

7-VES
1504
A473d
1993
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



**"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SERVOMECANISMO
OPERADO POR COMPUTADORA PARA LA MICROESTACION
TERRENA DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA"**

Trabajo de Graduación, Presentado por:

Rubén Elías Álvarez Barrera
Gerberth Orlando Mancía Pérez



Para Optar al Título de:
Ingeniero Electricista

15101104

15101104

Octubre 1993

San Salvador,

El Salvador,

Centro América.

Recibida: 04/03/94

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIA GENERAL:

LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

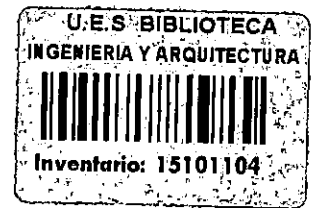
SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR:

ING. RICARDO ERNESTO CORTEZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título: "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SERVOMECANISMO OPERADO
POR COMPUTADORA PARA LA MICROESTACION TERRENA DE LA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA"

Presentado por:

RUBEN ELIAS ALVAREZ BARRERA

GERBERTH ORLANDO MANCIA PEREZ

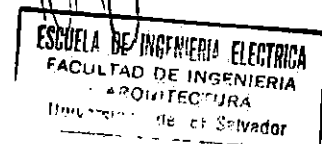
Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador:


ING. JAIME ANTONIO ANAYA.

Asesor:


ING. RICARDO ERNESTO CORTEZ.



San Salvador, Octubre de 1993

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

28 Octubre

3

En esta fecha, de de 199, en el local de Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica a las 16:00 horas, con la presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Ing. Ricardo E. Cortez
Director de la E.I.E.
- 2- Ing. Jorge A. Galdámez
Secretario de la E.I.E.
- 3- _____



Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas siguientes:

- 1- Ing. Carlos Mauricio Erroa Colato
- 2- Ing. Gerardo Marvin Jorge Hernández
- 3- Ing. Werner David Meléndez Valle
- 4- _____
- 5- _____
- 6- _____

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación: "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SERVOMECANISMO OPERADO POR COMPUTADORA PARA LA MICROESTACION TERRENA DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA"

a cargo del (los) Br(es): Rubén Elías Alvarez Barrera y Gerberth Orlando Mancía Pérez

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.5
(Ocho punto cinco)

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO.

Por haberme permitido existir, y por darme la oportunidad de realizar mis estudios, estando a mi lado en los momentos más difíciles, fortaleciendome para seguir adelante.

A MIS PADRES.

Abelardo Alvarez e Irma Barrera de Alvarez, por su esfuerzo y sacrificio al acompañarme y apoyarme en el transcurso de mis estudios.

A MIS HERMANOS.

Con amor fraternal, por su apoyo durante la coronación de mi carrera.

A MIS FAMILIARES , AMIGOS y COMPAÑEROS.

Por los momentos compartidos y por todo su apoyo para la realización de mi carrera.

Y A TODAS LAS PERSONAS que colaboraron en la realización de éste trabajo.

RUBEN ALVAREZ.

DEDICATORIA

Trabajo Dedicado a:

A DIOS, NUESTRO PADRE ETERNO:

Por iluminarme y guiarme por el camino de la sabiduría y el entendimiento.

A MIS PADRES:

Ricardo Antonio Mancía y Petrona Pérez Díaz, por apoyarme y sacrificarse durante el periodo de mi carrera y en especial por darme el ser, que DIOS los bendiga, LOS AMO.

A MIS HERMANOS:

Neto, Mirna, Sonia, Ricardo y Cristina, con amor fraternal por confiar en mí y darme su ayuda en el momento que lo necesité, LOS QUIERO MUCHO.

A MIS AMIGOS y COMPAÑEROS:

Con los cuales compartimos aflicciones y triunfos, y de los cuales he aprendido a apreciar y a comprender el verdadero significado de AMISTAD.

A TODOS ELLOS VA DEDICADO ESTE TRIUNFO.

GERBERTH MANCIA.

AGRADECIMIENTO

El esfuerzo y la dedicación que se merece una carrera profesional, siempre va acompañado de un factor que es muy importante, como es la ayuda moral e intelectual de aquellas personas que nos brindaron sus conocimientos y experiencias sin ningún interés lucrativo.

Queremos hacer nuestro reconocimiento a los profesores, compañeros y amigos de la Universidad de El Salvador y especialmente a nuestro asesor y coordinador Ing. Ricardo Cortez quien nos guió en éste trabajo que es la culminación de nuestra ansiada meta, así como también a nuestros compañeros y amigos Mario Alberto Monge y Mauricio Gutiérrez por su desinteresada colaboración.

Además, a los amigos Edwin Rivera Martínez, Roberto Atilio Erroa, Francisco Stanley Aguirre, William Padilla, Erick Calderon, Francisco Gonzalez, Carlos Meléndez y Horacio Eguizabal por haber convivido los mejores recuerdos a lo largo de la carrera y motivarnos a seguir adelante con nuestras metas, **GRACIAS AMIGOS.**

A TODOS INFINITAMENTE GRACIAS.

P R E F A C I O

El objetivo del presente trabajo de graduación consiste en el diseño y construcción de un servomecanismo que controle la micro estación terrena de la Escuela de Ingeniería Eléctrica por medio de una computadora.

Su justificación es debida a que en nuestro medio la comunicación via satélite está tomando mucho auge, por lo tanto un control para la posición de las antenas se hace necesario.

La técnica con que se realizó el diseño es completamente basado en electrónica digital, por lo que todo el sistema es fácilmente comprensible.

El sistema fue instalado en un gabinete en el cual se indica cada uno de los controles, además aparece un teclado decimal que cuenta con una tecla de entrada (ENTER) y una tecla para limpiar el contenido anterior (CLEAR), con el objetivo de operar el sistema cuando no existe una computadora.

Los alcances planteados en el trabajo comprenden el diseño y construcción del prototipo del circuito controlador de posición los cuales fueron logrados.

T A B L A D E C O N T E N I D O S

pag.

CAPITULO I	
INFORMACION DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SERVOMECANISMO	
-	Introducción 1
- 1. 1	Componentes de servomecanismos 2
- 1. 2	Transductores 2
1. 2. 1	Detectores de error basados en el puente de Wheatstone 3
1. 2. 2	Mando de voltaje en los servos 6
1. 2. 3	Detectores de error basados en el principio del transformador 7
a)	Transformador diferencial lineal de núcleo móvil 7
b)	Transformador diferencial lineal de bobina móvil 8
c)	Transformador diferencial rotatorio . 10
1. 2. 4	Sincro transmisor 13
a)	Interconexiones de dos estatores de sincros 15
b)	Sincro transformador de control 15
c)	Sincros diferenciales 18
1. 2. 5	Fallas en los detectores de error 20
- 1. 3	Motor de C.D. 21
- 1. 4	Motor de inducción de CA 24
- 1. 5	Similitud funcional de los servomecanismos de CD y de CA 27
- 1. 6	Motores de paso 28
1. 6. 1	Funcionamiento de los motores de paso ... 28
- 1. 7	Modelos de elementos de sistemas mecánicos 31

	pag.
1. 7. 1 Relación entre los movimientos de traslación y rotación	31
1. 7. 2 Trenes de engranajes, palancas y cintas de transmisión	33
- 1. 8 Comunicación espacial por satélite	35
- 1. 9 El enlace hacia abajo	37
1. 9. 1 La antena parabólica	37
1. 9. 2 Asentamiento y alineamiento	40
1. 9. 3 El LNB	46
- 1.10 La recepción doméstica	47
1.10. 1 Operaciones topográficas en el asentamiento	48
1.10. 2 Instalación del reflector parabólico	50
1.10. 3 Montajes polares	50
- 1.11 Interface de comunicación con el computador	53
1.11. 1 El PPI 8255A	54
a) Modos de operación del IC 8255A	54
b) Modo 0 : entrada/salida elemental	55
1.11. 2 Descripción de los pines del 8255A	56
- Conclusiones y recomendaciones del capítulo I	58
- Bibliografía del capítulo I	59

**CAPITULO II
DESCRIPCION DEL DISEÑO**

- Introducción	60
- 2. 1.- Descripción del diseño	60.

	pag.
- 2. 2.- Funcionamiento del sistema	63
2. 2. 1 Entrada de datos	63
a) Interfase	63
b) Teclado (tablero)	63
c) Convertidor de BCD a binario	65
2. 2. 2 Restador completo	67
2. 2. 3 Comparador digital	69
2. 2. 4 Ckto. de almacenamiento de la referencia del sistema	70
a) Sumador restador	71
b) Memoria permanente	72
c) Memoria temporal	72
2. 2. 5 Contador y Transductor	73
a) Funcionamiento del contador	73
b) El transductor	75
- 2. 3 Inicialización del Sistema	75
- 2. 4 El Motor a utilizar	77
2. 4. 1 Circuito de Arranque	77
2. 4. 2 Circuito de Inversión de Giro	78
- 2. 5 Software Utilizado	79
- 2. 6 Funcionamiento del Sistema Completo	79
- Conclusiones del capítulo II	81
- Bibliografía	82
- Conclusiones Generales	83
- Anexos	84
a) Esquema general del sistema.	

CAPITULO I

INFORMACION SOBRE LOS DISTINTOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SERVOMECANISMO.

INTRODUCCION.

En algunas aplicaciones es necesario controlar una posición mecánica, esto es, mover algún objeto mecánico hasta que quede situado exactamente en una posición especificada; o moverlo de tal manera que su posición mecánica esté controlada con precisión mientras está en movimiento. En ambos casos el sistema debe mantener la posición deseada cuando la salida se vea perturbada por fuerzas o pares externos. Los problemas típicos que caen dentro de esta categoría son:

- 1.- Posicionamiento remoto con servoinstrumentos, como en el ajuste de los potenciómetros de los coeficientes en una computadora analógica.
- 2.- Posición de una antena de radar para seguir un satélite.
- 3.- Posición de una cabeza magnética de lectura sobre la pista deseada en un archivo de memoria de disco magnético.
- 4.- Posición de un cañón antiaéreo para disparar a un blanco móvil.

En cada uno de estos el requerimiento primordial de sistema es un dispositivo de medición que pueda determinar la posición con exactitud suficiente y que pueda ser incorporado en un **detector de error de posición.**

El objetivo de éste capítulo es determinar las distintas partes que conforman un servomecanismo y así poder determinar los componentes a utilizar en el diseño.

1.1.- COMPONENTES DE SERVOMECANISMOS.

Un servomecanismo es un sistema de control realimentado en el cual la salida es una posición, velocidad o aceleración mecánica. Por lo tanto los términos sistema de control de servomecanismo o de posición (velocidad o aceleración) son sinónimos.

Antes de iniciar un análisis profundo sobre el comportamiento de los servomecanismos, se discutirán brevemente algunos elementos y dispositivos que forman parte de un servomecanismo real, tal como se muestra en la figura 1.1.

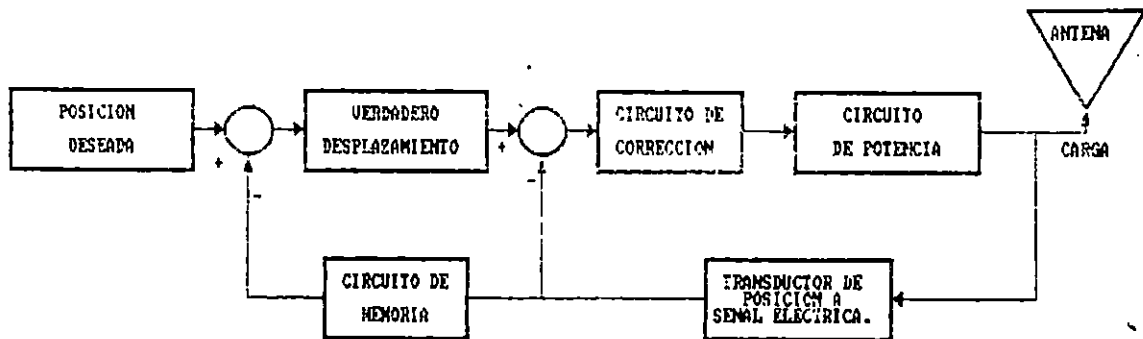


Fig. 1.1 Diagrama de bloques de un servomecanismo.

1.2 TRANSDUCTORES.

Un transductor es cualquier dispositivo que convierte una magnitud física de una clase en otra de clase diferente y de acuerdo con alguna regla cuantitativa. En muchos casos, la salida o valor, convertido es directamente proporcional a la entrada, pero se trata realmente de excepciones. Un ejemplo podría ser que la salida fuese proporcional al cuadrado de la entrada, pero en la generalidad de los casos la salida esta relacionada a la entrada conforme a una regla que cubre un cierto intervalo y que después se modifica, como sería el que la salida mencionada fuese proporcional a la entrada hasta un cierto valor, y que a partir de ahí permaneciese constante aunque continuara el incremento en la entrada. Una finalidad muy usual de los transductores es, convertir una posición mecánica en una señal eléctrica lo que se puede lograr con un potenciómetro simple en donde el voltaje de los contactos deslizantes (valor eléctrico) es proporcional (regla del

transductor) al ángulo del eje del potenciómetro (posición mecánica como entrada). Todos los detectores de error que se verán posteriormente, son transductores de posición mecánica a señal eléctrica, que es usualmente un voltaje. Algunos transductores son generadores eléctricos que convierten una velocidad angular en voltaje y que al añadirles un circuito auxiliar, pueden relacionarse con una aceleración mecánica. Un motor eléctrico que convierte energía eléctrica en movimiento mecánico, es otro ejemplo de transductor, como también lo son una lámpara eléctrica que convierte energía eléctrica en luminosa o una fotocelda que hace lo contrario, o sea, transforma energía luminosa en eléctrica. Un dispositivo que modifica algunas característica del mismo tipo de cantidad física no será llamado transductor. Un caso sería un amplificador electrónico, ya que en este la entrada y la salida son cantidades eléctricas al igual que en una caja de engranajes donde ambas son rotaciones de ejes.

1.2.1 DETECTORES DE ERROR BASADOS EN EL PUENTE DE WHEATSTONE.

La componente más característica de cualquier servomecanismo es aquella que detecta y mide el error entre la salida y la entrada. Esto se debe a que, la existencia de dicho error hace posible que el servomecanismo opere y que la reducción del mismo es el propósito fundamental de tales sistemas. Hay varios tipos generales de detectores de error frecuentemente utilizados en los servomecanismos, así como también existen muchos otros de tipo altamente especializados y que se usan cuando sus aspectos particulares se requieren para cierto caso. Un tipo muy común esta basado en un circuito eléctrico simple y se llama puente wheatstone, que se muestra en la figura 1.2, en donde pueden apreciarse dos resistencias (posiblemente iguales) A y B conectados en paralelo a través de una fuente de cd.

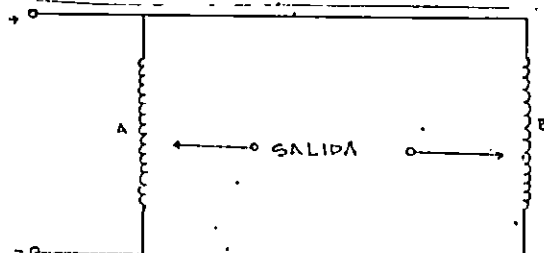


Figura 1.2 Detector de error tipo Puente Wheatstone.

Cada una de ellas tiene un contacto deslizante que puede moverse de un extremo a otro de la propia resistencia y que, a su vez, constituye uno de los terminales de la "salida".

Si el extremo inferior (indicado como negativo), en cada resistencia, se considera como voltaje de referencia cero, entonces al moverse el contacto deslizante hacia arriba y sobre la resistencia, adquirirá un voltaje positivo. La magnitud de este voltaje será proporcional a la distancia que se haya movido, hasta que al llegar al extremo superior adquiere su voltaje máximo que será igual al de la fuente. Lo anterior puede ser cierto para cualquier pareja de resistencias aunque ellas no tengan el mismo valor, o sea que si por ejemplo los contactos se desplazan la tercera parte de recorrido total, tendrán el mismo voltaje. En la figura se puede observar que cada contacto deslizante está conectado a un terminal de "salida" del circuito. El voltaje a través de estos terminales dependerá de las posiciones respectivas de los contactos deslizantes, en otras palabras, si ellos se encuentran en iguales posiciones proporcionales, los voltajes serán iguales y su diferencia será cero. Esta condición de salida cero se denomina condición de equilibrio o condición nula. Si los dos contactos deslizantes no tienen la misma posición fraccional sobre sus respectivas resistencias, entonces habrá una diferencia de voltaje a la salida y para este caso, el terminal de salida conectado al contacto deslizante más próximo al extremo positivo tendrá una polaridad positiva con respecto al otro. Por otra parte, el voltaje de salida será proporcional a la diferencia de posición entre los dos contactos deslizantes lo cual puede verse que es estrictamente verdadero solo cuando no existe nada conectado entre las terminales, ya que en el caso de conectar algún dispositivo, deberá tomarse algunas precauciones para mantener la proporcionalidad. Las resistencias con contactos deslizantes se obtienen comercialmente en una amplia variedad de valores óhmicos y capacidades para transportar corriente, tamaños y otros detalles de construcción. Cuando se utilizan en servomecanismos, generalmente están contruidos de tal manera que el elemento resistivo se acomoda dentro de un círculo o un sector de círculo, y el contacto deslizante se monta sobre un eje localizado en el centro de curvatura. Tales resistencias son contactos deslizantes (ya sean rectos o circulares) se llaman usualmente **POTENCIOMETROS**. La figura 1.3 muestra un servomecanismo con detector de error de tipo Puente de Wheatstone. Para este, la perilla de mando solo ajusta la posición del contacto deslizante sobre el potenciómetro de entrada. En el eje del mecanismo de salida está montado el contacto deslizante del potenciómetro de salida y según se ve en la figura, ambos potenciómetros se interconectan estableciendo un circuito parecido al de la figura 1.2.

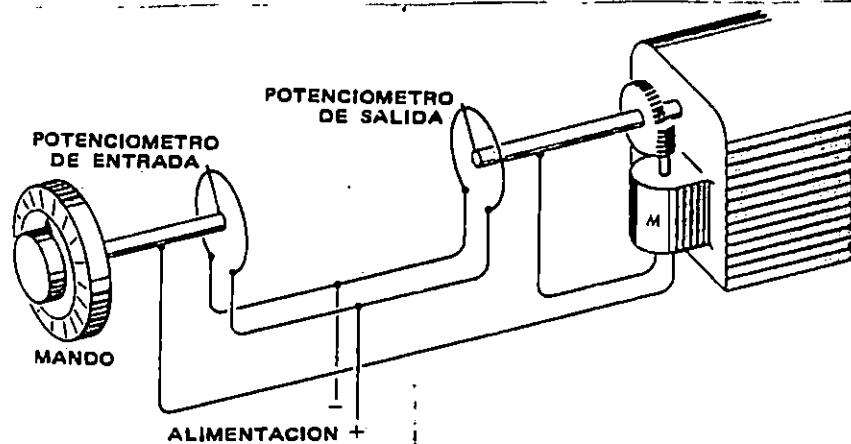


Fig. 1.3 Aplicación de un detector de error tipo Puente de Wheatstone.

Si la entrada y la salida del sistema de la figura anterior coinciden en posición (error cero), el circuito de los potenciómetros estará en condiciones de equilibrio y no habrá un voltaje que energice el motor M. Si ahora la perilla de mando gira en cualquier dirección, el equilibrio desaparece y se aplicará al motor un voltaje proporcional al error y con polaridad correspondiente a la dirección. La disposición que se presenta es tal que, dependiendo de la polaridad, el motor gira en un sentido que permite llevar al potenciómetro de salida en la misma dirección (eléctricamente) con que el de entrada se desplaza, con la idea de restablecer el equilibrio y detener el movimiento de salida. De esta manera, el servomecanismo de la figura representa un sistema verdadero con control proporcional, y es importante señalar que se trata del primer sistema que se describió y que no requiere de ninguna conexión mecánica entre la salida y la entrada. Utilizando dos potenciómetros, se eliminó el eje de retroalimentación y solo se necesitan conductores que suprimen muchas limitaciones sobre las localizaciones relativas de la salida y la entrada.

