarse en el futuro.

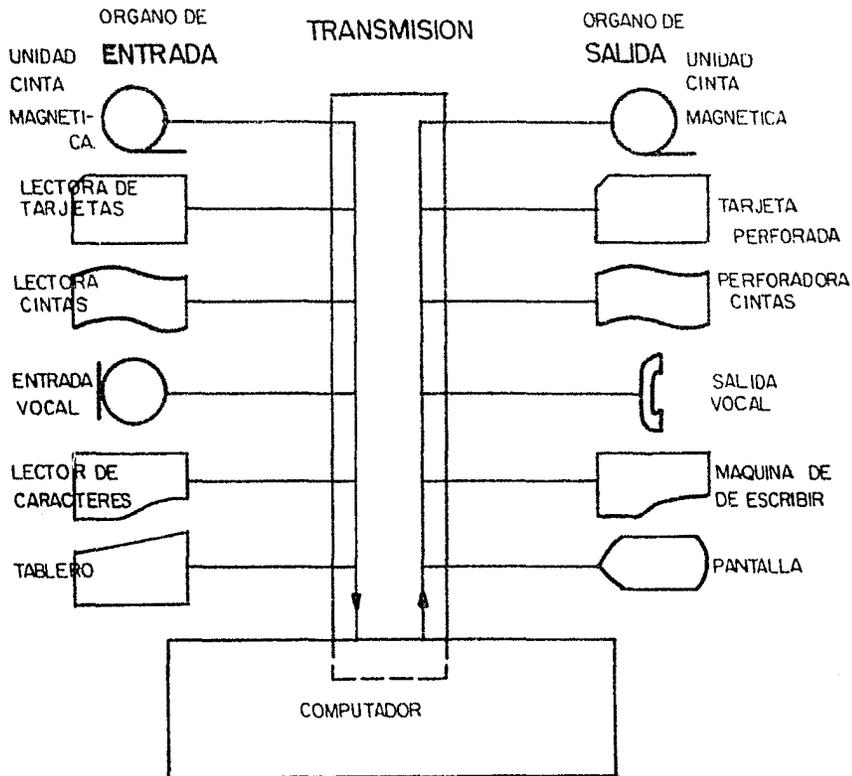


FIG. 14

Para realizar un intercambio de información con significado, - el hombre y la computadora deben hablar el mismo lenguaje. En este caso es la computadora, la que determina las condiciones, ya que - sólo puede tratar representaciones binarias de la información; de ahí surgen dos problemas:

- 1) Hacer un código con la ayuda del cual se puedan traducir todas las letras, dígitos, marcas de puntuación, marcas auxiliares, etc. a forma binaria.
- 2) Construir un órgano que traduzca automáticamente la información, de acuerdo con el código establecido en ambas direcciones, - hombre y máquina.

Uso de un código.

Ejemplo: "Go home" puede ser traducido a forma binaria de acuerdo con el siguiente código:

G	001
H	101
O	100
M	010
E	110

001	100	101	100	010	110	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	--

FIG.15

Por lo tanto se necesitan 3 posiciones binarias para codificar estos 5 caracteres. Tres posiciones binarias son suficientes para $2^3=8$ caracteres. El código ASC II (American Standard Code for Information Interchange) es un ejemplo de un código que es usado para un órgano IO. Véase figura siguiente, la cual contiene además un código reducido que hemos propuesto para el caso de una transmisión simplificada de datos.

Un ejemplo de órganos IO lentos.

Entre dos órganos IO utilizados en el sistema AKE están la máquina de escribir (Type writer), la lectora de cintas (Tape reader) y la perforadora de cintas (Tape puncher). La entrada y la salida se realizan por medio de caracteres bajo control de la computadora. Estos órganos son llamados lentos para distinguirlos de otros, por ejemplo: las unidades de cinta magnética que son también órganos IO.

1.- Máquina de escribir (impresora) (entrada y salida).

La máquina impresora contiene un teclado semejante al de una máquina de escribir común, contiene además una adaptación "push-button" o unidad de adaptación que adapta todos los niveles de señal, secuencias de tiempo, codifica y decodifica las señales, siente cuando la secuencia de la máquina de escribir ha terminado, etc.

TWR (registro de máquina de escribir), es una unidad de memoria que puede almacenar información en estados de 16 bits. La computadora examina regularmente el contenido de TWR (esta adaptación y organización es aplicable a los lectores de cinta y a los perforadores de cinta). La velocidad de entrada es de alrededor de 15 - caracteres/seg. La máquina de escribir se combina con un impresor para la transcripción de información que viene del computador.

		000	001	010	011	100	101
0	0000	NULL	DC ₀	&	0	̂	P
1	0001	SOM	DC ₁		1	A	Q
2	0010	ECA	DC ₂	"	2	B	R
3	0011	EOM	DC ₃	!	3	C	S
4	0100	EOT	DC ₄ ^{stop.}	S	4	D	T
5	0101	WRU	ERR	%	5	E	U
6	0110	RU	SYNC	&	6	F	V
7	0111	BELL	LEM	' (apos)	7	G	W
8	1000	FE ₀	S ₀	(8	H	X
9	1001	HT SK	S ₁)	9	I	Y
A	1010	LF	S ₂	*	:	J	Z
B	1011	V _{TAB}	S ₃	+	;	K	(Å
C	1100	FF	S ₄	,	<	L	\Ä
D	1101	CR	S ₅	-	-	M)Ö
E	1110	SO	S ₆	.	>	N	↑
F	1111	SI	S ₇	/	?	O	←

CODIGO ASCII (7 POSICIONES)
 AMERICAN STANDARD CODE FOR
 INFORMATION INTERCHANGE

	00	01	10	11	100	110
000	A	F	P	Y	0	8
001	E	G	Q	Z	1	9
010	I	H	R	+	2	,
011	O	J	S	-	3	.
100	J	K	T	*	4	—
101	B	L	V	/	5	;
110	C	M	W	(6	>
111	D	N	X)	7	<

CODIGO PROPUESTO PARA
 TRANSMISION CON 5 BITS DE
 INFORMACION MAS 3 POSIBLES
 PARA DETECCION DE ERRORES.

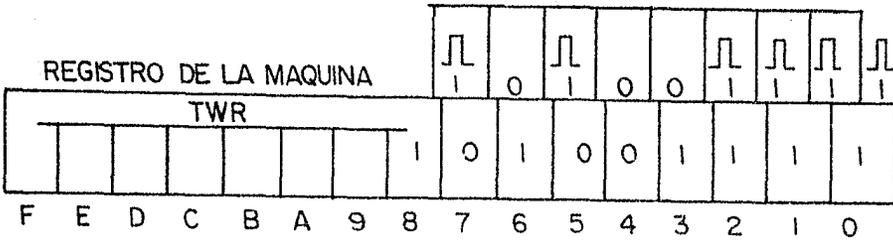


FIG.17

2.- Lectora de Cintas.

La entrada por medio de cinta de papel facilita la entrada de una gran cantidad de datos, cada caracter es representado por una fila de hoyos de acuerdo con un código dado, por ejem:

hoyo = "1" y no hoyo = "0".

Usualmente se utilizan 7 canales para datos y un octavo canal para corrección. La verificación se puede llevar a cabo por medio de 8 verificadores que no son más que 8 medidores de capacitancia, lo cual constituye el principio de una lectora de cintas dieléctrica. Para cada canal existe un condensador dieléctrico el cual contiene aire o papel como dieléctrico, dependiendo si el canal tiene hoyo o no, la capacidad puede ser medida y es diferente en los dos casos. La información puede ser representada eléctricamente y la computadora puede tratarla. La velocidad de entrada es de alrededor de 200 caracteres/seg.

3.- Perforadora de cintas (salida de gran cantidad de datos).

Una perforadora de cintas proporciona al sistema la posibilidad en el manejo de una gran cantidad de datos. 8 cuchillas de perforación perforan los hoyos en la cinta de acuerdo con un código dado. La velocidad es alrededor de 150 caracteres por segundo.

8.- LA MANERA DE TRABAJAR UNA COMPUTADORA.

Una computadora deberá realizar una gran cantidad de operaciones de diferentes tipos como por ejemplo el intercambio de información con el mundo que lo rodea, y el tratamiento de datos. Para todas las operaciones existe un programa preestablecido, que la computadora sigue. El programa contiene toda la información de como la computadora debe trabajar para realizar una cierta operación. El siguiente ejemplo puede dar una idea de como trabaja la compu-

tadora.

Un mono de BORNEO, que obedece a ser dueño implícitamente, es usado por este para diferente actividad, por ejemplo, para realizar mandados. Vease fig. 18. El mono se mueve con velocidad constante independiente del viento o del clima. En la espalda del mono esta colocada una grabadora de "casetas" de la cual el mono obtiene las instrucciones de como actuar en el momento oportuno. Para cada operación o mandato existe una "caseteta" con instrucciones.

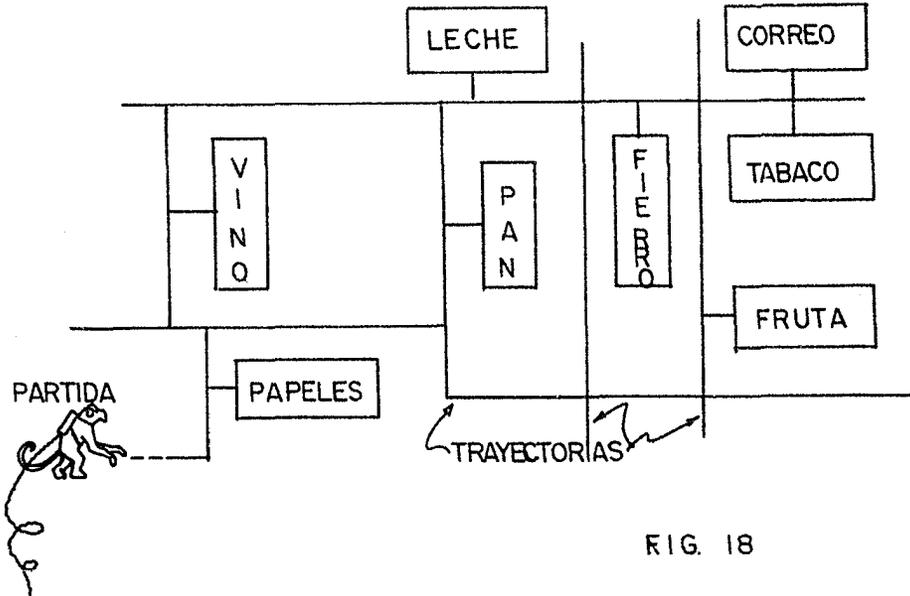


FIG. 18

¿Qué instrucciones deberá contener la "caseteta"?

Supongase que el mono tiene que ir al panadero, el recorrido se divide en diferentes secciones. Cada sección es una parte recta del camino, con esta división se pueden utilizar instrucciones del tipo "vaya a la izquierda", "vaya a la derecha", etc.; para dirigir al mono a la panadería, se necesita, por lo tanto seguir la siguiente secuencia. (Siga el camino en la fig. 18)

Vaya derecho

Vaya a la izquierda

Vaya a la izquierda

Vaya a la derecha

Stop (pare)

Trabajo No. 1

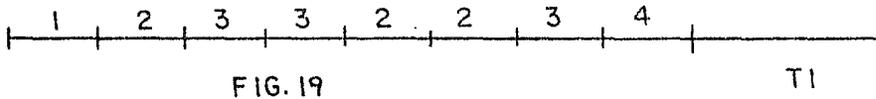
(T 1)

Se necesita por lo tanto, 4 instrucciones diferentes.

- 1) Vaya derecho. 2) Vaya a la izquierda. 3) Vaya a la derecha ----
- 4) Pare.

Estas instrucciones pueden ser usadas para hacer que el mono vaya a cualquier lado en la figura. Si queremos que el mono compre manzanas, se requiere la siguiente frecuencia de instrucciones. - (Los números corresponden a las 4 instrucciones señaladas arriba).

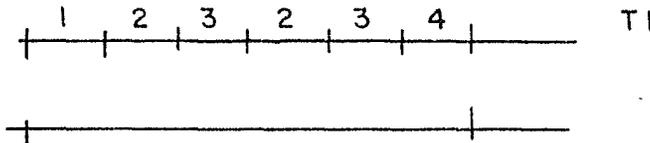
TRABAJO N.º 2



Esta secuencia es el programa que el mono debe seguir en este caso.

¿Por qué se hizo esta división en pequeñas secciones?

La razón es que por cada pequeña sección se puede dar una instrucción simple; de esta manera se obtiene un pequeño número de -- instrucciones simples que pueden ser usadas en trabajos diferentes y variados. Por otro lado, si se tuviéramos una sola instrucción por cada mandado, se necesitarían múltiples instrucciones para cubrir la fig. 18; el mono tiene 8 lugares que visitar y por lo tanto, se requieren 8 instrucciones, sin embargo estas instrucciones pueden ser algo complicadas, por ejemplo: "vaya a la panadería", deberá - contener la misma información que T1, y será muy difícil para el - mono recordarla toda. Es claro por lo tanto, que la instrucción "va ya a la panadería" deberá ser más complicada que las instrucciones del tipo "vaya derecho", "vaya a la izquierda", etc., las cuales - forman a T1, vease fig. 20.



Se puede comparar ahora al mono con la computadora; este debe rá tener instrucciones para trabajar. Las instrucciones son escogi

das de acuerdo con el tipo de tareas que deben ejecutarse. Cada -- trabajo podrá ser realizado por medio de combinaciones de estas -- instrucciones.

NUMERO DE INSTRUCCION

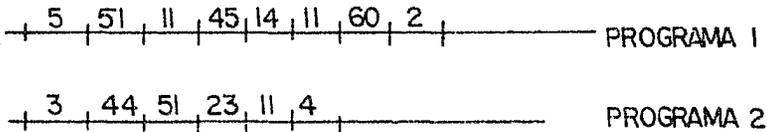


FIG. 21

Con este método se obtiene un número limitado de instruccio-- nes simples que permiten realizar un número ilimitado de trabajos. El equipo necesario para ejecutar las instrucciones es más simple-- cuando dichas instrucciones son también simples. Sin embargo es ne-- cesario decir que inclusive una instrucción "simple" consiste en -- una serie de instrucciones parciales que resultan ser las llamadas micro operaciones.

Regresando al ejemplo del mono, se puede observar que la ins-- trucción "vaya derecho", tiene como componentes las siguientes mi-- crooperaciones: Levante el pie derecho, mueva la pierna derecha ha-- cia adelante, ponga el pie derecho en el suelo, levante el pie iz-- quierdo, etc.

En consecuencia una instrucción produce una serie de microope-- raciones que son específicas para cada instrucción. En otras pala-- bras, cada instrucción tiene un programa construido internamente y muestra la manera de realizar la instrucción, a esto se le llama -- microprograma.

Instrucción y programa en AKE.

Una instrucción en AKE consiste en una combinación de 16 ---- "unos" y "ceros", esto es una palabra; la palabra esta dividida en dos partes: la parte de operación (6 bits) y la parte variable (10 bits). Vease fig. 22

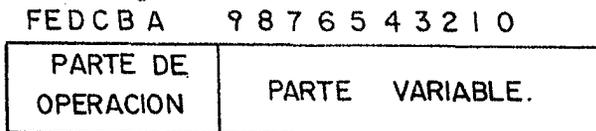


FIG. 22

El código de operación es único para cada instrucción. En la parte variable se especifica la operación asociada con el código de operaciones. Entre otras cosas existen direcciones para las operaciones que se realizan en los órganos. Los programas que están hechos de instrucciones, están contenidos en almacenes de programa PS. Las instrucciones que son parte del programa son almacenadas una detrás de otra, en direcciones consecutivas. Vea fig. 23.

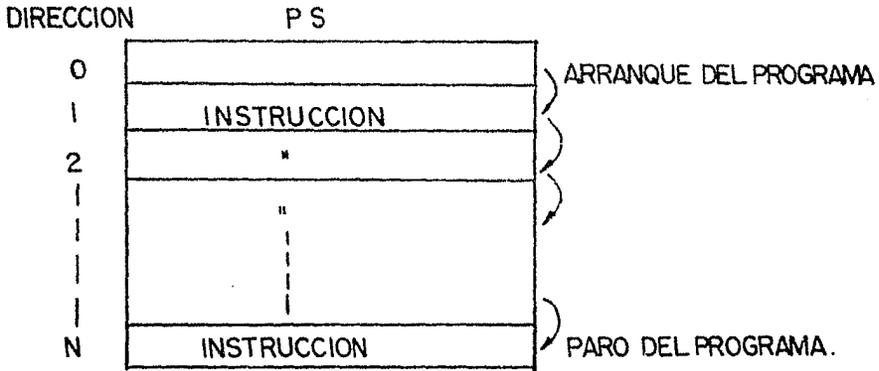


FIG. 23

Normalmente las instrucciones son ejecutadas de manera secuencial; la dirección de la siguiente instrucción, se obtiene, con la ejecución de la instrucción que se está realizando. De esta manera el sistema "funciona parejo". vea fig. 24

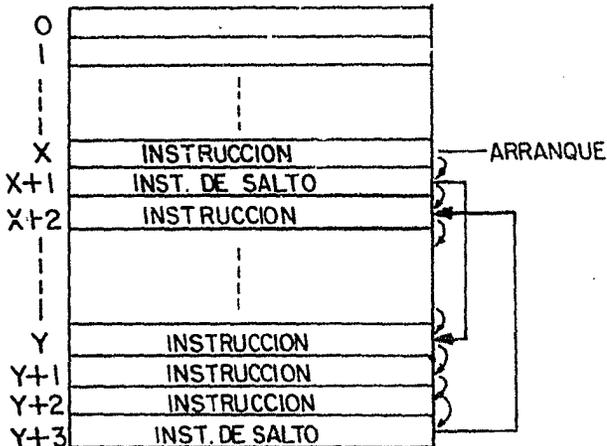


FIG. 24

9.- DE LA INSTRUCCION A LA SEÑAL DE CONTROL.

El propósito de la instrucción:

La obtención de la siguiente instrucción del programa, es -- una rutina que se realiza cada vez que una instrucción esta en camino. Un programa adder, calcula la dirección de la siguiente instrucción. Vea fig. 25

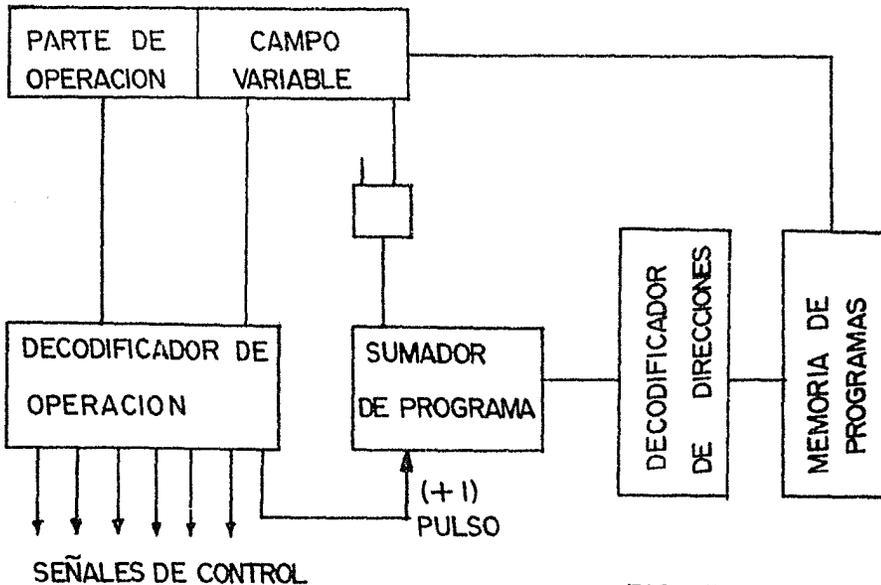


FIG. 25

Cada instrucción causa una combinación de señales de control, que es única para esta instrucción. Una señal que aparece en todas las instrucciones (excepto en las señales de salto), es la del pulso contador; principia una señal que a grandes rasgos significa lo siguiente:

- 1) Mediante la adición de los contenidos del programa, se obtiene del almacén del programa la dirección de la siguiente instrucción.
- 2) Decodificación de direcciones y lectura del almacén del programa.
- 3) Almacenamiento de la nueva instrucción en el registro de instrucciones.

Observar en el tiempo de la fase 3, que el registro de instrucciones debe estar libre, la instrucción que esta siendo llevada

C A P I T U L O I I

INTRODUCCION A LA TECNICA DE LA TRANSMISION DIGITAL DE DATOS

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

La transmisión de datos ha llegado a ser importante componente para la rápida expansión del tráfico en las redes telefónicas, puesto que la mayoría de las instituciones públicas y privadas tienen la necesidad de una rápida transferencia de información entre instalaciones de procesamiento y computación de datos ampliamente distribuidas.

La transmisión de datos, por supuesto no está restringida a las redes telefónicas y es ampliamente usada en comunicaciones militares y del espacio.

Algunos ejemplos de comunicación de datos sobre redes telefónicas son:

- a) Un banco con un computador central ligado directamente con los empleados en las sucursales bancarias.
- b) Un servicio de cotización de la bolsa de valores para la rápida transferencia de los precios para la seguridad de los corredores de bolsa y de las instituciones financieras.
- c) Computadoras de tiempo compartido donde varios operadores independientes tienen acceso simultáneamente por líneas telefónicas a un computador central.

- d) Redes de reservación para líneas aéreas, hoteles y moteles.
- e) Transmisión de datos meteorológicos.

La transmisión de datos digitales se refiere a la transmisión de información en forma digital mejor que analógica sobre un canal de comunicación. La información que va a ser transmitida puede, ya estar en forma digital (por ejemplo la salida de una computadora), o puede ser una señal analógica muestreada a instantes discretos - y entonces convertida a la forma digital.

En este capítulo se muestran algunos conceptos fundamentales de la transmisión de datos, y esos conceptos están ilustrados por ejemplos de sistemas de transmisión de datos usados sobre redes telefónicas.

Una lista de definiciones de términos de transmisión de datos se muestra en la tabla no. 1, (ver hoja siguiente).

BITS BAUDS Y ANCHO DE BANDA.

Un gran número de mecanismos para procesamiento de datos ---- operan con notación binaria (por ej: computadoras), en ellos la información proporcionada y recibida de la computadora debe ser codificada dentro de una secuencia de elementos, cada elemento en la - secuencia tiene dos posibles estados, los cuales son a menudo refe ridos a 0 y 1. Por ejemplo el estado de esos elementos puede ser, - ya sea que haya o no una perforación en una localización particu-- lar sobre cinta de papel o tarjeta de computadora.

T A B L A I

TERMINOS DE TRANSMISION DE DATOS

MODEM	:Una unidad para modulación de datos en una -- forma conveniente para transmisión sobre un - canal de transmisión analógica y para la <u>demo</u> dulación de la señal recibida.
BINARIO	:Que tiene dos estados posibles.
BIT	:La unidad elemental de información asociada - con el resultado de un evento binario.
SIMBOLO, DIGITO	:El elemento básico de señalización del siste- ma de transmisión de datos; tendrá dos ó más- estados.
BAUD	:El número de símbolos transmitidos por unidad de tiempo.
INTERFERENCIA DE INTERSIMBOLOS	: "Tranlape" (overlapping) de símbolos vecinos, que dificulta su correcta detección.

Puesto que la transmisión de datos está relacionada estrecha-
mente con la transmisión digital de información, se requiere una -
introducción breve, pero apropiada, a la unidad de información.

Consideremos un elemento dado en una secuencia binaria, el --
cual puede ser 0 ó 1, entonces cuando este elemento ha sido recibi

do se despeja la incertidumbre acerca de su estado.

Si los dos estados son igualmente probables, la cantidad de información que ha sido recibida se define como "un bit", bit es la descomposición de las palabras "Binary digit". En pocas palabras, un bit es la información asociada con el resultado de un evento binario igualmente probable.

Los más simples sistemas de comunicación transmiten los datos binarios en forma binaria, como por ejemplo, en un sistema telegráfico.

La velocidad de transmisión o cantidad de información por unidad de tiempo depende de la línea o trayecto de la transmisión y del equipo utilizado; la cantidad de impulsos enviados por segundos proporciona la primera unidad de información: El Bit. Los impulsos mencionados comprenden tanto a los de información, como a los impulsos adicionales que se insertan para la detección de errores. La duración y dirección de los impulsos, así como el número de impulsos de arranque y espaciado que se agregan como caracteres del código digital son independientes de la velocidad en bits por segundo. Así pues la cantidad de información es expresada en bits/s.

Con la llegada de la computadora y otros equipos terminales que pueden producir un gran volumen de datos en un tiempo dado, fue necesario incrementar la velocidad de transmisión (cantidad de información) del canal, inicialmente ello se pudo hacer aumentando el rango de repetición de la secuencia de datos binarios.

Sin embargo, en un canal con un ancho de banda limitado (p. ej: un canal telefónico ocupa de 300 Hz. a 3400 Hz.) hay altas limitaciones al rango de repetición, puesto que después de cierto

valor, los elementos de datos binarios o símbolos, se interfieren entre ellos y causan errores.

Este fenómeno ocurre, porque el ancho de banda de las señales no muy grandes, se acomoda en la parte de adentro del ancho de banda del canal y se conoce con el nombre de interferencia de intersímbolos.

La máxima velocidad a la cual los símbolos pueden ser transmitidos sin alguna interferencia de intersímbolos en los instantes de muestreo, ha sido determinada por Nyquist y es el doble del ancho de banda del canal para un canal ideal sin distorsión, aunque en la práctica se debe estar satisfecho con valores menores que este.

A fines de 1920, el matemático Harry Nyquist de los Laboratorios del Bell Telephone System, estableció una relación teórica entre la velocidad de transmisión digital y el ancho de banda de un canal rectangular libre de distorsión. Tal estudio demostró que el ancho de banda necesario en un canal de comunicación es directamente proporcional a la velocidad de transmisión de las señales. También comprobó que el ancho de banda máximo necesario para la transmisión de una señal en esencia es igual a la mitad del número de impulsos binarios por segundo:

$$V = 2B \text{ Baud} \dots\dots\dots(1)$$

dónde V es la velocidad de transmisión en bits por segundo y B es el ancho de banda máximo necesario del canal en Hz.

Nyquist hizo ver que aunque existía un límite en cuanto al número de impulsos que se podían transmitir por segundo, un impulso podía tener varios niveles o estados distinguibles, cada uno de los cuales servía para conducir información. Por ejemplo, si en un

sistema se empleará la amplitud de los impulsos como la magnitud - para conducir la información, y cada impulso tuviera cuatro amplitudes posibles, podría transmitirse el doble de información en comparación con otro sistema en que los impulsos tuvieran solamente - dos amplitudes.

El matemático demostró que el número de estados que pueden tener los impulsos depende del grado de ruido presente en el circuito. Como se ha manifestado, si el ruido se pudiera eliminar por -- completo, las señales se podrían transmitir a cualquier velocidad. En la práctica, la diferencia de valor entre dos estados o niveles deben ser por lo menos el doble del valor del ruido máximo. De lo contrario en la recepción se produciría incertidumbre en cuanto a los valores de cada impulso.

La misma limitación de las señales de impulsos se aplica a -- las señales con forma de onda continua, como las que se emplean en la transmisión telefónica. En realidad no existe diferencia fundamental entre ambas clases. Una onda continua puede tener un número finito de puntos para definir su forma, pero no un número ilimitado de valores para conducir información. En la recepción de señales de onda continua la forma de onda se puede reproducir o definir tomando muestras periódicas de diferentes puntos. No es necesario efectuar un muestreo muy rápido para obtener una reproducción perfecta, basta con tomar las muestras al doble de la frecuencia -- útil más elevada. Por ejemplo: Si la frecuencia máxima de un canal telefónico es de 3 000 c/s, con una serie de breves muestras tomadas a la velocidad de 6 000 veces por segundo, se reproduciría perfectamente la conversación. Las muestras pueden tener la brevedad que se desee y mientras más cortas mejor es el resultado. Por lo

expresado vemos que en lugar de la onda continua podrían emplearse series de impulsos para las señales de voz, sin ninguna pérdida de información.

De acuerdo con la fórmula de Nyquist, para obtener la velocidad de transmisión de un canal de 3 000 c/s debe tener suficiente capacidad para conducir 6 000 impulsos binarios por segundo. Dicha capacidad convertida a palabras por minuto empleando el código normal Baudot o de teleimpresión, equivale aproximadamente a 8 000 palabras por minuto. La capacidad de información resulta mucho mayor al emplear otros códigos fuera del binario.

La relación que existe entre el ancho de banda, la potencia de la señal y la interferencia del ruido, es sumamente compleja y depende de diversos factores, tales como la clase de ruido presente en el circuito, la naturaleza de limitación de potencia, la clase de modulación que se utilice y el método de codificación elegido.

Posteriormente en 1948, el Ing. Claude E. Shannon que pertenecía también a los Laboratorios Bell, ideó una fórmula matemática para definir la capacidad de un canal de comunicación, que equivale a decir la velocidad máxima de transmisión, (ver gráfica siguiente) Dicha fórmula establece la relación de la velocidad de transmisión con el ancho de banda y el ruido presente en el sistema.

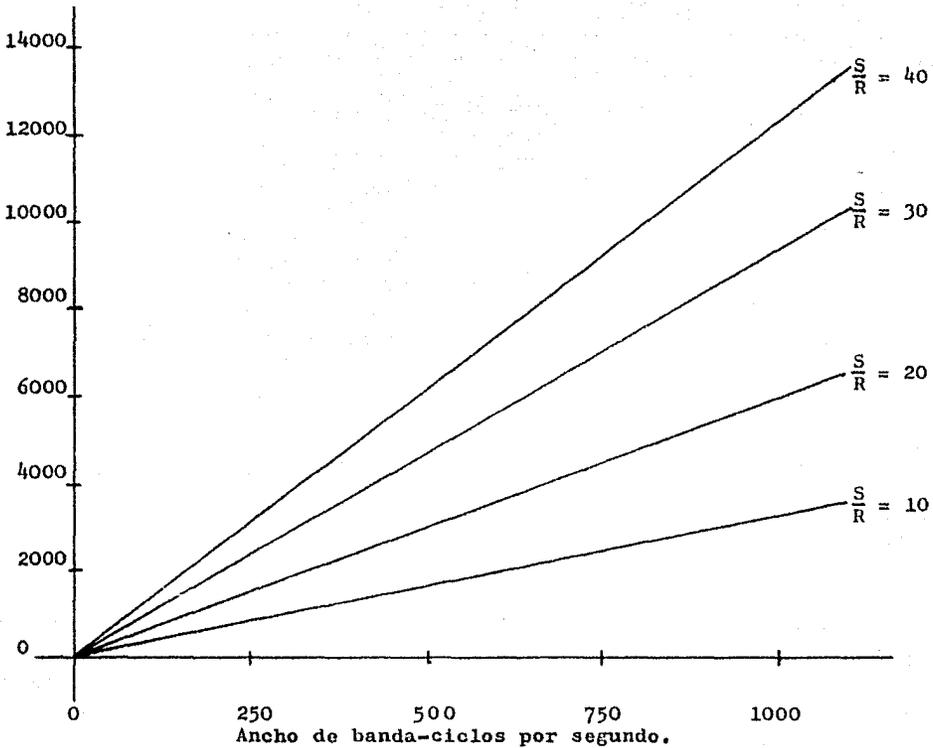
Al emplear la fórmula de Shannon, se veía que un canal para 3 000 c/s de ancho de banda y 30 db. de relación señal a ruido (potencia de señal a potencia de ruido), tiene una capacidad (c) --- aproximadamente de 30 000 bits por segundo o sea:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right) \dots \dots \dots (A)$$

$$C = 3\,000 \log_2 1001 \qquad C = 3\,000 (9.96) = 29\,880 \text{ bits.}$$

Capacidad de Bits
por segundo.

dBs



$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right)$$

C = Capacidad en Bits por segundo.

B = Ancho de banda en ciclos/seg.

S = Potencia de Señal.

R = Potencia del Ruido.

Desde luego, este es un rendimiento teórico que sólo se podría obtener en la práctica mediante una codificación demasiado compleja. Los sistemas de comunicación que existen en la actualidad distan mucho de alcanzar dicho rendimiento máximo; para lograrlo tendrían que satisfacerse tres requisitos: primero, el medio de transmisión debería impedir por completo la distorsión de las señales; segundo, la potencia de ruido en el canal debería ser uniforme en toda la banda (ruido blanco); tercero, el método de codificación debería ser tan complicado que ninguna combinación de impulsos de señal al mezclarse con impulsos de ruido puedan causar errores. Ninguno de los tres requisitos mencionados se puede satisfacer con los métodos actuales, pese al extenso desarrollo de las telecomunicaciones y el sorprendente perfeccionamiento de los componentes y equipos de transmisión.

Aún suponiendo que se obtuviera el rendimiento ideal, se necesitaría una inmensa cantidad de máquinas sólo para codificar y decodificar los mensajes, además, se tardaría demasiado tiempo en esta labor para que el sistema resultara de utilidad práctica.

Los estudios de la teoría de la información han revelado la existencia de códigos ideales para la transmisión por los canales más ruidosos a velocidades que llegan al límite teórico, permitiendo reducir la probabilidad de errores al extremo que se desee; en efecto, con la introducción de una cantidad regulada de redundancia en proporción al ruido del canal, se puede mantener la confiabilidad de transmisión aún en las peores condiciones de interferencia, pero para ello es necesario disminuir la velocidad de transmisión. En teoría, si la reducción de velocidad es inaceptable, se podría emplear una codificación más complicada para mantener al --

mínimo la probabilidad de errores.

La señalización o proporción de los símbolos se especifica en BAUDS, que constituye la unidad recíproca del tiempo que dura el elemento más corto de un carácter del código. El baud comúnmente se interpreta erróneamente como sinónimo del bit. En realidad el número de bauds es igual al de bits por segundo cuando todos los intervalos de tiempo de los caracteres son constantes y todos los impulsos son de uniformación, como en el caso de los sistemas de codificación digital binaria.

Como ejemplo de la relación existente entre bits y bauds cabe citar el servicio común de teleimpresión en que cada uno de los caracteres de la escritura se representa como una combinación de 5 impulsos o dígitos binarios. Cada impulso tiene una duración de 13.5 milisegundos. Por lo tanto, la velocidad en bauds es un valor recíproco de la duración del impulsos, o sea aproximadamente 74.2 bauds. Para la transmisión de cada carácter se emplea un impulso de arranque y 5 de información de 13.5 ms cada uno, más un impulso de parada de 19ms. Por lo tanto, el envío de un carácter demora 81 ms. en total.

En vista que la velocidad en bits depende del número de impulsos de información transmitidos por unidad de tiempo, la velocidad equivalente de la teleimpresión es de $5/100$ ms., o sea, 50 b/s; ahora bien, si se deja un lapso de 20 ms. entre caracteres, el régimen en bits disminuirá a: $\frac{5}{100 \text{ ms} + 20 \text{ ms}}$ es decir, 41.7 b/s. ----

Empero, la velocidad permanecería en 74.2 bauds porque este régimen, como se ha dicho, solo depende de la duración del impulso más corto (13.5 ms).

El número de palabras por minuto se determina empleando el --

promedio telegráfico común de elementos de palabra que es de 6 caracteres. La velocidad en b/s se convierte en b/m multiplicando -- por 60; en consecuencia, 50 b/s equivalen a 3 000 b/m. Dado que -- hay 5 bits por carácter y 6 caracteres por palabra, cada una tiene un total de 30 bits. Al dividir 3 000 b/m en 30 bits/palabra, se -- obtiene un valor de 100 palabras por minuto. También, en este caso aunque la velocidad disminuya por lentitud del operador, el régi-- men de las señales permanecerá constante en 74.2 bauds.

Por las razones expuestas, se llega a la conclusión que la ve locidad en bauds reviste gran importancia para telefonía debido a-- que este régimen determina la clase de canal a emplearse en un nue vo sistema de comunicación digital. El ingeniero de computación e-- lectrónica se interesa en la velocidad en bauds, pero el interés -- es el aspecto económico del sistema y la rapidez con que puede en-- viarse la información. Por tanto, la velocidad en bits es la expre sión que se emplea con mayor frecuencia al hablar de transmisión -- digital binaria.

Ahora veremos como se puede calcular la cantidad de informa-- ción (en bits/seg) de un canal de transmisión con símbolos de mul-- tinivel.

Consideremos los ejemplos siguientes:

a) Si los datos binarios están agrupados en pares, llamados ---- DIBITS, entonces cada dibits puede tener cuatro posibles estados-- (ver tabla siguiente), los cuales pueden ser identificados con cua tro niveles de transmisión.

DIBIT	NIVEL
00	A
01	B
11	C
10	D

b) Similarmente un sistema de ocho niveles corresponde a grupos - de datos binarios de 3 en 3, llamados tribits

TRIBIT	NIVEL
000	A
001	B
010	C
100	D
011	E
101	F
110	G
111	H

De estos sencillos ejemplos podemos inferir que un símbolo -- con m posibles niveles está formado por q bits, así: $m=2^q \dots (2)$ y tomando logaritmos de base 2 de ambos lados de la ecuación (2) - tendremos: $q = \log_2 m \dots (3)$, que determina la información q , - en bits de un símbolo de m niveles, con cada nivel igualmente seme- jante.

La expresión logaritmica en (3) puede ser demostrada ventajo- samente considerando n símbolos consecutivos cada uno con m nive- les posibles; entonces intuitivamente esperaríamos: $n \log_2 m = nq$ bits de información contenidos en esos símbolos. Pero n símbolos - de m niveles pueden tener m^n posibles estados y por tanto, $\log_2 m^n$ bits es igual a $n \log_2 m$ como anteriormente se vió.

La señal recibida habiendo sido interpretada y filtrada por -

el canal de comunicación típicamente aparecerá como en la fig. 1, - si esa señal es binaria. (ver pag. siguiente).

Es a menudo útil formar el "patrón óptico" de esta señal por superposición de segmentos de la señal recibida muchas veces en un osciloscopio, donde cada trozo es disparado al mismo punto en tiempo, en relación a los límites del símbolo.

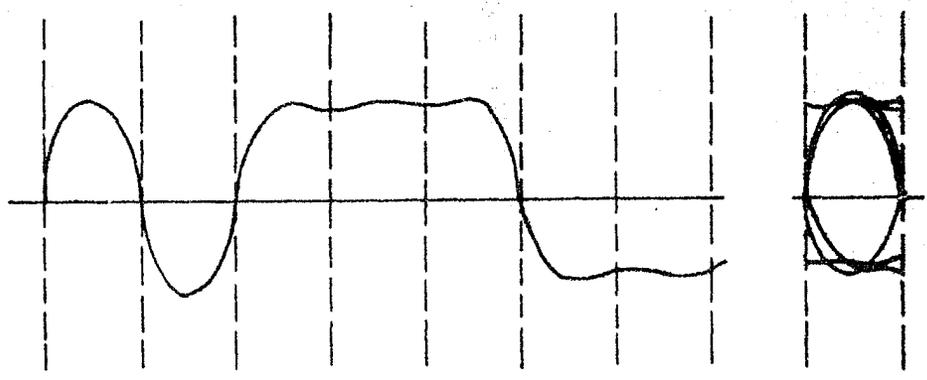
La formación de un patrón binario óptico es también mostrado en la fig.1. En general mientras más claro sea el patrón óptico, - mayor será la inmunidad al error, aunque en la siguiente sección - se hace una excepción a esto.

Como es de esperarse los símbolos no-binarios producirán patrones ópticos de varios niveles siendo el número de divisiones ópticas verticales uno menor que el número de niveles del símbolo.

M O D U L A C I O N

Donde hay una línea física directa con una trayectoria de -- C.D. entre el transmisor y el receptor es posible transmitir los - datos directamente como una secuencia de pulsos cuya cantidad y número de niveles están determinados por el ancho de banda del circuito y el ruido de la línea. La trayectoria de C.D. es necesaria- puesto que la densidad de potencia espectral de una secuencia de - pulsos aleatorios se extiende a C.D.; por ejemplo la densidad de - potencia espectral de pulsos binarios rectangulares de una señal - aleatoria es mostrada en la fig. 2 (ver pag. siguiente).

De cualquier manera, en muchos casos el canal de comunicación puede tener un ancho de banda que no se extiende hasta C.D.; por -



UNA ONDA BINARIA TIPICA Y LA FORMACION DEL PATRON OPTICO POR SUPERPOSICION DE SEGMENTOS DE LA ONDA. FIG. 1

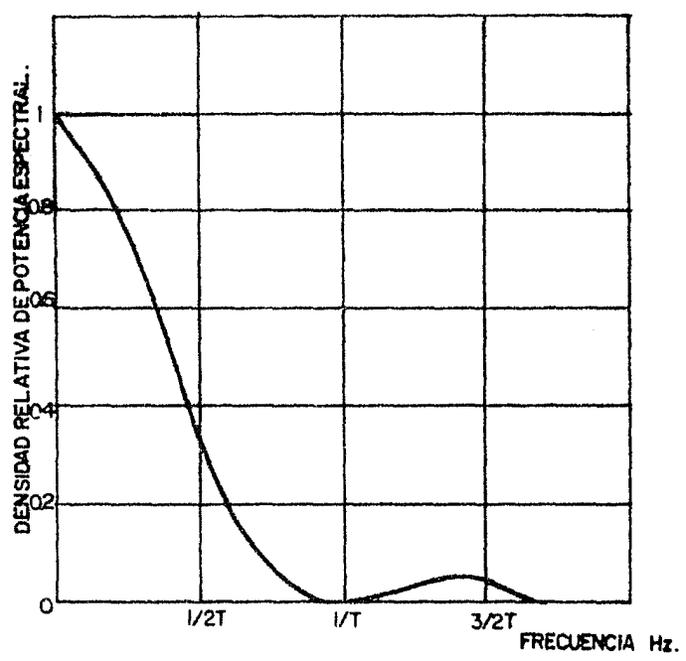


FIG. 2.- DENSIDAD RELATIVA DE POTENCIA ESPECTRAL DE UNA SECUENCIA DE PULSOS ALEATORIA BINARIA RECTANGULAR.

ejemplo el ancho de banda de un canal telefónico va desde cerca de 300 Hz. hasta 3400 Hz. Esto previene la transmisión directa de los pulsos de banda-base los cuales tienen un espectro de frecuencias que se extiende en su parte inferior a C.D. y complica el problema. El espectro de frecuencias de la señal debe entonces ser trasladado encima de la más baja frecuencia de corte del canal.

Esta operación se llama modulación y es efectuada por la modificación de algunos parámetros (por ejemplo: amplitud, fase, frecuencia) de una onda portadora senoidal que lleva la secuencia de datos, donde la frecuencia de la portadora se localiza en la banda de paso del canal. La posición de la frecuencia portadora y máxima cantidad de información del canal están determinados por la mencionada banda de paso del canal.

En el receptor, se efectúa un proceso inverso llamado demodulación con el objeto de obtener los datos transmitidos. Frecuentemente las funciones de modulación y demodulación están contenidas en la misma unidad del equipo, la cual se denomina MODEM.

Las características de los diferentes tipos de modulación serán ahora discutidas en el contexto de transmisión de datos, con referencia especial para transmisión de datos sobre redes telefónicas. Se presentarán las relaciones entre la probabilidad de error y la razón señal a ruido, para ruido gaussiano (normal), para varias de las técnicas de modulación, aunque también se experimentan otras formas de ruido sobre los canales de comunicación (especialmente sobre las redes telefónicas donde predomina el ruido de impulsos) esas relaciones (para ruido gaussiano) son ampliamente usadas por las razones siguientes:

El ruido gaussiano es fácil de ser generado y tiene estadística --

simple, mientras que el ruido debido a impulsos no tiene un modelo tan simple, además es el gran pico del ruido gaussiano el que causa los errores en la transmisión de datos. La clasificación de los MODEMS con respecto a su funcionamiento erróneo en presencia del ruido gaussiano, a menudo no cambia cuando se presenta el ruido debido a impulsos.

MODULACION DE FRECUENCIA (FM)

Este es un método de modulación ampliamente usado en la transmisión de datos sobre redes telefónicas, especialmente para bajos porcentajes de datos hasta 1200 bits/seg. Es llamado también llaveo de frecuencia.

La modulación digital de frecuencia se lleva a cabo en dos formas: primeramente, puede haber determinado número de osciladores, uno para cada frecuencia de señalización, los cuales se "switchean" a la salida del transmisor dependiendo de los datos de entrada. La segunda técnica consiste en "switchear" la frecuencia de un solo oscilador a las diferentes frecuencias de la señal, manteniendo mientras tanto la fase continua a la salida del oscilador. La segunda técnica tiene una ventaja al conservar la fase continua en la señal transmitida puesto que proporciona un espectro de frecuencias más angosto que el del primer método cuya fase está cargada de discontinuidades.

La densidad de potencia espectral de la salida de un transmisor de frecuencia modulada con fase continua ha sido calculada para una secuencia binaria aleatoria de datos, con este resultado --

puede mostrarse que una desviación de pico a pico de la frecuencia de 0.6 a 0.7 veces la cantidad de bits por segundo conduce a un espectro mejor formado, proporcionando una mayor eficiencia en la -- transmisión en términos del ancho de banda ocupado. Por ejemplo -- los modems usados en el servicio A.P.O.Data1 a 1200 baud tienen 2 frecuencias de señalización a 1300 Hz. y 2100 Hz., resultando una razón de diferencia de frecuencia a cantidad de bits de $800/1200 = 0.67$.

Similarmente a 600 baud, las frecuencias portadoras son --- 1300 Hz y 1700 Hz y la razón es $400/600 = 0.67$. La fig. 3 muestra la densidad relativa de potencia espectral de una señal de frecuencia modulada y 1200 baud (por supuesto señal de datos binarios a-- leatorios) y frecuencias de señalización de 1300 y 2100 Hz. Puede notarse que no hay componentes discretas de frecuencia ni a 1300Hz ni a 2100Hz sino solo una densidad finita de potencia espectral.

Si las frecuencias de señalización de 1300Hz. y 2100 Hz. se conservan, pero la velocidad de transmisión se reduce a 600 baud -- se obtiene un espectro de frecuencia diferente como se muestra en la fig. 4 y aún requiere aproximadamente el mismo ancho de banda.

En la fig.5 se muestra un diagrama funcional de un receptor -- típico para este tipo de modulación. El filtro pasa-banda tiene el importante papel de eliminar el ruido de la señal no comprendido -- en el espectro de la señal misma, sin distorsionarla significativa mente. Esto es, el filtro necesita tener un ancho de banda tan angosto como sea posible sin filtrar demasiado severamente una señal de frecuencia modulada, con un espectro como la figura 3.

El limitador tiene la función de limitar severamente la señal

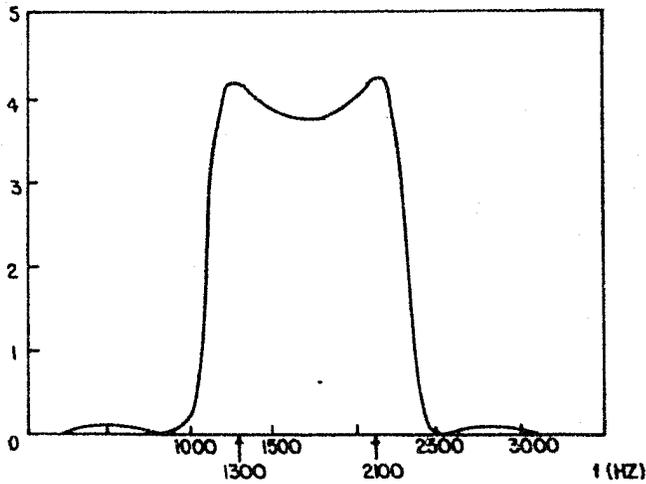


FIG. 3.- DENSIDAD RELATIVA DE POTENCIA DE UNA SENAL DE FM. BINARIA A 1200 BAUD. FRECUENCIAS DE SENALIZACION A 1300 Hz Y 2100 Hz.

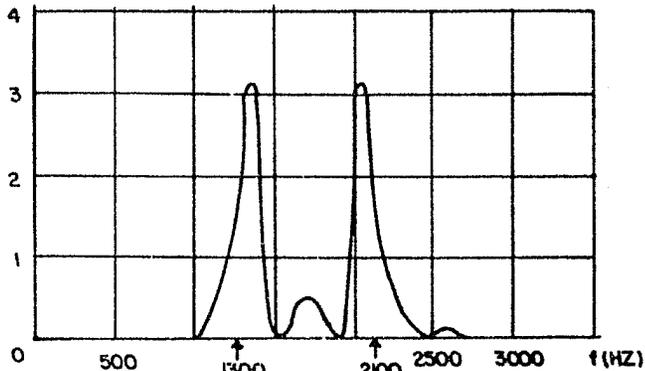
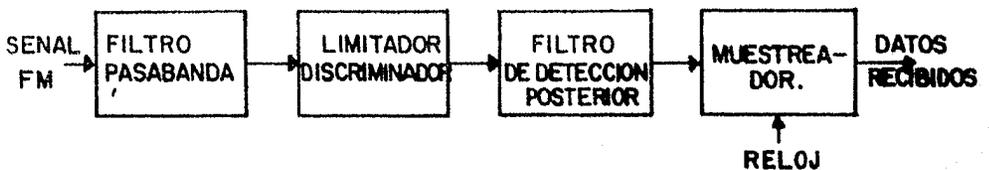


FIG. 4.- DENSIDAD RELATIVA DE POTENCIA ESPECTRAL DE LA SENAL BINARIA DE FM. A 600 BAUD CON SENALIZACION A 1300 Y 2100 Hz.

FIG. 5.- DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN RECEPTOR DIGITAL DE F.M.



de entrada así como cualquier ruido que pase a través del filtro pasabanda. De esta manera la frecuencia instantánea de la señal -- alimentada al discriminador es la suma de la señal de FM más el -- ruido filtrado. La frecuencia instantánea resultante no es una función lineal del ruido y consecuentemente el cálculo del porcentaje de error debido al ruido es un problema relativamente difícil. Sin embargo existe una interpretación sencilla y aproximada del comportamiento erróneo de un sistema FM binario, la cual proporciona un resultado que es relativamente preciso y deja entrever que es lo que produce el error.

Esta interpretación está basada en el "efecto de captura" de los receptores de FM que consiste en que la frecuencia promedio de la suma de 2 señales senoidales es igual a la frecuencia de la señal más fuerte, por tanto si la envolvente del ruido excede a la envolvente de la señal, aquella determinará en una gran medida la frecuencia instantánea en el discriminador.

Dado un filtro pasabanda simétrico alrededor de las 2 frecuencias de la señal binaria, supondremos una probabilidad igual de -- que la frecuencia instantánea de la señal más el ruido se acerque más a una frecuencia de las de la señal, cuando la envolvente del ruido exceda a la envolvente de la frecuencia de la señal. Si está más cercana (la frecuencia instantánea de la señal más el ruido) a la frecuencia opuesta a la transmitida se tendrá un error. Para ruido blanco gaussiano puede demostrarse que la probabilidad de -- que la envolvente del ruido exceda a la señal es $\exp(-p)$ donde p es la razón de potencia señal-ruido (SNR), así para esta forma de ruido la probabilidad de un bit erróneo se dará por:

$$P_e = \frac{1}{2} \exp(-p) \dots\dots\dots (4)$$

un análisis más detallado proporciona un resultado que es muy cercano a la relación anterior. La ecuación 4 ha sido graficada en la fig. 6 en la cual puede verse que para una relación señal-ruido -- (SNR) de 8.4 (9.2 db), la probabilidad de error es 10^{-4} . Notese -- que la relación señal-ruido no ha sido graficada en db. Es impor-- tante darse cuenta que la probabilidad de error es altamente depen-- diente de la amplitud de la envolvente de la señal de FM, aunque -- este parámetro no aparece en el "patrón óptico" del discriminador-- cuando no hay ruido.

Así, cuando se esté afirmando la posibilidad de existencia de los errores en la señal de FM, deben ser observadas tanto la envollvente de la señal como el patrón óptico.

MODULACION DE FASE

En la transmisión de datos sobre redes telefónicas a 2400 --- bit/seg, es posible usar modulación de frecuencia binaria a 2400 -- baud pero con el doble de los requerimientos del ancho de banda -- para la transmisión a 1200 baud. Sin embargo se ha determinado en-- la práctica que es mejor usar modulación de fase a 1200 baud con -- cuatro posibles fases para proporcionar una velocidad de transmi-- tida en dibits, los cuales a su vez son codificados dentro de cua-- tro posibles fases dependiendo de cada dibit en particular. Para evitar el problema de la transmisión de una onda portadora con fa-- se de referencia contra la cual deba ser comparada la fase de la --

señal, la información se transmite como un cambio de fase y frecuentemente esta forma de modulación es llamada "llaveo de fase" - (diferencialmente coherente). En la tabla 2 se muestran las dos convenciones alternativas de codificación internacionalmente acordadas que se usan en estos MODEMS.

TABLA 2: CONVENCIONES ALTERNATIVAS DE CODIFICACION

DIBIT Patrón	CAMBIO DE FASE	
	Alternativa A	Alternativa B
00	0°	45°
01	90°	135°
11	180°	225°
10	270°	315°

Una señal de fase modulada con "brincos" instantáneos de fase como en el arreglo de la tabla 2 tendría un ancho espectro de frecuencias y es normal adoptar medidas para limitar el espectro de la señal. Por ejemplo, puede filtrarse la señal después de la modulación de la fase ó bien, la portadora puede ser modulada en amplitud y los cambios de fase utilizados cuando la portadora es mínima.

La fig. 7 muestra una densidad de potencia espectral típica usando la técnica anterior para un modem de cuatro fases a 1200 baud, (2400 bit/seg.). Existen varias técnicas que pueden ser usadas para la demostración de una señal de fase modulada, pero para demodular por ejemplo, una señal de cuatro fases, el procedimiento

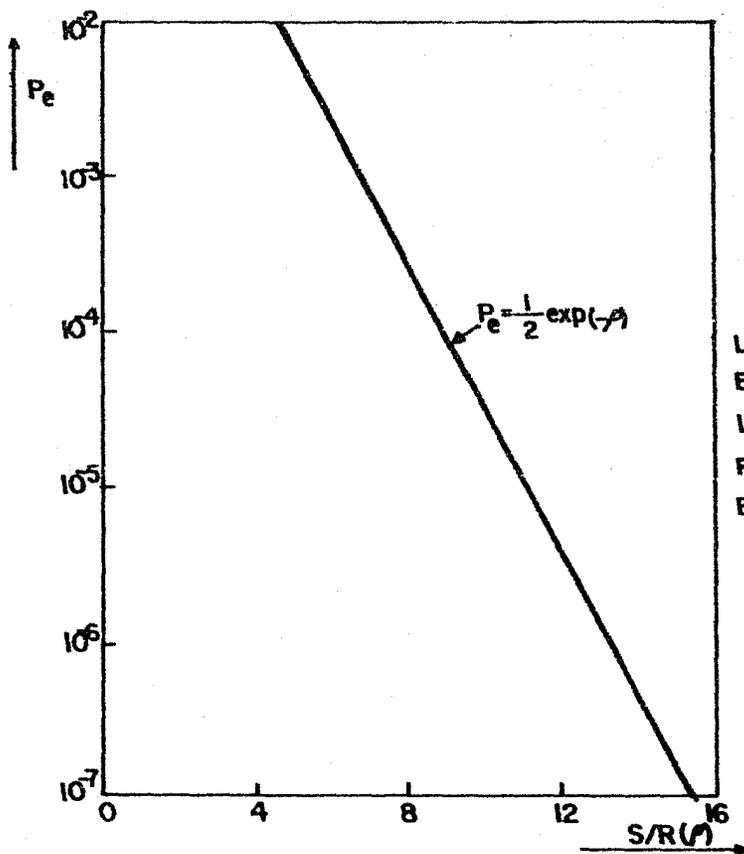


FIG. 6
LA PROBABILIDAD DE
ERROR EN FUNCION DE
LA RELACION SENAL-
RUIDO DE UN SISTEMA
BINARIO DE FM.

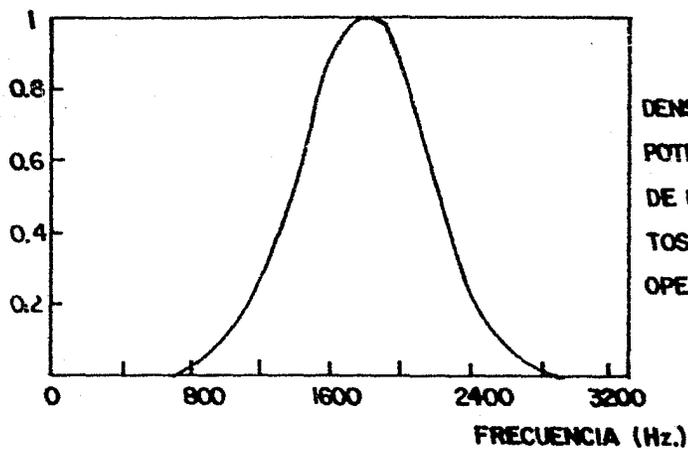


FIG. 7
DENSIDAD RELATIVA DE
POTENCIA ESPECTRAL
DE UN MODEM DE DA-
TOS DE CUATRO-FASES
OPERANDO A 2400 bps.

básico es dividir el círculo representativo de los 360 grados en - cuatro cuadrantes como se muestra en la fig. 8. Los vectores de fa se correcta están situados al centro de los cuadrantes o "regiones- de decisión" y si la fase demodulada cae adentro de un cuadrante - dado, se asigna al vector de fase asociado con el cuadrante la de- cisión del receptor.

El ruido agregado puede ser representado por el vector $n(t)$ - como se muestra en la fig.8. Mientras el vector de fase resultante caiga dentro del cuadrante, la decisión hecha será la correcta. Para ruido gaussiano, la probabilidad de una decisión incorrecta - para la modulación de cuatro-fases está graficada en la fig.9 como una función de la relación señal-ruido (RSR).

La codificación de los cambios de fase mostrada en la tabla 2 ha sido escogida de tal modo que los dos cambios de fase sobre -- cualquiera de los dos lados de un llaveo de fase dado corresponda a díbits que difieran en sólo un dígito del díbit correspondiente al llaveo de fase dado.

Normalmente si el ruido produce un error en la detección del- cambio de fase, el cambio de fase incorrectamente detectado estará en cualquiera de los dos lados del correcto en lugar de a 180° de- diferencia, por lo tanto el porcentaje de bits equivocados en mí-- nimo para un porcentaje dado de símbolos equivocados.

Un punto aún más interesante surge del sistema de modulación- de fase (diferencialmente coherente) en que puede ser hecha la com paración de estas dos fases sucesivas antes o después de que hayan sido cuantificadas en el receptor. Si las fases son primero cuanti- ficadas y entonces las fases sucesivas restadas para dar un cambio de fase, un error en la detección de una fase dada afectará dos --

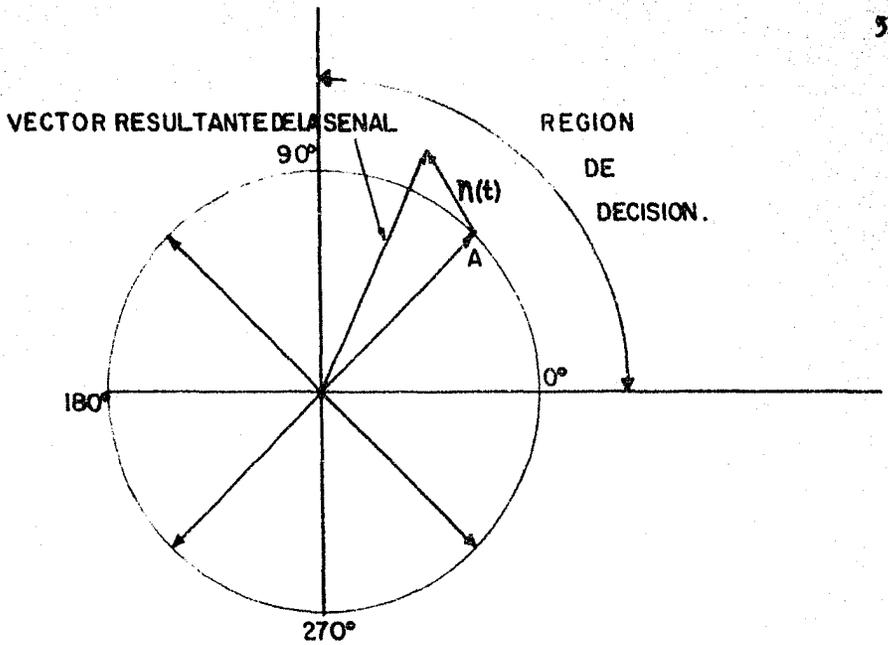


FIG.8.- REGIONES DE DECISION DE UN MODEM DE 4 FASES.

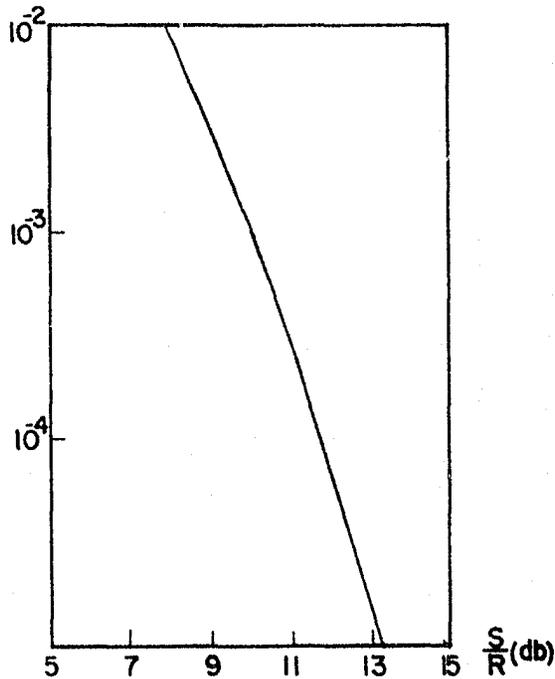


FIG.9.-PROBABILIDAD DE ERROR EN FUNCION DE LA RAZON SENAL- RUIDO PARA UN SISTEMA DE 4 FASES.

restas sucesivas y por tanto dos díbits serán erróneos con probablemente sólo el error de un bit por díbit, debido a la codificación de los cambios de fase (ver tabla 2). Esto significa que los errores tenderán a ocurrir en pares; sin embargo si las fases sucesivas de cada díbit son primero restadas y luego cuantificadas conforme a los valores de la tabla 2, la posibilidad de errores dobles se reduce considerablemente.

MODULACION DE AMPLITUD

Aunque la modulación de amplitud es tal vez la forma de modulación más sencilla de ser comprendida y analizada, no ha sido muy usada para la transmisión de datos sobre redes telefónicas especialmente para velocidades de transmisión no muy altas donde las modulaciones de frecuencia y de fase son más seguras y económicas. Sin embargo para altas velocidades de transmisión se prefiere la modulación de amplitud de varios niveles especialmente porque la naturaleza lineal de esta forma de modulación facilita el diseño de igualadores automáticos para la conexión de los efectos de la distorsión de la frecuencia.

En la transmisión de datos con modulación de amplitud es normal conservar el ancho de banda transmitiendo solamente una lateral de la señal de amplitud modulada (SLB) o una banda lateral con solo una parte vestigial de la otra banda lateral. La cuadratura de la modulación de amplitud puede ser usada, alternativamente, donde dos portadoras independientes separados 90 grados, son moduladas en amplitud independientemente conservando ambas sus bandas-

laterales superior e inferior y después demoduladas de manera sincronizada por dos portadoras separadas 90° como se usaron en el -- transmisor. En la transmisión de doble banda lateral es necesario -- prevenir la interferencia entre canales de las dos portadoras.

Las capacidades de la señal de banda lateral (SLB) y de la -- cuadratura de la amplitud modulada son las mismas, porque aunque -- para el último sistema mencionado se necesitan bandas laterales do -- bles que sean la mitad del porcentaje de baud, se tienen efectiva- -- mente dos canales paralelos que dan en general el mismo porcentaje de datos.

Tomando en cuenta la fig. 5 para modulación de cuatro-fases -- puede verse que un vector de fase dado puede descomponerse en dos- -- componentes en cuadratura; de tal modo que cada uno de los cuatro- -- vectores posibles de fase puede estar formado por dos señales de -- amplitud modulada de doble nivel en cuadratura. Consecuentemente -- la modulación de cuatro fases puede ser considerada como modula-- -- ción de amplitud con cuadratura de doble-nivel. Por ejemplo el es- -- pectro mostrado en la figura 7 resulta de considerar la señal de -- fase modulada como AM en cuadratura.

Un modem típico de datos para alta rapidez de transmisión por canal telefónico utiliza modulación de amplitud con SVB (señal ves -- tigtial de banda) con una frecuencia portadora de cerca de 2.8 KHz- -- y un porcentaje de modulación de 4800 baud con cuatro niveles pro- -- porcionando una velocidad de transmisión de 9600 bit/seg. Con esta frecuencia portadora la banda lateral inferior será transmitida -- principalmente.

La modulación de amplitud es una forma lineal de modulación y

y la salida de un receptor de AM puede ser considerada como una -- suma lineal de los símbolos individuales de la señal transmitida.- Este hecho es usado para igualadores "adaptivos" (variables), los cuales están frecuentemente asociados con este tipo de modems, para datos se pueden usar otras variantes de las formas anteriores de - modulación. Por ejemplo, es posible usar una modulación combinada de amplitud y de fase con un modem de cuatro estados de fase y dos niveles de amplitud dando efectivamente ocho posibles niveles por símbolo.

DEFICIENCIAS EN LOS CANALES DE COMUNICACION

Cuando se transmiten datos sobre un canal de comunicación pue de haber una amplia variedad de deficiencias, las cuales pueden de gradar al canal e incrementar la posibilidad de existencia de errores entre los datos recibidos. Sin embargo, es posible clasificar esas deficiencias dentro de varias categorías, basándose más en sus efectos que en sus causas.

Las deficiencias más importantes experimentales en un canal - de la red telefónica caen dentro de las siguientes clasificaciones.