Aunque un voltaje de cd es la alimentación en las figuras anteriores, un voltaje de ca se puede usar igualmente existiendo un voltaje de nulidad ó de voltaje de error cero. Cuando hay un voltaje de error cero de ca, no se tiene polaridad en el mismo sentido que para el caso de cd, pero se dispone de un cambio de fase. Para la condición

en que se tenía una polaridad positiva sobre una terminal de salida con cd en vez de ello ahora se tendrá un voltaje de ca con una cierta fase, y para el caso en que se consideraba una polaridad opuesta, ahora la fase se invertirá. La inversión de fase hará que la rotación modifique su sentido en un motor de ca adecuado, de tal manera que la fase del voltaje de error determine la dirección con la cual el motor debe girar para reducir el error y que corresponde a la polaridad que se establece la dirección para un motor de cd.

1.2.2 MANDO DE VOLTAJE EN LOS SERVOMECANISMOS.

Algunas veces es conveniente que la salida de un servomecanismo responda a un mando que no necesariamente sea un movimiento mecánico. Es posible en general, convertir un mando en una señal de voltaje.

En la figura 1.4 se observa un potenciómetro de salida, que puede conectarse a través de una fuente de voltaje de cd o de ca. La entrada, sin embargo, no es un potenciómetro, y de ahí que no se requiera conexión con la misma fuente. El voltaje de mando puede deberse, por ejemplo, al calentamiento de un termopar y la salida del servomecanismo puede hacer girar una válvula para abastecimiento de combustible que regula el calor al que está sujeto el termopar.

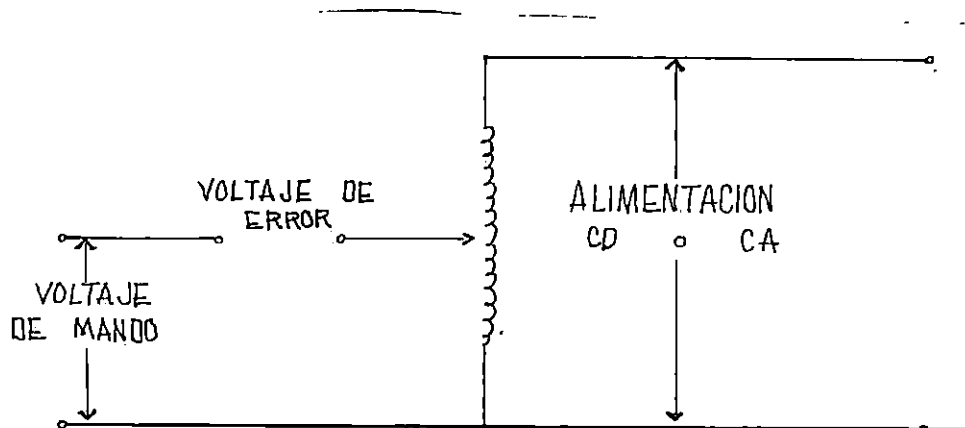


Fig. 1.4 Señal de error obtenida de una fuente de voltaje de mando y de un potenciómetro de salida.

Además, se observa que uno de los terminales en donde aparece el voltaje de mando está a uno de los extremos del potenciómetro de salida y el otro, a su vez, al terminal del

voltaje de error. Como se mencionó anteriormente, el voltaje de error resultante será la diferencia entre el voltaje de mando y el voltaje debido a la posición del contacto deslizante sobre el potenciómetro de salida.

1.2.3 DETECTORES DE ERROR BASADOS EN EL PRINCIPIO DEL TRANSFORMADOR.

Según se ha considerado, los detectores de error con potenciómetros, pueden utilizarse en sistemas de servomecanismos empleando corriente alterna o directa (ca ó cd) para energizar la parte de control de sistema. En la práctica, los potenciómetros son más apropiados para circuitos de cd que de ca.

Hay una variedad de detectores de error que dependen de una forma o de otra de la aplicación del principio del transformador. Estos dispositivos son propios de sistemas de ca ya que sólo la corriente alterna puede producir la inducción electromagnética básica para el funcionamiento de un transformador. Entre ellos se encuentran:

- 1.- Transformadores diferenciales lineales de núcleo móvil.
- 2.- Transformadores diferenciales lineales de bobina móvil.
- 3.- Transformadores diferenciales rotatorios.
- 4.- Sincro transmisor.

1.2.3.1 Transformador Diferencial Lineal de Núcleo Móvil.

Un tipo de configuración de transformador que se aplica como detector de error de un servomecanismo, es el "transformador diferencial" que se muestra en la figura 1.5 y que resulta útil cuando la entrada y la salida son o pueden convertirse a movimientos lineales o en línea recta.

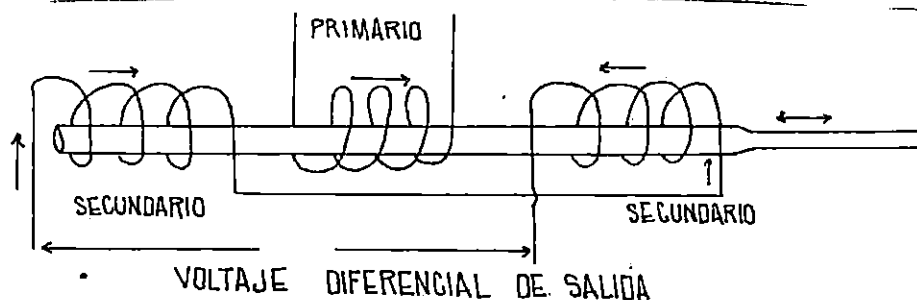


Fig.1.5 Transformador diferencial lineal de núcleo móvil.

En este tipo de transformador diferencial existe un primario o devanado de excitación y dos devanados

secundarios. Todos ellos están arrollados concéntricamente sobre una bobina que encierra a un núcleo de hierro libre de moverse a lo largo del eje común de los devanados. Los secundarios se conectan de tal manera que el voltaje inducido en uno, debido a la excitación del primario, es opuesto (defasado 180°) al voltaje inducido en el otro. Cuando el núcleo de hierro se mueve a lo largo de su eje, el efecto relativo de la excitación del primario sobre los secundarios estará sujeto a variación. Si el núcleo penetra más en un secundario que en otro, el de mayor penetración producirá mayor voltaje, y como ellos están conectados en oposición, el voltaje neto por la combinación varía mientras dicho núcleo se mueva.

En una posición particular del núcleo, los voltajes inducidos en los dos secundarios se cancelarán entre sí, y el voltaje final proporcionado por el transformador diferencial será cero. Si el núcleo se desplaza ahora en alguna dirección, el secundario hacia el cual se efectuó el movimiento tendrá mayor voltaje en tanto que el otro será menor. La diferencia entre ellos aparecerá en las terminales y la fase de esta diferencia será la misma que aquella que se produce con un voltaje más grande en el secundario. Moviéndolo el núcleo en la dirección contraria hasta pasar la posición cero de nuevo, generará un voltaje resultante pero con una fase opuesta, por lo que se puede concluir que el voltaje neto en el secundario será mayor mientras más se desplace el núcleo, sin importar el sentido.

Aunque no es costumbre hacerlo, las funciones que desempeñan los devanados primarios y secundarios pueden invertirse, por lo que podrían tenerse dos primarios produciendo flujos magnéticos opuestos en el núcleo y un sólo secundario que tendría un voltaje determinado por la diferencia de flujos. Nuevamente, el movimiento del núcleo causará que cualquiera de los primarios sea el que produzca el efecto dominante que también influirá sobre la fase.

1.2.3.2 Transformador Diferencial Lineal de Bobina Móvil.

Con una forma diferente el transformador diferencial con movimiento lineal ha sido aprovechado para utilizarse como detector de error en los servomecanismos. Este tipo consiste de un primario doble y un sólo secundario, como el que se describió, pero sin núcleo de hierro. En la figura 1.6 se muestra este tipo de transformador.

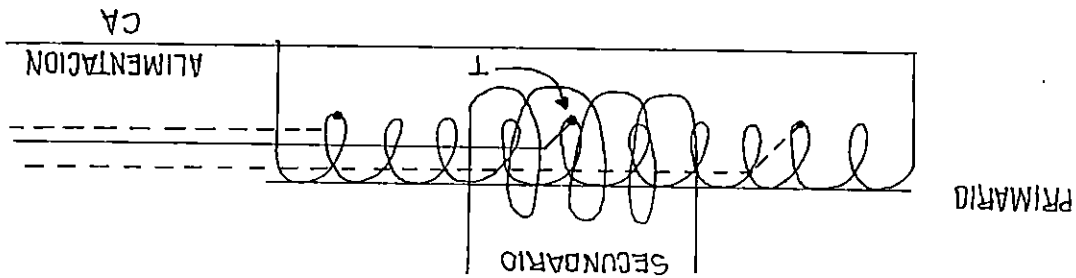
En servomecanismos en los que es más importante la amplificación de potencia que el control remoto, ya que en ellos la salida puede estar en yuxtaposición con la entrada. En los transformadores de núcleo móvil, éste último se desliza como un mando por lo que la salida puede consistir en un movimiento de las bobinas. El voltaje en el

Los transformadores diferenciales lineales pueden usarse como detectores de error en las siguientes maneras:

Las corrientes del primario crean flujos magnéticos opuestos de tal manera que cuando el secundario se encuentra centrado con respecto a la derivación, el voltaje es cero, y cuando se mueve en cualquier dirección uno de los flujos del primario excederá al otro en su efecto sobre el voltaje y la fase. La magnitud del voltaje dependerá de la cantidad de desplazamiento y la fase de la derivación del mismo. Según se aprecia en la figura anterior, con las líneas interrumpidas, pueden conectarse derivaciones adicionales entre el devanado del primario y la fuente, lo que permite modificar el cero del secundario.

El transformador tiene un devanado primario con una derivación intermedia (indicada por T) en algún lugar del mismo. Los dos extremos de dicho devanado se conectan entre sí a una terminal de la fuente de alimentación de ca. El otro extremo de la fuente está conectado a la derivación T del primario y esto es lo que lo convierte en un devanado primario doble con una corriente que fluye, para cualquier instante, en dirección opuesta a cada lado de la derivación. El devanado secundario circunda al primario y es libre de moverse a lo largo de él.

Fig.1.5 Transformador diferencial lineal de bobina móvil.



secundario dá la señal de error directamente y la salida procurará siempre ajustar las bobinas y el núcleo hasta que el voltaje del secundario sea cero. La correspondencia entre la entrada y la salida con el núcleo y las bobinas pueden invertirse. El transformador diferencial de bobina móvil puede usarse también en un servomecanismo acoplado para proporcionar movimiento del primario como entrada y movimiento del secundario como salida ó viceversa.

La segunda manera como se puede utilizar un transformador diferencial como detector de error es: si se dispone de uno de ellos para el extremo de mando, y otro para el extremo de salida, en una disposición tal que permita el control remoto. Si los transformadores separados se usan para la entrada y la salida, sus devanados secundarios se conectan en serie y el voltaje neto entre los dos es el voltaje de error, o sea, que el desplazamiento en el extremo de mando produce un voltaje igual y opuesto al generado por el desplazamiento en la salida.

En relación con los transformadores diferenciales puede decirse que existen algunas ventajas de la forma de primario doble con respecto a la de secundario doble, ya que en la primera es posible acomodar un circuito que proporcione corrientes desiguales en las bobinas del primario, teniendo más efecto inherente de una de ellas sobre el secundario que la otra. Como conclusión, el núcleo (ó bobina) debe moverse a una posición diferente para obtener un voltaje de secundario cero (o un valor finito específico) con la posibilidad de que la relación mecánica deseada entre núcleo y bobinas (ó entre bobina y bobina) pueda ajustarse eléctricamente por lo menos hasta un grado limitado.

1.2.3.3 Transformador Diferencial Rotatorio.

Un tipo de transformador diferencial adaptable a movimientos de entrada o de salida giratorios es el **microsyn**, cuya construcción se muestra en la figura 1.7, con un miembro circular exterior hecho con láminas de hierro propio para núcleo de transformador. La forma de este miembro incluye cuatro elementos protuberantes hacia el centro que constituyen los núcleos de los devanados.

Un devanado primario y uno secundario están arrollados sobre cada elemento. En el interior del miembro mencionado se encuentra otro con la forma mostrada en la figura 1.7 e igualmente hecho con laminaciones de hierro.

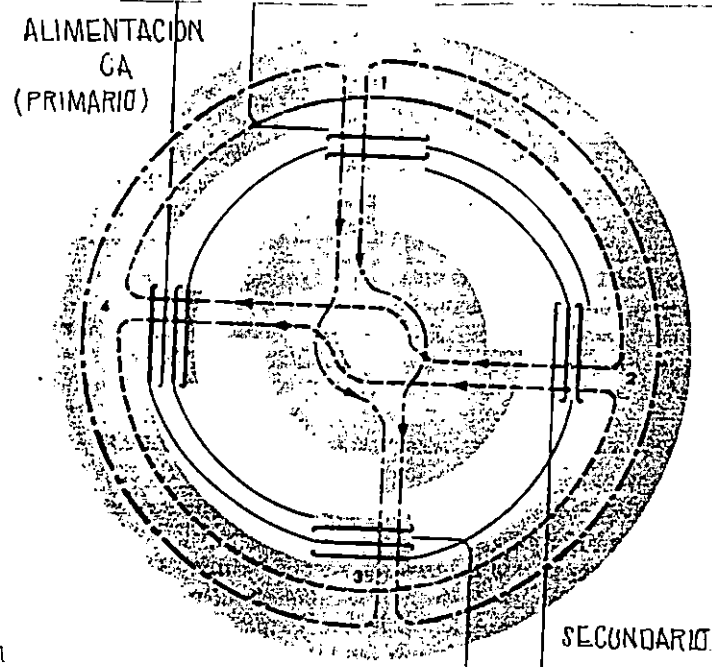


Fig. 1.7 Transformador diferencial giratorio microsyn.

Según se puede apreciar, los cuatros devanados primarios se conectan en serie y se alimentan de una fuente de ca. Sin considerar por el momento los devanados secundarios, se encuentran que la energización de ca de los primarios, origina una configuración compleja de trayectorias de flujo magnético en el hierro de ambos miembros.

La dirección, indicada por las flechas, de estas líneas de flujo, corresponden a un cierto instante del ciclo de ca invirtiéndose durante el medio ciclo siguiente. Como se ve, las líneas de flujo cruzan entrehierros de aire, saliendo y entrando en los miembros que al conservar la posición relativa entre ellos hacen que los cuatro entrehierros tengan áreas iguales.

Analizando ahora los devanados secundarios, se observa que también están conectados en serie y diseñados, tanto en el número de vueltas como en la dirección de sus arrollamientos, de tal manera que cuando se tienen los flujos de los primarios descritos, los voltajes inducidos en los elementos 1 y 3 son iguales en magnitud y opuestos en fase a aquellos de los elementos 2 y 4, por lo que el voltaje neto en el secundario es cero.

Considérese que el miembro interior gira una pequeña cantidad angular en el sentido de las manecillas del reloj, con respecto al otro miembro. Este cambio disminuye el área del entrehierro (menos hierro habrá uno en frente del otro) en los elementos 2 y 4 mientras que dicha área será mayor en los 1 y 3, dando por resultado que se tendrá una mejor trayectoria en el hierro (menos reluctancia) para un flujo y deficiente para el otro. Como una consecuencia de lo anterior, el voltaje inducido en los devanados secundarios de los elementos 1 y 3 será mayor al inducido sobre los secundarios de 2 y 4, dando lugar a un voltaje neto en las terminales del secundario con la fase correspondiente a los de 1 y 3. Por otra parte, cuando los desplazamientos angulares son relativamente pequeños, la magnitud del voltaje neto es proporcional a dicho desplazamiento.

Si el miembro interior girase ahora en sentido contrario desde su posición nula, los devanados secundarios 2 y 4 dominarán y el voltaje neto del secundario será proporcional también a la cantidad angular pero de fase opuesta.

Los amplificadores diferenciales rotatorios, entre los cuales se encuentra el microsyn, se aplican en general de la misma manera que los amplificadores diferenciales lineales. En servomecanismos acoplados, la entrada puede girar uno de los miembros mientras que la salida hace girar al otro, hasta establecer un voltaje secundario nulo. Por otra parte, un microsyn puede utilizarse en el extremo de mando para proporcionar un voltaje de error que será opuesto al de un segundo microsyn controlado por la salida.

Aunque muchas formas de detectores de error con transformadores diferenciales son adecuados para usarse sólo en servomecanismos en los que el error real nunca es muy grande. La gran mayoría de los transformadores diferenciales lineales de núcleo móvil se aprovechan en dispositivos en donde la diferencia mecánica entre la salida y la entrada es de $1/4$ " o menos. De forma similar, el microsyn es útil para desplazamientos angulares que no exceden los 45° , debido a que en éste ángulo se genera la mayor cantidad de flujo repitiéndose el ciclo.

Cuando éste último se incluye en sistemas acoplados de servomecanismos seguidores, la restricción mencionada no necesariamente limita el movimiento total de la entrada y la salida. El eje de entrada de un microsyn pueda girar indefinidamente siempre y cuando la salida sea capaz de hacer lo mismo, o sea, hacer girar el otro miembro con un atraso no mayor de 45° . Lo mismo puede decirse acerca de algunos otros tipos muy especiales de servomecanismos de

movimiento lineal con detectores de error diferenciales lineales con núcleo móvil.

En términos generales, los transformadores diferenciales no son fácilmente adaptables en servomecanismos punto a punto, a menos que se tengan cambios relativamente cortos en el mando. El transformador diferencial lineal de bobina móvil con derivaciones múltiples (líneas interrumpidas en la figura 1.6) sí puede utilizarse en sistemas punto a punto.

1.2.4 SINCRÓ TRANSMISOR.

Entre los detectores de error basados en la acción del transformador, el más conocido probablemente es el perteneciente a una familia conocida como sincros, con una amplia variedad de aplicaciones. Los miembros de esta familia difieren bastante en tamaño, nivel de potencia y detalles específicos de construcción.

La figura 1.8 muestra esquemáticamente el tipo conocido como sincro transmisor, el cual tiene un miembro fijo denominado estator, fabricado con láminas de hierro de núcleo de transformador. Dentro del estator, un segundo miembro rotatorio, llamado rotor, está montado sobre un eje perpendicular al plano de la figura y provisto de cojinetes adecuados sobre un bastidor que también soporta al estator.

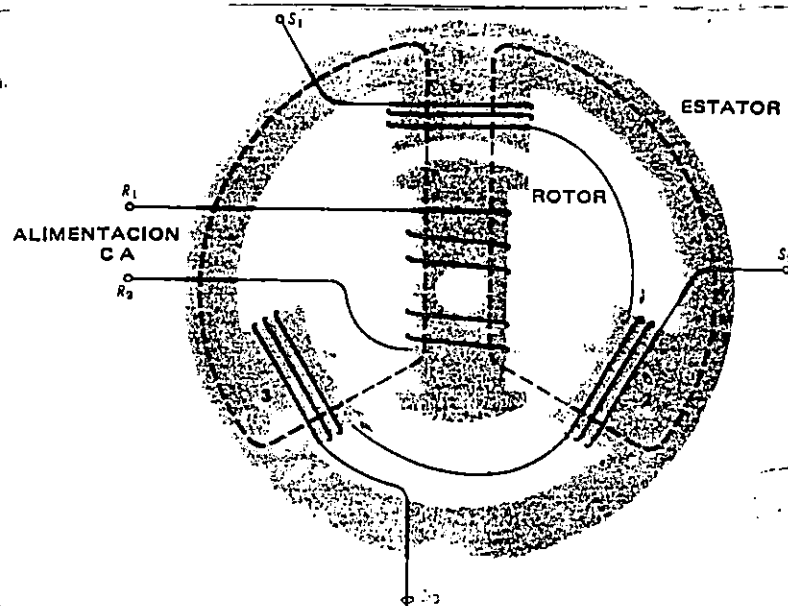


Fig. 1.8 Sincro transmisor.

En la figura 1.8, el estator incluye tres elementos protuberantes hacia el centro e igualmente espaciados,

denominados polos, en los que se colocan o arrollan los devanados propios del estator. En muchos dispositivos reales, los devanados se colocan en ranuras múltiples de la misma manera que en el estator de un motor de inducción, por lo que habrá traslape entre polos adyacentes. Sin tomar en cuenta el arreglo de los devanados, los ejes efectivos de los polos tienen un espaciamiento de 120° entre sí.

Al observar la figura 1.8, se nota que los extremos internos de los tres devanados del estator se encuentran conectados el uno al otro formando un punto **neutral**. Los respectivos extremos exteriores se conectan a los terminales designados como S_1 , S_2 , y S_3 correspondientes a la numeración de los polos.

El núcleo de hierro del rotor lleva un solo devanado con conexiones externas en R_1 y R_2 que en muchos casos pueden hacerse a través de anillos colectores que permiten una rotación ilimitada del rotor pero que son omitidos en la figura para evitar complicaciones.