DISTORSIONES ADITIVAS.- Las cuales incluyen:

1).- Ruido gaussiano (de ambiente). En general tiene un nivel muy-bajo y no es significativo en la transmisión de datos sobre redes-telefónicas. Sin embargo en algunas situaciones tales como receptores para instrumentos espaciales de comunicación, este tipo de ruido es "dominante". Esta forma de ruido es usada ampliamente por --

los diseñadores y analistas de sistemas de comunicación digital -- por las razones dadas en el inciso previo sobre modulación.

11).- Ruido de impulsos; se debe a transitorios switcheos en las centrales telefónicas, relámpagos y otras distorsiones similares. sus características están definidas mucho menos que las del ruido-gaussiano y no existe actualmente algún modelo simple de esta forma de ruido.

La técnica usual de medición consiste en contar el número de pulsos que en un tiempo dado excedan un nivel fijo.

111).- Distorsiones senoidales y algunas otras periódicas.

DISTORSION LINEAL.- Como su nombre lo indica esta forma de distorsión transforma linealmente la señal transmitida a su paso através del canal de comunicación. Las características de la distorsión lineal están especificadas usualmente en el dominio de la frecuencia por curvas de amplitud y curvas de retardo (de fase).

La distorsión lineal puede ser causada por la atenuación de los cables, el retardo en los filtros, eco debido al desbalanceo, etc..

Puesto que el habla no es sensible a la distorsión de retardo, las redes telefónicas se han desarrollado sin que este parámetro - haya sido especificado, pero cuando se transmiten datos sobre la red la distorsión de retardo puede degenerar muy seriamente la señal, especialmente para altas cantidades de datos; se necesitan en tonces algunas formas de igualación para el retardo.

Los efectos de la distorsión lineal en la transmisión de datos consiste en causar interferencia entre símbolos adyacentes de los datos recibidos. Normalmente esta interferencia entre símbolos es insuficiente para producir errores por sí misma, pero hace a los datos más susceptibles a las distorsiones por el ruido.

La forma más común de igualación usada en las redes proporciona atenuación y retardo de grupo del canal, dentro de algunos rangos dados sobre el ancho de banda de interés. Por ejemplo, las figuras 10 y 11 muestran la recomendación M102 de la CCITT sobre atenuación y características de retardo de grupo para circuitos telefónicos de calidad especial. Como la distorsión lineal puede causar interferencia entre símbolos, es mejor ajustar la igualación para minimizar esta interferencia en los tiempos de muestreo del modem receptor de datos en lugar de intentar ajustar la respuesta de frecuencia del canal con algún criterio arbitrario, debido a que la interferencia entre símbolos es más fácilmente representada en el dominio del tiempo que en el dominio de la frecuencia. La forma del igualador que minimiza mejor la interferencia entre símbolos es un filtro transversal que proporciona versiones cargadas de la señal original en un rango de retardos. (ver fig. 12)

De hecho, es esta forma de igualador la que se presta a ser hecha adaptiva observando la interferencia entre símbolos en los datos y ajustando la carga en los diferentes retardos para minimizar esta interferencia.

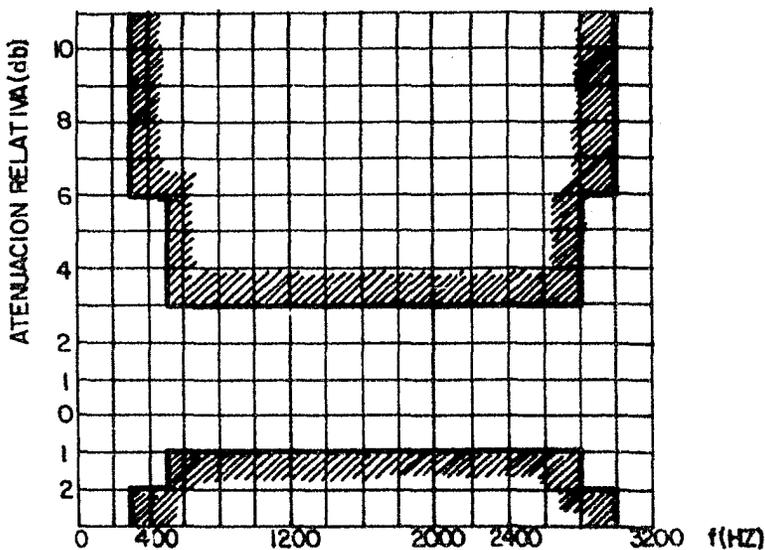


FIG. 10 LIMITACIONES SOBRE ATENUACION (MIO2 CCITT)

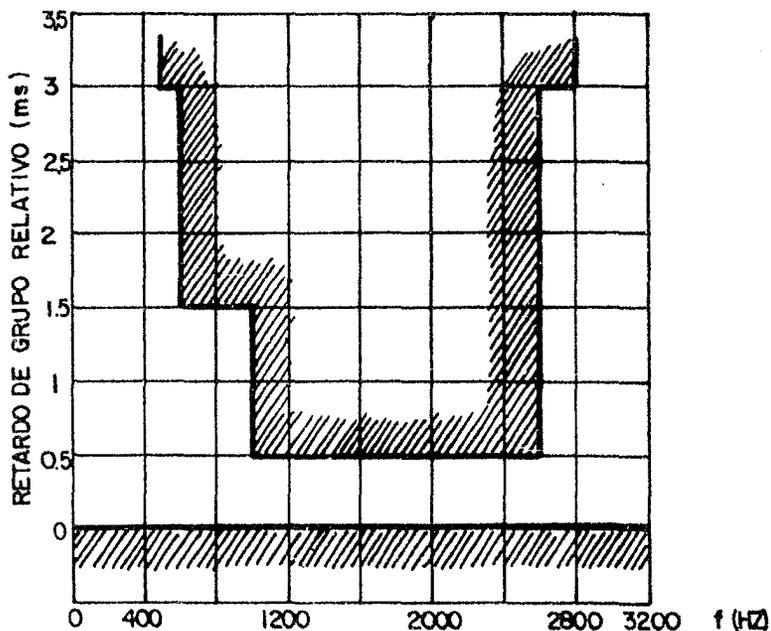


FIG. II - LIMITACION SOBRE RETARDO DE GRUPO ESPECIFICADA POR CCITT. (RECOMENDACION MIO2)

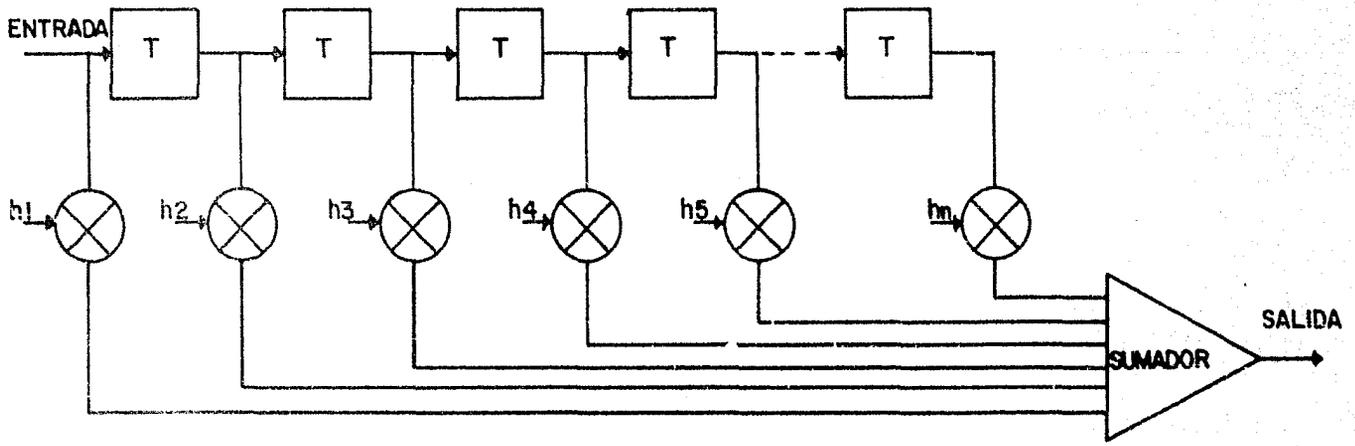


FIG 12.- UN FILTRO TRANSVERSAL

OTRAS DEFICIENCIAS.- Un canal de comunicación puede distorsionar la señal en una forma no-lineal, la cual puede dar lugar a intermodulación y distorsión armónica.

Otras importantes clases de deficiencias experimentadas en un canal de comunicación son las variaciones de la frecuencia y de la fase. En las redes telefónicas esos efectos son el resultado del uso de los sistemas de portadora. Un cambio de frecuencia constante debido a una diferencia entre las frecuencias del oscilador en el modulador y en el demodulador de un sistema de portadora no es importante en la transmisión de datos siempre y cuando sea pequeño. Sin embargo arriba de 10 Hz aproximadamente algunos modems de datos no pueden notar el cambio de frecuencia y por tanto no pueden funcionar. Una deficiencia muy grande en la transmisión de datos a las más altas velocidades en la red telefónica es debida a las variaciones de fase, ya sean brinco aleatorios, periódicos o aislados. El efecto de estas variaciones comunmente llamado "jitter de fase" sobre la transmisión de datos dependerá del tipo de modulación usado así como de la estadística de la variación de fase; por ejemplo, el jitter de fase en un canal que porta una señal de frecuencia modulada aparece en la salida de un receptor de FM como ruido aditivo.

Así como a las variaciones de fase, un canal de comunicación será susceptible a las variaciones de amplitud tales como desvanecimiento o interrupciones. Una vez más el efecto de esas variaciones en la transmisión de datos dependerá del tipo de modulación que se use, así como de la estadística de las variaciones de amplitud.

PRUEBA DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION DE DATOS

En transmisión sincrona de datos, donde la señal en el receptor no es completamente regenerada después que se ha hecho la re-coordinación, sino que una versión cuadrada de la forma de onda --análoga demodulada es tomada como base, es usual caracterizar el efecto del canal de comunicación sobre la señal recibida en término de la distorsión telegráfica.

Básicamente esta distorsión mide las variaciones de los instantes de transición de datos (ver fig.13) a partir de los tiempos sin distorsión. Suponiendo un reloj muestreador ideal a la mitad del período del bit, es convencional, permitir 100 por ciento como la duración total del bit y entonces como podemos ver en la fig.13 se tendrá un error cuando la distorsión exceda el 50 por ciento.

La distorsión telegráfica puede tolerarse más con equipo electrónico que con equipo mecánico, el cual muestrea efectivamente el bit sobre una duración mayor.

En la mayoría de los modems de datos de más alta rapidez se extrae una forma de onda de reloj de la señal recibida y se usa para "reecordinar" los datos obteniendose baja distorsión telegráfica.

Sin embargo, los datos pueden todavía contener errores debido al ruido y entonces el criterio de funcionamiento de esos modems en un canal dado es su porcentaje de error. Este porcentaje de error está especificado por ejemplo, como un error por cada 10 000 bits recibidos o una probabilidad de error de 10^{-4} .

El porcentaje de error de un bloque es frecuentemente medido donde se dice ha ocurrido un "error de bloque", si hay uno o más -

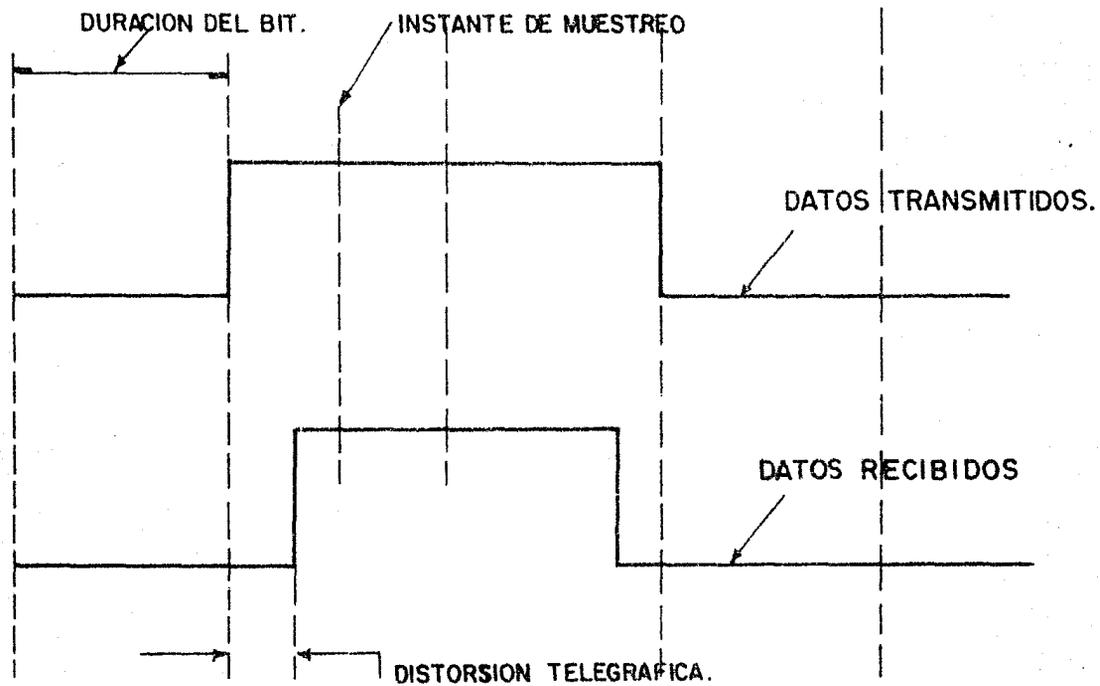


FIG 13.- LA DEFINICION DE DISTORSION TELEGRAFICA.

errores en una longitud predeterminada de datos llamada un bloque. La comparación del porcentaje de error en un bloque y el porcentaje de bits erróneos puede dar una idea de como se distribuyen los errores. Por ejemplo si los errores de bits están ampliamente distribuidos, entonces los porcentajes de error de bits y de bloque estarán cercanos, mientras que si los errores de bits se amontonan entonces ocurrirán muchos en un bloque dado y los dos porcentajes diferirán ampliamente.

Aunque ésta es una técnica simple es "cruda" relativamente y para un mejor entendimiento de la distribución de bits erróneos se necesita una relación y un análisis más detallados de los eventos erróneos. También puede notarse que si se usa una modulación de varios niveles decodificada de nuevo en binario después los eventos erróneos ocurren en los símbolos de varios niveles, y esto impondrá entonces ciertas propiedades en la distribución binaria del error.

Por ejemplo, el sistema de llaveo de fase diferencial de cuatro fases frecuentemente da errores dobles por que se usa una comparación entre los símbolos presentes y los usados previamente. En tonces un error en el símbolo presente afectará esta decisión y la del siguiente, cuando el símbolo presente llegue a ser el símbolo previo.

Para probar un sistema de transmisión de datos, se necesita una secuencia de datos con las siguientes propiedades: debe ser fácilmente generada y tener características similares a las de una secuencia de datos aleatorios; además debe tener una longitud final y ser predecible de tal modo que la misma secuencia pueda ser -

generada en el receptor, sincronizada a la secuencia entrante e --
igualada bit a bit para detectar los errores en la transmisión. --
Una secuencia de registro de cambio de longitud máxima, comunmente
llamada señal binaria pseudo-aleatoria cumple estos requisitos y --
es ampliamente usada en pruebas de datos A.P.O. La longitud de se
cuencia es 511 bits generados por un registro de cambio con reali-
mentación de 9 bits. Aunque se puede obtener mucha información --
acerca del funcionamiento de un sistema de transmisión de datos de
la distribución de los errores, una mejor comprensión de las cau--
sas de estos errores se obtiene únicamente cuando las ondas análo-
gas de la señal y del ruido son observadas, especialmente en el --
punto donde se hace la decisión. Por ejemplo, la observación del -
patrón óptico puede proporcionar considerable información acerca -
de la distorsión de la señal y su inmunidad al ruido.

CAPITULO III
 INFORMACION DIGITAL, REPRESENTACION POR MEDIO DE
 SEÑALES ELECTRICAS.

1.- INFORMACION BASICA DE LAS FORMAS DE ONDA.

Existe un gran número de formas por las cuales los símbolos digitales pueden ser representados por medio de señales eléctricas. Todas ellas comprenden la asignación de un rango de valores de una variable eléctrica continua, función de algún símbolo digital. La analogía más simple es la onda de corriente o voltaje de valor va-

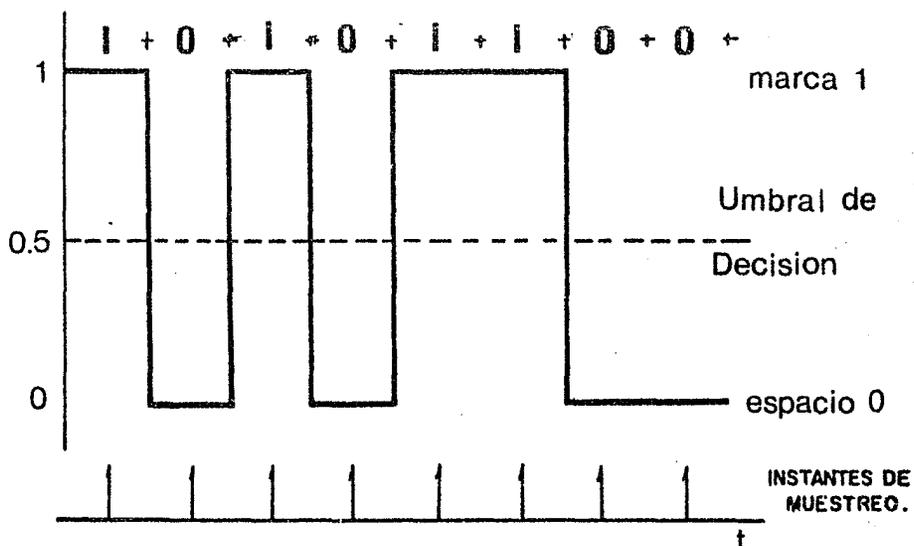


FIG. 1

riable. En la fig. 1 se muestra una onda sincrónica de datos de dos valores. En cada intervalo se transmite una condición de corriente o "no-corriente", ésta condición puede asumir entonces, dos valores: uno("1") o cero ("0").

En terminos telegraficos estos símbolos son llamados "marca" y "espacio", los cuales se originan de la aparición de la señal grabada o de los primeros sistemas telegráficos Morse. El receptor -- controlado a reloj, en fase con respecto a la onda de datos de entrada, muestrea la onda a la mitad de cada intervalo. Si la onda -

se encuentra por encima de la amplitud media, que determina el umbral de decisión, su valor es un uno (1). Este tipo de señal es algunas veces referido a un "conectado-desconectado" y en telegrafía puede utilizarse con un relevador neutral.

En lugar de corriente y no-corriente pueden usarse direcciones opuestas o polaridades de corriente. En la fig. 2 se muestra -

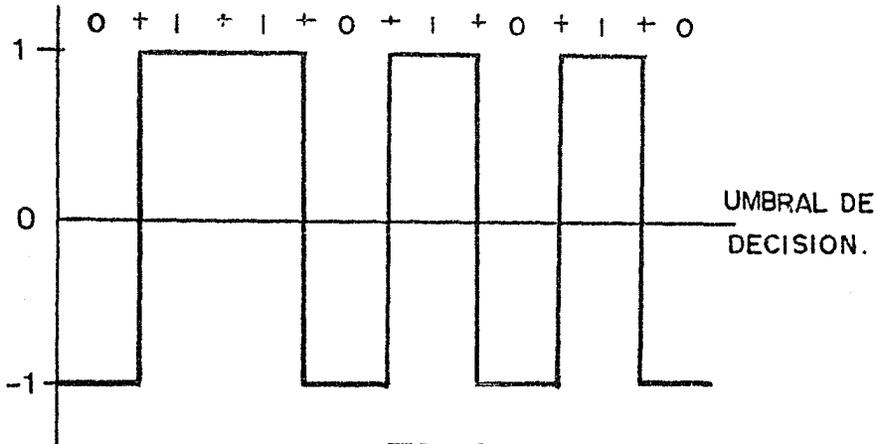


FIG. 2

una onda que tiene iguales amplitudes positivas y negativas, en este caso el umbral de decisión es 0. Este tipo de señal se conoce como polar.

En los casos anteriores, cuando un símbolo se repite no ocurre ningún cambio en la señal. Tales cambios son deseables para tener una separación entre los símbolos de las señales, como se ve en la fig. 3, en la que se usa un pulso rectangular de corriente para un 1 y un "no-pulso" para un 0. En esta señal después de cada

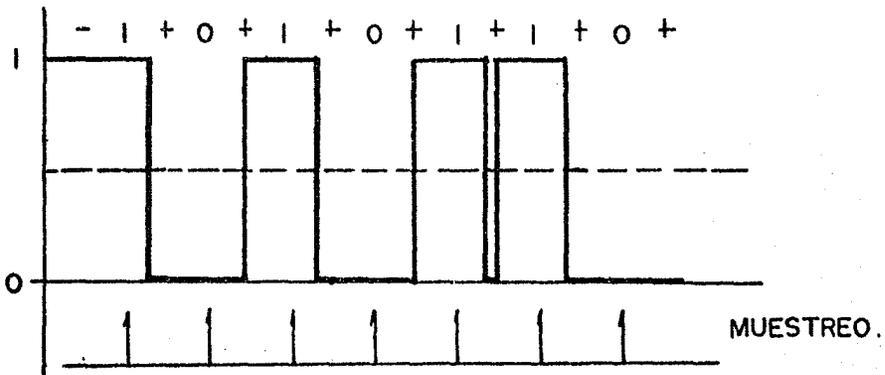


FIG. 3

símbolo tenemos "retorno a cero".

El espaciado de los símbolos es mayor que la longitud del pulso, así que los intervalos de ausencia de corriente ocurren entre símbolos sucesivos de 1. Este tipo de señal se llama con "retorno a cero" y es contraria a las señales de los ejemplos previos que han sido usadas para pulsos completos dentro de la longitud --

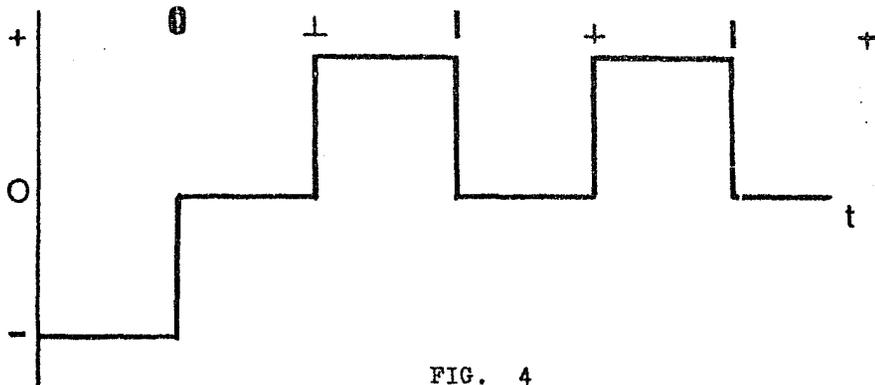


FIG. 4

de los símbolos.

Un ejemplo de señal polar con retorno a cero se muestra en la fig. 4, en este caso los intervalos de cero se consideran como un tercer símbolo utilizado para separar los pulsos de información. -- El símbolo de espacio se puede variar con este tipo de señal operado asincrónicamente, estas señales son algunas veces llamadas "relos automático", puesto que el receptor no requiere de símbolos de tiempo base, los cuales son determinados por la secuencia de la información recibida.

La señal mostrada en la fig. 5 utiliza polaridad alternada y los pulsos representan unos (1s), los ceros estaran determinados --

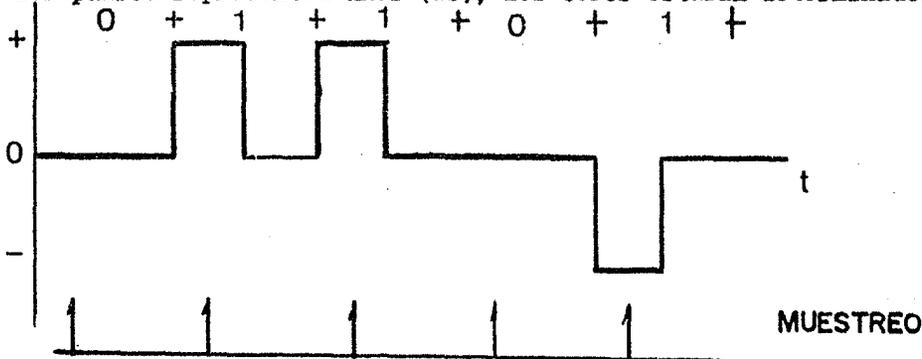


FIG. 5

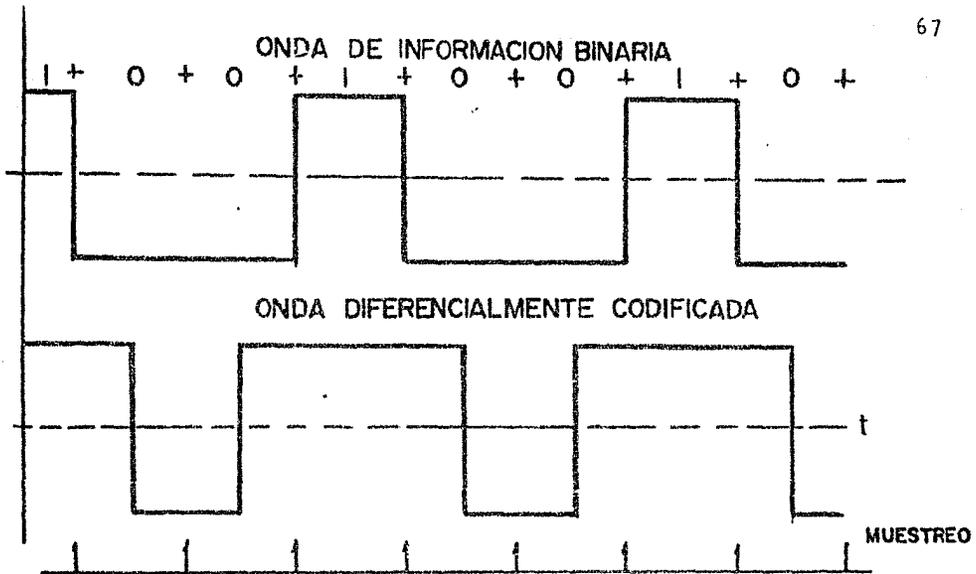


FIG. 6

por no pulsos, el pulso 1 puede ser completo o fracción de longitud completada con el símbolo de intervalo, a este tipo de señal se le llama "bipolar" y se utiliza para eliminar la necesidad de transmitir C.D. y componentes de baja frecuencia.

Lo anterior es conveniente algunas veces para codificar la información en términos de señales de transición. Por ejemplo una transición de una onda binaria puede usarse para designar un cero, una "no-transición" representará un 1, como se ve en la fig. 6.

Una señal puede invertir su polaridad sin afectar esta interpretación y es muy conveniente en sistemas en los que no tiene sentido la polaridad absoluta.

La información puede recuperarse muestreando la onda recibida y por comparación de la polaridad de los muestreos adyacentes para determinar si una transición ha ocurrido.

Una codificación inversa que describe el uso de pulsos polares para indicar las transiciones de una onda de información se muestra en la fig. 7.

La longitud del pulso corresponde al máximo tiempo de la transición que va a ser transmitida. Este tipo de señal así como la de la fig. 5, no tiene componente de corriente directa. Se puede utilizar para transmitir datos asincrónicos.

Un ejemplo de una señal con varios niveles se observa en la --

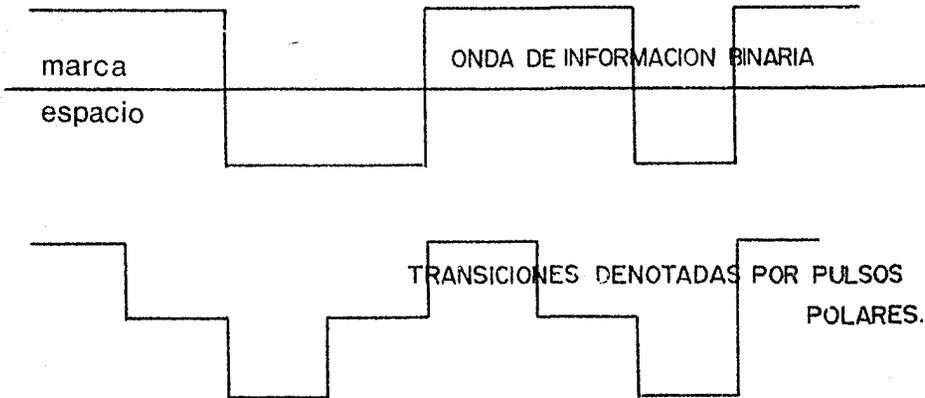


FIG. 7

fig. 8, que muestra una onda sincronica de cuatro niveles. La entrada y la salida de este canal de transmisión son seguramente datos binarios, los cuatro símbolos estan dados por la combinación de los dos dígitos binarios; y en el receptor son necesarios tres umbrales para formar decisiones respecto a los cuatro estados.

Todos los ejemplos anteriores de las formas de ondas de datos, son llamadas señales de "banda base". Ellas son las ondas de datos-básicas para la transmisión, pueden transmitirse directamente en esta forma, en tal caso será requerido un canal para frecuencias desde cero o muy cerca de cero y hasta frecuencias iguales o casi-iguales al tiempo del símbolo requerido.

Alternativamente estas ondas (básicas) pueden usarse para modular una onda portadora, permitiendo por tanto la transmisión que se desarrolla dentro de una banda de alta frecuencia.

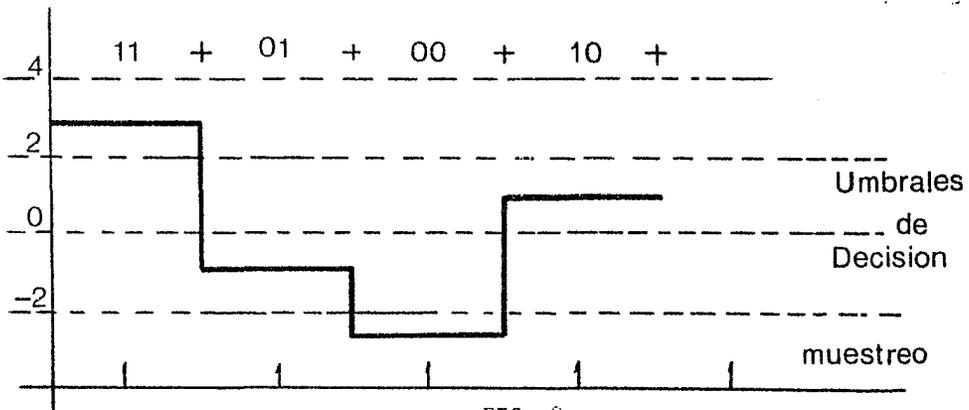


FIG. 8

2.- SEÑALES DE ONDA PORTADORA MODULADAS

Una onda senoidal, $A \sin(\omega t + \theta)$, puede ser usada como onda portadora en señales de banda base, variando la amplitud A , la frecuencia ω , o la fase θ . Un ejemplo de amplitud de modulación apaga-do-encendido se ilustra en la fig. 9.

La amplitud se puede variar para representar cualquiera de — las señales de banda base. Para señales polares las amplitudes ne-

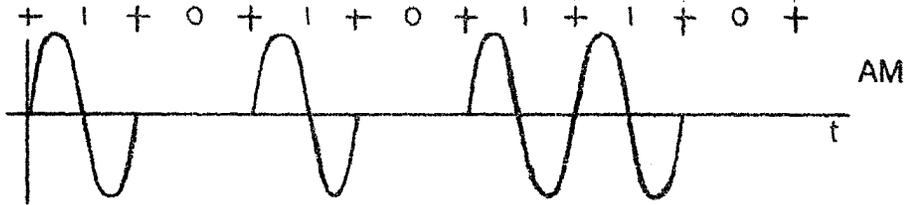


FIG. 9

gativas son de 180° de cambio de fase de la onda portadora.

Un ejemplo de una onda portadora binaria de frecuencia modulada se muestra en la fig. 10. Este tipo de modulación es llamado — "desviación de frecuencia por llaveo" y onda portadora desviada — por llave.

La modulación de frecuencia puede usarse como onda portadora de cualquiera de las formas de onda de banda base.

En la fig. 11 se muestra el ejemplo de una onda portadora binaria modulada en fase. Un cambio de fase de 180° se aplica en ella y puesto que la fase es una cantidad angular, 180° es el máximo cambio posible. Así la onda de banda base varía su fase en solo — $\pm 180^\circ$.

Puesto que las ondas portadoras moduladas de frecuencias diferentes se separan por filtros, debe disponerse de varios canales separados para transmitir simultáneamente y con mayor facilidad datos tipo paralelo.