En la figura 1.8 se encuentra una fuente de alimentación de ca que se conecta a los terminales del rotor R_1 y R_2 . La corriente alterna en el devanado del rotor crea líneas de flujo magnético que en general siguen trayectorias como las mostradas por trazos interrumpidos en la misma figura. Con la posición angular del rotor que aparece señalada, prácticamente todas las líneas de flujo (exceptuando el flujo de dispersión) pasan a través del polo 1 del estator. Sin embargo, en el otro extremo del rotor, el flujo se divide en partes iguales hacia los polos 2 y 3 debido a la yuxtaposición simétrica de éstos últimos con respecto al extremo del rotor mencionado.

Supóngase que el rotor gira un ángulo pequeño en el sentido de las manecillas del reloj. Cuando esto sucede, el extremo inferior del rotor se acercará más al polo 3 y a su vez habrá más separación del polo 2, por lo que el área del entrehierro en el primero de los polos aumentará (disminuirá la reluctancia) mientras que en el segundo disminuirá. El resultado es un aumento en el voltaje en S_3 y una disminución en S_2 al mismo tiempo que hay menos exposición ó enfrentamiento del rotor con el polo 1 por lo que el voltaje en S_1 también se reducirá.

En un dispositivo como el de la figura 1.8, la reducción de flujo en el polo 1 debe ser producto de un incremento en la dispersión y las pérdidas del flujo total. Cuando el devanado del estator se distribuye convenientemente, casi no hay pérdidas en el flujo total debido a la rotación, sino

que por el contrario, una parte del flujo que ha pasado a través del polo 1 ahora vá hacia el polo 2 en oposición al flujo principal que existe en ese polo. El resultado general es el mismo, esto es, los voltajes en S_1 y S_2 empezarán a disminuir mientras que el voltaje en S_3 aumenta.

1.2.4.1 Interconexiones de dos estatores de sincros.

En la figura 1.9 se observa, a la izquierda, el diagrama convencional que represente un sincro transmisor y a la derecha sólo el estator de un sincro similar con sus terminales de estator respectivas conectados uno con otro.

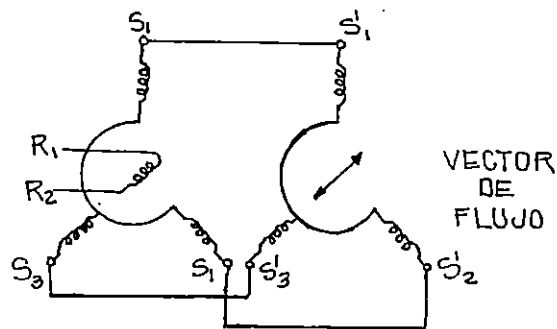


Fig. 1.9 Sincro transmisor conectado al estator de un sincro receptor mostrando el ángulo del vector de flujo recibido.

Por lo pronto se denominará **transmisor** al dispositivo de la izquierda y **receptor** al de la derecha. Un análisis completo de los flujos magnéticos del receptor permitiría observar que ellos se combinan para producir una sólo posición angular del flujo resultante a través del rotor representado por una flecha doble llamada **vector de flujo**. El carácter de flecha doble se debe a la inversión de la dirección en la corriente alterna y puede demostrarse que la posición angular del vector de flujo del receptor coincide con el eje del devanado (trayectoria del flujo) del rotor perteneciente al transmisor de tal manera que al girar la flecha del transmisor el vector de flujo girará al unísono.

1.2.4.2.- Sincro transformador de control.

La figura 1.10 es parecida a la figura 1.9 excepto que ahora se ha añadido un rotor al receptor. De acuerdo con los principios convencionales de los transformadores, el flujo en el rotor del receptor es capaz de producir un voltaje en el devanado del mismo, es decir, si el eje del

devanado de dicho rotor fuese paralelo al vector magnético, se tendrá inducido el máximo voltaje posible. En la figura 1.10, el eje forma un ángulo recto con el vector de flujo y por lo tanto se tendrá un voltaje cero o nulo en el rotor puesto que ningún flujo magnético pasa a lo largo del eje de su devanado.

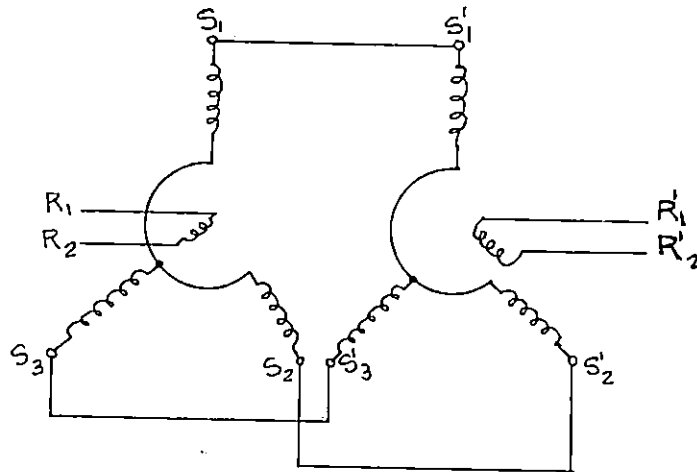


Fig. 1.10 Interconexión de un sincro transmisor y sincro transformador de control.

El dispositivo de la derecha que se ha llamado receptor es comúnmente conocido como **sincro transformador de control**. Un sincro transmisor y un sincro transformador de control son muy similares en su construcción, siendo la principal diferencia entre ellos el que el segundo tenga una impedancia relativamente mayor en su devanado de modo que la potencia (watts) que puede consumir es baja. Puede verse que toda la energía suministrada al transformador de control proviene del transmisor, y como este suministro es pequeño permite usar un transformador de baja capacidad de consumo de energía.

La aplicación de sincro transmisores y sincro transformadores de control como detectores de error en servomecanismo es completamente obvia. Suponiendo que el eje del transmisor sea el mando y que el eje del transformador de control esté conectado a la salida del servomecanismo, la condición para tener un error cero, es la mostrada en la figura 1.10, o sea que cuando el eje del devanado del rotor del transformador de control es perpendicular al flujo magnético impuesto por la posición del eje del transmisor.

Si el eje del transmisor gira, el vector magnético del transformador de control cambiará su ángulo y aparecerá un voltaje inducido en el devanado del rotor, que es precisamente el voltaje de error, puesto que resulta de la diferencia entre el mando y la salida. El dispositivo de salida está preparado para responder a este voltaje moviendo el rotor del transformador de control en la dirección apropiada que permita su reducción.

Los sincros se utilizan ampliamente en los servomecanismos como detectores de error y una razón de esta aceptación es su capacidad para una rotación ilimitada ya sea en sistemas acoplados o de control remoto. Aún con potenciómetros de varias vueltas, hechos con resistencias arrolladas en forma de hélice, un extremo puede llegar después de 1, 10, 40 o algún otro número de giros del eje, teniendo entonces que regresar el servomecanismo, lo que algunas veces es un inconveniente

Al analizar las diferentes formas de los transformadores diferenciales, se nota que tienen intervalos limitados para la magnitud del error sobre el que ellos son efectivos. También se había mencionado que el tipo microsín puede usarse para rotaciones continuas considerando que la salida maneja a un miembro y la entrada al otro. Para control remoto con dos microsíns la cantidad de movimiento total es muy limitada.

En los sincros, sin embargo, un transmisor puede girar indefinidamente, y en forma correspondiente el vector magnético en un transformador de control alejado o remotamente situado, girará también indefinidamente, y de aquí que la salida puede hacerse actuar indefinidamente en cualquier dirección mientras no se exceda un límite para el error.

Estudiando la figura 1.10, se observa que al girar el rotor del transformador de control en cualquier sentido, desde su posición nula dará lugar a que el flujo magnético sea efectivo y produzca un voltaje inducido sobre su correspondiente devanado. La fase de este voltaje depende del sentido en que se mueve el eje, ya que es una función de la dirección con que las trayectorias de flujo penetran por los extremos del devanado del rotor.

La figura 1.11 es una gráfica de la variación del voltaje del rotor perteneciente al transformador de control cuando el eje del mismo gira desde su posición nula. Un ángulo positivo significa que la rotación se hizo en una dirección en tanto que si es negativo se trata de una

rotación inversa. Por otra parte los voltajes trazados arriba del eje son de una fase mientras que los que quedan abajo son de fase opuesta. Esta figura muestra que la magnitud del voltaje del rotor varía como el seno del desplazamiento angular medio desde cero, invirtiendo la fase cuando pasa por esta posición.

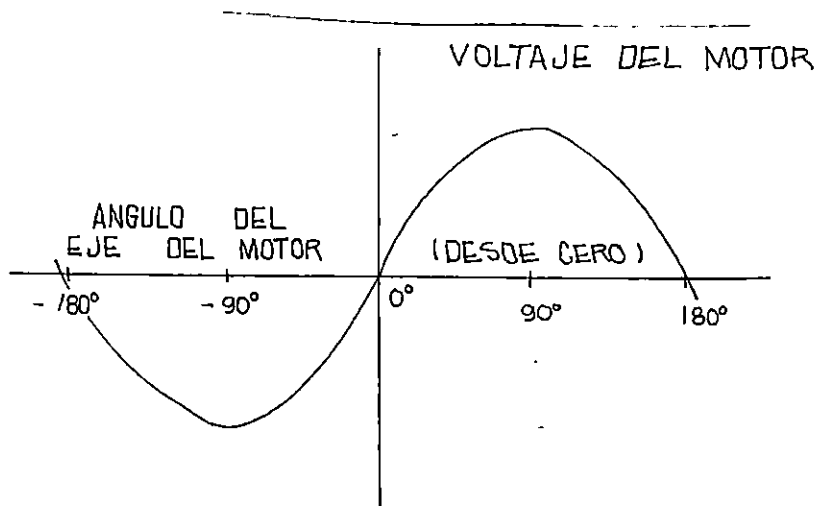


Fig. 1.11 Relación entre el voltaje de salida de un sincro transformador de control y el ángulo del rotor desde cero.

En los servomecanismos prácticos se toman precauciones especiales para evitar una "falsa nulidad". En los servomecanismos seguidores es usual mantener el error en un valor angular pequeño (probablemente menos de 90° producen el voltaje de error máximo) y en servomecanismos punto a punto el recorrido total del eje de mando es comúnmente restringido a menos de 180° al igual que la salida.

1.2.4.3 Sincros diferenciales.

Un dispositivo particularmente útil para modificar una señal de mando es el sincro diferencial. En la figura 1.12, T es un sincro transmisor como el que ya se estudió previamente y D es un sincro diferencial cuyo estator tiene un conjunto de tres devanados similares a los que utiliza el sincro transformador de control. Al energizart la bobina del rotor perteneciente al transmisor se crea un vector de flujo en el sincro diferencial como se observa en la figura 1.12.

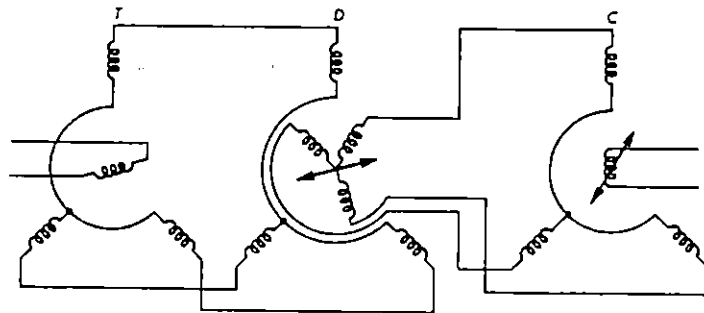


Fig. 1.12 Sincro transmisor y sincro transformador de control con un sincro diferencial conectado entre ambos.

El rotor del sincro diferencial tiene también devanados semejantes eléctricamente a los del estator del sincro transmisor. Si gira el eje del rotor del sincro diferencial las tres bobinas cambian su relación angular con el mencionado vector de flujo. Se concluye que al girar el rotor de D tiene el mismo efecto sobre sus devanados que el producido sobre los devanados del estator de T cuando gira el rotor del transmisor (que también es una trayectoria de flujo).

Según se aprecia en la figura 1.12, los devanados del rotor del diferencial se conectan a los del estator del sincro transformador de control C y consecuentemente un vector de flujo se crea en éste último con una posición angular que resulta de la combinación de la localización del vector de flujo en el diferencial y la posición de su rotor.

La conclusión a todo lo anterior es que la posición nula del transformador de control puede cambiarse girando el rotor del transmisor y con ello el vector de flujo en el diferencial o girando el rotor diferencial y efectuando un cambio en la relación de los devanados con respecto al vector de flujo. Si los rotores del transmisor y del diferencial giran, hay un efecto combinado sobre la posición nula del transformador de control desplazándose un ángulo igual a la suma o diferencia de los movimientos angulares del transmisor y el diferencial, lo que dependerá de las conexiones relativas de los tres sincros.

En la figura 1.13 se muestra un esquema de conexión de un servomecanismo aplicando sincros.

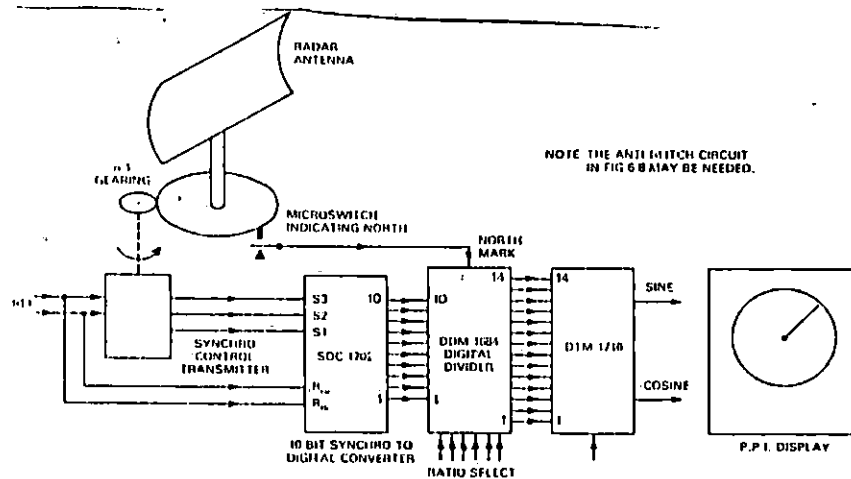


Fig. 1.13 Servomecanismo utilizando sincros

1.2.5 FALLAS EN LOS DETECTORES DE ERROR.

Al igual que cualquier otro aparato, los detectores de error carecen de perfección en algunos aspectos por lo que es conveniente mencionar sus defectos ya que estos desvirtúan el funcionamiento de un servomecanismo. En muchos casos estas imperfecciones de los detectores (o de otros componentes) pueden compensarse o considerarse de otra manera en el diseño del sistema total.

Antes que nada se debe aclarar que se ha usado el término "cero" para el voltaje de error cuando el mando y la salida alcanzan un mismo valor. En la práctica es imposible producir un par de dispositivos con entrada y salida que sean exactamente iguales y así producir un efecto de nulidad perfecto a través de sus respectivos intervalos de movimiento.

Como un ejemplo, considérese los potenciómetros cuyas variables de fabricación impiden hacer dos elementos que tengan un cambio de valor idéntico cuando los contactos deslizantes van de un extremo a otro. Esta carencia de uniformidad es conocida como una desviación de la linealidad (término usado en el sentido matemático para referir a la proporcionalidad exacta entre la resistencia y la posición desplazada), que expresada en porcentaje respecto a la linealidad verdadera, constituye un criterio importante de calidad en los potenciómetros.

Estas desviaciones de linealidad también aparecen en los sincros y en todas las formas de los transformadores diferenciales y se deben a varias causas tales como la falta de concentricidad entre el estator y el rotor en cualquiera de los dispositivos giratorios mencionados.

Además de la desviación de la linealidad, todos los detectores de error que depende de la acción transformadora sufren distorsiones en las trayectorias de flujo a través de sus núcleos y tienen otros defectos propios de los transformadores con núcleo de hierro. El resultado de todos estos defectos es que nunca hay un cero absoluto en el voltaje de error. En el ejemplo del sincro transformador de control se dijo que existía un voltaje de rotor nulo cuando el eje de su devanado era perpendicular al vector de flujo, pero en la práctica todas las líneas magnéticas no son paralelas a dicho vector. Por lo tanto, el eje del devanado no puede ser perpendicular a todas las líneas de flujo al mismo tiempo y lo mejor que se puede esperar es un valor mínimo en vez de un voltaje cero verdadero.

Existe otra dificultad asociada con el voltaje mínimo en un dispositivo de tipo transformador llamada **desplazamiento de fase** que permite que el voltaje de error invierta su fase sin llegar a la magnitud cero. Estos desplazamientos de fase están relacionados con la "inductancia" de los transformadores con núcleo de hierro.

En lo tratado anteriormente se han dado sólo ejemplos de los defectos en los dispositivos que detectan errores. Sin embargo existen otros que con seguridad puede decirse que se presentan en cualquier detector de error. La construcción satisfactoria de servomecanismos de alta exactitud depende de dos factores: minimización de estos defectos por los fabricantes de componentes y el reconocimiento de los defectos remanentes por los diseñadores de sistemas y su habilidad para superarlos mediante compensación u otra técnica similar.

1.3 MOTOR DE C.D.

El motor de corriente directa es de vasta utilización en servomecanismos con los que tienen salida de baja o alta potencia y es quizá el más sencillo de explicar. Consiste de una estructura estacionaria de hierro llamada el **imán del campo** y de un miembro rotatorio conocido como **armadura**. El primero de ellos consiste en un devanado que hace que el

hierro se magnetice cuando la corriente pasa a través de los conductores de dicho devanado. La armadura se construye también de hierro con un devanado sobre ella de modo que cuando una corriente circula a través de él, reacciona con el campo magnético y lo hace girar. La corriente llega hasta el devanado de la armadura mediante escobillas de carbón que rozan sobre un cilindro de cobre segmentado llamado **conmutador**.

Si un voltaje de cd se aplica tanto al devanado del campo como al de armadura, ésta última girará con una dirección que dependerá de la polaridad de los voltajes, los que al invertirse simultáneamente no modificarán el sentido sino hasta que uno de ellos se invierta y el otro permanezca en su condición original.

Los devandos de campo y armadura pueden alimentarse con un voltaje proveniente de las terminales de la misma fuente, por lo que se dice que el motor es **derivativo o en paralelo**. Otro arreglo posible es cuando los dos devandos reciben alimentación de fuentes diferentes en cuyo caso el motor se llamará de **excitación independiente** debido a que la corriente que circula por el devando del campo se conoce como **corriente de excitación**.

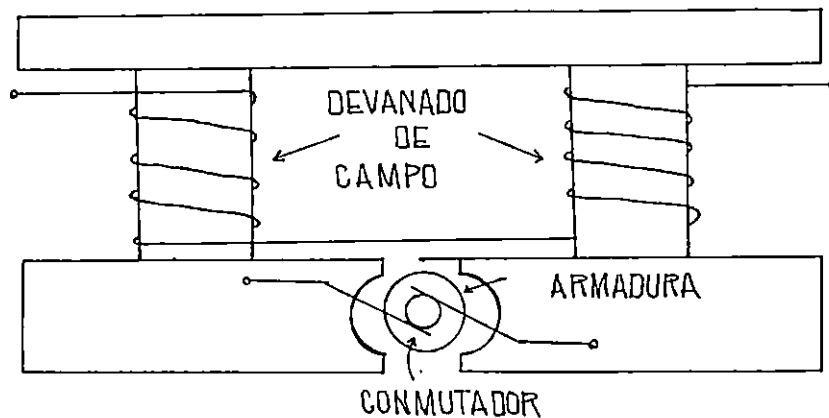


Fig. 1.14 Motor de corriente directa con devanado de campo.

El par producido por un motor de cd es proporcional al producto de la corriente de campo por la corriente de armadura; pudiendo determinarse la primera de ellas al aplicar simplemente la ley de Ohm, o sea, que la corriente en amperes es igual al voltaje aplicado dividido entre la resistencia, en ohms del devanado. Para calcular la corriente de armadura, se requiere un proceso más complejo puesto que depende del voltaje que la produce, de la velocidad de giro de la armadura y de la corriente del campo. Cuando un motor se conecta en derivación, cualquier cambio en el voltaje de alimentación afecta al par y a la velocidad de una manera complicada por las relaciones que se han mencionado. Para aplicaciones en servomecanismos, el motor con excitación separada o independiente tiene amplia aceptación. En las figuras 1.14 y 1.15 se muestra los motores que se han descrito anteriormente.

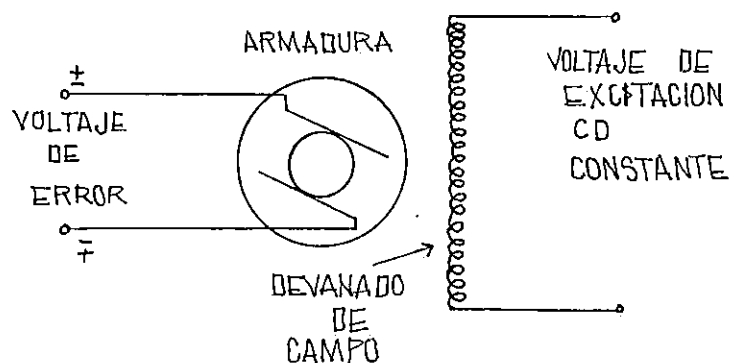


Fig. 1.15 Diagrama convencional del circuito de un motor de cd con devanado de campo y excitación independiente.

Cuando un motor de cd se utiliza para proporcionar la potencia de salida en un servomecanismo, el campo se conecta generalmente a una fuente de voltaje de cd constante. Las variaciones de voltajes del detector se aplican al devanado de la armadura como se vé en la figura 1.15 y como la polaridad del campo no cambia, el giro de la armadura será en una dirección cuando el voltaje de error es de una cierta polaridad e inversamente cuando es opuesta.

Al considerar que la armadura está girando en un campo constante, existe un voltaje que se genera en las escobillas

llamado **contraelectromotriz**, opuesto al voltaje aplicado a la armadura, que tiende a disminuir la corriente de armadura y que es proporcional a la velocidad de ésta última. Con una cierta corriente de campo, un voltaje de armadura y un par en la carga, la armadura gira a una velocidad tal que genera un voltaje contraelectromotriz más pequeño que el voltaje aplicado, permitiendo un flujo de corriente suficiente para proporcionar el par a la carga.

Si aumenta la carga, la corriente de armadura será insuficiente para manejarla, pero como la velocidad disminuye y con ella la fuerza contraelectromotriz, aumenta esa corriente y por lo tanto el motor puede mover una carga mayor aumentando la corriente y reduciendo la velocidad, en tanto no exceda su capacidad. Por lo tanto, con una alimentación en el campo y en la armadura constantes, el motor variará su velocidad con la carga mecánica, siendo baja para una carga pesada y alta para una ligera. Si se desea manejar una carga pesada a la misma velocidad que una ligera se debe aumentar el voltaje aplicado a la armadura haciendo mayor la corriente y esta inducirá a la armadura a acelerarse hasta la velocidad deseada y una vez en ese valor la corriente disminuye puesto que aumenta también el voltaje contraelectromotriz.

De lo anterior se observa que los motores de cd satisfacen los requerimientos para la potencia de salida en un servomecanismo. Para una cierta velocidad, el par aumenta cuando el voltaje aplicado también lo hace y la relación entre ellos con respecto a la velocidad es útil para el control de la vibración en la salida.

Los motores de cd con excitación separada operan con un valor constante en la magnetización del campo, y este se puede lograr en forma práctica construyéndolo con un imán permanente. Con el desarrollo de imanes permanentes cada vez más potentes, es posible construir motores con intervalos de potencia que van desde los muy pequeños hasta 2 ó 3 hp y para motores mayores es necesario usar devanado en el campo.

1.4.- MOTOR DE INDUCCION DE CA.

Un segundo tipo de motor eléctrico es el motor de inducción de corriente alterna bifásico de "jaula de ardilla". En forma similar a los desarrollos anteriores sólo se hará mención de las características de funcionamiento que son de interés para los servomecanismos.

Este motor consiste de una estructura estacionaria de hierro laminado llamada **estator** y de un miembro giratorio denominado **rotor**. El primero es ranurado en su periferia interna y los devanados se colocan dentro de estas ranuras en un arreglo doble que permite tener dos ejes magnéticos, uno perpendicular al otro. Lo anterior se muestra en la figura 1.16 en donde los devanados del estator se identifican con las fases 1 y 2.

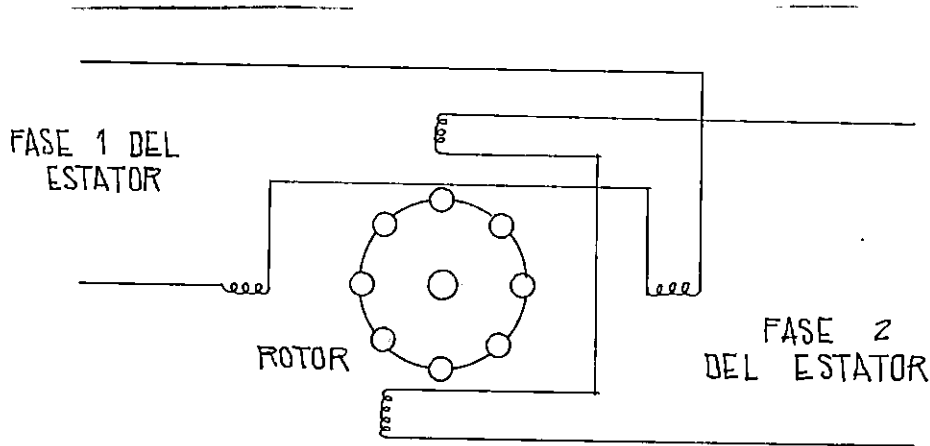


Fig. 1.16 Diagrama convencional del circuito de un motor de inducción ca bifásico de dos polos.

El rotor consiste de un cilindro ranurado hecho con laminaciones de hierro montadas sobre el eje del motor. Se colocan barras sólidas de cobre o aluminio a lo largo de las ranuras del rotor conectadas entre sí por anillos del mismo material en ambos extremos.

El motor gira cuando se conecta un devanado del estator a una fuente de voltaje de ca y el otro a una fuente similar pero con un defasamiento de 90° con respecto al primero. Las dos alimentaciones pueden provenir de la misma fuente con cualquier clase de elemento defasador interpuesto en el circuito que vá a uno de los devanados. Algunos motores monofásicos pequeños están devanados como motores bifásicos y tienen un condensador para desplazar la fase del voltaje aplicado a uno de sus devanados del estator por lo que pueden usarse como servomotores, aunque no están hechos para esto.

La presencia de corrientes de fase diferentes en los devanados del estator originan líneas de flujo magnético que

El efecto del par debido a la carga es reducir la velocidad del rotor y la consecuencia interna de esto es un poco más compleja que en el motor de cd. Los resultados de manejar una carga externa son muy similares ya que el rotor disminuye su velocidad, hay más flujo de corriente desde la fuente, y el motor puede mover la carga mayor a baja velocidad. El voltaje de la fuente aumenta con el fin de poder manejar cargas más pesadas a la misma velocidad o la misma carga anterior a una velocidad mayor. La relación exacta entre la velocidad, el voltaje y el par se afecta por la resistencia de las barras conductoras en el rotor que en el caso de aumentar hacen que la reducción de velocidad debida a la carga sea más pronunciada ayudando a mejorar la

La velocidad sincrona es aquella con la cual el rotor giraría si no hubiese par que vencer, algo que en la práctica no existe ya que siempre hay fricción en los cojinetes así como el aire en el que el rotor se mueve.

Aunque se ha supuesto que la velocidad de un motor de inducción se determina básicamente por la frecuencia de la fuente de alimentación, en realidad también se ve afectada por el diseño del motor y por el par en la carga.

La velocidad de un motor de inducción se determina básicamente por la frecuencia de la corriente alterna que se le suministra y que en muchas instalaciones industriales es de 60 ciclos por segundo (cps) siendo muchos los motores que operan con esta frecuencia. Sin embargo, hay una gran tendencia hacia las altas frecuencias cuando se quieren aplicaciones especiales de control, como son de 400 cps para usos militares. Las altas frecuencias permiten el uso de motores y transformadores más pequeños para una capacidad dada, por lo que industrialmente también existe la tendencia mencionada en servomecanismos y otros dispositivos de control.

pasan diametralmente a través del rotor. Para cualquier instante el efecto de todas estas líneas de flujo puede presentarse por una sola posición angular relativa al eje del rotor. Para instantes sucesivos el ángulo cambia resultando un campo magnético rotatorio cuyas líneas de flujo son "cortadas" por las barras del rotor induciendo en ellas corrientes eléctricas. Dichas corrientes originarán líneas de flujo que reaccionarán con las del estator para poder hacer girar el rotor. Se podrá observar, además, que en este tipo de motor no existe conexión eléctrica externa con el rotor ya que la corriente inducida en las barras es debida a los devanados del estator.

estabilidad y de ahí que los servomotores tengan rotores de resistencia relativamente alta.

Las relaciones que se han descrito entre la velocidad, el par y el voltaje, pueden obtenerse en un motor de inducción bifásico variando el voltaje de solamente una de las fases del estator. El devanado de una fase puede conectarse permanentemente con una fuente constante de voltaje de ca mientras el otro se alimenta con una fuente variable de voltaje de ca controlado en magnitud y fase por el error entre la salida y la entrada del servomecanismo.

Considérese lo estudiado acerca de los dos voltajes de entrada que en un motor de inducción bifásico deben estar desplazados 90° en fase, y que el voltaje de salida de un detector de error de ca tiene 180° de desplazamiento cuando se encuentra en la condición nula. Si los circuitos se acomodan de tal modo que exista una relación positiva de fase de 90° entre los voltajes constante y variable cuando el error es positivo, entonces habrá una relación negativa de 90° si el error es negativo. Ahora se tiene el resultado deseado porque un cambio en una relación de 90° , de positiva a negativa, invierte la dirección del rotor.

1.5 SIMILITUD FUNCIONAL DE LOS SERVOMEKANISMOS DE CD Y DE CA.

Aunque los motores de cd y los de inducción bifásicos de ca presentan una gran diferencia en construcción y en el principio de operación, se comportan con mucha similitud cuando se emplean en circuitos de servomecanismos.

Cada uno tiene un criterio que se conecta a una fuente constante, que es de corriente directa en un caso y de corriente alterna en el otro, así como también un segundo circuito alimentado por un voltaje proveniente de un detector de error. Ambos tienen una "característica de caída de velocidad con el par" que es cierta en el caso en que la carga aumenta sin alterar los voltajes. Pueden manejar una carga más pesada a la misma velocidad o la misma carga a una velocidad mayor cuando el voltaje aumenta. En otras palabras, el par es aproximadamente proporcional al voltaje si la velocidad se mantiene constante, invirtiéndose el sentido de rotación cuando el voltaje variable también invierte su polaridad o su fase.

En algunas aplicaciones de servomecanismos habrá razones prácticas para utilizar motores de inducción trifásicos,

motores universales con devanado en serie ó algún otro tipo. Existen casos en los que un motor de velocidad constante se acopla con un embrague con devanado electromagnético a la carga, de tal manera que la corriente en el devanado regula la cantidad de par transmitido variando la corriente en la bobina y con ello el "deslizamiento" permitido en velocidad. Sin embargo, en estos casos, los intermediarios energéticos se usan en circuitos específicos que hacen que se comporten de igual manera que los dos tipos discutidos, por lo que la teoría general del funcionamiento de servomecanismos controlados proporcionalmente es independiente del tipo de alimentador de energía ha utilizar.

1.6 MOTORES DE PASO.

Ya dentro de la categoría de motores eléctricos se debe escoger básicamente de entre tres opciones: motores ac, motores cc y motores de paso.

A menos que el sistema que se quiere controlar vaya a estar conectado permanentemente a la red comercial de energía eléctrica, los motores de ac quedan descartados, ya que aunque es posible utilizar una fuente de cc y convertirla en energía en ac, ésto únicamente contribuiría a complicar el circuito y a hacerlo más costoso.

Quedan entonces dos opciones: motores de cc ó motores de paso. Aquí la elección se complica un poco, ya que en ambos casos pueden conseguirse resultados similares. Por esta razón es conveniente examinar un poco las características de estos motores a fin de tener un buen criterio para la selección del éste. Al igual que la descripción de los otros motores, sólo se describirán (del motor de paso) su funcionamiento y su campo de aplicación.

1.6.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE PASO.

La operación de los motores de paso se basa en las fuerzas de atracción y repulsión ejercidas entre los polos magnéticos.

Si por ejemplo se tuviese un motor de paso con un estator de 4 polos, tal como el de la figura 15, un cambio en la polaridad de estos por medio de un control externo, el

rotor giraría en sentido contrario a las agujas del reloj, con incremento de 90° .

Claramente un paso de 90° no resultaría de mucha utilidad para propósitos de control de posición. Debido a esto, en el diseño de estos motores se han realizado algunas modificaciones a la configuración básica con el objetivo de conseguir incrementos más finos.

En la figura 1.17 se muestra un motor de paso práctico, el cual consta de "n" pares de polos en el estator y en el rotor.

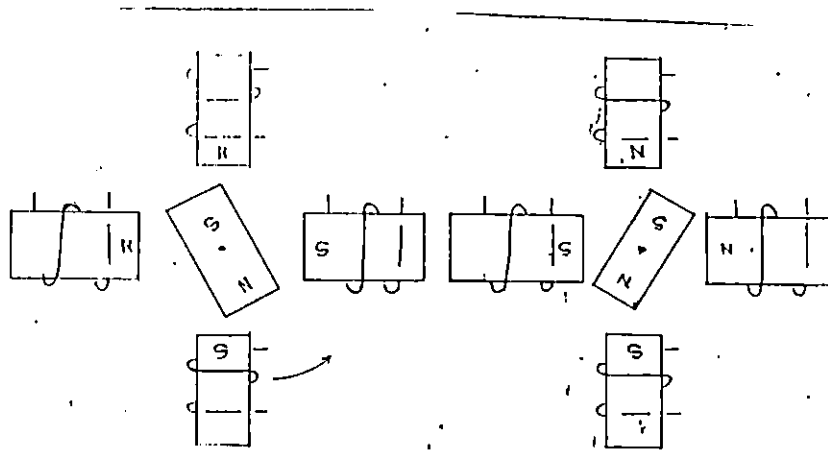


Fig. 1.17 Principio de funcionamiento de un motor de paso.

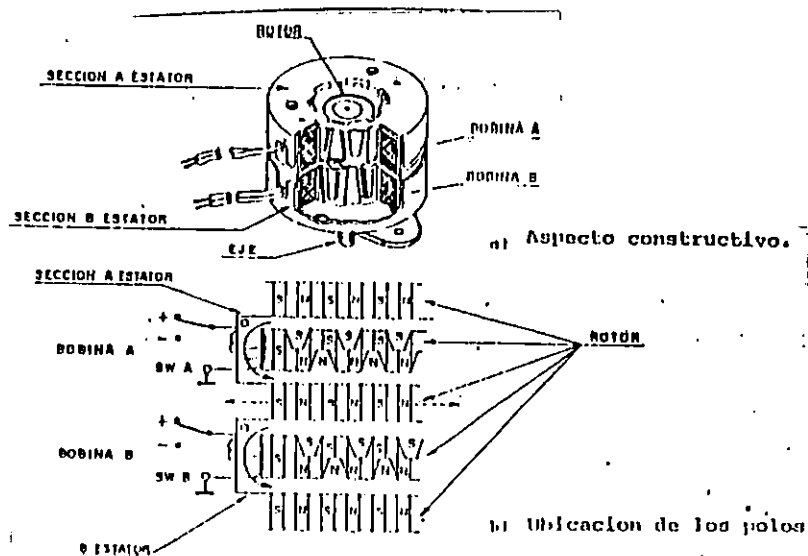


Fig. 1.18 Motor de paso práctico: a) Aspecto constructivo, b) Ubicación de los polos.

La interacción entre los polos del estator y del rotor hace que al aplicar dos ondas cuadradas, desfasadas un cuarto de período entre sí, a las dos bobinas de los electroimanes, el rotor gire un cuarto de paso polar por cada cambio de polaridad en la tensión aplicada a las bobinas. Así, para un motor con 12 pares de polos por bobina del estator, se producirán 48 pasos de revolución, o sea, 7.5° , por paso (paso polar = $360^\circ/12$).

En la figura 1.19 se muestra la forma de onda para una secuencia de conmutación de cuatro etapas y un diagrama de aplicación.

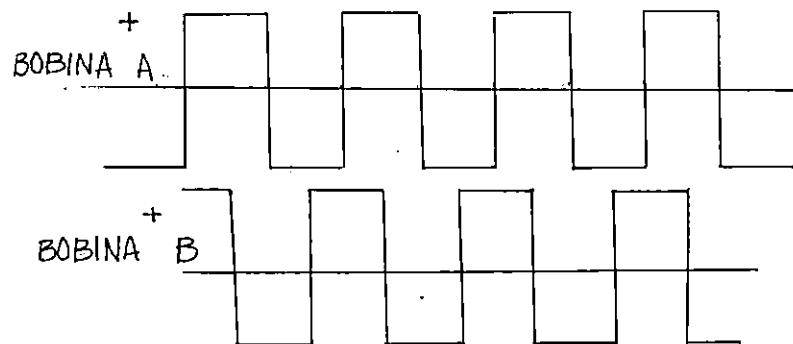


Fig. 1.19 Forma de onda para una secuencia de conmutación y diagrama de aplicación.

De la figura 1.19 se puede observar que el movimiento del rotor se logra generando una secuencia apropiada de conmutación en la conexión de la alimentación a los bobinados. Aunque dentro de la categoría de motores de paso existen tipos con características propias; puede decirse que en general se comportan básicamente en la forma que se ha descrito en los párrafos anteriores.

En general, un controlador de motores de paso debe recibir las señales de comando de velocidad y sentido de giro para generar una secuencia de impulsos eléctricos apropiados para aplicarse a las bobinas del motor.

Los motores de paso generalmente se utilizan en lazo abierto, ya que se asume que el motor gira un número de pasos controlados; sin embargo en muchas situaciones esta asunción da lugar a errores de posicionamiento ya que no siempre se puede trabajar en un ambiente totalmente controlado.

Quizás el control en lazo abierto mediante motores de paso funcione correctamente en dispositivos tales como impresoras, máquinas de escribir, disqueteras o tocadiscos, ya que estos aparatos han sido diseñados para condiciones precisas y la carga nunca experimenta variaciones; en cambio para otro sistema de control pueden darse muchas situaciones no controladas como cambio de carga, superficies inclinadas o muy rugosas, deslizamiento de ruedas, etc. De lo anterior puede concluirse que es necesario dotar al sistema con alguna información sobre la posición real del eje del motor. Esto lleva a que se pierda una de las ventajas generalmente asociadas con los motores de paso, ya que forzosamente hay que agregar circuitería de realimentación y también el software se hace más complejo.

1.7 MODELOS DE ELEMENTOS DE SISTEMAS MECANICOS.

La mayoría de sistemas de control con realimentación tiene tanto elementos mecánicos como eléctricos. Desde un punto de vista matemático, las descripciones de los elementos eléctricos y mecánicos son análogos. Desde luego, la analogía es de tipo matemático; o sea, dos sistemas son análogos entre sí, si pueden escribirse en forma matemática mediante ecuaciones similares.

El movimiento de elementos mecánicos puede escribirse en distintas dimensiones como traslación, rotación o combinación de ambos. Las ecuaciones que gobiernan los movimientos de los sistemas mecánicos, a menudo se formulan directa o indirectamente a partir de la ley del movimiento de Newton. En esta parte sólo se describirá los elementos, que a nuestro criterio, resolverán el problema del movimiento de nuestro sistema.

1.7.1 RELACION ENTRE LOS MOVIMIENTOS DE TRASLACION Y ROTACION.

En los problemas de control de movimientos a menudo resulta necesario convertir el movimiento de rotación en otro de traslación. Por ejemplo, puede controlarse una carga para que se mueva a lo largo de una línea recta mediante un motor de rotación y un conjunto de tornillo sin fin tal como se muestra en la figura 1.20. La figura 1.21 muestra un caso similar en el se utiliza una cremallera y un piñón como unión mecánica.

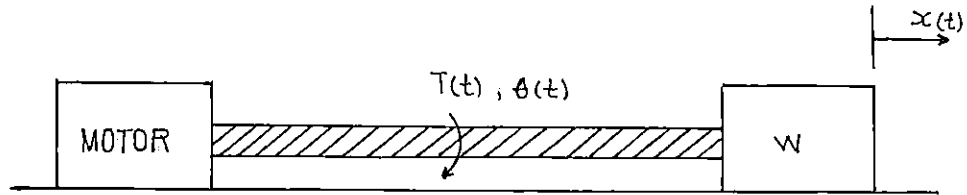


Fig. 1.20 Sistema de control de movimiento rotativo a lineal usando un tornillo sin fin.