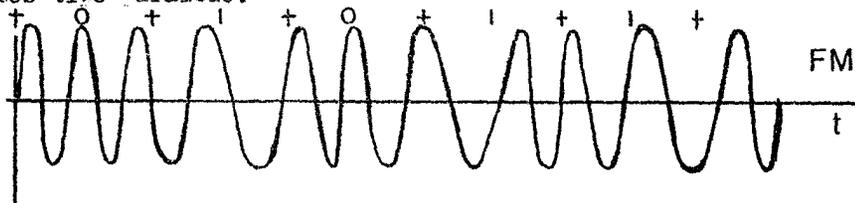


FIG. 10

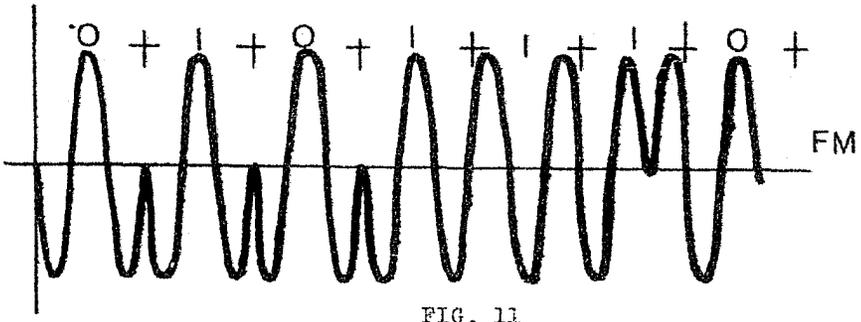


FIG. 11

3.- PULSOS MODULADOS

Los sistemas de modulación por pulsos en general utilizan pul-
 sos cortos con picos altos de potencia y bajo factor de carga como
 un artificio para combatir el ruido, aún cuando esos sistemas son-
 usados principalmente para datos análogos(análogicos), se pueden -
 usar también para onda portadora de cualquier señal digital de ban-
 da base.

Los pulsos modulados pueden también ser de corriente de banda
 base, o pueden ser señales de onda portadora de llaveo encendido-a-
 pagado. Los pulsos modulados en amplitud (MAF) se han mencionado,-
 pero los pulsos también se pueden modular en duración (MDF) y en po-
 sición de tiempo (MPT).

En la fig. 12 se ilustra unaseñal de datos binarios, cuyos --
 pulsos están modulados en duración(MDF).

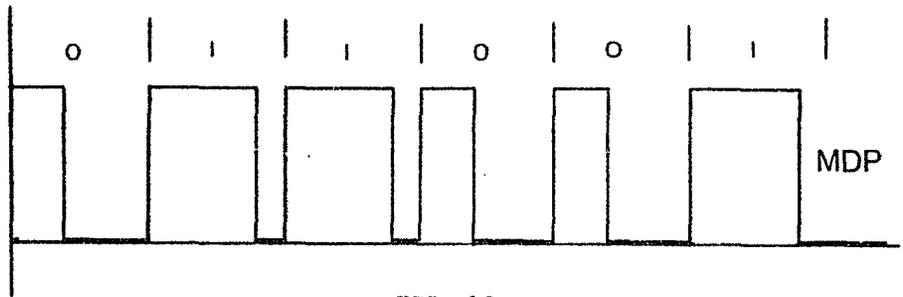


FIG. 12

En la fig. 13 se muestra una señal de pulsos modulados en po-
 sición. Es evidente que la recepción de tales señales de datos bi-
 narios, comprende la medición de variación en el tiempo, o sea la-
 localización de los pulsos.

La modulación de duración de pulsos se operan en forma asin--
crónica a medida que el espaciamento entre símbolos es tomado, --

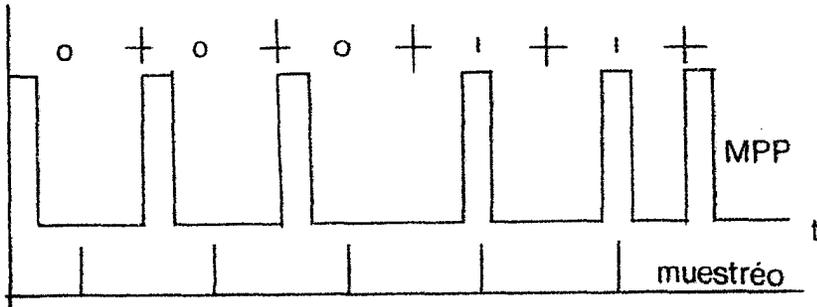


FIG. 13

al tiempo que se fija la duración de la codificación. La modula---
ción de posición de pulsos se opera usualmente asincrónicamente --
aunque el espaciamento variable de símbolos puede usarse si un --
tiempo de referencia del pulso precede cada símbolo, en este caso--
se convierte esencialmente como modulación de duración de pulsos.

El ancho usado por el código Morse internacional es una ejem-
plificación de la modulación de duración de pulsos. El pulso corto
se llama "punto" y el pulso largo-que tiene una duración de tres -
puntos-es llamado "arranque". Los pulsos están separados por espa-
cios uniformes, y por tanto su tiempo varía con la secuencia de la
señal.

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS DE LOS CANALES DE TELECOMUNICACION

La capacidad de información en un circuito de telecomunicaciones representa un concepto de suma importancia en la transmisión de datos, la velocidad de transmisión debe ser considerada como la característica principal de un canal, en el presente capítulo analizaremos diversos problemas que resultan de la determinación de las características de los mencionados canales. Los notables progresos obtenidos en la teoría de la información justifican matemáticamente el estudio presente.

1.- BITS Y BAUDS.

La velocidad de transmisión, o cantidad de información por unidad de tiempo depende de la línea o trayecto de transmisión y del equipo utilizado; la cantidad de impulsos enviados por segundo nos proporcionan una primera unidad de información : el bit. Los impulsos mencionados comprenden tanto a los de información, como a los impulsos adicionales que se insertan para la detección de errores.- La duración y dirección de los impulsos así como el número de impulsos de arranque y espaciado que se agregan como caracteres del código digital son independientes de la velocidad en bits por segundo.

En cambio existe otra medida, el baud, que constituye la unidad recíproca del tiempo que dura el elemento más corto de un carácter del código. El baud comunmente se interpreta erróneamente como sinónimo de bit. En realidad, el número de bauds es igual al de bits por segundo cuando todos los intervalos de tiempo de los caracteres son constantes y todos los impulsos de información, como en el caso de los sistemas de codificación digital binaria.

Como ejemplo de la relación existente entre bits y bauds cabe citar el servicio común de teleimpresión en que cada uno de los caracteres de la escritura se representa como una combinación de 5 impulsos o dígitos binarios. Cada impulso tiene una duración de 13.5 milisegundos. Por tanto, la velocidad en bauds es un valor recíproco de la duración del impulso, o sea aproximadamente 74.2 bauds. Para la transmisión de cada carácter de 5 dígitos se emplea un impulso de arranque y 5 de información de 13.5 ms cada uno, más un impulso de parada de 19 ms. Por tanto, el envío de un carácter demora 31 ms. en total.

En vista que la velocidad en bits depende del número de impulsos de información transmitidos por unidad de tiempo, la velocidad equivalente de la teleimpresión es de 5/100 ms., o sea, 50 b/s. Ahora bien, si se deja un lapso de 20 ms. entre caracteres, el régimen en bits disminuirá a: $\frac{5}{100 \text{ ms} + 20 \text{ ms}}$ es decir, 41.7 b/s. Empero, la velocidad permanecería en 74.2 bauds porque este régimen, como se ha dicho, solo depende de la duración del impulso más corto (13.5 ms).

El número de palabras por minuto se determina empleando el promedio telegráfico común de elementos de palabra que es de 6 caracteres. La velocidad en b/s se convierte en b/m multiplicando por 60; en consecuencia, 50 b/s equivalen a 3 000 b/m. Dado que hay 5 bits por caracter y 6 caracteres por palabra, cada una tiene un total de 30 bits. Al dividir 3 000 b/m en 30 bits / palabra, se obtiene un valor de 100 palabras por minuto. También, en este caso, aunque la velocidad disminuya por lentitud del operador, el régimen de las señales permanecerá constante en 74.2 bauds.

Por las razones expuestas, se llega a la conclusión que la velocidad en bauds reviste gran importancia para telefonía debido a que este régimen determina la clase de canal a emplearse en un nuevo sistema de comunicación digital. El ingeniero de computación electrónica se interesa en la velocidad en bauds, pero el interés es el aspecto económico del sistema y la rapidez con que puede enviarse la información. Por tanto, la velocidad en bits es la expresión que se emplea con mayor frecuencia al hablar de transmisión digital binaria.

La transmisión digital se desarrolló muchos años después de establecido plenamente el servicio telefónico. Desde luego, para que dicha transmisión resulte económica conviene utilizar las redes telefónicas existentes. Hoy en día, sin embargo, la mayoría del tráfico digital se cursa por el servicio telefónico público debido a su amplia extensión.

La información digital que se genera con una rapidez apropiada para envío por parte a todo un canal de voz de 3 k c/s, se llama datos de banda de voz. Dentro de esta clasificación se distinguen tres regímenes de transmisión: baja velocidad (200 b/s o menos), alta velocidad (2 000 a 2 400 b/s) y velocidad media (entre los valo-

res indicados). En la tabla A se indican las velocidades típicas y los diversos usos de la comunicación por datos en banda de voz.

2.- CAPACIDAD DE CANAL.

Se ha dicho ya que si no fuera por las interferencias que perturban las señales durante la transmisión, la capacidad de los circuitos sería ilimitada. Por ejemplo, podría lograrse cualquier velocidad de transmisión si pudieran enviarse señales de una tensión -- inalterables para representar los impulsos de información. En la -- práctica, sin embargo, el ruido interfiere o perturba en mayor o menor grado las señales durante la transmisión. Además, en la recepción el ruido puede introducir incertidumbre en cuanto al valor --- exacto de las señales. Cuando las interferencias son muy intensas, -- las propias señales tienden a confundirse con el ruido por un proceso de distorsión. En los sistemas múltiples de numerosos canales, -- cada uno necesita cierto ancho de banda para poder distinguir entre la señal y el ruido de fondo. Por tanto, mientras más elevado es el número de canales, mayor es la gama de frecuencias necesaria. Por -- otra parte, a medida que aumentan los canales, la señal de cada uno va representando una porción cada vez más pequeña de la banda total. Al mismo tiempo aumenta progresivamente la dificultad para distinguir las señales, a menos que se eleve la potencia de transmisión. (Ver tabla hoja siguiente.)

Los estudios de la teoría de la información han demostrado la relación precisa que existe entre la capacidad de información, potencia de la señal, interferencia del ruido y ancho de banda. Si bien dichos estudios han confirmado en general el conocimiento que se ha adquirido en forma experimental, se descubrieron diversas posibilidades que no habían resultado evidentes, se sabía perfectamente que en comunicaciones se podía aceptar una menor relación señal a ruido al ampliar la banda, como sucede con la transmisión por modulación de frecuencia (FM). Empero se descubrió que en principio podía disminuirse el ancho de banda aumentando la relación señal a -- ruido. Hasta entonces se creía que la banda del canal no podía ser más angosta que la gama de las señales originales.

A fines de 1920, el matemático Harry Nyquist de los Laboratorios del Bell Telephone System, estableció una relación teórica entre la velocidad de transmisión digital y el ancho de banda de un-

T A B L A " A "

Velocidad	Clasificación	Empleo	Número de circuitos por canal de voz.
75 b/s (separación de 120 c/s entre canales)	Baja velocidad	Teleimpresión, 5 niveles a 100 pal./min. Teleimpresión. 5 niveles a 60 pal/min. Telemedición en frecuencia variable. Telemedición por duración de impulsos. Señalización de alarma y vigilancia.	25
110 b/s (separación de 340 c/s entre canales)	Baja velocidad	Teleimpresión por código ASCII de 8 niveles a 100 pal./min.	18
200 b/s (Separación de 340 c/s entre canales)	Baja velocidad	Servicio de abonados o computadora central para recopilación de datos.	7
1200 b/s	Velocidad media	Comunicación entre computadoras.	
2400 b/s	Alta velocidad	Telefonía secreta con vocoder. Telemetría y telemondo. Comunicación de computadoras a computadora.	1

canal rectangular libre de distorsión. Tal estudio demostró que el ancho de banda necesario en un canal de comunicación es directamente proporcional a la velocidad de transmisión de las señales. También comprobó que el ancho de banda máximo necesario para la transmisión de una señal en esencia es igual a la mitad del número de impulsos binarios por segundo.

Nyquist hizo ver que aunque existía un límite en cuanto al número de impulsos que se podían transmitir por segundo, un impulso podía tener varios niveles o estados distinguibles, cada uno de los cuales servía para conducir información. Por ejemplo, si en un sistema se empleara la amplitud de los impulsos como la magnitud para conducir la información, y cada impulso tuviera cuatro amplitudes posibles, podría transmitirse el doble de información en comparación con otro sistema en que los impulsos tuvieran solamente dos amplitudes.

El matemático demostró que el número de estados que pueden tener los impulsos depende del grado de ruido presente en el circuito. Como se ha manifestado, si el ruido se pudiera eliminar por completo, las señales se podrían transmitir a cualquier velocidad. En la práctica, la diferencia de valor entre dos estados o niveles deben ser por lo menos el doble del valor del ruido máximo. De lo contrario en la recepción se produciría incertidumbre en cuanto a los valores de cada impulso.

La misma limitación de las señales de impulsos se aplica a las señales con forma de onda continua, como las que se emplean en la transmisión telefónica. En realidad no existe diferencia fundamental entre ambas clases. Una onda continua puede tener un número finito de puntos para definir su forma, pero no un número ilimitado de valores para conducir información. En la recepción de señales de onda continua la forma de onda se puede reproducir o definir tomando muestras periódicas de diferentes puntos. No es necesario efectuar un muestreo muy rápido para obtener una reproducción perfecta, basta con tomar las muestras al doble de la frecuencia útil más elevada. Por ejemplo: si la frecuencia máxima de un canal telefónico es de 3 000 c/s, con una serie de breves muestras tomadas a la velocidad de 6 000 veces por segundo, se reproduciría perfectamente la conversación. Las muestras pueden tener la brevedad que se desee y mientras más cortas mejor es el resultado. Por lo expresado vemos que en lugar de la onda continua podrían emplear-

se series de impulsos para las señales de voz, sin ninguna pérdida de información.

De acuerdo con la fórmula de Nyquist, para obtener la velocidad de transmisión de un canal de 3 000 c/s debe tener suficiente capacidad para conducir 6 000 impulsos binarios por segundo. Dicha capacidad convertida a palabras por minuto empleando el código normal Baudot o de teleimpresión, equivale aproximadamente a 3 000 palabras por minuto. La capacidad de información resulta mucho mayor al emplear otros códigos fuera del binario.

La relación que existe entre el ancho de banda, la potencia de la señal y la interferencia del ruido es sumamente compleja y depende de diversos factores, tales como la clase de ruido presente en el circuito, la naturaleza de limitación de potencia, la clase de modulación que se utilice y el método de codificación elegido.

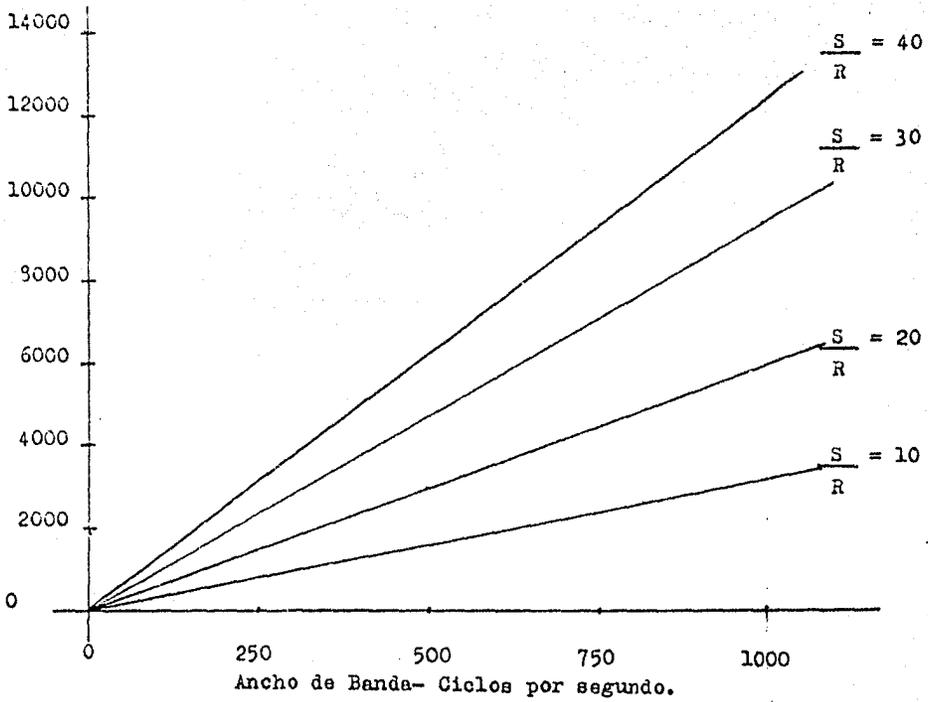
Posteriormente en 1948, el Ingeniero Claude E. Shannon que pertenecía también a los Laboratorios Bell, ideó una fórmula matemática para definir la capacidad de un canal de comunicación, que equivale a decir la velocidad máxima de transmisión. (Ver gráfica siguiente). Dicha fórmula establece la relación de la velocidad de transmisión con el ancho de banda y el ruido presente en el sistema.

Al emplear la fórmula de Shannon, se veía que un canal para 3 000 c/s de ancho de Banda y 30 db. de relación señal a ruido (potencia de señal a potencia de ruido), tiene una capacidad (c) aproximadamente de 30 000 bits por segundo, o sea:

$$\begin{aligned} C &= B \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right) \\ &= 3\,000 \log_2 1001 \\ &= 3\,000 (9.96) = 29\,880 \text{ bits.} \end{aligned}$$

Desde luego, este es un rendimiento teórico que solo se podría obtener en la práctica mediante una codificación demasiado compleja. Los sistemas de comunicación que existen en la actualidad distan mucho de alcanzar dicho rendimiento máximo, Para lograr

Capacidad de Bits
por segundo.



$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right)$$

C = Capacidad en Bits por segundo.

B = Ancho de banda en ciclos/seg.

S = Potencia de la Señal.

R = Potencia del Ruido

lo, tendrían que satisfacerse tres requisitos: primero, el medio de transmisión debería impedir por completo la distorsión de las señales; segundo, la potencia de ruido en el canal debería ser uniforme en toda la banda (ruido blanco); tercero, el método de codificación debería ser tan complicado que ninguna combinación de impulsos de señal al mezclarse con impulsos de ruido puedan causar errores. Ninguno de los tres requisitos mencionados se puede satisfacer con los métodos actuales, pese al extenso desarrollo de las telecomunicaciones y el sorprendente perfeccionamiento de los componentes y equipos de transmisión.

Aún suponiendo que se obtuviera el rendimiento ideal, se necesitaría una inmensa cantidad de máquinas solo para codificar y decodificar los mensajes, además, se tardaría demasiado tiempo en esta labor para que el sistema resultara de utilidad práctica.

Los estudios de la teoría de la información han revelado la existencia de códigos ideales para la transmisión por los canales más ruidosos a velocidades que llegan al límite teórico, permitiendo reducir la probabilidad de errores al extremo que se desee; en efecto, con la introducción de una cantidad regulada de redundancia en proporción al ruido del canal, se puede mantener la confiabilidad de transmisión aún en las peores condiciones de interferencia, pero para ello es necesario disminuir la velocidad de transmisión. En teoría, si la reducción de velocidad es inaceptable, se podría emplear una codificación más complicada para mantener al mínimo la probabilidad de errores.

3.- CODIFICACION.

Un medio de mejorar el servicio es perfeccionando la organización de la información, o sea un código binario eficiente teórico para el idioma español.

La comunicación oral o escrita requiere el traspaso de información de un puesto a otro, con cuyo objeto ésta se convierte en sonidos o caracteres adecuados para la transmisión; el idioma mismo es un código que permite el intercambio de ideas y conceptos.

En las telecomunicaciones se necesita una gran conversión eléctrica con el objeto de preparar los sonidos o signos para su transmisión. Las ondas sonoras se transforman en corrientes varia-

bles para la conversación telefónica, mientras que los impulsos eléctricos permiten enviar caracteres del alfabeto o datos numéricos por los modernos sistemas de comunicación.

Cualquiera que sea el medio preciso que se utilice para conducir la información desde su procedencia hasta su destino, siempre debe emplearse un lenguaje simbólico en forma de código. La mayoría de estos lenguajes codificados son redundantes por naturaleza; esta particularidad permite predecir con alto grado de exactitud el orden de suceso de las letras que componen las palabras de uso más frecuente; de igual forma, en telecomunicaciones la posibilidad de predecir las combinaciones comunes de sonidos, letras o palabras ayudan a comprender el significado de un mensaje verbal o escrito que haya sufrido alteraciones o mutilaciones en el curso de su transmisión. La familiaridad con el vocabulario y la sintaxis del idioma a menudo le permiten al destinatario reconstruir letras y hasta palabras incorrectas u omitidas de un telegrama. En la conversación telefónica, los sonidos prolongados, la inflexión de la voz y las combinaciones comunes de sílabas o palabras, contribuyen a conservar la inteligibilidad de la información, salvo en casos de excesiva interferencia.

La posibilidad de predicción que tiene el idioma se puede confirmar por medio de una sencilla prueba. Se elige un corto pasaje en prosa y se le pide a una persona que adivine, letra por letra, todas las palabras del texto (inclusive puntuación y espaciado); la persona empieza por adivinar la primera letra mencionando las que cree más probables y el examinador le avisa cuando llega a la correcta. El examinador va anotando las letras correctas que van formando las palabras, como ayuda para adivinar los caracteres subsiguientes. El examinador, que naturalmente no revela el contenido total del pasaje hasta el final de la prueba, va anotando en número de adivinaciones necesarias para acertar cada letra.

En la figura siguiente se ilustra el resultado de una prueba de esta naturaleza; los números pequeños indican las veces que se nombraron letras, signos y espacios hasta acertar cada carácter de la escritura de los 52 caracteres del pasaje, si se adivinaron la primera vez; todos los caracteres se identificaron en un total de 129 adivinaciones, lo que da un promedio de solo dos adivinaciones, que podríamos llamar bits de información, por cada letra o --

signo del mensaje.

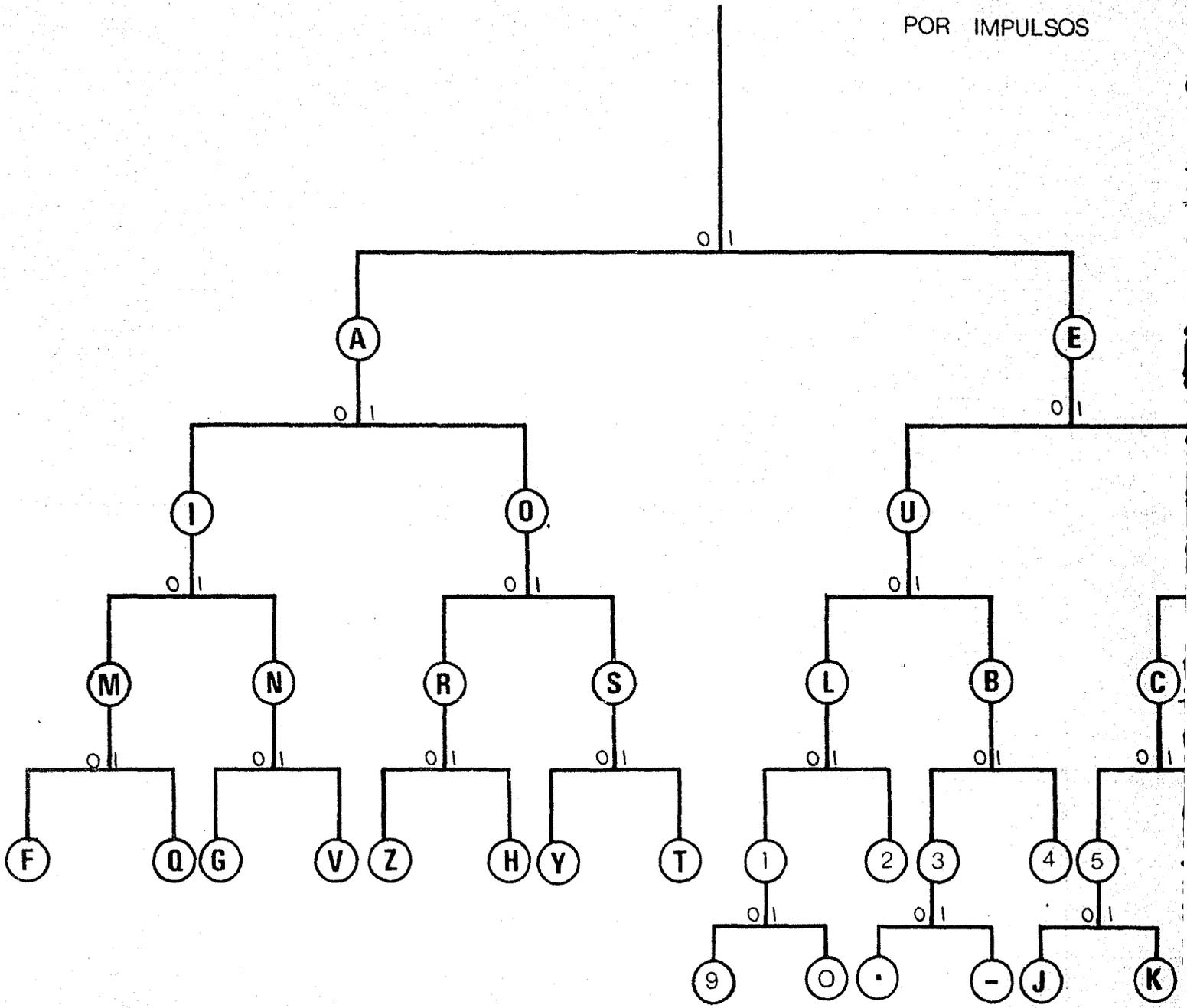
11 2 923211 1 1 1 21 2 521311 11111 1 11 1 11121 1 2511 1
 EL - CAMINO - A - LA - UNIVERSIDAD - ES - LARGO - PERO-

151161111111
 PROVECHOSO.

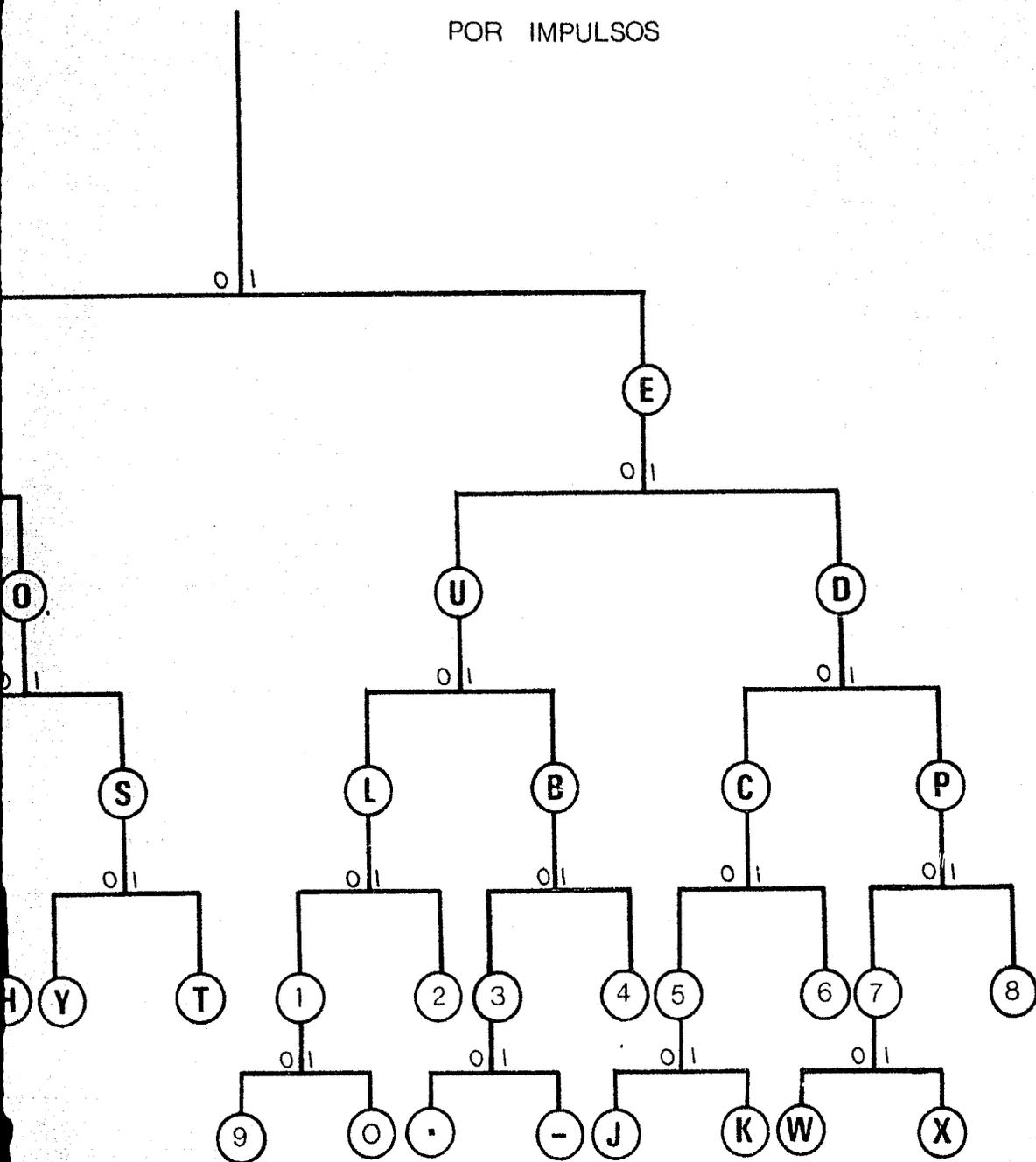
Los minuciosos experimentos realizados con el idioma inglés han demostrado que el contenido real de información de largos pasajes escritos es de solo un bit por letra, aproximadamente; éste promedio significa que, al menos en teoría, se podrían transmitir mensajes por medio de impulsos no más numerosos que la propia cantidad de letras del idioma, lo que permitiría descartar 24 de las 26 letras del alfabeto sin perjudicar la claridad de la comunicación; si bien esta condición ideal no se puede lograr en la práctica, constituye una meta que debe alcanzarse hasta donde sea posible.

Los actuales códigos de transmisión por impulsos, compuestos de símbolos formados por combinaciones de bits, podrían resultar más eficientes si los símbolos se dispusieran de modo que se adaptasen a la probabilidad estadística del idioma. En español, por ejemplo, las letras que se utilizan con mayor frecuencia, tales como: E-A-O, se representarían como los símbolos más cortos, mientras que las letras de uso mínimo como: K-X-W, se indicarían con los más largos. En la figura siguiente se ilustra un código teórico de esta clase, cuyos símbolos contienen un promedio de 4 bits por cada carácter de la escritura. En comparación, el código normal de teleimpresión emplea 5 bits por carácter, sin contar los impulsos de sincronización.

CODIGO TEORICO DE TRANSMISION
POR IMPULSOS

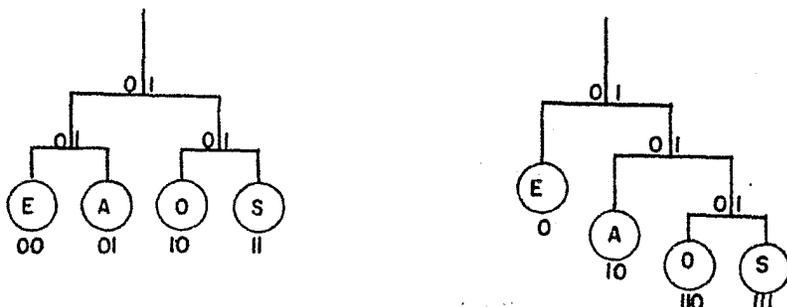


CODIGO TEORICO DE TRANSMISION
POR IMPULSOS



.	10100
-	10101
A	0
B	101
C	110
D	11
E	1
F	0000
G	0010
H	0101
I	00
J	11000
K	11001
L	100
M	000
N	001
O	01
P	111
Q	0001
R	010
S	011
T	0111
U	10
V	0011
W	11100
X	11101
Y	0110
Z	0100
1	1000
2	1001
3	1010
4	1011
5	1100
6	1101
7	1110
8	1111
9	10000
0	10001

Dos métodos de codificación de información (figura siguiente) en (a) todos los caracteres tienen igual probabilidad de aparición y se emplean 2 bits para cada uno; en (b) a los caracteres que aparecen con mayor frecuencia se les ha asignado un símbolo más corto, disminuyendo así el número de bits necesarios para todo el alfabeto.



Las combinaciones comunes de letras, sílabas y hasta palabras del idioma y la adición de símbolos redundantes contribuyen a superar los errores susceptibles de producirse en los circuitos de comunicación, pero si la redundancia no se aplica en forma sistemática pierde su importancia y simplemente reduce la velocidad de transmisión. Lógicamente, mientras más redundancia se elimina mayor es la eficiencia del circuito, pero también mayor es la probabilidad de errores por interferencias en el trayecto. Debido a que siempre existe cierto grado de interferencia, para que un sistema de comunicación resulte verdaderamente eficiente debe emplearse un código del que se hay eliminado toda la redundancia de la información con el objeto de obtener una alta velocidad de transmisión; en el punto de recepción se reinserta la cantidad mínima necesaria de redundancia para compensar los efectos de interferencia.

PRUEBAS REQUERIDAS DE OPERACION PARA UN CANAL.- En los últimos años la transmisión de información por impulsos, tal como datos, teletipografía y telegrafía; se ha convertido en uno de los servicios de mayor importancia que suministran las grandes

redes de telecomunicación. El sorprendente desarrollo de la computación electrónica ha activado la comunicación por impulsos digitales (datos) debido a la creciente necesidad de establecer enlaces directos a distancia entre computadoras electrónicas u otras máquinas de oficina. Menos del uno por ciento de las computadoras actualmente en servicio se encuentran interconectadas mediante circuitos de transmisión, pero el número de máquinas electrónicas que funcionan combinadas a distancia en tiempo real aumenta constantemente. Al respecto, se predice que llegará el día que el volumen de información digital que se cursa por las redes de telecomunicación será mayor que el volumen de tráfico telefónico.

La economía de las grandes computadoras, por lo general costosas, se basa en la posibilidad de ocuparlas en la elaboración y traspaso de datos con otras máquinas similares para lograr el provecho máximo de la inversión. La demanda de comunicación por datos digitales se debe a que los modernos sistemas de computo tienen una capacidad muy superior a la del ser humano para registrar y retener la información con exactitud, rapidez y eficiencia. Para la interconexión directa de computadoras, en la actualidad se transmiten miles de mensajes digitales por las redes telefónicas a velocidades imposibles de lograr con la palabra hablada. Algunos modelos de gran escala tienen una capacidad de entrada de datos que llega a la cifra de 10 000 000 de bits por segundo. El bit constituye la unidad de información del código binario, o sean los impulsos de información enviados en un segundo.

Continúa aumentando la demanda de circuitos de transmisión digital (o datos) a altas velocidades por líneas telefónicas de las empresas de comunicaciones, por lo tanto, la precisión de la transmisión reviste cada vez mayor importancia porque a veces un solo error puede alterar o hacer perder el significado de un mensaje. Ello se debe a que la información digital carece de la redundancia que tiene la conversación normal. En la comunicación por teléfono se puede tolerar un alto grado de irregularidades de transmisión sin gran perjuicio. Cuando un circuito de voz se pone ruidoso o sufre una fuerte disminución de intensidad, los abonados introducen una compensación automática, hablando en voz más alta para hacerse entender. Si se pierden algunas sílabas o palabras, por lo general siempre se entiende la conversación debido como ya se dijo a la na-

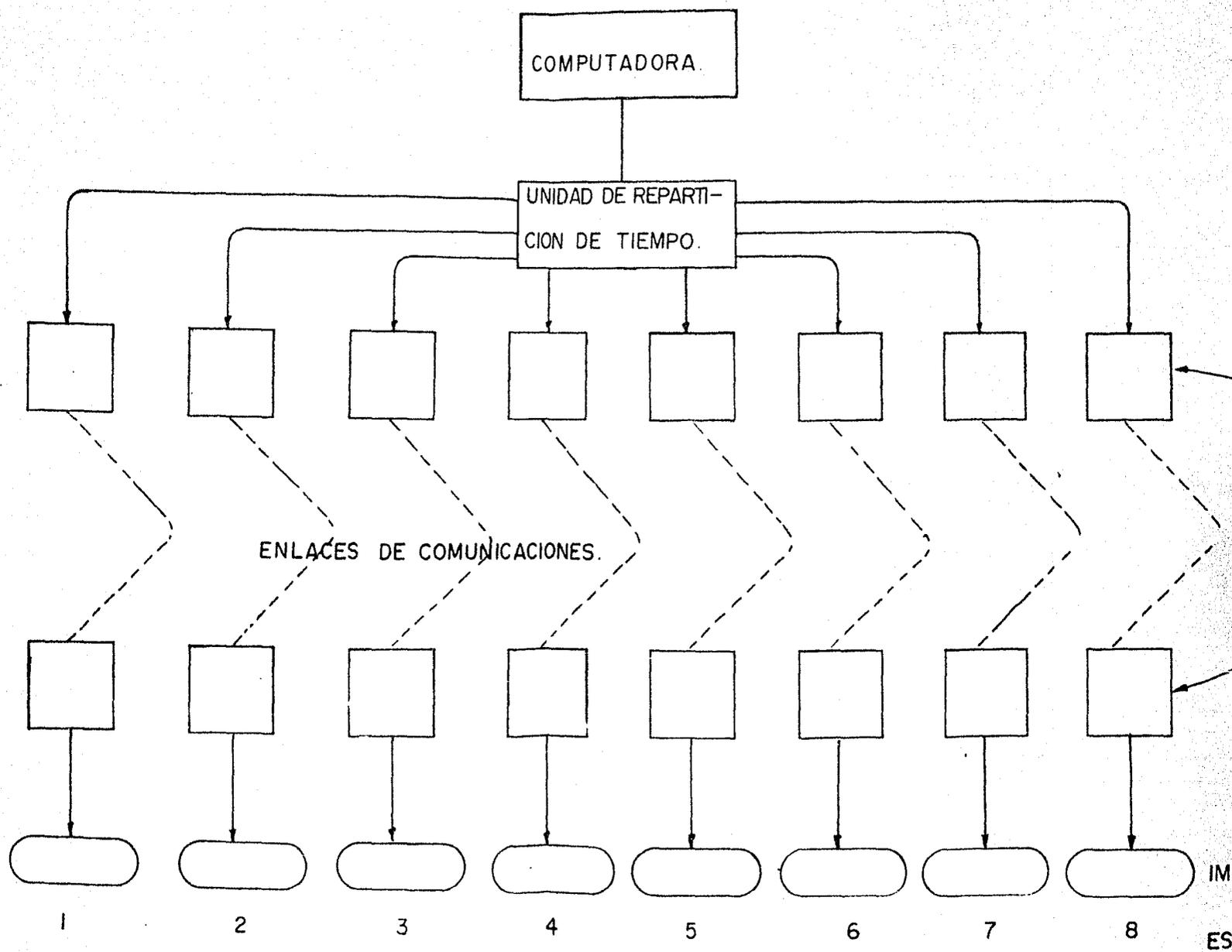
turalidad redundante del lenguaje corriente. La información digital no tiene redundancia propia, a menos que se introduzca una repetición a propósito.

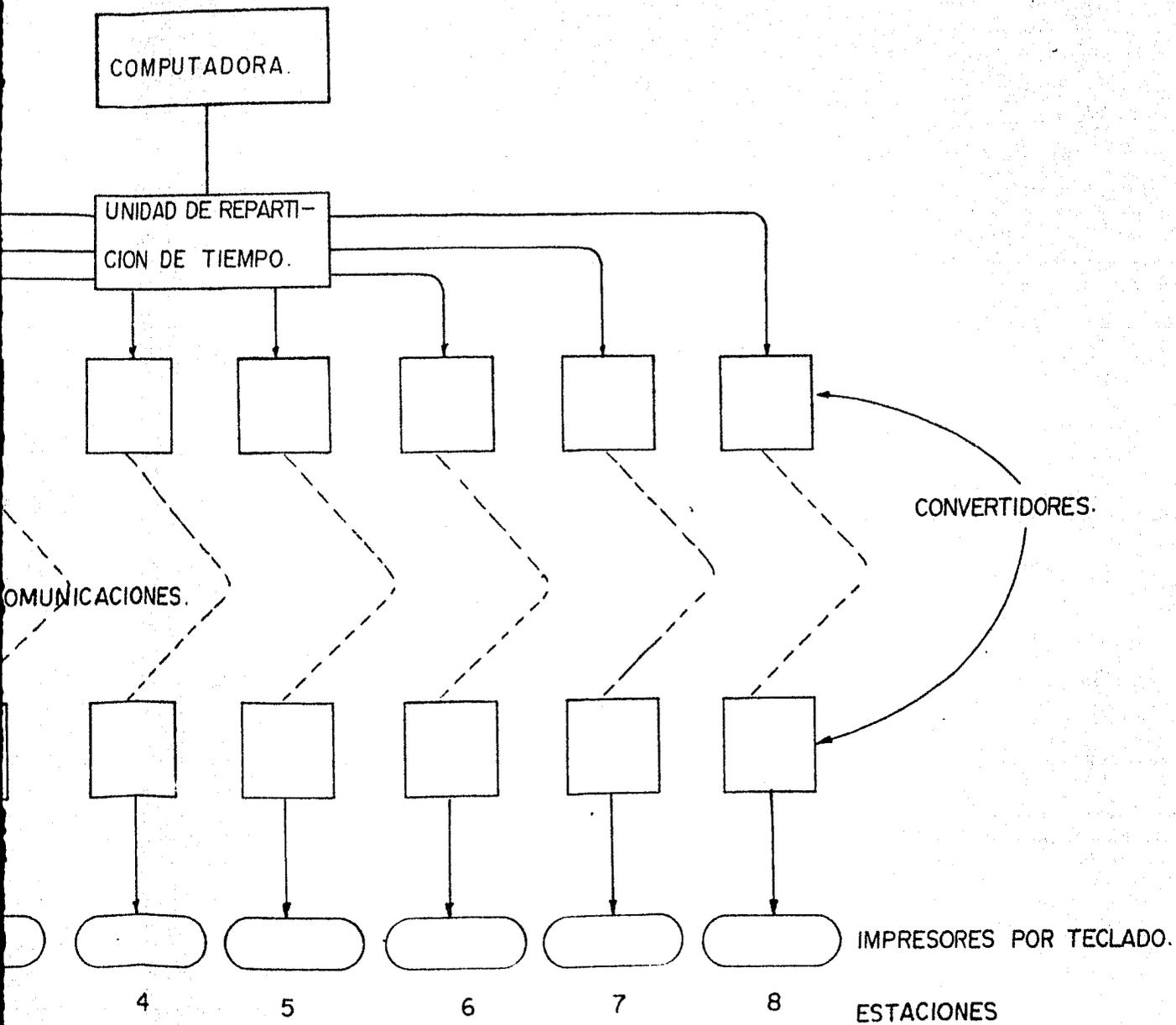
Por lo anteriormente dicho, es entonces la exactitud uno de los requisitos más importantes en la transmisión de datos por circuitos telefónicos para comunicación directa entre máquinas. Las señales digitales consisten de trenes de impulsos codificados de acuerdo con los caracteres de la escritura. En el sistema de codificación binaria, se emplean los dígitos 1 y 0 representados por dos impulsos eléctricos de diferente amplitud. Si la amplitud de un impulso sobrepasa ciertos límites durante la transmisión, el detector en el punto de recepción puede producir el dígito equivocado, causando un error.

Generalmente es muy difícil evitar por completo los errores de transmisión, sobre todo en el envío de señales digitales por sistemas analógicos proyectados para señales de voz. Muchas de las características propias de las redes telefónicas producen un efecto negativo en las señales digitales, por lo cual algunos circuitos de voz no resultan apropiados para datos, especialmente a gran velocidad. A menudo dichos circuitos deben prepararse para poder utilizarlos en la transmisión digital a más de 2 000 b/c.

Los canales de las redes telefónicas automáticas exhiben ciertas características que tienden a distorsionar la forma de onda de las señales digitales. Cada vez que se hace una llamada entre dos puntos determinados, la selección de ruta para establecer la conexión se produce al azar, es decir, la comunicación no siempre se efectúa por los mismos circuitos. Por lo tanto, los parámetros de transmisión generalmente cambian entre conexiones alterando el efecto de los dispositivos de compensación incorporados en los circuitos. Frecuentemente para la transmisión de datos se requieren velocidades e tipos de señales que no pueden aceptar las redes telefónicas con selección automática de ruta. Dichas redes tampoco se pueden usar para sistemas de datos de acceso múltiple en que se ocupa reparto de tiempo para la transmisión. (Ver figura siguiente)

Debido a estos inconvenientes muchas empresas de telecomunicaciones, ofrecen líneas privadas acondicionadas especialmente para información digital. En la tabla B, por ejemplo, se indican las di-





versas clases de circuitos especiales para datos que se ofrece a -- los abonados en las compañías telefónicas:

Servicio	Empleo del circuito
Clase 2 Telefoto	Voz y facsímil (telefoto) alternativamente o solo facsímil.
Clase 2 Telefoto con preparación especial.	Voz y facsímil (telefoto) alternativamente, o solo facsímil.
Clase 4, Tipo 4 Datos	Voz y datos, alternativamente, o solo datos.
Clase 4, Tipo 4A Datos	Voz y datos, alternativamente, o solo datos.
Clase 4, Tipo 4B Datos	Voz y datos, alternativamente, o solo datos.
Clase 4, Tipo 4C Datos	Voz y datos, alternativamente, o solo datos.

T A B L A " B "

La principal ventaja de las líneas privadas es que poseen características determinadas que permanecen fijas en toda clase de señales de impulsos.

PERTURBACION DE LAS SEÑALES.

Las características que ejercen mayor influencia en la transmisión digital son: respuesta de atenuación en función de la frecuencia, distorsión de retardo y ruido de impulsos. Además el eco (reflejado en las señales) y la pérdida neta o atenuación general del circuito tienden a deformar los impulsos. Por lo tanto, todos estos factores deben tomarse en cuenta en la selección de circuitos telefónicos para servicio de datos.

1.- LA MEDIDA DE ATENUACION EN FUNCION DE LA FRECUENCIA:

Establece los límites del ancho de la banda de paso para la transmisión. (Tengase en cuenta que todo canal solicitado para transmisión de datos debe encontrarse en alguno de los tipos que establecen las normas de la ATT, o sean 4. 4A, 4B o 4C). Debido a esta característica, la pérdida de propagación en un circuito varía de acuerdo con la frecuencia. En teoría, la curva de atenuación-frecuencia debe ser plana en toda la banda de paso para información digital. La mayoría de los sistemas telefónicos modernos poseen una respuesta bastante plana entre los 600 y 2800 c/s, de manera que dicha atenuación no afecta seriamente la transmisión a baja velocidad.

Si el equipo terminal (modulador demodulador) trabaja por desviación de frecuencia, es muy importante analizar el espectro de voz de cien en cien ciclos, ya que las frecuencias de trabajo (marca-espacio) en uno y otro lado de los puntos comunicados pueden estar ocupando casi todo el ancho de banda. El caso práctico con valores reales y el caso ideal se indican en la tabla C y la fig. siguiente respectivamente.

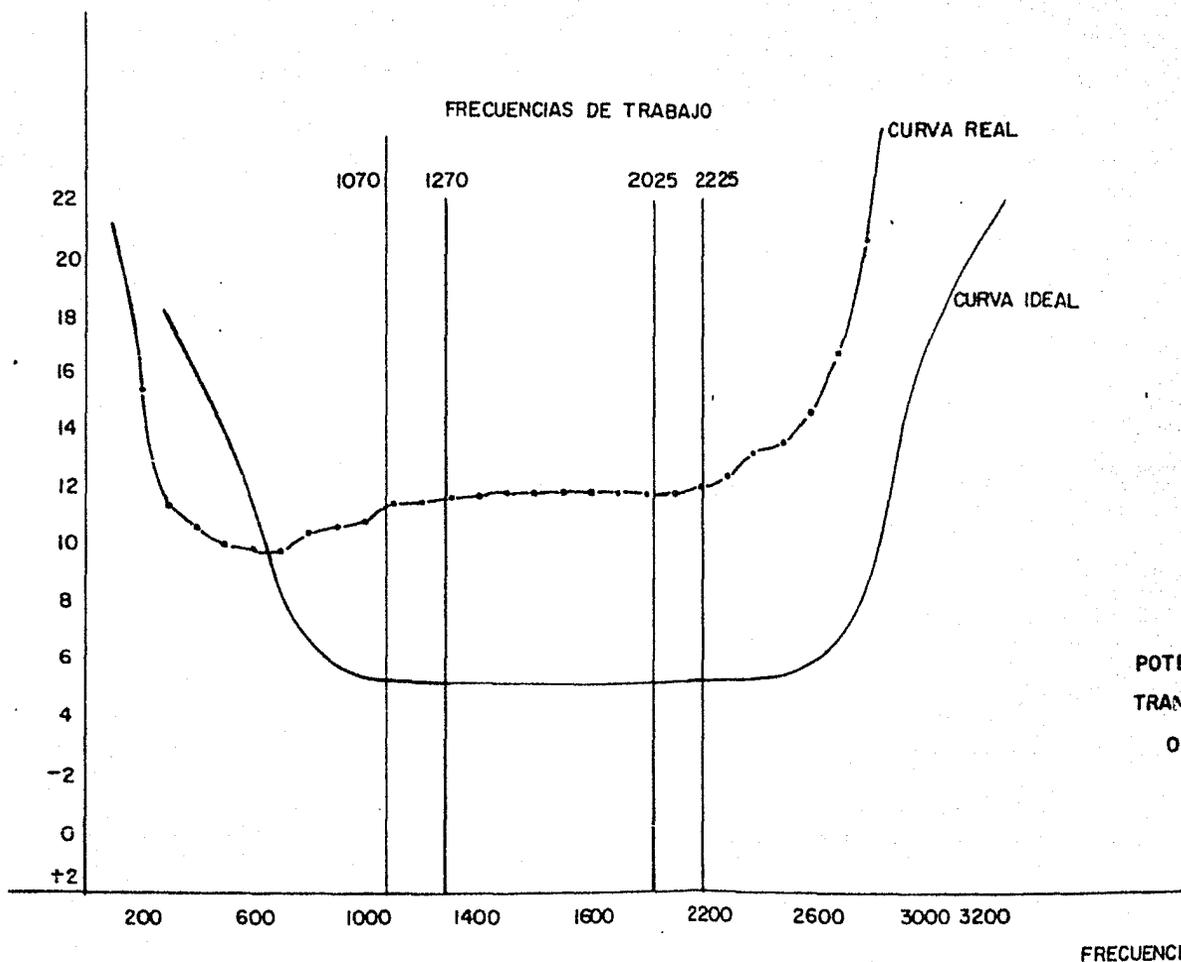
En la gráfica se nota claramente un tramo casi paralelo a la curva ideal que va de los 500 a los 2400 c/s dentro de -3.5 db de atenuación, aproximadamente con solo una fuerte atenuación en los extremos. En este tramo se encuentran comprendidas las frecuencias de trabajo (1070 y 1270; 2025 y 2225 c/s) y están por debajo de la tolerancia del equipo terminal. Hemos considerado que los tonos transmitidos de la banda de voz han sido 0 dbm en 600 ohms de impedancia.

2.- DISTORSION DE RETARDO:

La calidad de los circuitos de comunicación se ha juzgado en base a su capacidad de reproducir de instante en instante el nivel y la amplitud de la señal de origen. En los sistemas telefónicos para determinar el grado de aceptación por parte de los abonados se ha comprobado que la respuesta de amplitud constituye una excelente medida del desempeño del sistema.

Cuando se inició la transmisión de fotografías por líneas físicas en 1930, se descubrió que muchos canales de comunicación poseían una excelente respuesta y resultaban enteramente inadecuados

ATENUACION dbm



FRECUENCIA

C/S

200

300

400

500

600

700

800

900

1000

1100

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

1900

2000

2100

2200

2300

2400

2500

2600

2700

2800

2900

3000

TRAMO DE CANAL DE TRANSMISION (SCT. MEXICO-LAREDO)

S DE TRABAJO

2025 2225

CURVA REAL

CURVA IDEAL

POTENCIA
TRANSMITIDA
0 dbm

1600 2200 2600 3000 3200

FRECUENCIA C/S

FRECUENCIA

C/S

ATENUACION

-dB

200	15.4
300	11.4
400	10.6
500	10.0
600	9.8
700	9.8
800	10.4
900	10.6
1000	10.8
1100	11.4
1200	11.5
1300	11.6
1400	11.7
1500	11.8
1600	11.8
1700	11.8
1800	11.8
1900	11.8
2000	11.8
2100	11.8
2200	12.0
2300	12.4
2400	13.2
2500	13.6
2600	14.6
2700	16.7
2800	20.6
2900	34.5
3000	CORTE

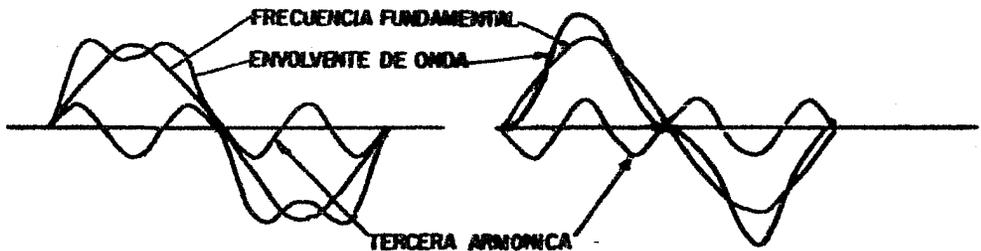
SMISION (SCT. MEXICO-LAREDO)

para dicha transmisión, debido al efecto de distorsión de retardo. Este efecto se debe a las características de desplazamiento de fase del trayecto de la transmisión.

La velocidad de propagación de la electricidad en el espacio libre es de 300 millones de metros por segundo. En la práctica, sin embargo, las señales eléctricas no viajan con tanta rapidez por los circuitos de comunicación. En efecto, en ciertas clases de canales las señales solo circulan a razón de 25000 km/seg. y en los trayectos de radio transmisión por microondas rara vez viajan a más de 150000 km/s esta lentitud se debe a las características de los equipos de comunicación (reactancias capacitiva e inductiva comunes en todos los circuitos) y la naturaleza del trayecto de propagación.

La disminución de velocidad de las señales en su recorrido por los canales de comunicación tiene escasa importancia. La demora solo se convierte en un problema cuando impide que el receptor interprete correctamente la información. En el caso de la telefonía, la distorsión de retardo apenas si afecta la intelegibilidad de la conversación debido a que el oído es relativamente insensible a la variaciones de fase. Por lo tanto, no ha sido necesario compensar la distorsión de retardo en los sistemas telefónicos. En cambio, tanto la fotografía (facsimil) como la telegrafía automática y la información digital son sumamente sensibles a los efectos de retardo. Por ejemplo, si para la transmisión de datos binarios se emplean dos tonos con desplazamientos entre sus respectivas frecuencias, que pueden ser 1200 y 2200 c/s, es importante que ambos tonos experimenten aproximadamente el mismo retardo en la transmisión de un punto a otro del circuito. Si los datos se transmiten a 1000 b/s, cada uno tendrá un milisegundo de duración. Si la codificación de los impulsos consiste en signos alternados 1 y 0, la señal se desplazará alternativamente entre 1200 y 2200 c/s, el tiempo de propagación de los dos tonos entre el punto de transmisión y de recepción puede variar en forma considerable según el circuito. Por ejemplo: un cable telefónico cargado, de 100 kms. de extensión, puede introducir un retardo de 6.1 ms. en el tono de 2200 c/s en comparación con solo 5.1 ms. en el otro tono; lo que constituye una diferencia de 1 ms., si primero se transmite el tono de 2200 y en seguida el de 1200 c/s (ambos durante un milisegundo), desde luego ambos se recibirán simultáneamente en lugar de uno a continuación del otro. Como se ha dicho, este sería el caso en una longitud de 100 kms en cambio, a 200 kms. los tonos llegarían en orden inverso.

En la transmisión de datos por alta velocidad, el problema de la distorsión de retardo se agudiza a medida que aumenta la rapidez. Los dígitos binarios o bits de los datos se originan en forma de impulsos rectangulares que luego modulan una onda portadora a una velocidad de terminada para transmisión por el circuito. Los impulsos que resultan del proceso de modulación se componen de numerosas frecuencias cuyas fases y amplitudes tienen una relación fija de tiempo. La envolvente de onda de dichos impulsos contiene la energía de la frecuencia fundamental y sus frecuencias armónicas, totalizadas en forma vectorial. La forma de los impulsos pueden sufrir una seria distorsión si las señales pasan por elementos de circuito con características de fase no de masiado lineales, tales como los filtros de canales múltiples. Como se demuestra en la figura siguiente, si la tercera armónica sufre una demora de medio ciclo con respecto a la fundamental, los impulsos tendrán una seria deformación.



La velocidad de transmisión se puede aumentar modulando la portadora con mayor rapidez, pero así se acorta la amplitud (o duración) de los impulsos de la señal. Debido a la menor amplitud, la más pequeña variación de tiempo o desviación de fase de las frecuencias componentes pueden distorsionar la señal, con el consiguiente aumento de porcentaje de errores.

A medida que sube la velocidad, debe aumentarse el ancho de banda del canal para que la transmisión sea satisfactoria. La razón de necesitarse una mayor amplitud de banda radica en la naturaleza de los impulsos de alta velocidad. El rápido cambio que ocurre al co —

mienzo y al término de los impulsos distribuye la energía de la señal en una amplia banda a ambos lados de la frecuencia de impulso. El grado exacto de energía que aparece en cada una de las frecuencias de las bandas laterales depende de la forma, período de elevación y demás características de la señal. Si por algún motivo parte de la energía de una de las bandas laterales sufre un desplazamiento de tiempo o amplitud con respecto a su magnitud original, el impulso llegará distorsionado al punto de recepción.

Los impulsos se deforman cuando algunas componentes sufren mayor demora que otras durante la propagación. Si la demora es considerable, parte de la energía de un impulso llega a retrasarse hasta el extremo de afectar al impulso siguiente, mutilando así la información conducida por ambas. Es evidente, por lo tanto, que la demora introduce deformación solo cuando varias frecuencias se atrasan en distinto grado durante su recorrido por el circuito.

Desplazamiento de fase.- Tanto la frecuencia como la fase de una señal son, por definición, inseparables. En efecto, la frecuencia bien podría definirse como la velocidad de cambio de fase con respecto al tiempo o en términos matemáticos $d\phi/dt$, en que ϕ es el defasamiento, que comunmente se dá en radianes (radian es 180° y 2 radianes son un ciclo), y t es el tiempo en segundos. En consecuencia, mientras más se desplaza la fase de una señal durante su recorrido por el canal, mayor es el tiempo que ésta necesita para llegar a destino. Cuando se conoce el valor del defasamiento, la demora de fase de una sola frecuencia es :

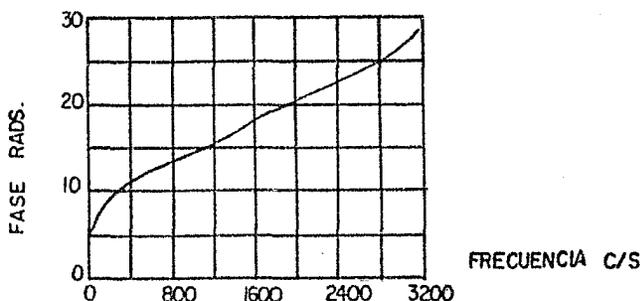
$$\text{tiempo} = \frac{\text{defasamiento (en radianes)}}{\text{frecuencia (radianes por seg.)}}$$

y se expresa como: $t = \phi / \omega$

Es importante observar que en la práctica el retardo de fase, en la forma expresada, solo se aplica a frecuencias sencillas de periodicidad constante.

En un sistema de transmisión perfecto, el defasamiento sería directamente proporcional a la frecuencia. Al recorrer el sistema, todas las señales sufrirían igualmente demora, cualquiera que fuera el valor de la frecuencia. Desafortunadamente, en los sistemas prácti-

cos el defasamiento que ocurre en un canal nunca resulta lineal. Las características del desplazamiento de fase en los sistemas de alta calidad de onda portadora pueden dar al respecto de la figura siguiente:



El factor de compensación para el defasamiento cercano a la frecuencia resonante de una red o línea de transmisión

Retardo de envolvente.- La fórmula mencionada anteriormente para la demora de fase no resulta apreciable en la transmisión de señales complejas, tal como una frecuencia portadora modulada por tono o manipulación telegráfica, a menos que el sistema esté completamente libre de distorsión (en cuyo caso el retardo no es constante en todas las frecuencias). Como en la práctica el desplazamiento de fase nunca resulta lineal, algunas de las frecuencias componentes sufren un defasamiento mayor que el que tendría en un sistema teórico de respuesta lineal. En consecuencia dichas componentes se propagan a una velocidad ligeramente menor que las demás.

Para simplificar la explicación, supongamos que la señal compleja se compone de solo dos frecuencias; sumadas, ambas forman una frecuencia de mezcla (heterodina) o envolvente de modulación. Como debido al defasamiento no lineal las dos componentes viajan a distintas velocidades por el canal, la relación entre ambas está en constante variación, haciendo que la envolvente viaje por el canal a una tercera velocidad. Si el defasamiento fuera lineal ambas frecuencias viajarían a igual velocidad y no se produciría desplazamiento de una respecto a la otra ni tampoco habría una demora de la envolvente de modulación (retardo de envolvente).

Al aumentar la no linealidad del defasamiento, aumenta también el retardo de envolvente. Dicho de otro modo, a mayor velocidad de cambio de defasamiento, mayor retardo de envolvente. La demora (en segundos) se puede calcular diferenciando el defasamiento respecto a la

frecuencia por medio de:

$$\text{retardo de envolvente} = \frac{d\phi}{d\omega}$$

Como virtualmente todas las formas de comunicación eléctrica emplean señales que demandan una banda de frecuencias para su correcta transmisión, el retardo de envolventes es la forma de demora que en general tiene mayor importancia.

Generalmente, el retardo relativo (que es la gama máxima o diferencia en valores de retardo de un canal) es el único de importancia, ya que solo la diferencia de demora produce distorsión en las señales recibidas. La demora absoluta (o sea el retardo total que experimentan los elementos de señal) generalmente carece de importancia, excepto cuando las señales, o partes de ellas, se transmiten entre dos puntos por diferentes vías y deben llegar simultáneamente a su destino.

C A P I T U L O V

1.- INFORMACION GENERAL SOBRE LA TRANSMISION DE DATOS.

Los campos de aplicación de los sistemas de transmisión de datos son muy variados, y se puede demostrar esto por medio de los dos sencillos ejemplos siguientes:

Para simplificar la reposición de mercaderías en el almacén, cada filial de una cadena de empresas envía por las tardes a la oficina central una lista de las mercaderías requeridas. El sistema de transmisión de datos aplicado para este fin se utiliza únicamente durante un corto tiempo, pero dentro de él se ha de transmitir una gran cantidad de información. La transmisión puede realizarse por ejemplo, por medio de una comunicación telefónica establecida temporalmente.

El tráfico por una línea ferroviaria está dirigido por los datos recibidos regularmente relativos a los movimientos de los trenes, posiciones de las agujas, etc. En este caso el sistema de transmisión de datos trabaja continuamente. Su gran capacidad de transmisión es necesaria a fin de mantener informado al supervisor de tráfico respecto de la situación. Por su naturaleza el sistema requiere una comunicación telefónica establecida permanentemente.

Como muestran los ejemplos, un sistema de transmisión de datos siempre coopera de algún modo con los equipos de manejo de datos.

Un sistema completo que comprenda equipo de manejo de datos, circuitos de mando y comprobación, dispositivos de recepción y de transmisión, así como sistemas de transmisión de datos, se llama un sistema integrado de datos. Evidentemente resulta ventajoso normalizar las entradas y salidas del sistema de transmisión de datos así como sus principios de funcionamiento para hacer posible su utilización en diversos sistemas integrados de datos. En el grupo A de Estudios Especiales del CCITT se discutieron las propuestas para solucionar estos problemas de normalización. Así, por ejemplo se define el equivalente entre:

Cifra binaria 1 = "Marca" = corriente positiva en el caso de señales bipolares = condición Z

Cifra binaria 0 = "Espacio" = corriente negativa en el caso de señales bipolares = condición A

Un sistema efectivo de transmisión de datos debe satisfacer -

las siguientes condiciones:

Alta velocidad,

Alta resistencia a las interferencias de los ruidos y de los impulsos.

Alta resistencia a las distorsiones en la vía de transmisión.

Espectro concentrado de las señales en la línea.

Construcción terminal sencilla y económica.

Al diseñar un sistema, estos factores dan lugar a una serie de compromisos que están estrechamente relacionados con la línea de transmisión empleada.

Desde un punto de vista económico resulta ventajoso utilizar para la transmisión de datos las redes telefónicas y telegráficas ya existentes. Sin embargo, cuando se diseñaron estas redes no se tuvo en cuenta, en la mayoría de los casos, las exigencias especiales que la transmisión de datos impone con relación a las condiciones de fase y atenuación de la red. La distorsión de línea limita no solo la velocidad de transmisión del sistema sino también la resistencia a las interferencias. Por consiguiente, si los datos han de transmitirse por circuitos telefónicos establecidos permanentemente, resulta ventajoso compensar la distorsión por medio de redes igualadoras. Esto no es posible en el caso de comunicaciones telefónicas establecidas temporalmente, puesto que no parece que sea económico compensar todos los tipos de circuitos telefónicos de una red.

En tal caso es esencial escoger los métodos de modulación y de detección apropiados a fin de poder compensar la peor calidad de los circuitos.

2.- PRINCIPIO DEL SISTEMA.