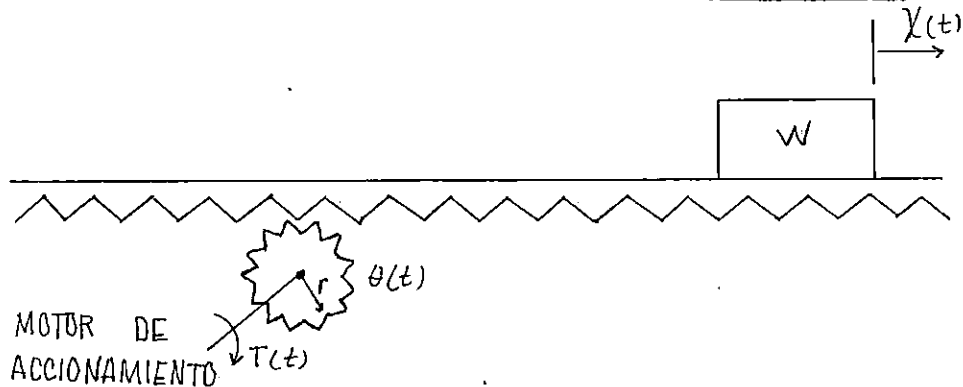


Fig. 1.21 Sistema de control de movimiento rotativo a lineal utilizando una cremallera y un piñón.

Otro sistema normal de control de movimientos es el control de la masa a través de una polea mediante un motor de accionamiento rotativo, tal como se muestra en la figura 1.22. Los sistemas anteriores pueden representarse todos mediante un sistema simple con una inercia equivalente conectada directamente al motor de accionamiento.

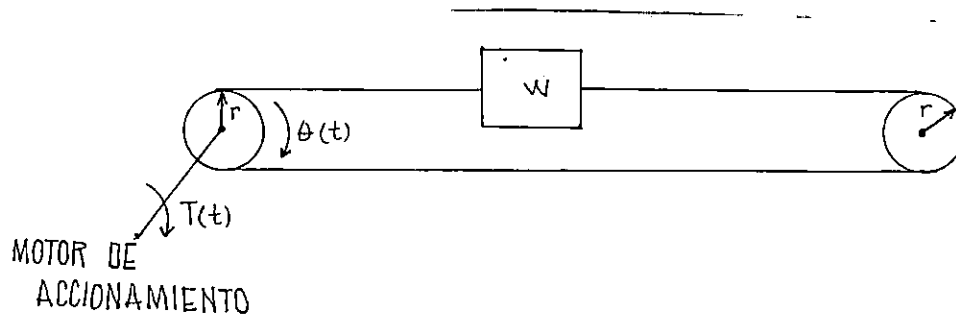


Fig. 1.22.- Sistema de control de movimiento rotativo a lineal por medio de una polea.

1.10.2 TRENES DE ENGRANAJES, PALANCAS y CINTAS DE TRANSMISION.

Un tren de engranajes, una palanca o una banda de transmisión sobre una polea, son dispositivos mecánicos que transmiten energía desde una parte de un sistema a otra, de manera tal que la fuerza, par, velocidad y desplazamiento resultan alterados. Estos dispositivos también pueden considerarse como dispositivos de seguimiento usados para alcanzar una transferencia de potencia máxima. En la figura 1.23 pueden verse algunos tipos de engranajes acoplados.

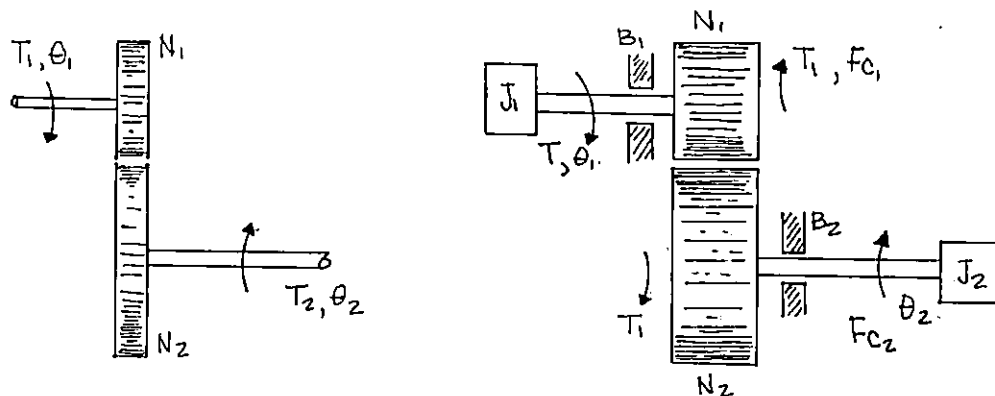


Fig. 1.23 Tren de engranajes.

Las relaciones entre los pares T_1 y T_2 , los desplazamientos angulares θ_1 y θ_2 y los números de dientes N_1 y N_2 del tren de engranajes, se deducen de los siguientes hechos:

1. El número de dientes en la superficie de los engranajes es proporcional a los radios r_1 y r_2 de los engranajes, o sea,

$$r_1 N_2 = r_2 N_1$$

2. La distancia viajada a lo largo de la superficie de cada engranaje es la misma. Por consiguiente,

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2$$

3. El trabajo realizado por un engranaje es igual al realizado por el otro ya que se supone que no existen pérdidas. Así,

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2$$

Las bandas de transmisión y las cadenas sirven para los mismos objetivos que el tren de engranajes excepto que permiten la transferencia de energía a lo largo de distancias mayores sin usar un número de engranajes excesivo. La figura 1.24 muestra el diagrama de una banda o cadena de transmisión entre dos poleas. Además, otro ejemplo de esta clase de sistema es la palanca, que se muestra en la figura 1.25, transmite el movimiento de traslación y la fuerza de la misma manera que los trenes de engranajes transmiten el movimiento de rotación.

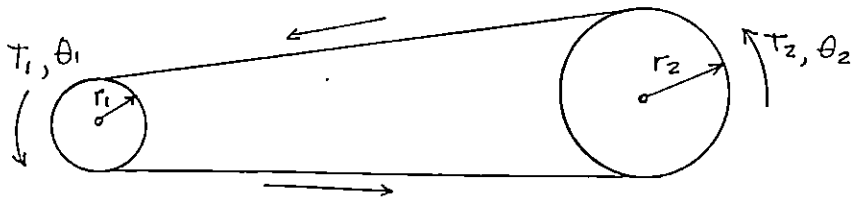


Fig. 1.24 Accionamiento por banda o cadena.

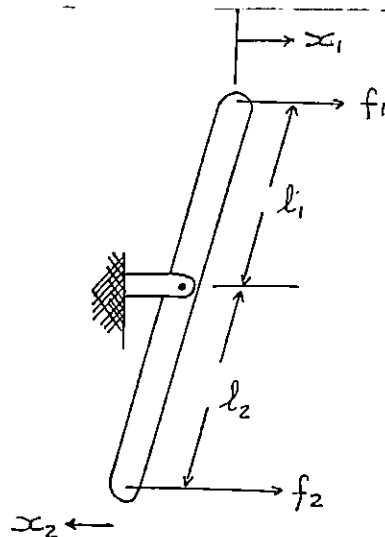


Fig. 1.25 Sistema de palanca.

1.8 COMUNICACION ESPACIAL POR SATELITE.

La idea de la comunicación por satélite no es algo nuevo. De hecho, en 1945, el escritor científico norteamericano Arthur Cucheke sugirió que los relés extraterrestres eran una posibilidad. Los pronósticos de visionarios como éste se hacen realidad con frecuencia y, una vez más, la tecnología ha avanzado lo suficiente para hacer fructificar las ideas originales. Todo gracias a los programas especiales y a los países ansiosos por adelantarse a los tiempos.

Los primeros satélites de comunicación (para telefonía, TV y datos) volaban por muy encima de la tierra y las antenas terrestres se encargaban de seguirlos. Apuntar una gran antena direccionable hacia un objeto invisible y de movimiento raudo en el cielo no es tarea fácil y su uso doméstico ciertamente no sería viable.

Por fortuna, conforme se han ido desarrollando las tecnologías espacial y electrónica, se ha superado la dificultad. Los satélites que retrasmiten los programas de televisión directamente hacia los hogares están ahora en órbitas geostacionarias. Geo proviene del griego y significa "tierra", lo que conduce al concepto de un satélite estacionario respecto a la tierra. En consecuencia, las antenas para tal satélite permanecen en una posición fija y no se necesita efectuar seguimiento alguno.

En la actualidad existen muchos satélites artificiales en órbita y esto se debe a la imposibilidad de trasmisión de señales por medio de estaciones situadas en la tierra (ver figura 1.26).

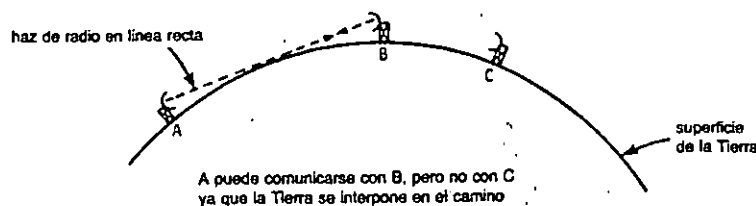
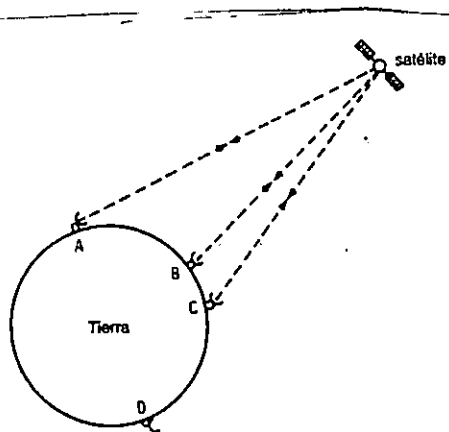


Fig. 1.26 Comunicación terrestre.

Sería imposible comunicarse punto a punto con una tierra redonda. Esta limitación puede vencerse utilizando un satélite (ver figura 1.27).



A, B y C pueden comunicarse entre sí, pero D no puede unirse a ellos

Fig. 1.27 Comunicación a través de satélite.

Con el uso del satélite no solo se comunica A y B sino también C. Pero este trabajo es a escala mundial, esta dificultad se supera utilizando más de un satélite (ver figura 1.28). De manera que la comunicación de A a D llega de dos saltos. Por supuesto tiene que existir un enlace entre los dos satélites, con lo que se reduce el recorrido total.

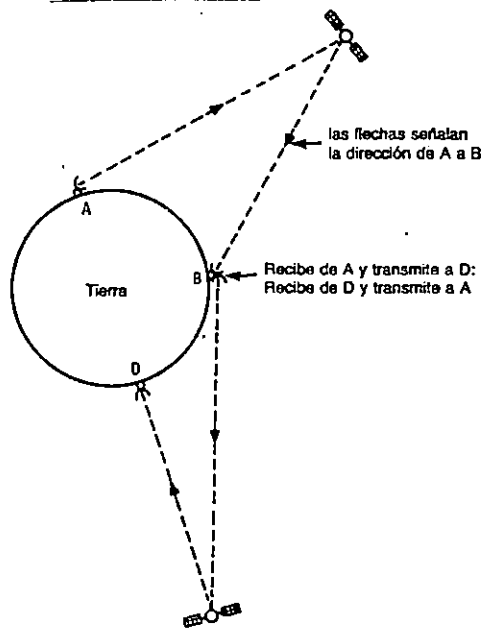


Fig. 1.28 Comunicación entre dos puntos utilizando dos satélites.

Considerese a continuación un reflector esférico, es decir, el constituido por una pequeña parte de la envoltura de una esfera hueca. Casi toda la energía de las ondas de radio que intercepte será reunida y reflejada a un punto conocido como el foco (ver figura 1.29). Se utiliza la expresión "casi toda" debido a que un reflector sencillo como éste sufre aberración esférica (pérdida de dirección) por lo que la energía reflejada desde el contorno del reflector no converge con precisión en el foco como se muestra en la figura 1.30. De ahí aunque las antenas de reflector parezcan ser esféricas, no lo sean; de hecho son parabólicas.

Al llevar a cabo su función de recoger la energía de la onda de radio entrante a unas frecuencias elevadas, el paraboloide receptor intercepta la onda y la dirige hacia un solo punto de recogida. Así como una lente recoge los rayos de luz en un punto de luz brillante. Así las ondas de radio puede ser recogidas en un solo punto debida a las propiedades metálicas, y las leyes de la reflexión de la luz se cumplen para estos materiales.

El objeto de toda antena parabólica es enviar o recoger cuanto señal de radio sea posible. Cuanto mayor sea una antena, mayor será su capacidad para captar señales. Para el espectador doméstico, los paraboloides grandes son incómodos, pesados y difíciles de manejar, de difícil montaje y, sin lugar a dudas pocos estéticos. Además, la instalación no es tan directa como la de una antena terrestre normal que por lo general no es sino un conjunto de varillas cortadas de aluminio. De ahí que en la antena receptora deba llegarse a un compromiso entre el tamaño y la captación de la señal.

1.9.1 LA ANTENA PARABOLICA.

La característica del enlace hacia abajo es en la tierra la antena parabólica ya que se halla sin estímulo, a plena vista. Es además el elemento sobre el cual más se discute y confutura, de ahí que, aunque constituya una pequeña parte del enlace hacia abajo, sea digna de especial consideración. Tanto los satélites como las instalaciones en la tierra emplean antenas parabólicas. En lo alto, un paraboloide envía la onda de radio; abajo, otro paraboloide la recoge; por tanto, es adecuado que comprendamos antes que nada las antenas parabólicas y sus características.

1.9 EL ENLACE HACIA ABAJO.

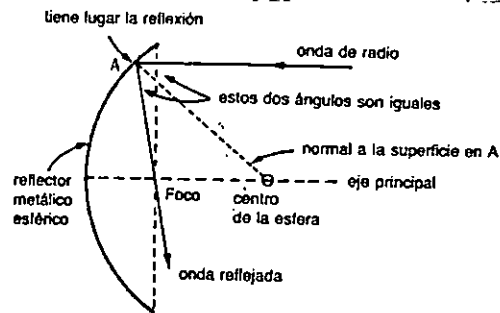


Fig. 1.29 Reflección de las ondas de radio por una superficie esférica.

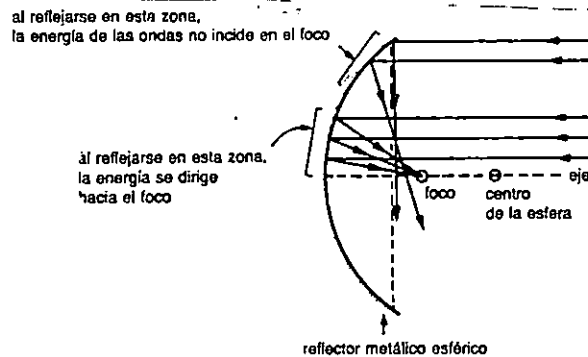


Fig. 1.30 Aberración esférica.

Una parábola es una forma particular de una sección cónica, cuya forma revela al ser seccionado un cono de determinada manera. La figura 1.31 proporciona ejemplos demostrativos de como aparecen el círculo, la elipse y la parábola, según se cambia el ángulo de corte. Estas formas pueden ser definidas matemáticamente, y la característica de importancia predominante de la parábola es que no tiene aberración esférica. Observe, no obstante que un reflector parabólico solamente dirige con precisión los rayos incidentes hacia su foco cuando llegan paralelos a su eje principal. En consecuencia, el reflector debe prepararse de forma que su eje apunte directamente al satélite. Por lo tanto el reflector parabólico tiene exactamente

las características requeridas, de modo que tiene la forma perfecta tanto para las antenas transmisoras como las receptoras de satélites.

La parábola mencionada anteriormente se muestra en la figura 1.32. EL perfil de cualquier caso en particular viene determinado por la distancia focal que se elija.

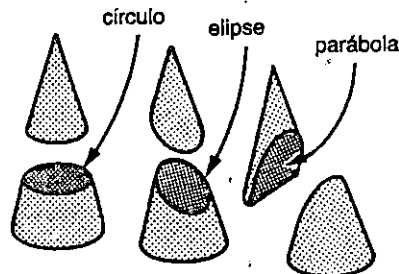


Fig. 1.31 Seccionamiento de un cono.

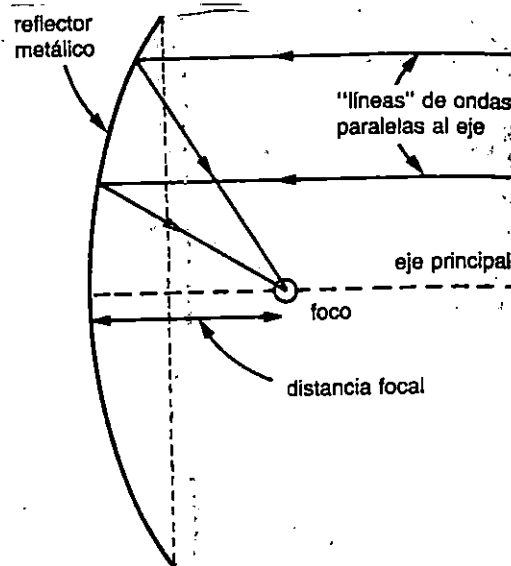


Fig. 1.32 La antena parabólica

La figura 1.33 indica como se construye el reflector práctico para satélite.

A este en particular se denomina del tipo de foco primario, y en el foco esta el LNB (convertor de bloques de bajo ruido) hacia el que se dirige la energía de la onda. El LNB está unido por cable al equipo de resepción de las instalaciones. El reflector de foco primario presenta la desventaja obia, y es que el LNB y su soporte bloquean

parcialmente la onda entrante de forma que reduce efectivamente el área de captación del reflector, especialmente en los pequeños. Para obviar esto, está ganando popularidad el reflector desplazado. Evita el ensombresimiento de LNB montándolo mas abajo, como se muestra en la figura 1.33(ii), en consecuencia, se modifica el perfil del reflector.

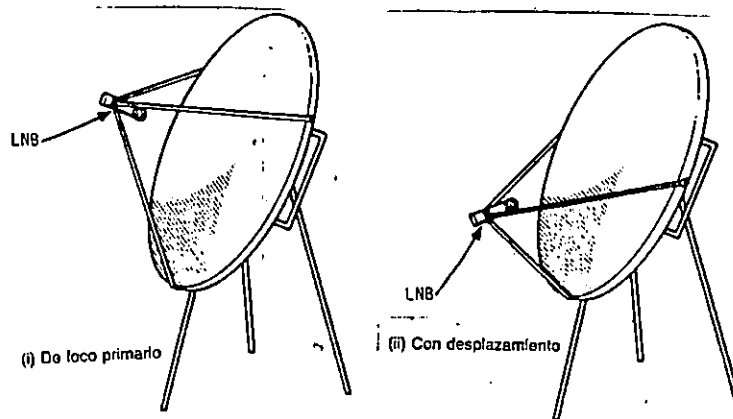


Fig. 1.33 Antenas parabólicas.

1.9.2 ASENTAMIENTO y ALINEAMIENTO.

EL alineamiento de una antena tiene mucha importancia ya que su eje debe apuntar directamente hacia el satélite. Debe haber un camino ininterrumpido entre los dos, ya que en caso contrario la onda de radio entrante se vería bloqueada. Incluso los aviones que pasan pueden provocar fluctuaciones de imagen. El reflector debe asentarse, por tanto, de modo que, si se exceptúan las inevitables nubes, lluvia o bruma, se obtenga una visión libre de obstrucciones del satélite no sólo desde el centro del mismo, si noo tambien desde su contorno. Para muchos espectadores potenciales, con una clara vista desde la casa o del jardín, esto no ofrece problemas. Por otra parte, para otros que se encuentran con edificios o árboles en el camino, las cosas no son tan sencillas para los reflectores más grandes, a no ser que se disponga de un tejado plano adecuado.

Para conseguir una una buena recepción, el reflector tiene que ser apuntado con una precisión superior a medio grado, así es que tiene que ser sujeto por pasadores a una base sólida o un bloque de hormigón.