Al diseñar el sistema de transmisión de datos se dedicó una atención especial al deseo de tener un espectro concentrado de las señales en la línea con objeto de reducir lo más posible la necesidad de igualación. Esto ha dado como resultado un sistema que utiliza en el lado de transmisión modulación con desplazamiento de fase conjuntamente con formación especial de impulsos y en lado de recepción demodulación sincrónica y regeneración de impulsos. El funcionamiento del sistema para la transmisión a 1 500 baudios se-

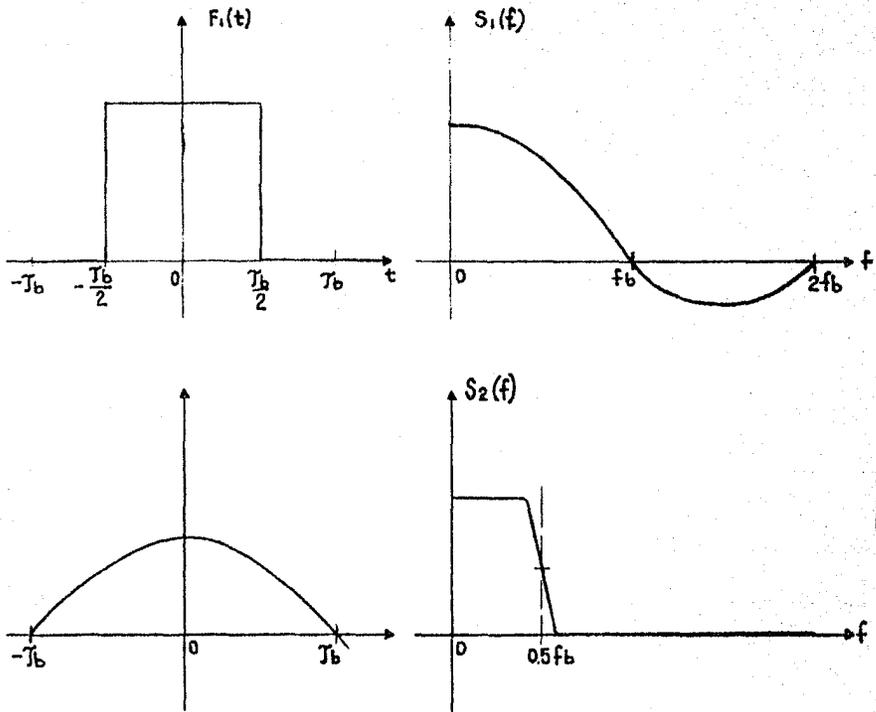


FIG. 1
FORMACION DE IMPULSOS.

$F_1(t)$	Forma del Impulso	} Señal Entrante
$S_1(f)$	Espectro de Amplitud	
$F_2(t)$	Forma del Impulso	} Señal después de la formación del impulso
$S_2(f)$	Espectro de Amplitud	
T_b	Periodo del Bitio.	
f_b	frecuencia del Bitio.	

rá descrito con más detalle con ayuda de las figuras 2 y 4. Por motivos de sencillez no se han tenido en cuenta en estas figuras las demoras del grupo interno del sistema.

Economización de la anchura de banda mediante la formación de impulsos:

En la transmisión de la información se alimenta al terminal transmisor del equipo de transmisión de datos con un caudal de datos en forma de una señal bipolar. Un "1" entrante (E) está representado, por ejemplo, por un impulso positivo cuadrado de corriente y un "0" (N) por un impulso negativo cuadrado de corriente. El caudal de datos se puede considerar que está constituido por una serie de elementos ó "bitios" de impulsos positivos y negativos. Para obtener una idea de la formación de impulsos se estudiará un solo impulso positivo cuadrado (fig. 1). El impulso contiene un ancho espectro de frecuencias que es limitado y formado en un filtro de formación de impulsos que tiene una frecuencia de corte correspondiente a la mitad de la frecuencia del "bitio" (con la frecuencia del "bitio" f_b se designa el recíproco del periodo del "bitio", f_b (c/s) = $1/T_b$ (seg.⁻¹)). De este modo, para una velocidad de datos de 1 500 bitios/s el espectro se concentra, aproximadamente, a una anchura de banda de 800 c/s (banda de base). Al pasar a través del filtro pasabajo el impulso cuadrado es convertido en un impulso cuya forma puede estar representada por el seno X/X, presentado un máximo en el centro del impulso y transiciones en el cero a intervalos equivalentes a los múltiplos del período del bitio, mediado desde el centro del impulso. Si en un mensaje se transmiten elementos de impulso (bitios) a una velocidad de f_b , aparecen igualmente impulsos en seno X/X a intervalos equivalentes a los múltiplos del período del bitio T_b .

Por tanto se puede constatar que cada máximo de impulso coincide con las posiciones cero de los impulsos adyacentes. Cuando se exploran los elementos de impulso filtrados en el centro del bitio se obtienen valores de la amplitud que son independientes de la polaridad de los bitios adyacentes.

Modulación en el lado de transmisión:

Después de la formación del impulso en el filtro F_p (fig. 2)-

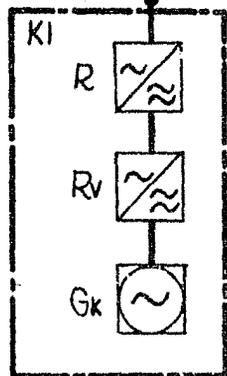
ESQUEMA DE CONJUNTO DEL TRANSMISOR.

IMPULSOS HORARIOS
 $f_b = 1500 \text{ C/S}$

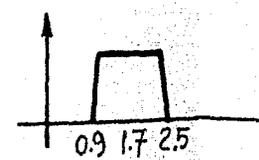
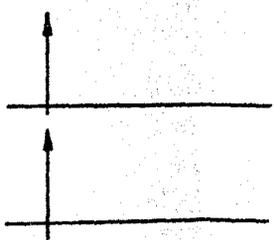
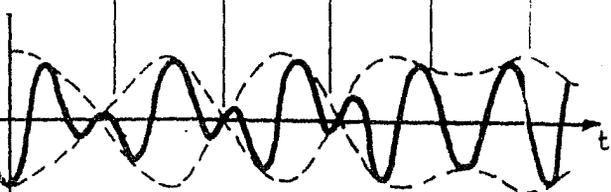
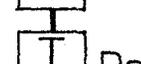
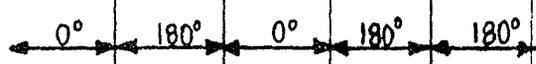
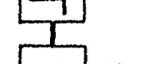
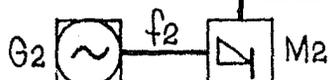
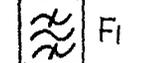
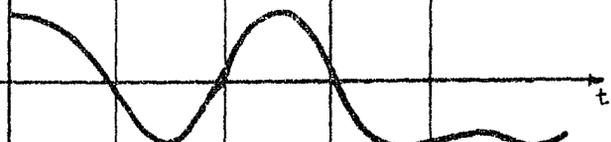
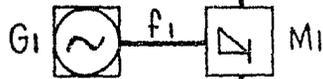
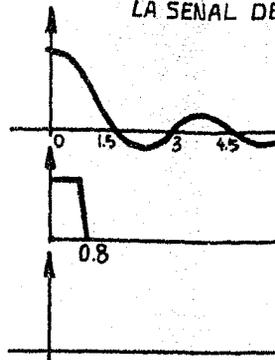
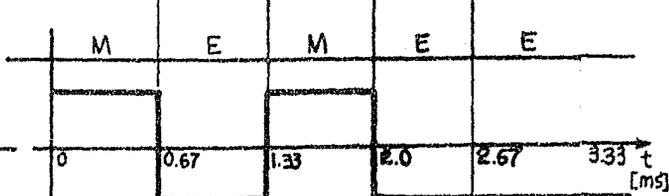
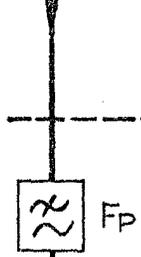
SEÑAL BIPOLAR DE
 DATOS

FORMA DE ONDA DE LA SEÑAL DE DATOS.

ESPECTRO DE
 LA SEÑAL DE

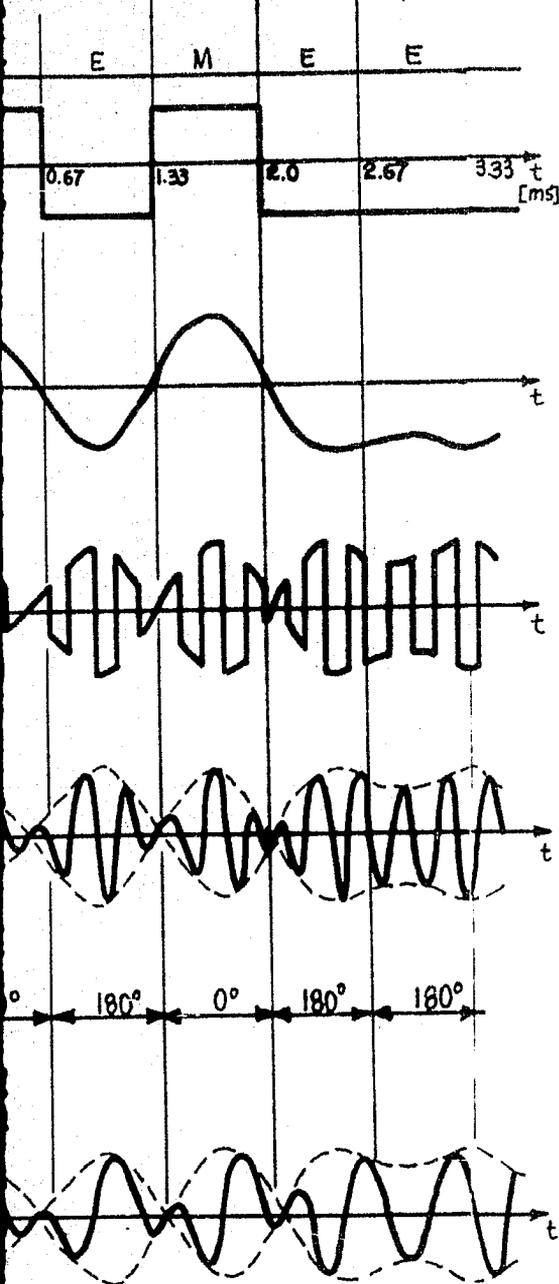


DATOS



SEÑAL DE DATOS CON
 DESPLAZAMIENTO DE
 FASE.

FORMA DE ONDA DE LA SEÑAL DE DATOS.



ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE LA SENAL DE DATOS.

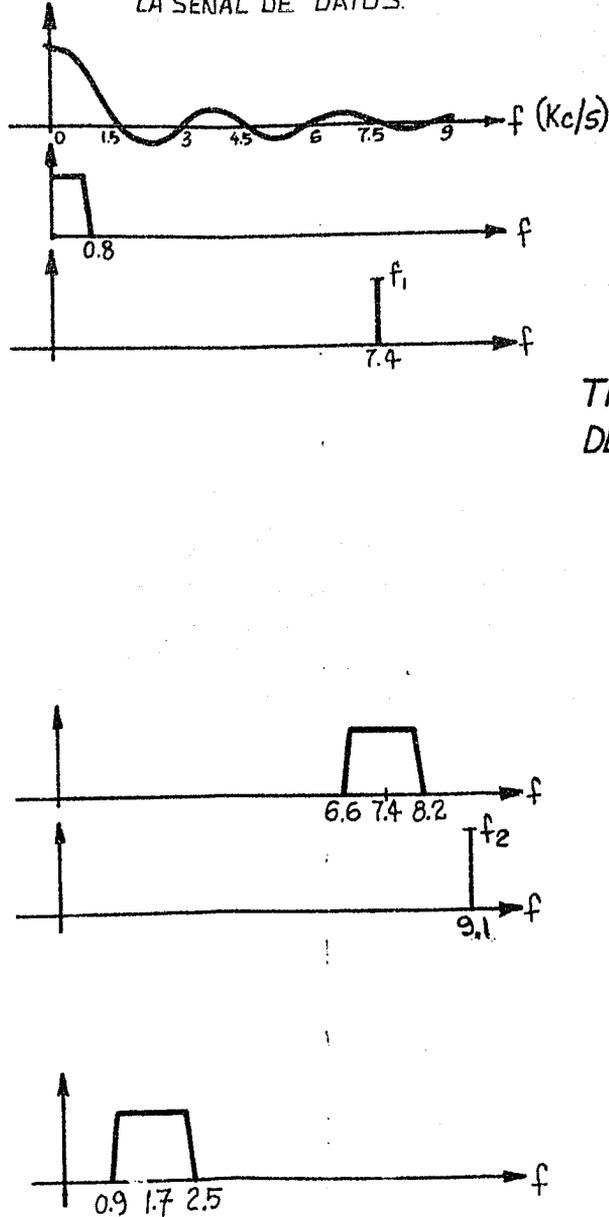


FIG. 2
TRANSMISOR DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS.

- F_p FILTRO PARA FORMACION DE IMPULSO.
- F_i FILTRO PARA FRECUENCIA INTERMEDIA
- F_2 FILTRO PASO-BAJO
- G_1 OSCILADOR LC (7.4 KC/S)
- G_2 OSCILADOR LC (9.1 KC/S)
- R, R_v DIVISORES DE FRECUENCIA.
- G_k OSCILADOR DE CRISTAL DE CUARZO (96 KC/S)
- A_1 AMPLIFICADOR DE SALIDA.
- D_s ATENUADOR
- K_1 GENERADOR DE IMPULSOS HORARIOS.
- M_1, M_2 MODULADORES.

las señales cubren una banda de frecuencias de 0-800 c/s, banda que debido a su posición no es apropiada para su transmisión por canales telefónicos. Por medio de un modulador equilibrado M_1 y una primera frecuencia portadora se genera una señal de doble banda lateral que cubre una banda de 6,6-8,2 Kc/s. La fig. 3 muestra el esquema de circuitos del modulador. Al mismo ritmo que la frecuencia portadora se cierra el circuito $A_1-D_1-D_2$ ó el circuito $A_1-D_4-D_3$. De este modo se abre para la señal de datos, la vía $A_1-D_1-A_2$ ó la vía $A_1-D_4-A_2$. Después de la modulación presenta la señal en la banda de frecuencias intermedias una envoltura que es igual a la forma de la señal en la banda de base a la entrada del modulador, y una fase de frecuencia portadora que depende de la polaridad de la señal en la banda de base. Así pues, un cambio de la polaridad de la señal en la banda de base da lugar a un desplazamiento de fase de 180 de la frecuencia portadora en la banda de frecuencias intermedias. Esta propiedad es la que ha dado a este tipo de modulación la denominación de "modulación con desplazamiento de fase".

La señal modulada pasa por un filtro de frecuencia intermedia que elimina los productos más elevados de la modulación. En un ulterior paso de modulación - compuesto por el modulador M_2 y el oscilador G_2 - se agrega una segunda frecuencia portadora que traslada la señal de datos a la banda de línea, permaneciendo inalteradas las relaciones de envoltura y de fase. Después del filtraje y la amplificación se transmiten las señales de datos por la línea. La banda de frecuencia de línea utilizada para este fin es aproximadamente de 1 600 c/s, es decir, el sistema de transmisión de datos aquí descrito requiere para la transmisión una banda de frecuencias que es ligeramente mayor que la frecuencia del bitio.

Demodulación en el lado de recepción:

En su camino hacia el receptor, las señales de datos están expuestas a las distorsiones de la línea y a las interferencias. A la entrada del receptor, un filtro paso alto elimina las interferencias de baja frecuencia del impulso, es decir, las interferencias de la señalización por c.c. en los circuitos telefónicos adyacentes. El nivel correcto de recepción se asegura por medio de un amplificador regulador que estabiliza el nivel de la señal. Un limitador --

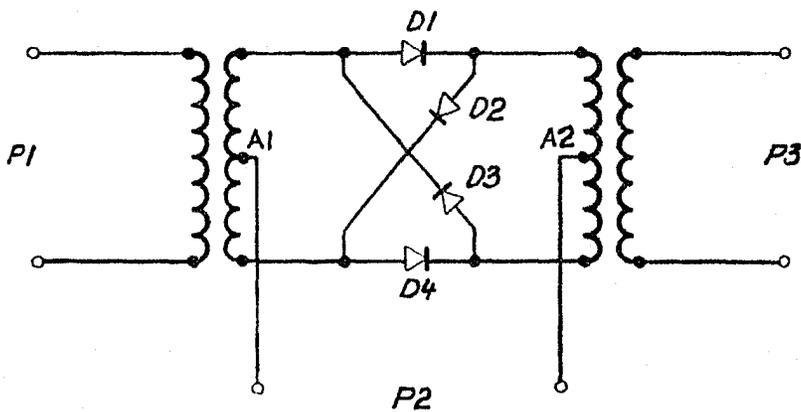


FIG. 3
MODULADOR EQUILBRADO.

- P1 PRIMERA FRECUENCIA PORTADORA (f_1)
 P2 ENTRADA DE LA SENAL DE DATOS DESPUES
 DE LA FORMACION DEL IMPULSO.
 P3 SENAL DE DATOS DESPUES DE LA FORMACION
 DEL IMPULSO.

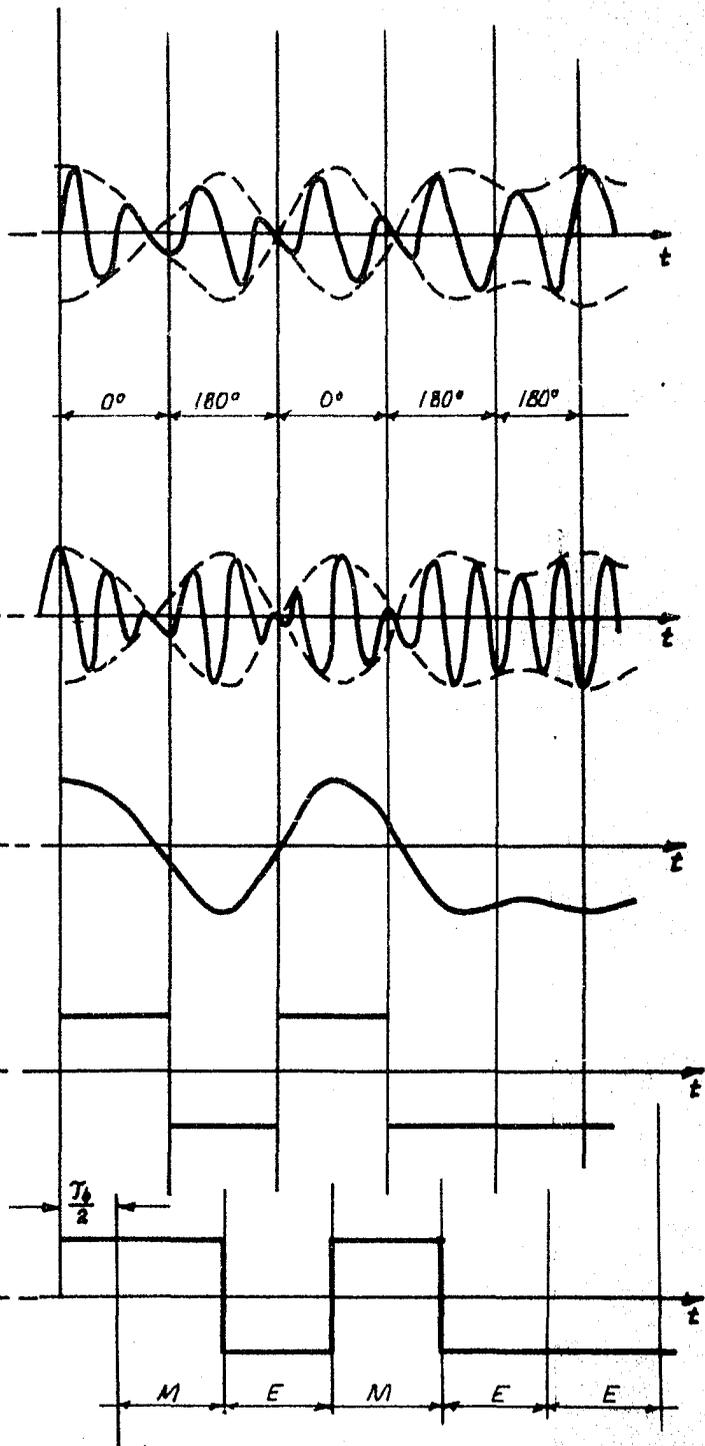
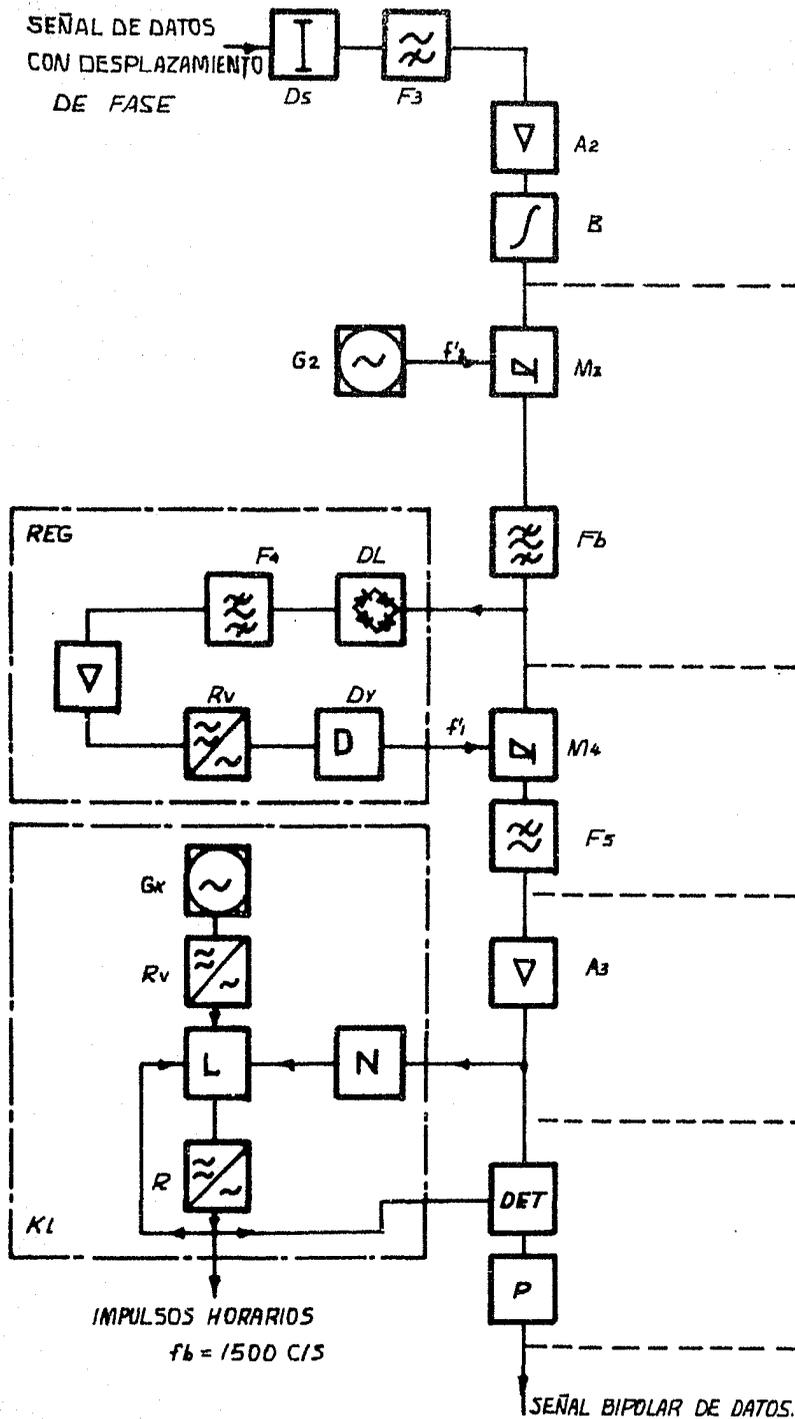
que hay después de éste reduce el efecto perturbador de los impulsos momentáneos que exceden de un cierto umbral de la tensión. La fig. 4 muestra una señal recibida sin distorsión que se modula en el modulador M_3 con la frecuencia portadora f_2' . El siguiente filtro para frecuencias intermedias adapta la anchura del espectro de la señal y atenúa las interferencias que se producen fuera de la banda de la señal. Debido a la diferencia de frecuencias entre f_2 y f_2' , así como el efecto de desviación de la frecuencia en la transmisión de las señales por los canales de frecuencia portadora no es posible demodular la señal en la banda de frecuencias intermedias con una frecuencia portadora fija f_1' . Por otro lado, la señal contiene una componente espectral que permite la regeneración de la frecuencia portadora necesaria para la demodulación sincrónica. Mediante la rectificación de la onda completa y la selección de la frecuencia doble $2f_1'$ en un filtro paso-banda estrecho, se obtiene una frecuencia de referencia exacta que es independiente de los datos. Después de pasar por un divisor de frecuencias y un circuito de retardo se obtiene la frecuencia portadora correcta, la cual aparece en dos posibles posiciones de fase, A y B, que tienen un desplazamiento de fase de 180° . Si se demodula una señal sin distorsión en el modulador M_4 por medio de la frecuencia portadora f_1' en posición de fase A, se obtiene después del filtraje una señal de datos que es igual a la señal de la banda de base del transmisor después de efectuada la formación del impulso. En cambio, si la demodulación se lleva a cabo en la posición de fase B, se cambia la polaridad de la señal regenerada, con el resultado de que si se transmite un "1" se percibe un "0", y viceversa (las señales están invertidas). En la sección 3 se hace una descripción de dos posibles medios de eliminar la ambigüedad en la transmisión.

Regeneración de la señal de c.c.

Si después de la demodulación y de la amplificación en el amplificador limitador se explora la señal de datos en el centro de cada bitio, se obtiene de la polaridad de la amplitud la información contenida en el elemento de la señal. Por consiguiente es esencial regenerar en primer lugar la frecuencia del bitio.

ESQUEMA DE CONJUNTO DEL RECEPTOR

FORMAS DE ONDA DE LA SEÑAL DE DATOS.



FORMAS DE ONDA DE LA
SEÑAL DE DATOS.

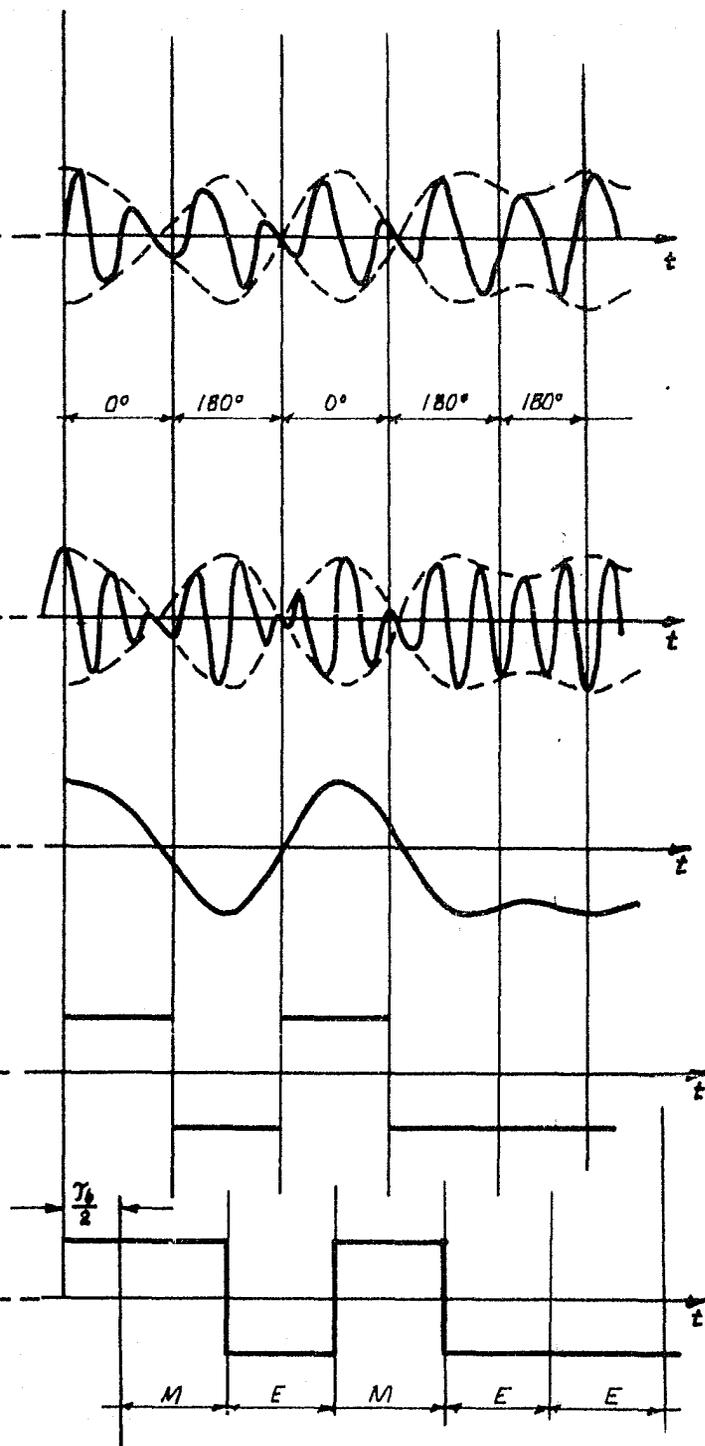


FIG. 4

RECEPTOR DEL SISTEMA
DE TRANSMISION DE DATOS.

- DS ATENUADOR
- A₂ AMPLIFICADOR REGULADOR
- F₃ FILTRO PASO ALTO
- B LIMITADOR
- M₃, M₄ MODULADORES
- G₂ OSCILADOR LC (9.1 KC/S)
- F₆ FILTRO PARA FRECUENCIA INTERMEDIA (6.6 - 8.2 KC/S)
- DL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA
- F₄ FILTRO PASO BANDA (4.7 - 4.9 KC/S)
- R.R.V. DIVISORES DE FRECUENCIA.
- D₁ CIRCUITO DE RETARDO
- F₅ FILTRO PASO BAJA
- G_K OSCILADOR DE CRISTAL DE CUARZO (96 KC/S)
- L CIRCUITO LOGICO
- N DETECTOR DE TRANSICIONES EN EL CERO
- A₃ AMPLIFICADOR LIMITADOR
- DET DETECTOR DE AMPLITUD.
- P REGENERADOR DE IMPULSOS
- REG REGENERADOR DE LA FRECUENCIA PORTADORA
- KL REGENERADOR DE IMPULSOS HORARIOS

Si el caudal de datos asegura un cierto número de cambios de polaridad por número de bitios transmitidos, las transiciones en el cero pueden sincronizar un generador de impulsos horarios que genera la frecuencia del bitio. La figura 5 muestra el principio del funcionamiento de un generador de impulsos horarios controlado por un cristal de cuarzo. Un oscilador de cristal de cuarzo G_k (96 kc/s) acciona un contador de anillo de 32 pasos a través de un divisor de frecuencias R_v y de los circuitos lógicos L_1 y L_2 . A cada ciclo del contador de anillo se produce un impulso horario t_1 . El basculador F_a es accionado desde el contador R y permanece en "posición de aceleración" durante el tiempo t_1 a t_{16} y en la "posición de retardo" durante el tiempo t_{17} a t_{32} . Si se produce una transición en el cero mientras está en la posición de aceleración, se encamina el impulso de sincronización desde el detector N de transiciones en el cero directamente a la entrada del contador de anillo, a través de los circuitos lógicos L_3 y L_2 . Con ello queda disminuido en $1/32$ el período de revolución del contador durante un ciclo. Durante el período de retardo, un impulso de sincronización bloquea la vía a través del buscador F_d , el circuito de diferenciación d y el circuito lógico L_1 para uno de los impulsos procedentes del oscilador de cuarzo. De este modo se incrementa en $1/32$ el período de revolución del contador de anillo durante un ciclo. Si no se produce ninguna transición en el cero, el período de revolución del contador no sufre cambio alguno. En el detector se explora cada bitio en el centro por medio de la frecuencia regenerada del bitio. Un basculador repetidor reproduce la señal de datos en forma de impulsos cuadrados de corriente.

3.- APLICACION DEL SISTEMA.

Como se ha mencionado anteriormente, un terminal de transmisión de datos está conectado tanto a un sistema de transmisión como a un equipo de manejo de datos. Para facilitar la adaptación de las señales de datos a las líneas se pueden desplazar sus espectros mediante el cambio de los osciladores G_2 de los terminales de transmisión de datos. Así por ejemplo, un circuito de línea por un cable cargado requiere un desplazamiento del espectro de la señal a 0.5-2.1 kc/s obteniéndose ésto con $f_2=8.7$ kc/s. La

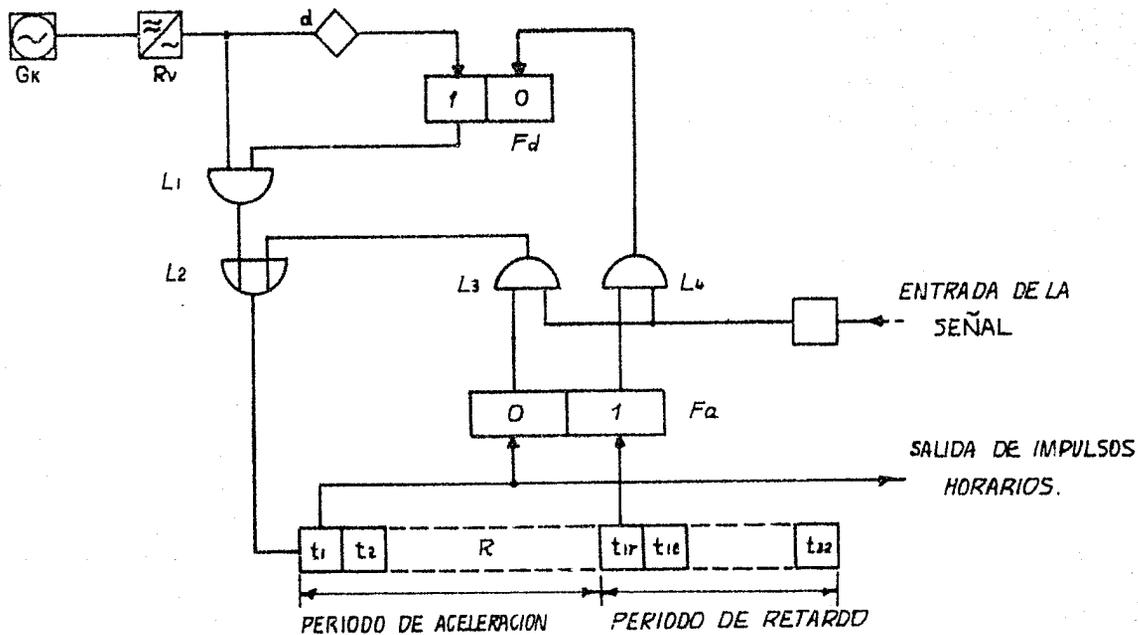


FIG. 5
GENERADOR DE IMPULSOS HORARIOS

G_k OSCILADOR DE CRISTAL DE CUARZO

R DIVISOR DE FRECUENCIAS.

d CIRCUITO DIFERENCIADOR DE IMPULSOS.

L_1 L_3 L_4 CIRCUITOS POR CONJUNCION.

L_2 CIRCUITO POR DISYUNCION.

F_a , F_d BASCULADORES

N DETECTOR DE TRANSICIONES EN EL CERO

R DIVISOR DE FRECUENCIAS (CONTADOR BINARIO)

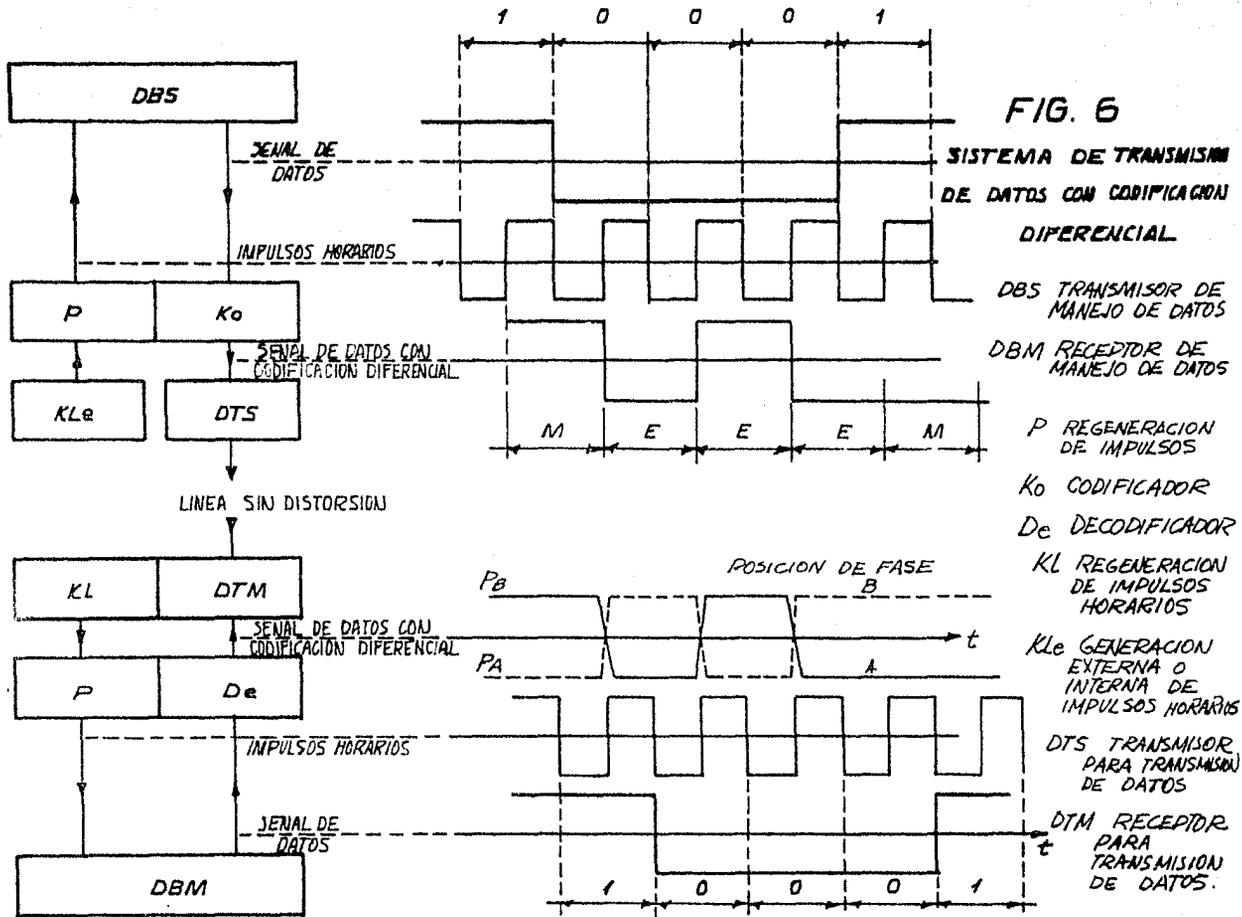
flexibilidad con relación al equipo de manejo de datos se incrementa por la posibilidad que se tiene de alterar la frecuencia del bitio por medio del divisor de frecuencias R_y , el cual es variable - por pasos. Para lograr la mejor formación de impulsos y eliminación de interferencias posibles se tiene que cambiar el filtro formador de impulsos del transmisor y el filtro para frecuencia intermedia del receptor cuando se cambia la frecuencia del bitio.

Sistema de codificación diferencial.

Los sistemas de transmisión de datos son especialmente apropiados para la transmisión continua entre equipos de manejo de datos que están provistos de memorias igualadoras.

Para eliminar la ambigüedad en la demodulación se inserta un equipo de codificación diferencial entre el equipo de manejo de datos y el equipo de transmisión de datos. Con ello, en el lado --- transmisor, un potencial "0" a la entrada del codificador da lugar a un cambio de polaridad en el centro del bitio a la salida del -- mismo, mientras que un potencial "1" no afecta a la tensión de salida del codificador, figura 6.

Con ayuda de un generador, externo ó interno, de impulsos horarios para la frecuencia del bitio se saca del equipo de manejo de datos un caudal de datos (0,1) y se alimenta con el codificador el cual genera a su vez una señal de datos (N,E). Las señales de salida del codificador pasan por los equipos de transmisión de datos representados en las figs. 2 y 4, resultando de ello la señal P_A , si son demoduladas en la posición de fase A, y la señal P_B , si lo son en la posición de fase B. Si dos elementos de impulso de diferente polaridad aparecen en sucesión a la entrada del descodificador del receptor, se genera una potencial "0" a la salida durante un período del bitio. Dos elementos de impulso de la misma polaridad dan lugar a la salida a un potencial "1". Por consiguiente la señal de salida del descodificador es independiente de si la demodulación se ha efectuado en la posición de fase A ó en la B y -- corresponde con la señal de entrada del codificador en el lado --- transmisor. Al mismo ritmo que la frecuencia regenerada del bitio se alimenta la señal bipolar de datos al terminal de manejo de datos del lado receptor.



Sistema con código de arranque.

En ciertos sistemas de transmisión de datos cada mensaje de datos está precedido por un código de arranque, constituido por una combinación de señales (en su forma normal ó invertida) que no aparece después en el siguiente mensaje. Por consiguiente, se puede utilizar el código de arranque en el lado receptor para averiguar si la demodulación se ha efectuado en la posición de fase A ó B. Cuando la demodulación se efectúa en la posición B, un inversor de polaridad del receptor de manejo de datos ó un desplazador de fase del receptor de transmisión de datos invierte el mensaje que sigue a un código de arranque, eliminandose así la ambigüedad en la recepción.

4.- CONSTRUCCION MECANICA DEL SISTEMA.

Construcción del equipo.

El diseño del equipo mecánico de este sistema de transmisión de datos, sigue los nuevos principios de construcción que la L. M. Ericsson aplica a su equipo de transmisión, principios que incluyen el empleo de componentes miniatura en relación con la adopción de las técnicas de transistores y de circuitos impresos.

Las funciones del transmisor están distribuidas entre 12 unidades y las del receptor entre 17 unidades. Cada unidad contiene una función, tal como la de un filtro, modulador ó amplificador. Para facilitar el mantenimiento, las unidades más importantes están provistas de puntos de prueba para la localización de averías, dispuestos en la parte frontal de la unidad. El ajuste de la velocidad del bitio, frecuencia nominal de la señal y el nivel, se efectúa por medio de puentes existentes en la parte frontal de las unidades.

La alimentación de corriente para el emisor y el receptor se obtiene de una unidad de alimentación, individual ó común, enchufable a la red. El equipo de alarma indica los fallos en la alimentación de corriente, y en el lado receptor, también la aparición de niveles erróneos de la señal.

Construcción de bandejas y bastidores.

Las unidades están montadas en una construcción de bandejas - desarrolladas para bastidores de 19" (48.26 cm) de ancho. Cada bandeja está diseñada para 12 unidades. En un bloque horizontal de -- conexiones dispuesto en la bandeja están contenidos los enlaces de conexión, atenuadores, puntos de medida para el mantenimiento y fusibles. A la derecha de la bandeja hay un campo de conexiones destinado al cableado del bastidor; las unidades están protegidas contra el polvo por medio de cubiertas, no obstante, el bloque horizontal de conexiones es directamente accesible. El transmisor para la transmisión de datos ocupa una bandeja (fig. 7) y el receptor - 2 bandejas (fig. 8).

5.- DATOS TECNICOS.

Generales.

Velocidad de modulación f_b	1000 y 1500 baudios
frecuencias nominales de la señal	1100,1300,1500,1700 y 1900 c/s

Condiciones de la línea

Comunicación establecida temporal ó permanentemente con desviación máxima de frecuencia de ± 10 c/s

Anchura de banda requerida: 1600 c/s.

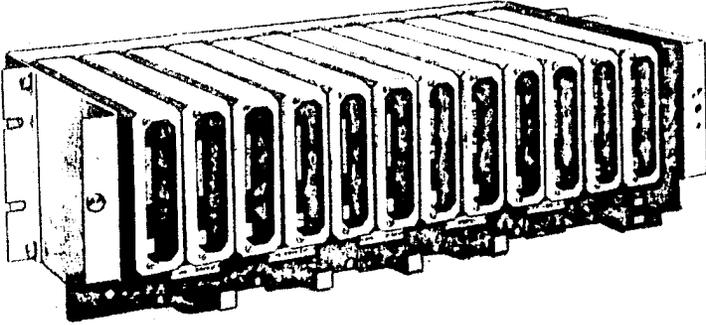


FIG. 7 TRANSMISOR PARA TRANSMISION DE DATOS.

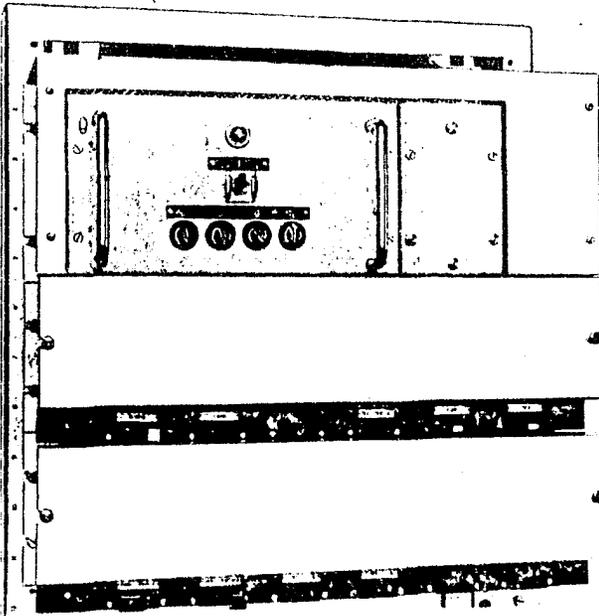


FIG. 8 RECEPTOR PARA TRANSMISION DE DATOS.

Condiciones del código.

Para la sincronización del generador de impulsos horarios del receptor: como mínimo un elemento "0" por 75 elementos 1

Tolerancia para la interrupción de la línea.

La generación de la frecuencia del bitio permite interrupciones de aprox.: 1 000 ms.

Condiciones de estabilidad.

Del generador externo de impulsos horarios: $\pm 2 \times 10^{-4} \times f_b$ c/s.

Temperatura ambiente:

0-45°C

TRANSMISOR.

Lado de línea:

Impedancia de salida: 600 ohmios
 Nivel de salida: + 6 dbm, máx.
 -30 dbm, mín.

Lado local:

Señal de datos e impulso horario externo:
 Impedancia de entrada: 3 000 ohmios
 Tensión de entrada: ± 6 V

RECEPTOR.

Lado de línea:

Impedancia de entrada: 600 ohmios
 Nivel de entrada: 0 dbm, máx.
 - 30 dbm, mín.

Lado local:

Señal de datos e impulso horario regenerado:

Impedancia de salida: 250 ohmios

Tensión de salida sobre

una carga de $1\text{ K}\Omega$: $\pm 6\text{ V}$

ALIMENTACION DE CORRIENTE. + 12 V - 12 V

Consumo de corriente:

en el transmisor: 3 W 4 W

en el receptor: 4 W 8 W

6.- PRUEBAS DEL SISTEMA.

La mayoría de los errores que se producen en la transmisión de datos por circuitos telefónicos son debidos a las interferencias de los impulsos y a las interrupciones transitorias. Ni siquiera un -- sistema de transmisión de datos de óptimo diseño puede impedir los errores que se producen en el caso de una interrupción. En cambio, si se dimensiona el sistema adecuadamente se obtiene una buena re-- sistencia para ciertos tipos de interferencias de los impulsos. La resistencia a las interferencias es reducida por el retardo de grupo y la distorsión de atenuación en la vía de transmisión y aumenta cuando se filtra la banda de frecuencias de la señal, debido a la - limitación de la amplitud perturbadora. Con objeto de dimensionar - ópticamente los parámetros del sistema y medir el empeoramiento del canal de transmisión originado por la distorsión de fase y de atee-- nuación, es ventajoso probar el sistema por medio de un tipo de in-- terferencia reproducible, por ejemplo, un número de grabaciones en cinta de los impulsos perturbadores típicos.

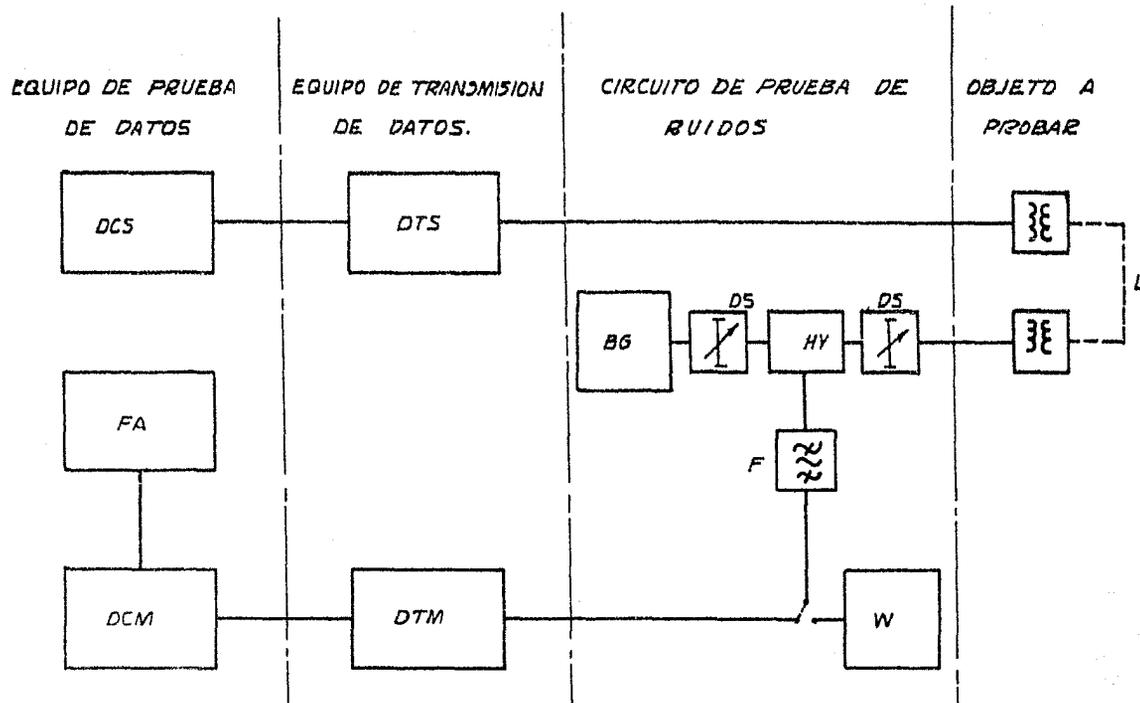
También es posible utilizar el ruido blanco como fuente de interferencias. En este caso se supone que un sistema con buena resistencia al ruido blanco conserva esta propiedad para las interferencias de los impulsos.

Las pruebas del sistema aquí referidas han sido realizadas -- con un circuito de prueba que permite la inyección del ruido blanco a la entrada del receptor de transmisión de datos para una cierta relación señal-ruido. La fig. 9 muestra el circuito de prueba - empleado. Un transmisor de prueba de datos genera un caudal que en el transmisor de transmisión de datos se convierte en señales de - datos con desplazamiento de fase. Las señales pasan a través del - objeto a probar, por ejemplo, un cable cargado, el cual está conec tado mediante dos transformadores. En un circuito con un transformador diferencial se agrega el ruido blanco a las señales. Un filtro paso-banda, cuya banda de paso es más ancha que el espectro de la señal, limita la señal de ruido a una anchura efectiva de banda de Δf . Después de haber sido perturbada por el ruido, se demodula la señal en el receptor de transmisión de datos y se le alimenta - al receptor de prueba.

En el receptor de prueba se compara el mensaje entrante con - una copia programada de la información transmitida desde el transmisor de prueba de datos. Un analizador de errores cuenta no solo el número de bitios entrantes, sino también el número de bitios -- erróneos; de este modo se determina la posibilidad de error P_e .

$$P_e = \frac{\text{número de bitios erróneos}}{\text{número de bitios recibidos}}$$

Por medio de un milivatímetro se mide la potencia de la señal (con el ruido desconectado) y la potencia del ruido (con la señal-desconectada), obteniéndose de ello la relación R señal-ruido a la



124

FIG. 9.
CIRCUITO DE PRUEBA PARA SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS

DCS TRANSMISOR DE PRUEBA DE DATOS

DCM RECEPTOR DE PRUEBA DE DATOS

DS ATENUADOR

FA ANALIZADOR DE ERRORES

HY CIRCUITO DIFERENCIAL

BG GENERADOR DE RUIDO

L LINEA

DTS TRANSMISOR PARA TRANSMISION DE DATOS

DTM RECEPTOR PARA TRANSMISION DE DATOS

F FILTRO PASABAUDA (BANDA 4f C/S)

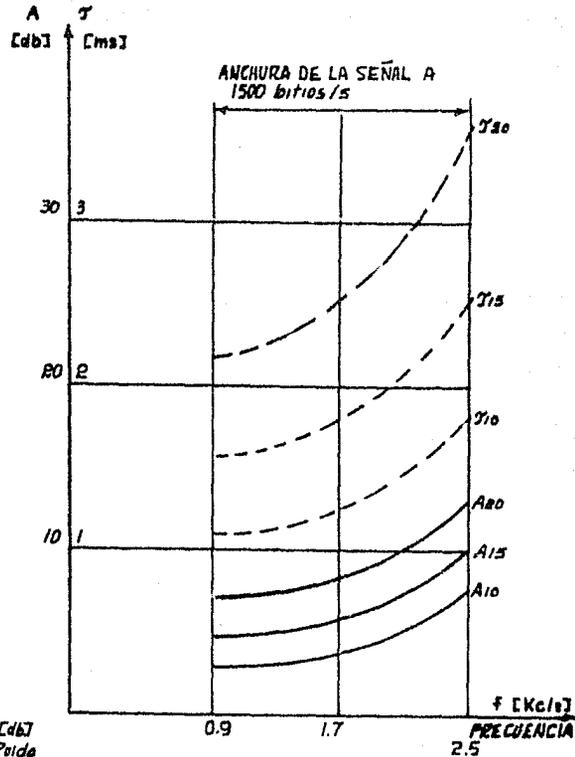
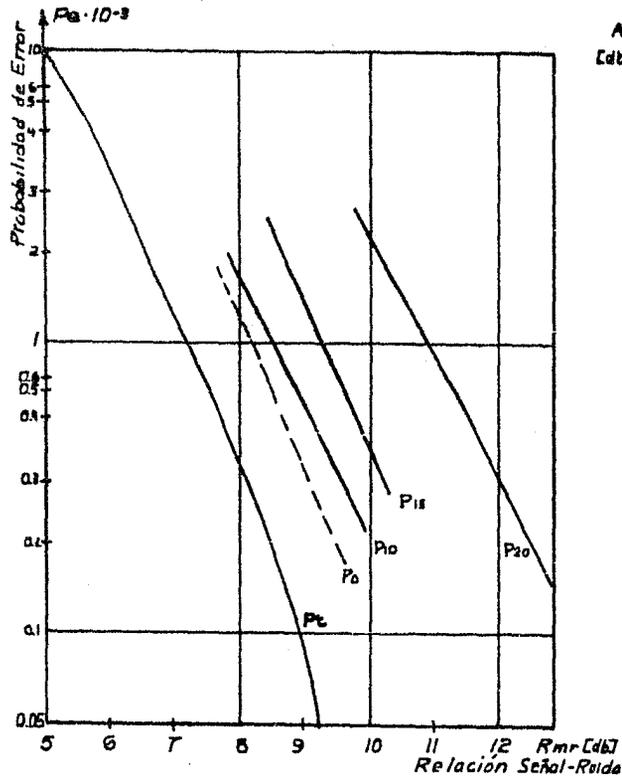
W MILIVATIMETRO

salida del filtro. Para comparar los resultados técnicos y prácticos se emplea a menudo como referencia una anchura de banda ficticia para el filtro, que se supone que es igual a f_b . La relación resultante normalizada señal-ruido es R_{mr} .

$$R = 10 \log \frac{\text{potencia media de la señal}}{\text{potencia media del ruido}}; R_{mr} = R + 10 \log \frac{\Delta f}{f_b} \text{ (db)}$$

Las curvas de la fig. 10a muestran la probabilidad de error P_e en función de la relación normalizada señal-ruido R_{mr} . La curva p_t representa el valor teórico calculado para el sistema de datos, suponiendo la presencia de un caudal de datos random (random, significa que los "1" y los "0" se transmiten en una combinación que no puede preverse). La curva p_o se obtiene con la ayuda del circuito de prueba de ruidos mencionado anteriormente, si el objeto a probar está libre de distorsión y de interferencias; la información utilizada para la prueba imita un caudal de datos random. El registrador del transmisor de prueba de datos puede programarse, - por ejemplo, con una serie "random" de cifras binarias. Durante la transmisión, el registrador está sometido a un proceso cíclico de extracción; el transmisor de prueba genera un caudal de datos "cuasi random".

Para demostrar la influencia ejercida por las distorsiones de línea se ha dibujado otro diagrama de curvas de error, obtenido -- cuando el objeto de prueba de la fig. 9 consiste en un cable cargado con los valores de atenuación y de retraso de grupo que se muestran en la fig. 10b. La prueba ha sido realizada sobre 10, 15 y 20 secciones de pupinización con una velocidad de datos de 1 500 --- bit/s. En el caso de 20 secciones de pupinización, la distorsión -



por retraso de grupo entre 0.9 y 2.5 Kc/s fue equivalente a la longitud de 2 bitios aproximadamente. A pesar de ésto, para $P_e = 10^{-3}$, la resistencia ofrecida por el sistema de transmisión de datos a las perturbaciones del ruido blanco, se redujo solamente en 2.5 db comparada con un circuito de datos sis distorsión.

Con autorización de la Dirección General de Telecomunicaciones se han hecho pruebas sobre dos sistemas de frecuencia portadora conectados en tandem. La atenuación A_{bf} y la curva \mathcal{J}_{bf} de retraso de grupo del circuito se muestran en la fig. 11b y las correspondientes curvas de error en la fig. 11a. Para reducir la distorsión por retraso de grupo se ha introducido un compensador de retrasos, el cual conjuntamente con el sistema de frecuencia portadora da lugar a la curva de retraso de grupo \mathcal{J}_1 y a la curva de atenuación A_1 . La curva p_1 muestra que la resistencia ofrecida por el sistema de transmisión de datos a la interferencias del ruido blanco ha aumentado en 2 db, para la probabilidad de error $P_e = 10^{-3}$. -- Otros componentes de retraso dan lugar a las curvas \mathcal{J}_2 y \mathcal{J}_3 , y p_2 y p_3 respectivamente. Como muestran los ejemplos, una compensación del retraso de grupo relativamente burda es suficiente para mejorar considerablemente el canal de transmisión. Sin embargo, para alcanzar la curva p_0 se requiere una compensación exacta del retraso de grupo y de la atenuación.

Las medidas de prueba realizadas hasta la fecha muestran que el sistema de transmisión de datos de la LM Ericsson tiene una buena resistencia a las interferencias del ruido blanco. Por consiguiente, se puede lograr una transmisión satisfactoria de datos -- utilizando este sistema por circuitos telefónicos que estén expuestos a distorsiones y a interferencias.

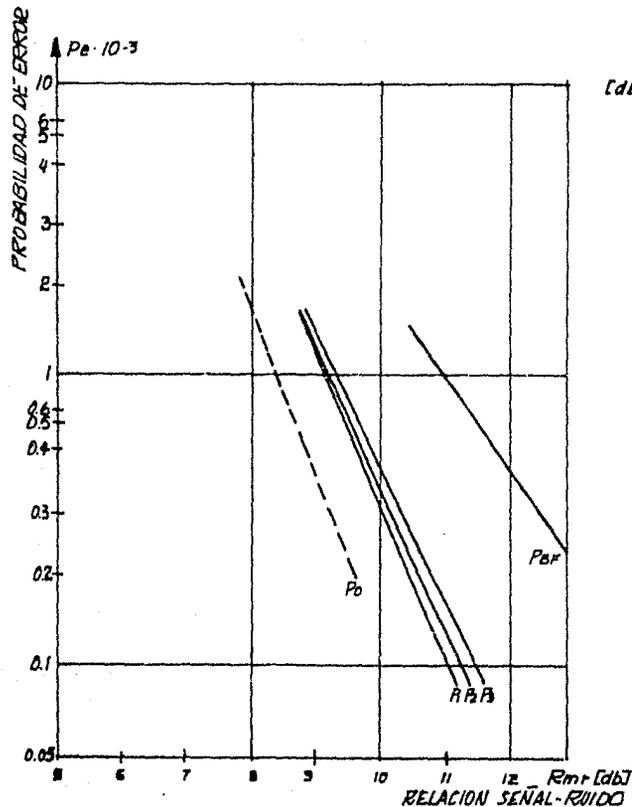


FIG 11a

TRANSMISION DE DATOS POR CIRCUITOS DE FRECUENCIA PORTADORA

PROBABILIDAD DE ERROR P_e CON INTERFERENCIA DE RUIDO R_{mF}

- P_0 OBJETO DE PRUEBA SIN DISTORSION NI INTERFERENCIA
- P_{0F} CURVAS DE ERROR PARA DOS SISTEMAS DE FRECUENCIA PORTADORA CONECTADOS EN TANDEN
- P_1, P_2, P_3 CURVAS DE ERROR PARA CIRCUITO DE FRECUENCIA PORTADORA CON DIFERENTES COMPENSADORES DE FASE.

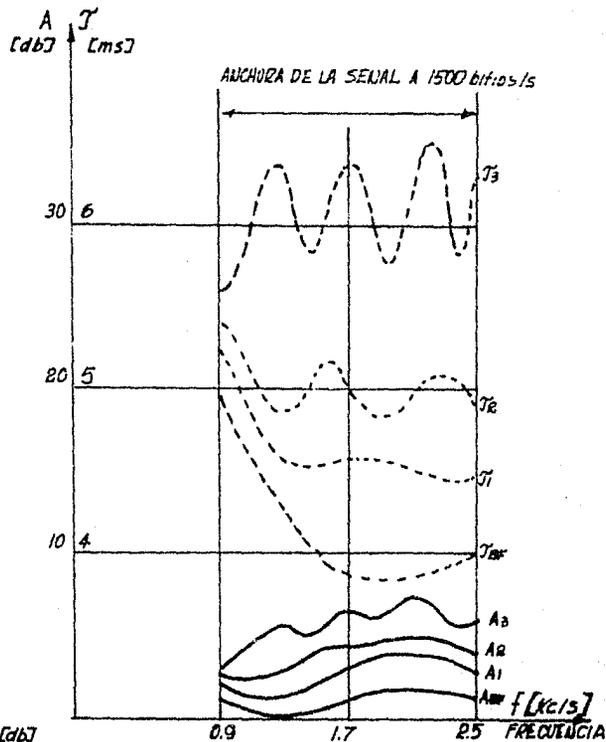


FIG 11b

ATENUACION "A" Y RETRASO DE GRUPO T PARA UN CIRCUITO DE FRECUENCIA PORTADORA CON DIFERENTES COMPENSADORES

CESAR HERNANDEZ

CORRECCION DE ERRORES.

Detección de errores.- Es por todos conceptos recomendable -- que los equipos terminales para transmisión de información digital cuenten con un dispositivo que asegure la efectividad de la transmisión. Estos equipos de chequeo de información (y las técnicas -- que emplean para tal fin) son los correctores de errores.

A diferencia de la palabra hablada ó escrita, que puede ser - redundante, los mensajes en número carecen de redundancia propia. Los símbolos numéricos, que son generados mecánicamente, no se presentan dentro de moldes preestablecidos como en el caso de las combinaciones más comunes de sílabas ó palabras del lenguaje corriente, y por tanto los errores no se pueden descubrir a simple vista.

En la transmisión de datos numéricos no se puede permitir la misma proporción de errores que en el lenguaje claro, porque un solo error puede arruinar totalmente una función de control ó un cálculo de máquina, sin embargo, la alta velocidad con que se produce y transmite la información numérica, aumenta la posibilidad de que ocurran errores en el trayecto.

Una manera de evitar los errores en la preparación y transmi-

sión de tal información sería emplear un código que, por su misma-forma y estructura permitiera detectarlos y hasta corregirlos automáticamente. Desafortunadamente, no se pueden crear códigos de esta clase sin agregar redundancia a la información. En vista de tal inconveniente, el problema radica en idear un método de codificación que permita obtener una transmisión de gran exactitud con la menor posibilidad de redundancia.

LETRA	SIMBOLO	LETRA	SIMBOLO
A	0000	E	1111
B	0011	F	1100
C	0101	G	1010
D	0110	H	1001

TABLA B

En la tabla B anterior se muestra un código binario con detección de errores. Observese que aunque sólo hay ocho letras, para los símbolos se utilizan grupos o combinaciones de cuatro, para los símbolos se utilizan grupos o combinaciones de cuatro bits, en lugar de tres. El símbolo que sufra un solo error quedará transformado en una combinación de bits que no corresponde a ninguna otra letra del código. Por ejemplo: el grupo 1111 (que representa a la letra E) podría convertirse en 0111, 1011, 1101 ó 1110. Los errores dobles, sin embargo, convertirían al símbolo afectado en otro grupo válido y no se podría descubrir ninguno de los dos. Si bien este código en particular revela los errores sencillos, no puede corregirlos debido a que en ciertos casos la misma combinación errónea se puede producir por equivocación en uno de varios símbolos del código. Por ejemplo: el grupo erróneo 1101 podría deberse a un solo error en el símbolo correspondiente a la letra C, E, F ó H.

Probabilidad de errores.- La capacidad de información digital-

(velocidad de transmisión) de un circuito de comunicación con un ancho de banda determinado depende principalmente de la relación señal o ruido efectiva con que llega la señal al detector o receptor. Por lo general, se estima que la potencia del ruido en el circuito es completamente errática, causando así un aumento o disminución de la potencia de la señal. Si las señales digitales se reciben con ruido, es difícil que el detector determine correctamente todos los bits, pudiéndose causar errores. Por ejemplo, en los sistemas binarios comunes los impulsos de código 1 y 0 se representan con diferentes niveles de amplitud de la señal, como se ilustra en la fig. 6.

El detector debe decidir si los impulsos van correspondiendo a 1 ó 0, basándose para la decisión en la amplitud que tiene el impulso en el instante de tomarse la muestra (lo que generalmente se hace al centro del impulso). Si en el instante de muestreo la amplitud excede del nivel establecido, que se denomina "nivel de corte" o "umbral de decisión", se detectará el dígito 1, pero si dicha amplitud es inferior al nivel de corte la detección indicará un 0.