Apuntar el reflector en una dirección correcta exige primeramente conocer los ángulos adecuados de asimut y elevación para el satélite en particular. La elevación se comprende fácilmente si nos imaginamos que el satélite puede ser visto con un telescopio. El ángulo que forma el telescopio con la horizontal (indicada por un nivel de brújula) es la elevación. Que ésta varía con la latitud, esto se demuestra en la figura 1.34(i), donde puede verse que en el ecuador tiene un valor de 90 grados (el satélite esta directamente encima), y que va disminuyendo al aumentar la latitud. Al final la resepción llega a ser difícil, debido a que el haz de radio llega con un ángulo tan bajo que se ve obstruido por las colinas, edificios, e incluso árboles.

A algunas latitudes mayores aún (por encima de unos 81°), resulta imposible la recepción de satélites geostacionarios. La elevación varía también con la longitud, pero de forma más compleja y que no se entiende fácilmente con un simple croquis.

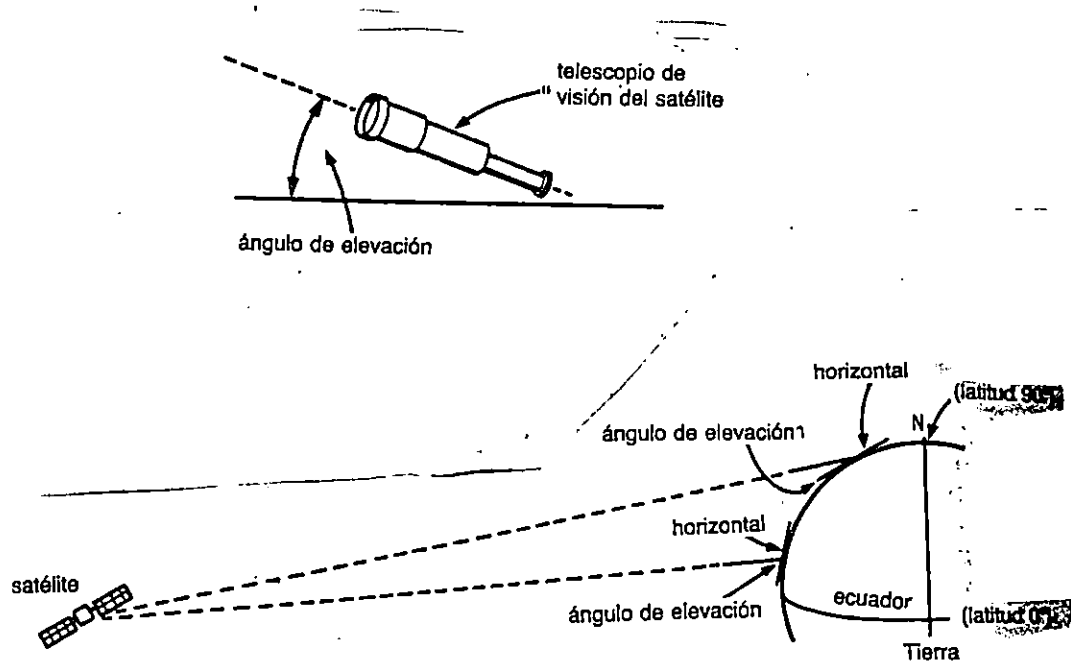


Fig. 1.34(i) El ángulo de elevación disminuye al aumentar la latitud

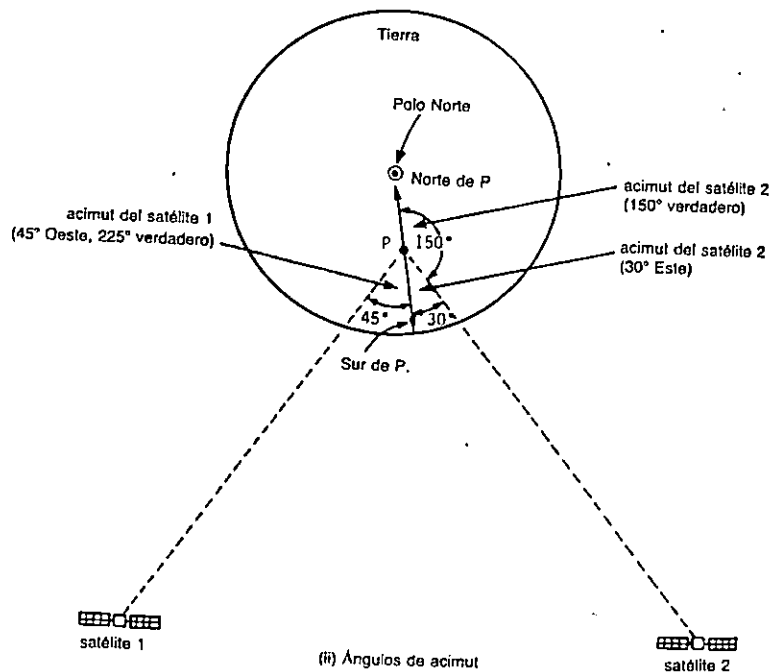


Fig. 1.34(ii) Elevación y acimut.

El acimut puede ser algo muy complicado, pero también podemos tomarlo como el ángulo medido en el plano horizontal que forman el norte verdadero y el satélite, medido en el sentido de las agujas de reloj. Imaginemos que nos encontramos en algún lugar ahí arriba, mirando hacia abajo en el hemisferio norte, como se muestra en la figura 1.34(ii). En este caso se muestran, los acimutes de los dos satélites respecto a la posición P. La lectura verdadera es respecto al norte, pero los acimutes se expresan frecuentemente como Este ó Oeste (respecto al sur). Así, el acimut del satélite 2 desde P puede ser expresado como 150° (verdadero) o como 30° E. Por lo general, es preferible la lectura verdadera debido a que casi todos los cálculos se hacen partiendo de ella.

Un reflector se alinea inclinando hacia arriba a partir de la horizontal el ángulo de elevación, y girando a partir del norte el ángulo de acimut. Resulta ahora claro que la elevación y el acimut de un satélite dado varía según la ubicación del receptor.

Hay cuatro variables que intervienen en el cálculo de la elevación y el acimut, es decir, la longitud y la latitud de la estación receptora y de el satélite. Esto dificulta la producción de tablas y gráficos, que normalmente acomodan una o dos entradas. Por fortuna, la latitud del satélite es siempre 0° y, pueden desarrollarse las fórmulas en términos de una sola variable, la diferencia de longitud entre el satélite y el receptor. por lo tanto una variable sustituye a dos. El precio a pagar es que tiene que calcularse previamente la diferencia, tarea fácil, no obstante.

Observe que al acentar un reflecto únicamente es necesario apuntarlo hacia algún punto próximo al satélite, de manera que pueda reconocerse una imagen. Los ajustes finales se hacen observando la pantalla de un televisor. No hay, por tanto, necesidad de colocar el reflector con una precisión de fracciones de grado.

En consecuencia, para cualquier ubicación busque antes que nada su longitud y su latitud. Las cifras correspondientes a las principales ciudades suelen figurar en los atlas buenos; en otro caso, se pueden estimar a partir de un mapa. se necesita también la longitud del satélite, que podrá encontrarse en las revistas especializadas en satélites.

Estamos tratando de ángulos y utilizamos una representación de ellos por letras griegas θ (theta) para latitud y ϕ (fi) para la longitud. Por tanto la diferencia de longitud, ϕ_D , entre el satélite y la estación terrestre será:

$$\phi_D = \phi_S - \phi_r \quad (\text{Ec. 1.1})$$

La obtención de las fórmulas para el cálculo de estos dos importantes ángulos es pura trigonometría, pero complicada. Las fórmulas para el cálculo del acimut se dan a continuación.

Latitud de estación receptora = θ_r

Longitud del satélite = ϕ_S

Diferencia de longitud

$$\phi_D = \phi_S - \phi_r$$

Sea r el radio de la tierra (6.378 Km) y h = altura del satélite (35.786 Km)

$$\text{Sea } x = \text{COS}^{-1} (\cos \theta_r \cdot \cos \phi_D) \quad (\text{Ec. 1.2})$$

El ángulo del acimut es:

$$A_z = \text{TAN}^{-1} \frac{(\tan \phi_d)}{\sin \theta_r} + 180 \text{ grados} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Angulo de elevación :

$$E_1 = \tan^{-1} \left(\cot x - \frac{r}{r+h} \cdot \text{cosec } x \right) \quad (\text{Ec. 1.4})$$

$$= \tan^{-1} (\cot x - .1513 \text{cosec } x) \quad (\text{Ec. 1.5})$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{1}{\tan x} - \frac{0.1513}{\sin x} \right) \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Una complicación es que las formulas exigen que los valores de longitud al este de 0° se consideran negativos, se dan a continuación varios ejemplos para mostrar como se hace esto. en consecuencia, podemos obtener rapidamete una buena idea, con una presición de al rededor de un grado, de los angulos de acimut (AZ) y elevación (EL) de casi cualquier lugar de América.

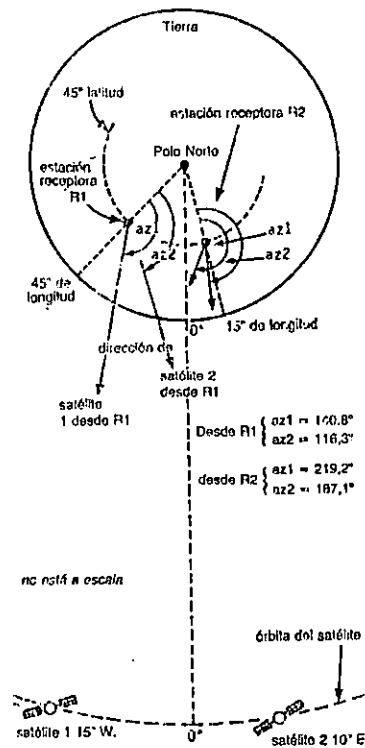


Fig. 1.35 Angulos de acimut

Considere primeramente la figura 1.35 (figura ejemplo) para obtener una idea mejor del cálculo del acimut. Se muestran dos estaciones receptoras ,R1 y R2. Supongamos que hay que calcular el ángulo de acimut al que tiene que ajustarse el reflector de R1 para recibir al satélite 1. Entonces:

$$\begin{aligned} \text{latitud de R1} &= 45^\circ = \phi_r \\ \text{longitud de R1} &= 45^\circ = \phi_r \end{aligned}$$

De ahí, la diferencia de longitud, ϕ_d sea igual a:

$$\phi_s - \phi_r = 15 - 45 = -30$$

$$X = \cos^{-1} (\cos 45^\circ \cdot \cos 30^\circ) = 52.53^\circ$$

$$Az = \tan^{-1} \left(\frac{\tan -30^\circ}{\sin 45^\circ} \right) + 180^\circ = 140.76^\circ$$

Luego para el calculo de la elevación tenemos

$$El = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\tan X} - \frac{0.1513}{\sin X} \right)$$

$$El = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\tan 52.53^\circ} - \frac{0.1513}{\sin 52.53^\circ} \right) = 29.93^\circ = 30^\circ$$

Para realinear el reflector R1 para recibir el satélite 2.

$$\phi_r = 45^\circ, \quad \phi_s = -10^\circ$$

$$\phi_d = \phi_s - \phi_r = -10 - 45 = -55^\circ$$

$$Az = \tan^{-1} \left(\frac{\tan -55^\circ}{\sin 45^\circ} \right) + 180^\circ = 116.3^\circ =$$

$$X = \cos^{-1} (\cos 45^\circ \cdot \cos -55^\circ) = 66.07^\circ$$

$$El = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\tan 66.07} - \frac{0.1513}{\sin 66.07} \right) = 15.54$$

Los resultados obtenidos son muy aproximados y pueden ser utilizados para calcular Az y El en cualquier punto del mundo.

Por lo general los satélites comerciales se encuentran en la misma línea de acimut, por lo tanto no es necesario calcular el acimut cada vez que se va sintonizar algún canal, lo único que hay que modificar es la elevación.

1.9.3 EL LNB

El conversor de bloques de bajo ruido es la unidad a la interperie asociada al reflector. Es probablemente el elemento más importante, ya que sin un LNB eficaz, todo el sistema se ve en peligro. Se coloca justamente en el foco del reflector doméstico para evitar gastos extras y la inconveniencia de guía de ondas de gran longitud. Tiene dos funciones:

Aceptar las débiles señales de entrada reflejadas por la superficie del reflector, amplificarlas y convertirlas en una frecuencia mas pequeña para transmitir las a través de un cable especial.

La bocina de alimentación del LNB (ver figura 1.33 y 1.36) es un dispositivo de forma especial adaptado a una sección corta de forma de ondas, desde el que se pueden proyectar ondas hacia el reflector para su transmisión o, igualmente, recogerlas del reflector al ser recibidas por éste. Es algo así como megáfono y la anticuada trompetilla de sordos para la recepción. Esta analogía no debe llevarse muy lejos, pero ya puede reconocer cierta similitud en las formas. Las dimensiones de la bocina se controlan por la gama de longitudes de onda con las que tiene que ser utilizada. En la figura 1.36(ii), el cuerpo del LNB contiene los componentes electrónicos, un amplificador de bajo ruido, y el convertidor de bloque. Este último es un cambiador de frecuencia, que acepta la banda entrante (o bloque) de señales y las cambia una banda semejante, pero centrada en una frecuencia inferior. Si no se hiciera esto, las señales de unos 12 GHz tendrían que ser directamente alimentadas a la casa mediante una guía de ondas. La sustitución por cable no es practicable, porque las pérdidas en el cable aumentan con la frecuencia, y a 12 GHz un cable resultaría realmente caro. Por lo tanto, es mejor disminuir primero la frecuencia, para poder utilizar cable. Las características de operación del LNB son proporcionadas por sus fabricantes, y una de las características importantes que no debe perderse es la gama de frecuencias en las que trabaja el LNB. Un LNB moderno puede trabajar en un rango de frecuencias de 10.95-11.7 GHz.

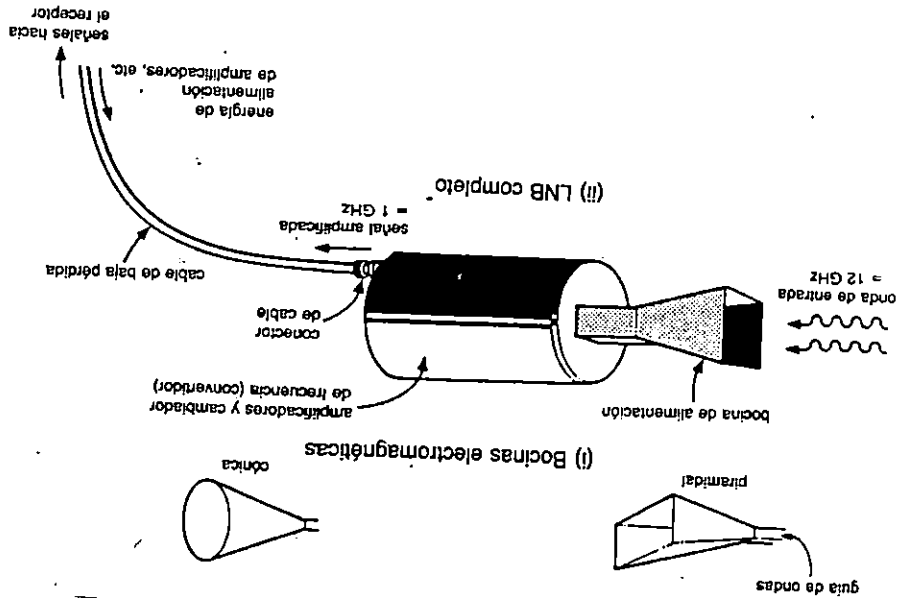
La recepción doméstica se ve afectada por el tipo de sistema del que se disponga ya que algunos sistemas tienen mayor capacidad para recibir. A continuación se describen algunos sistemas:

1.10 LA RECEPCION DOMESTICA

Como una alternativa, se dispone de bocinas de alimentación que tienen un polarizador o polarizador interno. El cambio de una polarización a otra se efectúa girando una membrana flexible del interior de la guía de ondas. Se conecta a una de las dos posiciones mediante un electroimán controlado a distancia desde el receptor. Hoy, casi todas las antenas están dotadas de polarizadores.

Existen cuatro tipos distintos de polarización de las ondas, vertical, V , horizontal, H , y circular a izquierdas y a derechas, LHC y RHC . La bocina de alimentación del LNB es sensible a ellas y, por tanto, el LNB debe ser girado para adaptarlo a la polarización de la onda de entrada. Si se gira a 90° a partir de esta posición (un cuarto de vuelta), producirá una señal mínima (pero máxima para una señal de polarización opuesta).

Fig. 1.36 LNB típico.



1. El más sencillo se compone de una antena parabólica básica fija, el LNB y receptor para ver ciertos canales de un solo satélite.

2. Utilizando el sistema de 1, pueden añadirse otros canales del mismo satélite, pero de polarización opuesta. Para ello se necesita visitar al paraboloide en el exterior y girar físicamente el LNB.

3. Puede aumentarse más aún la gama de 2 a haciendo más visitas a la antena para alinearla con otros satélites. Aunque todos los satélites que proporcionan suficiente señal para una antena en particular pueden ser cogidos ajustando manualmente el LNB y/o el paraboloide, el método es a duras penas recomendable de manera regular, ya que la alineación precisada un satélite puede ser un rompecabezas. No obstante, la vida se simplifica si se instala un montaje polar (se describe más adelante). En consecuencia, puede decirse en resumen que la utilización del sistema básico es ideal para canales de la misma polarización de un solo satélite, pero no tanto si se busca algo más

4. Merece la pena añadir un polarrotor. Se instala en el LNB o junto a él, y se controla a distancia para ajustar la polarización; es decir, las acciones de 2 se llevan a cabo accionando un interruptor en vez de tener que bajar al jardín.

5. Para el aficionado que quiere tenerlo todo, los sistemas más caros no solamente disponen de polarrotadores, si no también de reflectores parabólicos movidos por motor, o sea, equipos especiales en la parte posterior del paraboloide para apuntarlo a cualquier satélite, controlados asimismo a distancia desde el interior de la casa. En los receptores más sofisticados todo lo que tiene que hacer el usuario es marcar el canal que quiere. El sistema hace todo lo demás, mueve la antena, establece la polaridad y sintoniza en fino todo ello.

1.10.1 OPERACIONES TOPOGRAFICAS EN EL ASENTAMIENTO.

Lo primero que hay que hacer son las operaciones topográficas del asentamiento, a no ser que sea evidente que tiene una amplia visibilidad hacia el sur. En la sección 1.9.2 cubre los principios básicos que intervienen, y para efectuar una comprobación de fiar se necesita una brújula para estimar el acimut y un inclinómetro para la elevación. No tienen por que ser unos instrumentos complicados y, por

ejemplo, será suficiente una brújula de bolsillo, sin olvidar nunca que toda brújula apunta hacia el norte magnético, no hacia el norte verdadero con el que estamos trabajando. La posición del actual del norte magnético está en la actualidad en 70° N 70° W (esquina NW de Groenlandia). Lo que dificulta las cosas para los afectados por la navegación es que no permanece en esa posición, si no que vaga lentamente en torno a una ruta circular de unos 160 Km de diámetro. En la figura 1.37(i) puede verse que en la posición mostrada la brújula apunta a la izquierda del norte.

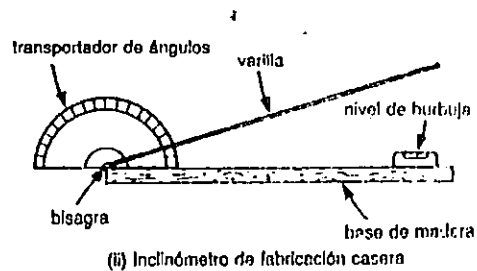
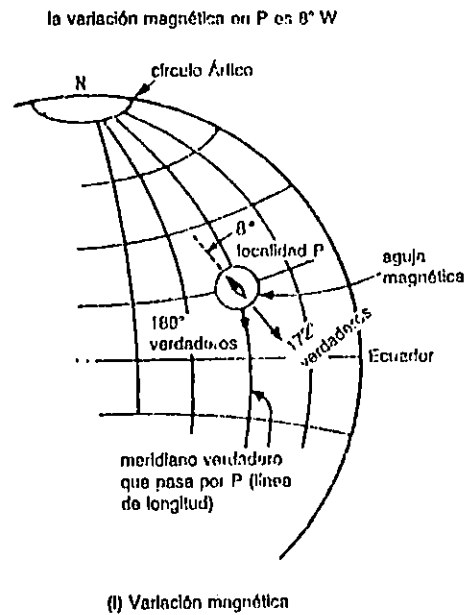


Fig. 1.37 Ajuste del acimut y la elevación

En el ejemplo mostrado, lo 8° de diferencia se conocen por el nombre de variación (declinación) magnética, una descripción apta ya que no solamente varía por toda la tierra si no que también lo hace, con el tiempo. A veces se denomina desviación magnética.

Puede comprarse un inclinómetro, pero una varilla, un nivel de brujula y un transportador de ángulos, casi todo ello al alcance de la mano en casa, son los ingredientes únicos de uno de fabricación casera (ver figura 1.37(ii)).

1.10.2 INSTALACION DEL REFLECTOR PARABOLICO.

Cuando se ha elegido la antena y se encuentran las piezas a la mano, comienza la instalación. Si consideramos en primer lugar un reflector sencillo para trabajar con un solo satélite. Se ha sugerido que finalmente se necesita una precisión de puntería de medio grado aproximadamente, así que hay que tener cuidado. Los fabricantes suelen añadir muchas ayudas incorporadas pero si no hubiera ninguna podrían utilizar los dispositivos que hemos sugerido anteriormente. Después de todo, su ayuda solo se necesita para localizar al satélite ya que la alineación de precisión se hace después, con la imagen de T.V. o con un medidor de nivel de señal.

Si el montaje del reflector es un trípode u otra base metálica, esta base debe estar bien nivelada. Si es un tubo cilíndrico o prismático empotrado en el suelo debe estar vertical lo que implica una doble comprobación (con un nivel de albañil), la segunda a 90° de la primera. Supongamos que la longitud del cable entre la antena y la casa está entre los límites generalmente aceptados de 80-100 mts. Si fuera mayor, sería posible superar las pérdidas excesivas en el cable instalando un amplificador de línea especial.

Para obtener un correcto ajuste en acimut, puede ser útil indicar primeramente sobre el terreno la línea norte-sur.

1.10.3 MONTAJES POLARES.

El montaje polar tiene mucha importancia ya que con el montaje básico Az/El, solo se puede sintonizar un solo satélite. Este montaje es más difícil de instalar pero ofrece ventajas para quienes desean cambiarse frecuentemente de satélite, y es obligado para quienes quieren hacerlo desde el sillón, ya que es la única modalidad de montaje que

permite con facilidad la motorización. La forma de la curva polar ha sido incorporada al montaje por el fabricante, y su instalación inicial supone apuntar con precisión el reflector parabólico hacia el polo. El polo es, de hecho, el punto más elevado del arco geostacionario, y como éste es simétrico respecto a su polo, el cual debe estar en su sur verdadero. La elevación del polo varía con la latitud de la ubicación del paraboloide.

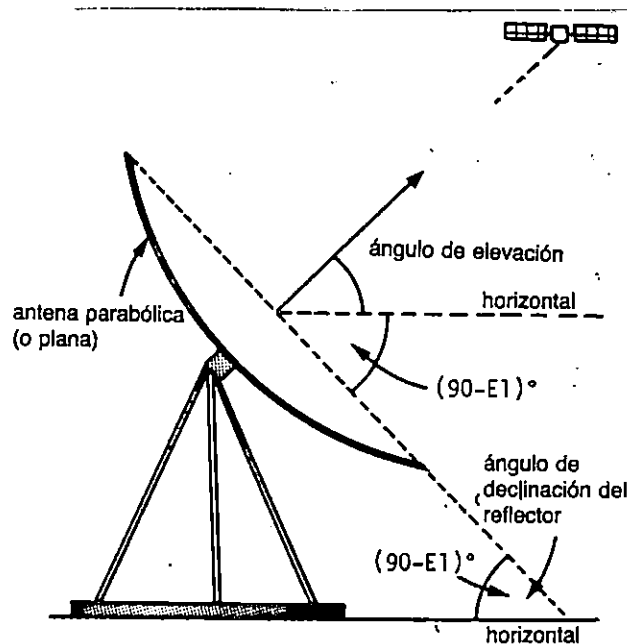


Fig. 1.38 Ángulo de elevación y declinación.

Pueden ser utilizadas las expresiones 1.3 y 1.6 para determinar la elevación correcta de un reflector apuntado hacia el Sur ya que entonces la diferencia de longitud, ϕ , entre la ubicación del paraboloide y el satélite es es cero. Existe, no obstante, otro método que consigue el mismo resultado pero menos complicado, aunque se escoge bajo un título más bien de usuario: **ángulo de desplazamiento de declinación**. Los montajes polares están adecuadamente calibrado, de forma que se puede ajustar este ángulo. La figura 1.38 muestra como se relaciona el ángulo de declinación con el ángulo normal de elevación, es decir, se convierte restandolo de 90° . Resumiendo: latitud + ángulo de desplazamiento = ángulo de declinación.

$$\text{elevación} + \text{declinación} = 90^\circ$$

Un refelector parabólico de montaje polar apuntando hacia el sur y alineado así, describirá el arco completo, de horizonte a horizonte, al ser girado. Esto puede hacerse a

mano o con ayuda de un motor. Si el paraboloide no está alineado con precisión, o si su soporte no es verdaderamente vertical, la curva de seguimiento no coincidirá con el arco geoestacionario, y el resultado que no se verá nada, es decir, no se ha sintonizado ningún canal perteneciente al satélite. Aunque sólo han sido considerados los reflectores parabólicos, esta técnica se aplica por igual a las antenas planas.

Si comprendemos los principios que intervienen, los trabajos de instalación siguen una regla ordinaria de sentido común. No obstante, pueden ser de ayuda algunos consejos adicionales.

En primer lugar, el mástil sobre el que se monta el reflector ha de ser totalmente vertical. Para comprobarlo será útil una plomada de albañilería, debiendo comprobarse el mástil dos veces, con una separación de 90° . El eje polar del paraboloide debe ser alineado a continuación en la dirección N-S geográfica, pudiendo ayudar a ello un cordel tirante fijado a dos estacas en el suelo. No olvide sumar la variación magnética si se utiliza una brújula. Los ángulos de latitud y desplazamiento se ajustan con facilidad, con independencia de cómo este marcado el montaje. Los ángulos de elevación o declinación pueden ser comprobados pasando un cordel tirante desde la parte superior a la inferior del reflector y midiendo con un inclinómetro el ángulo que forma con la horizontal (ver figura 13). Observar que es totalmente correcto ajustar la elevación del paraboloide en vez del ángulo de declinación, si resulta más conveniente. Cuando el reflector apunta hacia el Sur geográfico en el ángulo de declinación correcto, está de hecho alineado respecto al arco geoestacionario. Si se mueve el reflector lentamente hacia la izquierda o a la derecha se deberá captar algún satélite próximo a la parte superior del arco. Cuando encuentre uno, efectúe los ajustes de montaje que sean necesarios hasta conseguir la máxima señal. Mueva entonces hacia el otro lado del arco para captar un segundo satélite, y ajuste de nuevo. Moviendo entre ambos, y continuando los ajustes en fino todas las veces, deberá trazarse satisfactoriamente la parte superior del arco. Siga entonces con otros satélites. Si al utilizarse el montaje polar va a ser ajustado manualmente, unas marcas de referencia hechas en algún lugar del mecanismo ayudará a garantizar un rápido retorno, una vez terminado todo, compruebe que todas las tuercas están apretadas.

En definitiva: difícilmente puede considerarse como un juego de niños, y probablemente será laborioso, pero compensa.

1.11 INTERFACE DE COMUNICACION CON EL COMPUTADOR.

Si se va a trabajar con un montaje polar movido por un motor, y este controlado por computadora será necesario comunicarse con ésta y para ello se necesitará una interfase ya que el computador trabaja con señales discretas mientras que un controlador del motor trabaja con señales continuas. Por lo anterior es lógico pensar que será necesario una interfase que tenga la capacidad de comunicar de en ambas direcciones. Con esto se puede lograr que por medio de la maquina se de la orden de mover la antena, y además se de cuenta en que posición se encuentra la antena.

Es necesario conocer el funcionamiento de una interfase que pueda trabajar en el ambiente de los microprocesadores de INTEL, 8086, 8088, 80286, 80386, ya que estos microprocesadores son los que comúnmente se encuentran en las computadoras personales.

Existe una interfase que es uno de los circuitos de soporte de los microprocesadores antes mencionados, este circuito es el PPI (Interfase programable de periféricos).

1.11.1 El PPI 8255

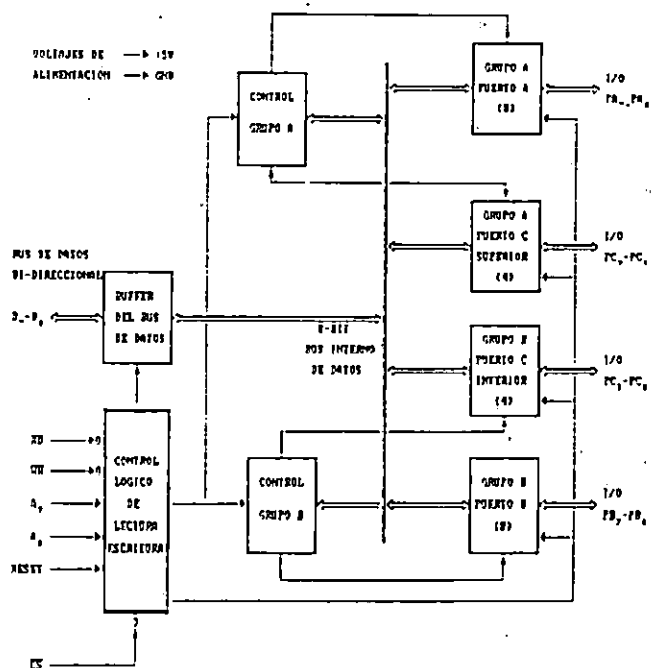


Fig. 1.39 Diagrama de bloques del 8255

El 8255, es un periférico programable de entrada/salida paralelo para propósitos generales, el diagrama de bloques de 8255 es mostrado en la figura 1.39.

Este circuito es capaz de proporcionar 24 pines programables de entrada /salida, divididos en tres puertos paralelos: puerto A, puerto B, puerto C; los cuales pueden ser configurados de manera especial como se describe mas adelante. La configuración se hace por medio software y no requiere de circuitos logicos adicionales para ello.

1.11.1.1 Modos de operación de 8255.

El 8255 posee tres modos de operación conocidos como modo 0, modo 1, y modo 2. En el modo 0 los ocho pines de cada uno de los tres puertos son utilizados como entrada/salida. Los modos 1 y 2 utilizan las líneas del puerto C como entradas de solicitud de interrupción al CPU, estas interrupciones pueden ser enmascarables por software o usando formato set/reset. El 8255 presenta tres modos básicos de operación :

- Modo 0 : Entrada /salida elemental
- Modo 1 : Entrada/salida con protocolo (Handshaking)
- Modo 2 : Bus bidireccional con protocolo (handshaking)

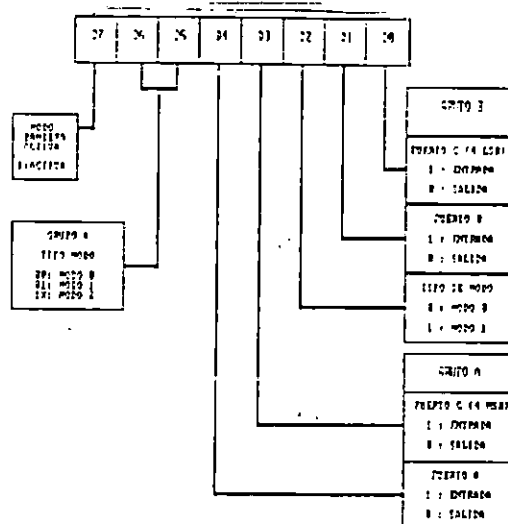


Fig. 1.40 Byte de control.

El 8255 esta conformado por dos grupos de buses. El grupo A que es el puerto A mas los cuatro bits más significativos del puerto C y el grupo B formado por puerto B más los cuatro bits menos significativos del puerto C.

Cuando se inicializa el 8255, sus tres puertos quedan configurados como puertos de entrada. Los puertos A, B y C

pueden ser configurados en modos de operación diferentes según sea necesario, escribiendo la palabra de control en el registro de control.

La palabra de control consta de ocho bits y es la que determina en que modos pueden trabajar los tres puertos; el registro de control es la dirección a la que responde la palabra de control.

El formato del byte de control se muestra en la figura 1.40.

1.11.1.2 Modo 0 : Entrada/Salida Elemental

Este modo configura a los tres puertos solamente como entrada/salida. Este modo de operación presenta las siguientes características :

- Los A y B de ocho bits cada uno y el puerto C dividido en dos grupos de cuatro bits cada uno de los cuales pueden ser entrada o salida.
- Cualquier puerto puede ser entrada o salida.
- Las salidas son enclavadas.
- Las entradas no son enclavadas.
- Dieciseis formas de configurar este puerto.

A continuación se muestran las dieciseis posibilidades de configuración en el modo cero (Tabla 1.1):

Tabla 1.1 Configuración de puertos en el modo cero

A		B		PUERTO A	4MSB PUERTO C	PUERTO B	4LSB PUERTO C
D4	D3	D1	D0				
0	0	0	0	salida	salida	salida	salida
0	0	0	1	salida	salida	salida	entrada
0	0	1	0	salida	salida	entrada	salida
0	0	1	1	salida	salida	entrada	entrada
0	1	0	0	salida	entrada	salida	salida
0	1	0	1	salida	entrada	salida	entrada
0	1	1	0	salida	entrada	entrada	salida
0	1	1	1	salida	entrada	entrada	entrada
1	0	0	0	entrada	salida	salida	salida
1	0	0	1	entrada	salida	salida	entrada
1	0	1	0	entrada	salida	entrada	salida
1	0	1	1	entrada	salida	entrada	entrada
1	1	0	0	entrada	entrada	salida	salida
1	1	0	1	entrada	entrada	salida	entrada
1	1	1	0	entrada	entrada	entrada	salida
1	1	1	1	entrada	entrada	entrada	entrada

1.11.2 DESCRIPCION DE LOS PINES DEL 8255A.

Los pines del 1-4 representa PA3, PA2, PA1, PA0 respectivamente es decir los cuatro bits menos significativos del puerto A.

El pin 5 es el -RD, señal que pasa al estado bajo cuando se realiza una operación de lectura en algún puerto.

El pin 6 es el -CS, señal que habilita el funcionamiento del 8255A cuando se encuentra en bajo.

Los pines 8 y 9 son A1 y A0. Estas líneas de direccionamiento accesan los puertos de la siguiente manera:

A1	A0	PUERTO SELECCIONADO
0	0	A
0	1	B
1	0	C
1	1	Accesa el byte de control

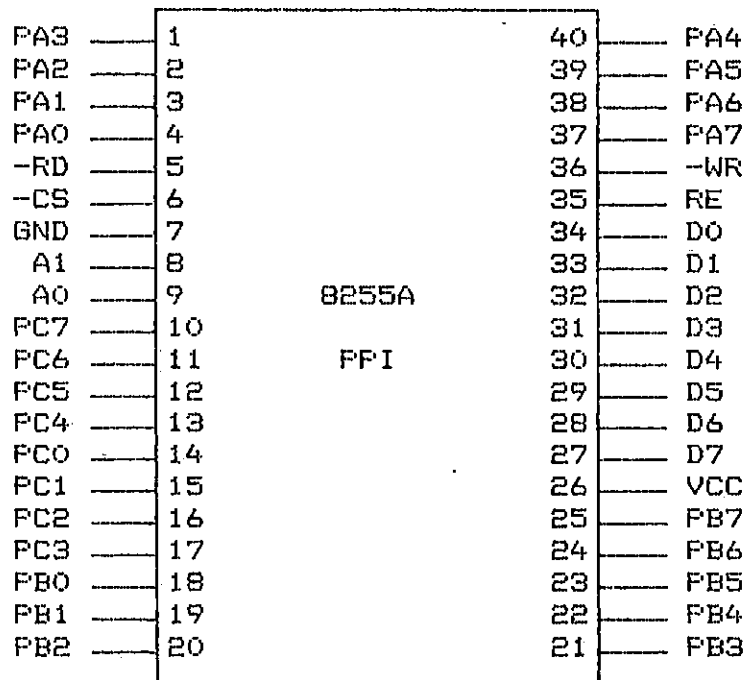


Fig. 1.41 Pin-Out del 8255A

Los pines 10 al 13 son PC7, PC6, PC5, PC4, SON LOS 4 bits menos sigficativos del puerto C.

Los pines 14 al 17 son PC3, PC2, PC1, PC0, son los bits más significativos del puerto C.

Los pines 18 al 25 son PBO A PB7, son el puerto B.

El pin 26 es VCC. +5 voltios para el 8255A.

Los pines 27 al 34 son D0 a D7, el bus de datos que se conecta al computador. El pin 35 es el RESET, un alto en esta señal inicializa al 8255A colocando todos sus puertos como puertos de entrada.

El pin 36 es -WR, señal que es baja cuando se realiza una operación de escritura en algún puerto.

Los pines 37 al 40 PA7, PA6, PA5, PA4, respectivamente, es decir, los 4 bits más significativos del puerto A.

A en la figura 1.41 se presenta el diagrama del pin-out del 8255A.

- Los LNB con polarizador ofrecen una gran ventaja sobre los que no lo poseen ya que sin este sería complicada la polarización porque no se contaría con el ajuste fino.

- La forma geométrica que describe una antena parabólica debe ser precisamente una parábola ya que si no lo es podría haber aberración y algunas señales no serían rebotadas hacia el foco donde se encuentra el LNB.

- La comunicación por microondas sería costosa si hiciera a través de enlaces por medio de estaciones terrenas ya que se necesitan varias estaciones terrenas para enlace debido a la redondez de la tierra.

- Para el control de la posición se ha elegido como base un sistema realimentado, así estaremos asegurando la estabilidad del sistema.

- Los elementos mecánicos juegan un papel muy importante, ya que dependiendo del tipo de motor a utilizar, así se elegirá el tren de transmisión, y también de la carga que se moverá.

- El motor es uno de los elementos de importancia ya que este transmite la potencia que hará que la carga se mueva, y para la elección de cualquier tipo de motor dependerá de la característica de salida y de la especificación que se requiere para que el sistema funcione en buenas condiciones; para ello se recomienda, que además de la breve descripción de los motores que se estudió en la parte primera, tomen en cuenta: la carga a controlar.

- Los sensores de error existen de mucha variedad desde el más sencillo hasta el más complejo, pero la elección de este dependerá de la estructura del sistema y si existen en el mercado, pero el diseñador deberá tomar en cuenta varios aspectos, tales como: fuente a utilizar, tipo de carga a controlar, tipo de conversión de señal, etc.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

- Bulliet, L. J.
SERVOMECANISMOS
Traducido por: Ing. Ezequiel Sánchez Solís.
México:
Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional
Autónoma de México, 1967.
- Van Valkenburg, Nooger y Neville
SISTEMAS SINCRONICOS Y SERVOMECANISMOS BASICOS, vol. 2
Traducido por: Ing. Jaime Lafuila
México D.F., México:
CECSA, 1958
- Wilson, F. A.
TELEVISION POR SATELITE
Barcelona, España:
Ediciones CEAC, 1990
- José Heriberto Suria Montes
Werner David Meléndez Valle
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE INTERFASE Y MODULO DE PRUEBA
PARA COMPONENTES INTEGRADOS DIGITALES EN LA COMPUTADORA
PC-501- AT LEMON
San Salvador, El Salvador:
Tesis, Universidad de El Salvador, 1992

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL DISEÑO.

INTRODUCCION

Debido a la versatilidad de los sistemas digitales se pueden construir diversos equipos para muchas aplicaciones, dependiendo de la necesidades existentes.

El presente capítulo describe de una manera detallada el diseño de nuestro proyecto, el cual se realizó en forma digital. Este diseño consiste en la introducción de un valor numérico en grados ya sea desde un teclado de un computador o de un teclado independiente para que el sistema produzca un movimiento angular a la antena.

La descripción de las características del sistema se hace a partir de un diagrama de bloques que muestran la secuencia de operación del servomecanismo.

En general todo el sistema ha sido diseñado utilizando la lógica digital, debido a que estos dispositivos son de bajo costo y fácil manejo de las variables.

2.1 DESCRIPCION DEL DISEÑO.

En esta sección se describen las características de funcionamiento, tablas de verdad y algunos aspectos particulares de cada uno de los elementos a utilizar en la

implementación del sistema, así como también el funcionamiento de cada etapa que lo conforma.

La descripción del sistema se hará en base al diagrama de bloques que se presenta a continuación.