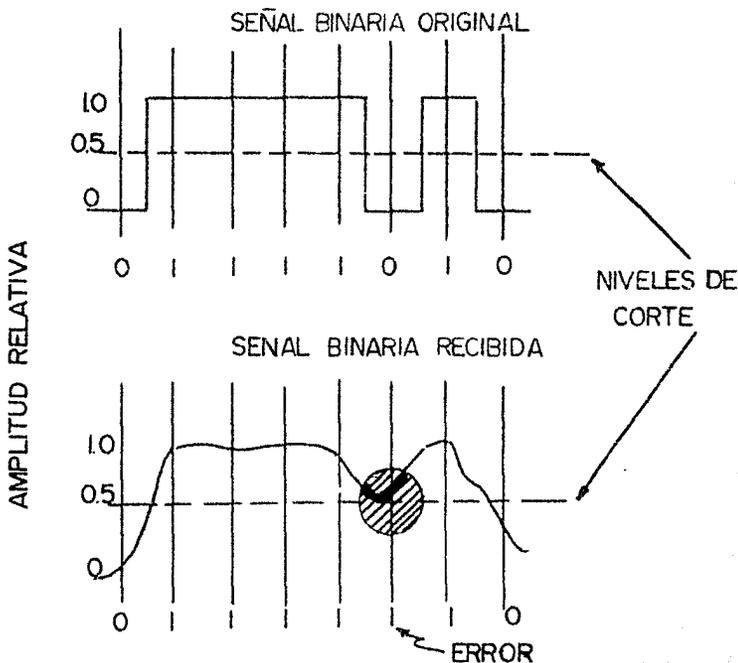


FIG. 6

La amplitud del impulso que se muestra es proporcional a la suma vectorial de la potencia de la señal y la del ruido. Si la señal de detección es un dígito 0, para que se produzca un error la amplitud y fase de la potencia de ruido tendrían que ser suficientes para elevar la amplitud sobrepasando el nivel de corte; a la inversa, si la señal es un dígito 1, la potencia del ruido tendría que llegar con una amplitud y fase que bajara la amplitud del impulso a menos del nivel de corte para que ocurriera un error.

En la fig. 6 el nivel de corte se ha establecido a la mitad de la amplitud máxima de la señal. En esta forma, si en el instante que muestra la amplitud de un impulso tiene una distorsión equivalente a la mitad de la amplitud máxima, se producirá un error porque el detector indicará el símbolo binario incorrecto. Si se supone que la única causa de distorsión de señales es el ruido errático de fondo, se diría que la posibilidad de error está relacionada con la probabilidad de que la potencia del ruido sea mayor que la amplitud promedio establecida para la detección de impulsos. Desde luego, esto significa que mientras mayor es la relación señal a ruido menor es la posibilidad de error. Por tanto, si se conoce la relación señal a ruido, la probabilidad de que las crestas de ruido errático produzcan errores, se puede calcular empleando la estadística matemática y los valores de distribución normal o gaussiana. Las proporciones de errores establecidas por este método estadístico constituyen una excelente medida de rendimiento, lo que es de especial utilidad en la evaluación de sistemas de transmisión digital, la probabilidad de errores de los sistemas modernos varía entre 1 bit en 100 000 y más de 1 bit en 1 000 000. En la fig. 7 se indica la probabilidad de errores en función de la relación señal a ruido (en decibeles) calculada para tres clases de sistemas.

Es importante observar que al comparar los códigos de impulsos multiniveles, como el ternario o cuaternario, la probabilidad de errores aumenta cuando la amplitud de cresta a cresta de la señal permanece igual. Como se ve en la fig. 8, se necesitan dos niveles de corte para las señales ternarias y tres para las cuaternarias.

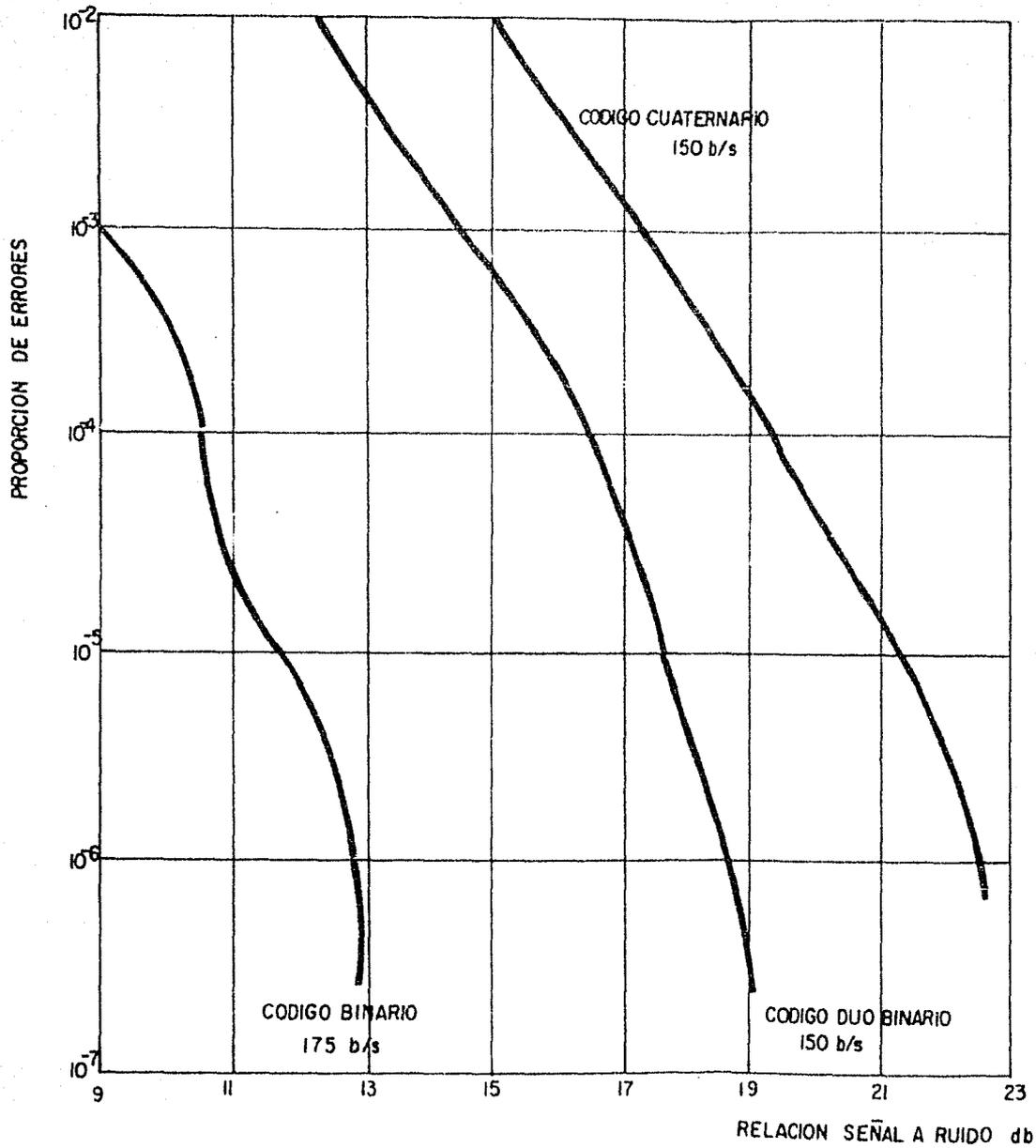


FIG. 7.

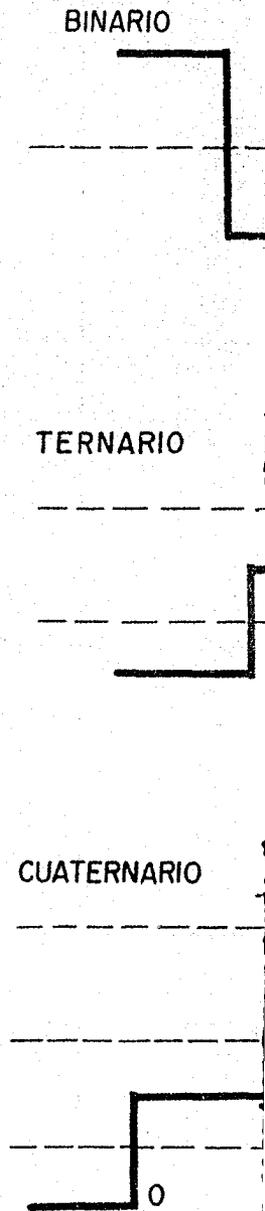


FIG.

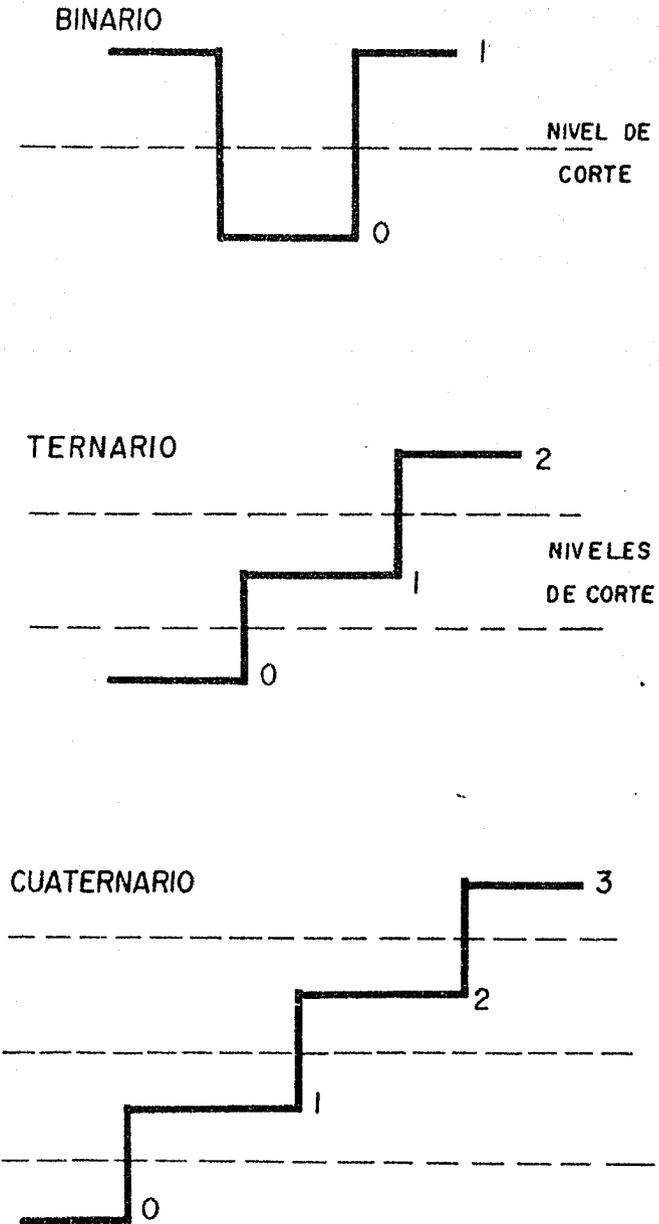
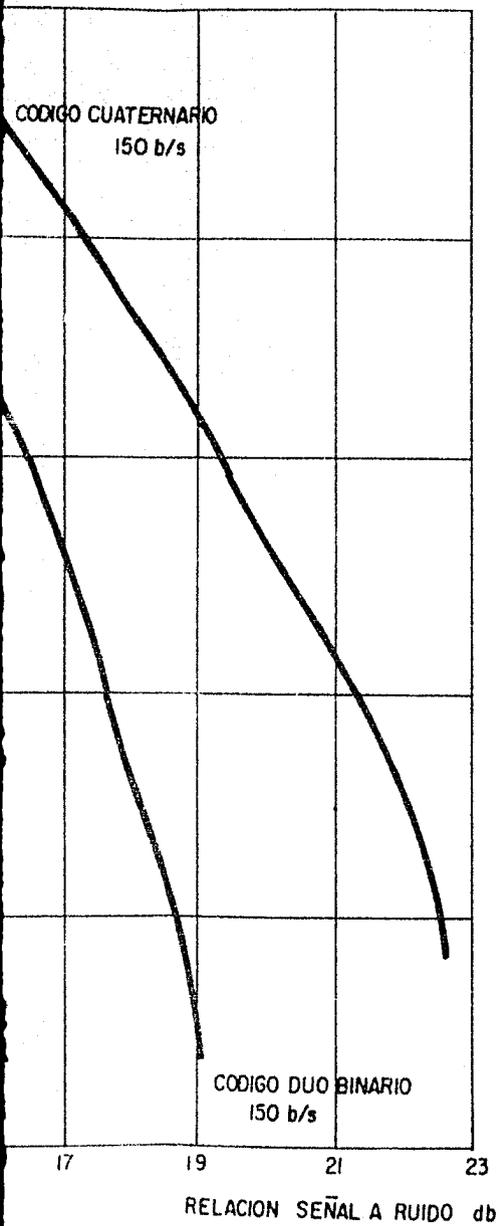


FIG. 8.

Los niveles adicionales de estas señales aumentan la capacidad de información en comparación con la señal binaria, pero el margen para contrarrestar el ruido disminuye en un factor de $1/(n-1)$ donde n es el número de niveles. Por ejemplo, en una señal cuaternaria en que $n=4$, el margen contra el ruido disminuye en $1/3$.

Verificación de errores.- La verificación o control de errores se ha convertido en una función indispensable de la transmisión por impulsos o datos en vista de la imposibilidad de obtener circuitos perfectos. El método de verificación se adopta de acuerdo con el sentido de la transmisión (si es en una o ambas direcciones) y su exactitud de rendimiento (la clase y distribución de los errores). El empleo de métodos de detección y corrección de errores permite aumentar la exactitud de la transmisión a cualquier grado dentro de la capacidad de los canales, pero también aumenta la complejidad del equipo.

Con la fórmula de Shannon se llega a la notable conclusión de que hasta el canal más ruidoso tiene una capacidad definida de transmisión exacta. Por baja que sea la proporción de errores establecida, se puede lograr sin dejar de transmitir las señales a la velocidad deseada, siempre que no se sobrepase la capacidad de información del canal. Sin embargo, la transmisión de las señales resulta más difícil a medida que aumenta el grado de exactitud. Esta dificultad solo se debe a que la codificación de la información se hace más compleja, demorando la transmisión; por razones de orden práctico debe emplearse un alfabeto sencillo para la codificación, lo que solo permite aprovechar una parte de la capacidad del canal. En su teoría Shannon ha demostrado que la capacidad de información de un canal telefónico común es:

Para $B=3000$ c/s

y $\frac{S}{N}=20$ db (la señal a -15 db y el ruido a -35 db)

$C=20000$ bits/segundo.

(B =Ancho de banda, S =Pot. de la señal, N =pot. del ruido)

En los sistemas actuales sólo se puede obtener una pequeña fracción de esta capacidad máxima de información que es posible en

teoría. En efecto, la fórmula no da ninguna indicación de la forma en que se podría realizar esta codificación ideal de la información. En cualquier sistema que se proyecte siempre habrá una posibilidad definida de errores dentro de una velocidad definida de transmisión. El refinamiento técnico necesario para lograr la capacidad de la fórmula de Shannon produciría un sistema demasiado complejo.

En la actualidad, la verificación de exactitud se efectúa, ya sea mediante la detección o corrección de errores. Una de las formas más sencillas de disminuir los errores es transmitir el mismo mensaje varias veces. Un procedimiento más esmerado es utilizar una codificación que permita verificar la transmisión por grupos de caracteres. Si no se encuentran errores en la recepción de un grupo, se manda una señal de acuse de recibo y envío del grupo siguiente. Si no se recibe la señal de aceptación, se transmite el grupo anterior. La exactitud de este método se obtiene al precio de una menor velocidad. Matemáticamente, el rendimiento de este procedimiento se puede expresar como el número de bits de información por grupo de caracteres, dividido por la suma de los bits de información, más los bits redundantes, más el número de bits que se podrían haber enviado en los instantes de espera de las señales de confirmación, junto con el promedio adicional de tiempo para repetir la transmisión de grupos erróneos. La expresión es

$$R = \frac{B_i}{B_i + B_r + B_e}$$

donde:

- R = Rendimiento
- B_i = Bits de información por grupo
- B_r = Bits redundantes por grupo
- B_e = Bits de espera por grupo

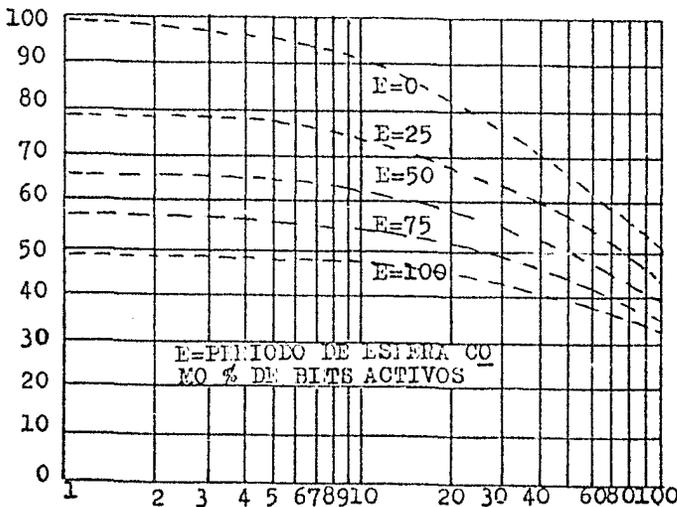
En la fig. se indica el efecto que producen los instantes de espera en el rendimiento de transmisión del sistema.

También se demuestra que al agregar bits redundantes se restringe seriamente la velocidad de transmisión

El código binario, por tanto, constituye un método de detección de errores muchísimo más eficaz que la simple verificación. Además, tiene la ventaja de que los errores se detectan antes de la elaboración de los datos recibidos.

VERIFICACION DE PARIDAD.

Un método de detección de errores que tiene amplia aceptación es el de verificación de paridad. En este método se agrega un bit al grupo de cinco bits de los símbolos del código binario normal, de manera que siempre haya un número par o impar de unos en cada grupo. Si ocurre un error en un símbolo, en el receptor aparecerá un número impar de unos, lo que revelara un error. Con un solo bit de verificación de paridad se descubrirá cualquier cantidad impar de errores, pero no se detectarán los errores dobles, o de un to--



BITS REDUNDANTES COMO PORCENTAJE DE
BITS ACTIVOS

tal par, ya que en este caso al contar los unos siempre se obtendrá una cifra par. Con un segundo bit de verificación por cada dos de información se puede detectar toda la cantidad impar de errores y casi la mitad de las cantidades pares. Al introducir un tercer bit de verificación al código, el número de errores no detectables será mucho menor.

La verificación por paridad suministra cierta medida de protección contra los errores, pero al igual que toda redundancia, hace disminuir la velocidad de transmisión de los mensajes. Si se utiliza un sólo dígito de verificación en todos los símbolos del código de cinco dígitos (como se vio en el capítulo IV), la información contendrá aproximadamente un 16% de redundancia. Este porcentaje puede bajar aumentando el número de dígitos de información por cada uno de verificación, pero a la vez aumentará la posibilidad de que ocurran errores indetectables.

Existen muchas clases de métodos de verificación por paridad. Por ejemplo, cuando se emplea transmisión paralela (como en el traspaso de datos entre cintas de varias pistas de información para computadoras) se pueden insertar dígitos de verificación por paridad tanto en el sentido horizontal como vertical para disminuir la posibilidad de que algunos datos escapen de detección fig. 12.

Existe otra forma de detección de errores parecida a la anterior, en que se emplea una relación fija de impulsos de trabajo y reposo para todos los caracteres del código de información. Dicho código es de gran eficacia cuando se dispone de tal manera que reduzca la posibilidad de compensación de errores.

En esencia, la codificación con detección de errores y la transmisión de grupos de bits erróneos contribuyen en alto grado a la confiabilidad de la comunicación, pero solo cuando el canal introduce un número relativamente pequeño de errores y se dispone de un canal de retorno de alta calidad. Esto se debe a que el sistema de detección pierde rápidamente su eficacia a medida que aumenta la proporción de errores.

La fracción de errores que en realidad se detecta durante la transmisión depende de las características de superación de ruido que tiene el canal. La protección que proporciona el código

TRANSMISION DE DIGITOS EN PARALELO (MULTICANAL)

1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
VERIFICACION DE PARIDAD HORIZONTAL								VERIFICACION DE PARIDAD VERTICAL								

FIG. 12

aumenta al agregarse más bits de paridad. Si en los grupos de bits de una extensión determinada se agregan bits de paridad, el número de errores que escaparán a su detección equivaldría a la fracción $1/2^p$ de todos los errores posibles cuando el código de detección es eficiente, es decir:

$$d = \left(1 - \frac{1}{2^p}\right) \times 100$$

donde:

p= número de bits de paridad

d= porcentaje de errores detectados

El mayor o menor grado de eficacia de detección de errores depende del número de bits de paridad del código, como se observa en la gráfica de la fig. 13.

Cuando se dispone en forma adecuada, la verificación de paridad por grupos de bits resulta excelente. Por ejemplo, supongamos que se utiliza un grupo de 80 caracteres de seis bits cada uno para transmitir los datos de una tarjeta perforada normal de 80 columnas. Con una verificación de paridad en cada caracter sólo se obtiene un 50% de eficiencia y se necesitan 80 bits de paridad por tarjeta. En cambio, en un sistema de detección por grupos de bits, con nueve bits de paridad se obtendría un 99.8% de eficiencia y -

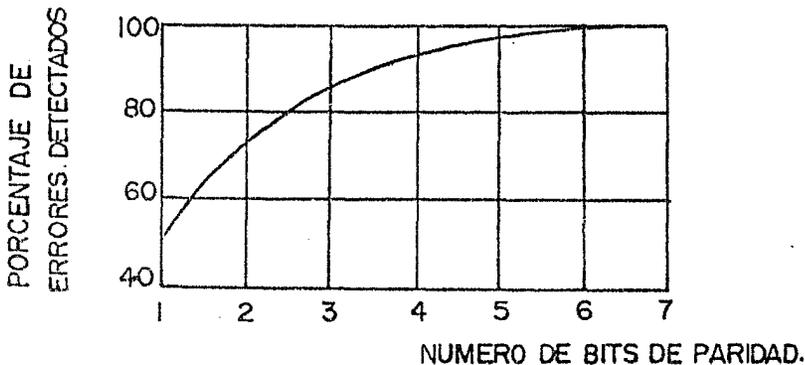


FIG. 13

se podría detectar cualquier serie de errores consecutivos de hasta 8 bits de extensión. La introducción de redundancia sería inferior a 2%.

CORRECCION DE ERRORES.

Naturalmente, no basta con descubrir la presencia de errores. Para que la transmisión o una función de telemando sea completa debe emplearse algún método que permita recuperar o rectificar las mutilaciones o errores que sufra cualquier mensaje en el curso de su envío. Una forma elemental de verificación es transmitir varias veces el mensaje con la esperanza de que no se produzcan los mismos errores en todas las transmisiones. El control también puede efectuarse con una sola transmisión, repitiendo varias veces cada uno de los dígitos binarios de los símbolos; en la estación receptora se cuentan los bits recibidos de cada símbolo y los que estén en mayoría se considerarán correctos. Desde luego, este método fracasa cuando más de la mitad de los dígitos están equivocados. Con la aplicación de los principios semejantes a los empleados en la muestra del capítulo anterior, se han ideado códigos de corrección de errores que no demandan retransmisión. La corrección se obtiene agregando dígitos redundantes a los grupos de bits de los símbolos de manera que ningún grupo pierda su identidad a pesar de los cambios que ocurran en uno o varios de sus bits debido a errores. Naturalmente ello aumenta la redundancia del código en forma conside

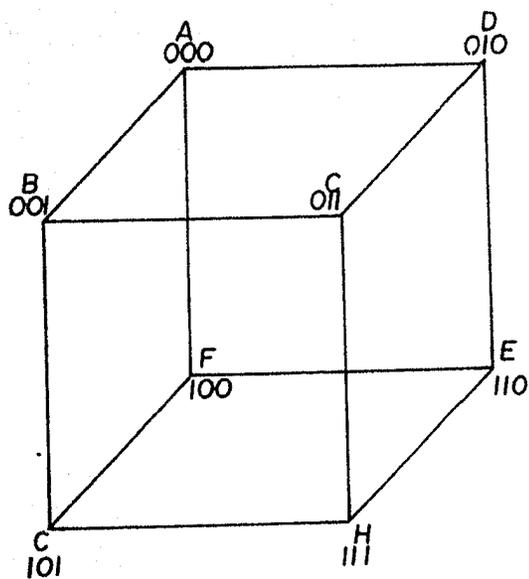
nable. Los matemáticos especializados en teoría de la información y métodos avanzados de codificación encuentran útil describir los códigos de comunicación por medio de la geometría. Para esta descripción teórica los símbolos del código se ubican en los vértices o ángulos de una figura geométrica. Por ejemplo, un código de dos dígitos que permite formar cuatro combinaciones de bits, se representaría mediante un cuadrado en cuyos ángulos se colocan las combinaciones, una en cada ángulo. Un código de tres dígitos se ilustraría con una figura tridimensional para indicar las ocho combinaciones posibles, una en cada vértice; para describir las propiedades de un código de cuatro dígitos se necesitaría un cuerpo que tuviese cuatro dimensiones. Aunque es difícil —si no imposible— esquematizar las figuras multidimensionales en papel, resulta fácil expresarlas matemáticamente.

Como todas las combinaciones posibles del código tanto correctas como incorrectas quedan ubicadas en los vértices de la figura, si se altera un solo bit de una información válida, esta se desplazaría al vértice vecino quedando como incorrecta. Si se producen dos alteraciones en la combinación, el símbolo se correrá dos lugares, y así sucesivamente. Por tanto, el código ideal utilizaría el menor número posible de combinaciones para los símbolos y todas las combinaciones válidas estarían separadas entre sí por la mayor cantidad posible de lugares. Mientras menor sea la separación entre símbolos correctos, menor será la redundancia. Si se introduce una separación adicional entre símbolos válidos el código puede detectar errores múltiples o bien corregir errores sencillos: ello depende de la forma en que se organice el código. La representación geométrica de la fig. 14 permite expresar la separación entre símbolos y demuestra como disminuye el rendimiento o capacidad de información del código al aumentar su capacidad de corrección o de tección de errores.

TRES DISPOSICIONES DE UN CODIGO FORMADO POR 8 SIMBOLOS DE 3 DIGITOS CADA UNO:

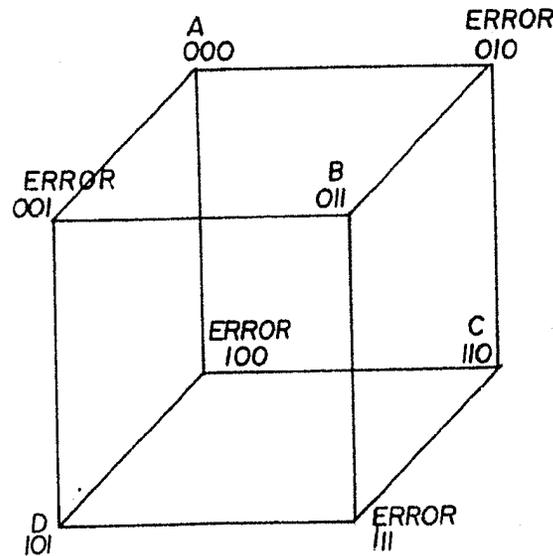
TRES DISPOSICIONES DE UN CODIGO FORMADO POR 8 SIMBOLOS DE 3 DIGITOS CADA

1

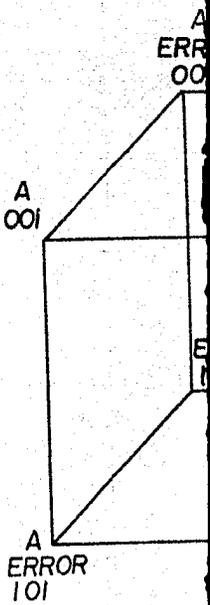


CODIGO CON SEPARACION MINIMA
TODOS LOS SIMBOLOS ESTAN
ASIGNADOS A CARACTERES DE
ESCRITURA.

2

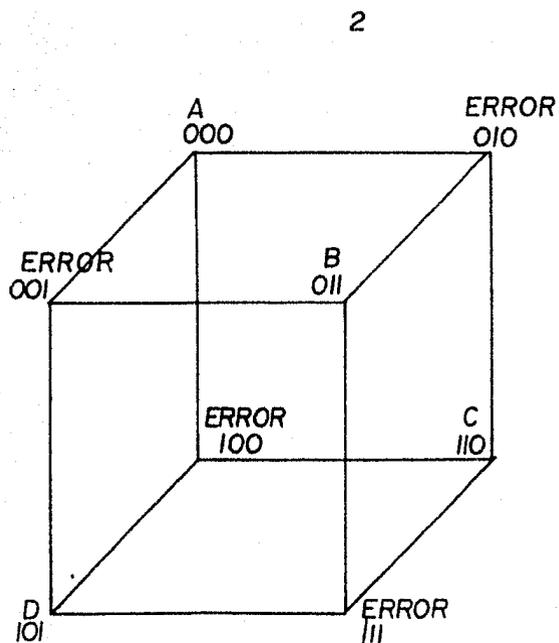


MISMO CODIGO PERO CON DETECCION
DE ERRORES SENCILLOS, TIENE 4
SIMBOLOS PARA CARACTERES Y 4
PARA ERRORES

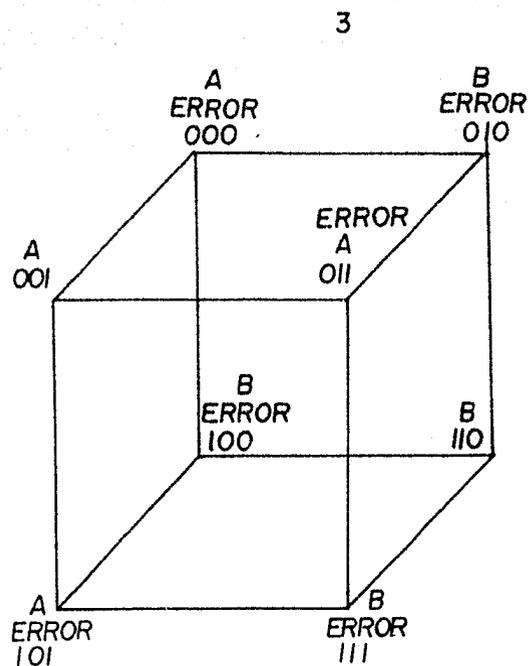


OTRO ARREGLO
ERRORES. SOLO
CARACTERES L
ERRORES.

POSICIONES DE UN CODIGO FORMADO POR 8 SIMBOLOS DE 3 DIGITOS CADA UNO



MISMO CODIGO PERO CON DETECCION DE ERRORES SENCILLOS, TIENE 4 SIMBOLOS PARA CARACTERES Y 4 PARA ERRORES



OTRO ARREGLO PARA DETECCION DE ERRORES. SOLO 2 SIMBOLOS PARA CARACTERES LOS DEMAS PARA ERRORES.

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

1.- AN INTRODUCTION ELECTRONIC DATA PROCESSING.

Roger Nett and S.A. Hetzler

Free Press of Glencoe

2.- ANALOG COMPUTATION.

Albert S. Jackson

Mc. Graw-Hill

3.- COMPUTADORAS SU PROGRAMACION Y APLICACIONES.

¿QUE ES UNA COMPUTADORA?

Revista Técnica I.E.M.

Marzo 1964, Marzo 1967, Junio 1967

I.E.M.

4.- SYMBOLS, SIGNALS AND NOISE. THE NATURE AND PROCESS OF
COMMUNICATION.

J.R. Pierce

Hutchinson Science Library.

5.- INFORMATION THEORY

Stanford Goldman

Dover Publications Inc.

6.- TELECOMUNICACION POR DATOS DIGITALES

Lenkurt electric/Nov. 1965

Lenkurt Electric.

- 7.- DISTORSION DE RETARDO.
Lenkurt Electric / Jun. 1965
Lenkurt Electric.

- 8.- COMMUNICATION ENGINEERING.
W.E. Everitt and G.E. Anner
International Student Edition.

- 9.- A BRIEF INTRODUCTION TO DIGITAL DATA TRANSMISSION
TECHNIQUES.
The Telecommunication Journal of Australia / Junio 1971.

- 10.- SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRANSMISION DE DATOS
Ericsson Review
No. 2, 1963
L. M. Ericsson.

- 11.- EQUIPOS PARA TRANSMISION DE DATOS EN PARALELO A TRAVES DE CIR
CUIITOS TELEFONICOS.
Extracto 1527 de Ericsson Review
No. 4, 1965
L. M. Ericsson.

- 12.- INTRODUCCION A LA TELECOMUNICACION A LARGA DISTANCIA.
Libros
DET 32 B USP 1970
DHU 51 A Uh 1969
L. M. Ericsson.

13.- DATA TRANSMISSION.

W.R. Bennett and J.P. Davey

Mc. Graw-Hill Book Co.

New York, N.Y. / 1965.

14.- PRINCIPLES OF DATA COMMUNICATION

R.W. Lucky, J. Salz and E.J. Weldon

Mc. Graw-Hill Book Co.

New York, N.Y. / 1968.