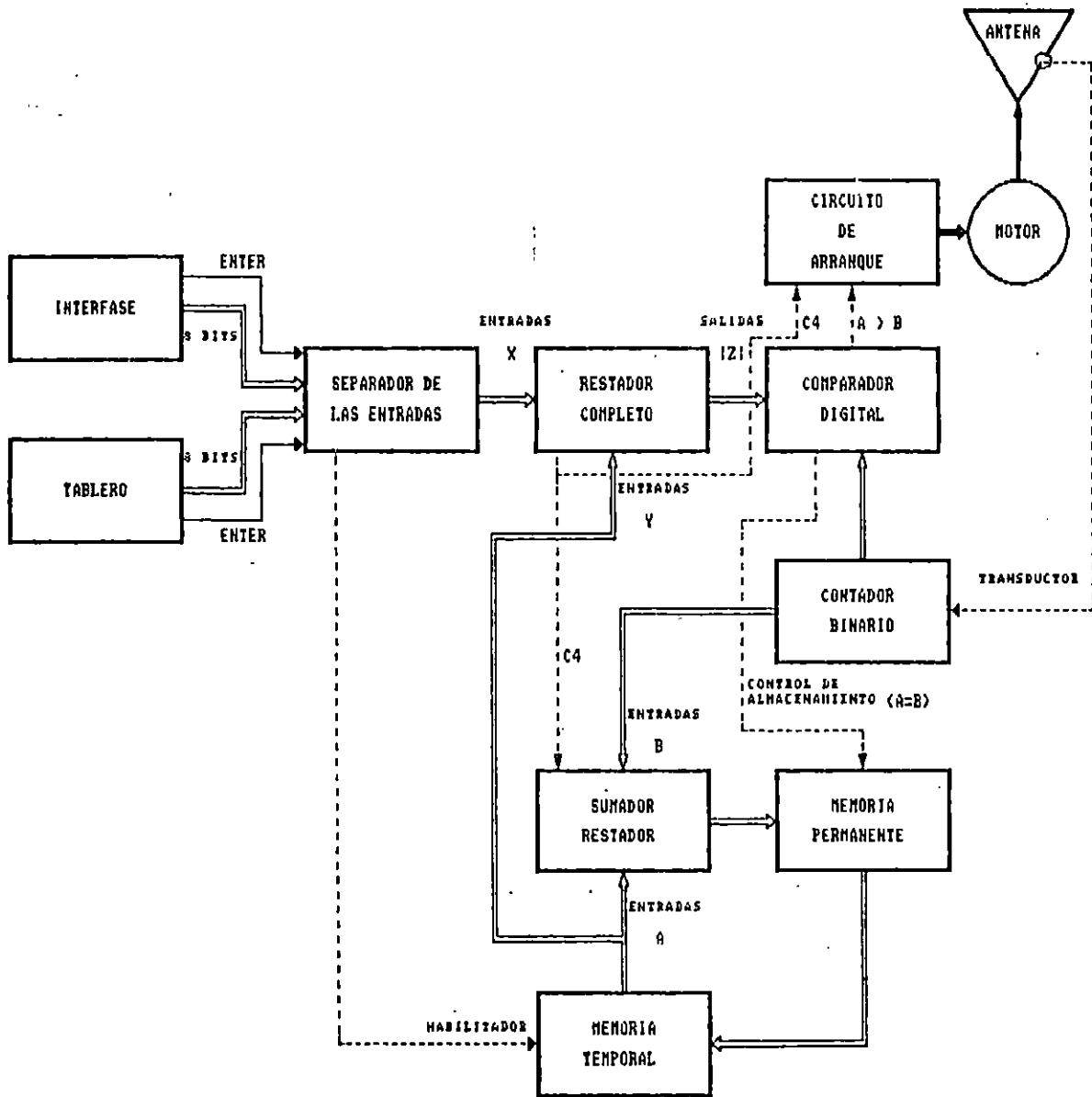


Fig. 2.1 Diagrama de bloques del sistema completo.

La salida del sumador-restador es conectada directamente a la memoria permanente la cual se encarga de almacenar la nueva posición de la antena a partir de una referencia cero. La memoria temporal sirve para evitar el paso del contenido de la memoria permanente hacia el restador completo logrando con esto que en el encendido las entradas del restador estén en cero y no se produzca movimiento hasta que un valor sea introducido.

El contador binario tiene la finalidad de contar la cantidad de grados que se ha movido la antena. Este desplazamiento angular es convertido en pulsos eléctricos por un transductor. El contenido del contador es también llevado a un sumador-restador, el cual ejecuta una suma o una resta dependiendo hacia donde sea el movimiento (horario o antihorario). Esta operación se efectúa entre el contenido del contador y el contenido en la memoria temporal que corresponde a la posición anterior.

El comparador digital tiene el fin de detectar el error que se produce entre la salida y entrada del sistema, generando una señal ($A > B$) cuando el error no ha sido corregido, activando el circuito de arranque. Cuando el error ha sido corregido el comparador manda una señal de almacenamiento de la posición deseada ($A = B$) a la memoria permanente, esta condición se da cuando $|Z|$ sea igual al contenido del contador.

El comparador digital tiene el fin de detectar el error que se produce entre la salida y entrada del sistema, generando una señal ($A > B$) cuando el error no ha sido corregido, activando el circuito de arranque. Cuando el error ha sido corregido el comparador manda una señal de almacenamiento de la posición deseada ($A = B$) a la memoria permanente, esta condición se da cuando $|Z|$ sea igual al contenido del contador.

El sentido de giro del motor y decide el tipo de operación del sumador-restador.

Además, en este restador se genera la señal C_4 que controla de la resta ($|Z|$) va directamente al comparador digital. temporal que es habilitada por la señal ENTER. El resultado posición anterior la cual está almacenada en la memoria la posición cero. Esta etapa resta la posición nueva de la el usuario cambie su referencia la cual estará siempre en cantidad en grados que se moverá la antena, para evitar que completo que tiene la función de obtener la verdadera ENTER esta en alto. Esta palabra (X) entra al restador colocar la palabra a la siguiente etapa cuando la señal seleccionar cual de las dos entradas estará habilitada y encuentra un separador de entradas cuyo objetivo es computador, y por un teclado independiente. Luego se esta compuesta por una interfase, que está conectada al En el diagrama puede observarse que la entrada de datos

2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

En general, el sistema funciona de la siguiente manera:

2.2.1 ENTRADA DE DATOS.

La entrada de datos puede hacerse de dos maneras:

- a) A través de un computador por medio de una interface.
- b) A través de un teclado independiente.

2.2.1.1 Interface.

La interface está basada en IC 8255A y es una PPI (Interface Programable de Periféricos). Este circuito consta de 3 puertas de entrada-salida programables, o sea que podemos configurarlos como entrada o como salida dependiendo del Byte de control.

En el capítulo I, que trata de la información de los componentes que más se utilizan en un servosistema, se describió la forma de configurar éste IC .

2.2.1.2 Teclado (tablero).

El sistema es el mostrado en la Fig. 2.2a. El teclado es el segundo punto para el acceso de datos, en donde se coloca el número en grados, que va a ser procesado. La pulsación de cualquier interruptor (numerados del 1 al 9), genera una pulsación (cero lógico) dirigidas hacia las entradas del 74147 las cuales se activan con lógica negativa. Las salidas del 74147 son negadas en código BCD, por lo que se colocan 4 inversores (7404), para obtener el dato deseado, este dato entra a dos circuitos integrados :

- 1.- En una compuerta NOR de 5 entradas (74260) junto con el conectar que viene del número 0. Con cualquiera de las entradas del 74260 que sea 1 lógico se obtendrá una variación de 1 a 0 que activa al IC74122, el cual está configurado para dispararse con borde de caída de la señal de entrada para generar un pulso a la salida.
- 2.- Este dato BCD, que representa el número a accesar, entra a un 74175 que consta de cuatro flip-flop D, las salidas de estos cuatro flip-flop se unen a otros dos 74175 cuyas salidas irán desplazándose secuencialmente de acuerdo a las pulsaciones del 74122, estas salidas se encuentran conectadas al TIL 311, donde puede visualizarse el dato de entrada (de 0° a 180°).

Existen también otros elementos a este sistema como son:

- Una tecla RESET, la cual se encuentra conectada al CLEAR de todos los flip-flop D lograndose con esto el borrado de los dispositivos y la inicialización del sistema. Además de estos elementos se incluye una tecla de ENTER, la que determina la introducción de los datos de entrada a la memoria con la consiguiente obtención de la salida digital.

Para separar la entrada del teclado independiente de la teclado de la computadora se utilizan dos transeiver IC74244, cuyas salidas están unidas a las entradas de un latch IC74100 que sirve para enclavar el valor de la entrada mientras se esta moviendo la antena. El circuito se muestra en la fig. 2.2b.

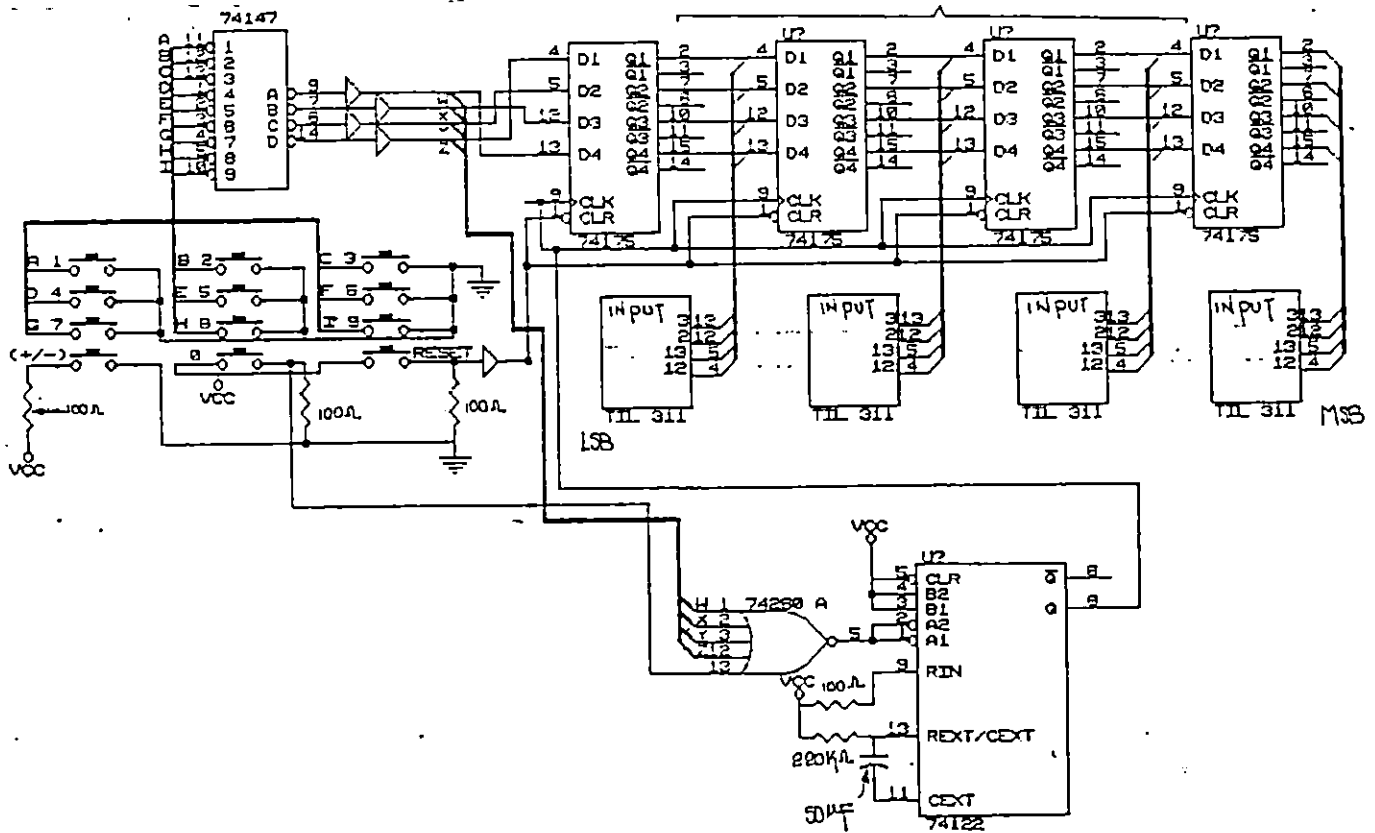


Fig. 2.2a Entrada de datos (Teclado)

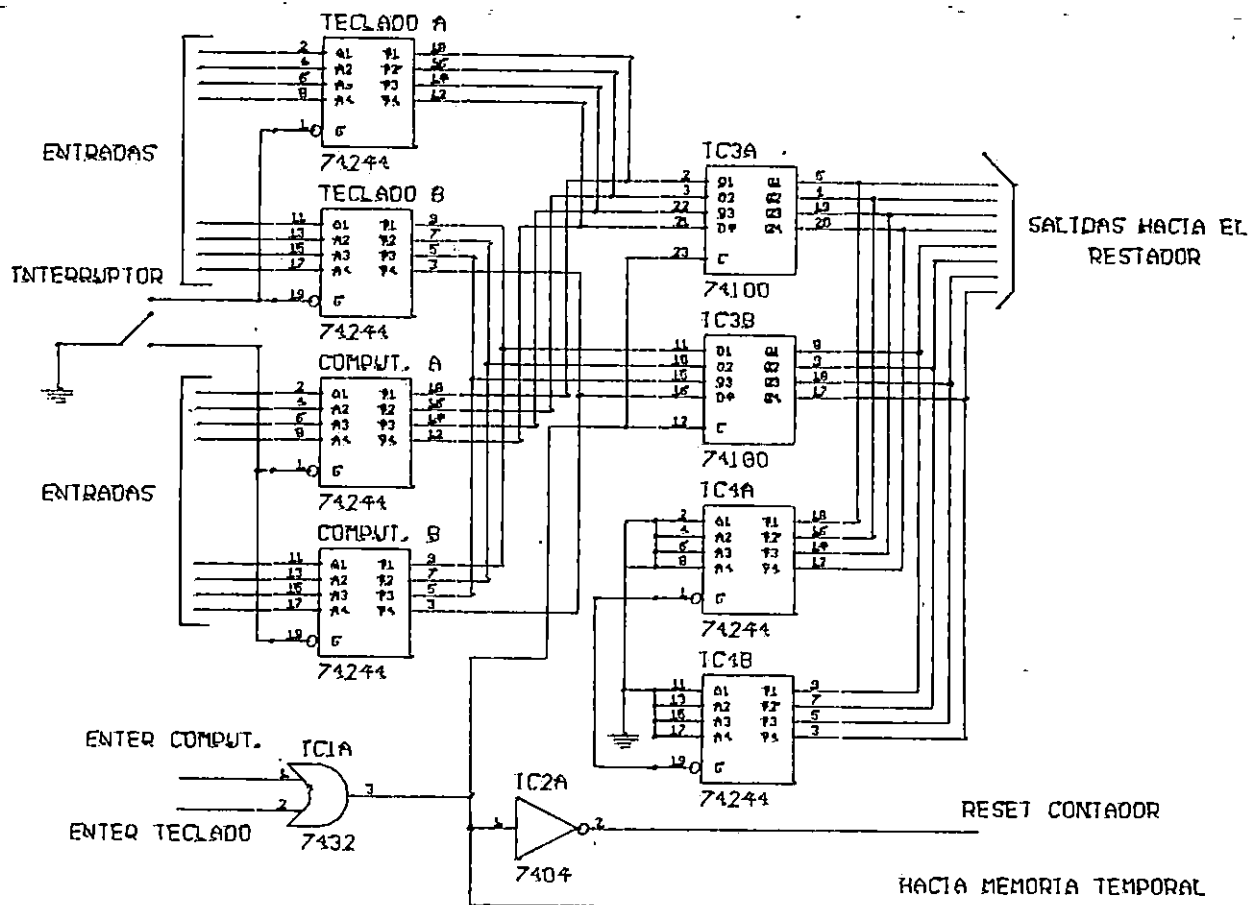


Fig. 2.2b Seleccinador de teclado y computadora.

2.2.1.3 Convertidor de BCD a BINARIO.

El concepto fundamental en este caso para utilizar una memoria como convertidor de BCD a Binario, es obtener una combinacin adecuada de bits de la salida BCD de los 74175 (flip-flop D), para el cual se memorize el dato binario equivalente.

El diagrama esquemtico de conexin de la memoria EPROM 27321 se muestra en la figura 2.3.

Como puede observarse en la figura el bit menos significativo no se introduce al direccionamiento de la memoria, esto se debe a que este bit coincide en el cdigo

BCD y en el BINARIO. Luego la memoria puede ser programada siguiendo el siguiente algoritmo:

- 1.- Asumir hexadecimal el BCD de entrada y dividirlo entre dos (2).
- 2.- De la mitad obtenida del BCD de entrada, tomar solo la parte entera.
- 3.- El número obtenido en el numeral (2) es el dato a guardar en la dirección especificada en el numeral (1).

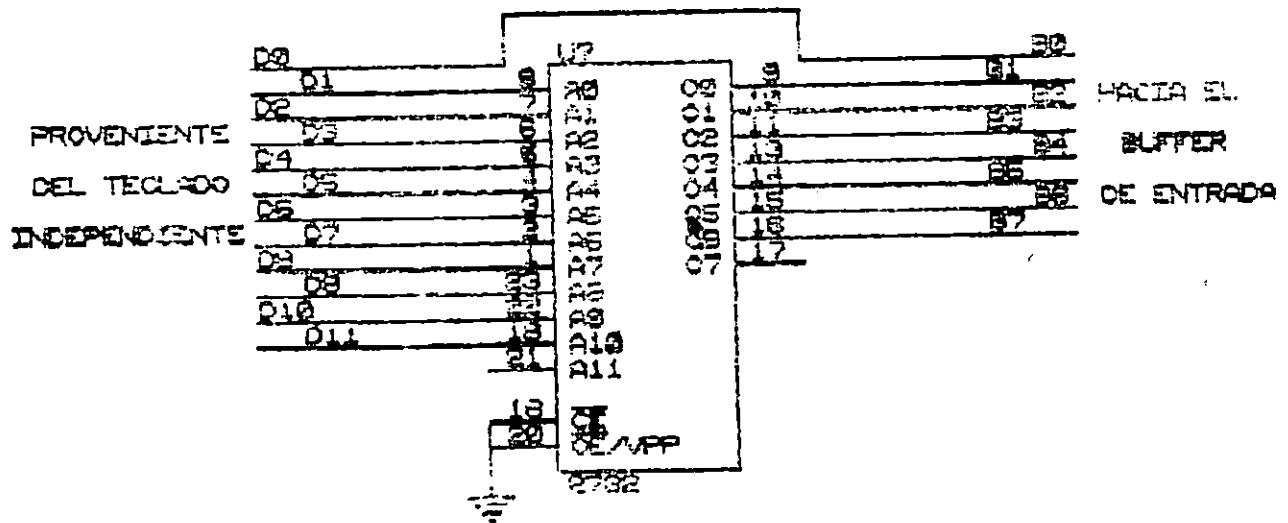


Fig. 2.3 Convertidor de BCD a binario.

Es importante aclarar que para las direcciones BCD jamás se obtendrán cantidades hexadecimales como: A, B, C, D, E y F, esto implica que habrán localidades de memoria sin utilizar.

Las salidas de este circuito van conectadas a un separador para compartir el Bus de datos con el teclado, para que en determinado momento puedan introducirse datos desde el computador o desde el teclado independiente.

Para separar los números negativos de los positivos se usa un buffer transceiver constituido por dos circuitos 74244. Los cuales se activan por medio de C4 que es generado por el primer arreglo de sumadores el cual puede ser 1 o 0 dependiendo de del contenido a las entradas de al restador.

El cero se logra poniendo a tierra las entradas B de los sumadores.

$$-Z = Z + 0 + 1$$

Para lograr esto solo se necesita complementar a uno y luego sumar uno; así:

En la primera parte de este circuito (parte punteada) podemos verificar que se hace una suma binaria en complemento a dos o sea que la palabra binaria X se suma en forma binaria con la palabra Y complementada, siendo el resultado $Z = X + Y + 1$, este resultado no es mas que una resta, $Z = X - Y$ como este resultado puede ser positivo o negativo entonces tenemos que: cuando $X > Y$ el número es positivo y cuando $X < Y$ el número es negativo. Cuando se presente el caso en que $X < Y$ el resultado se encuentra en complemento a dos y es necesario volver a complementar en dos. Para ello se utiliza un sumador del mismo tipo (IC 74283), con la diferencia que ahora solo necesitamos el complemento a dos.

Para lograr esto solo se necesita complementar a uno y luego sumar uno; así:

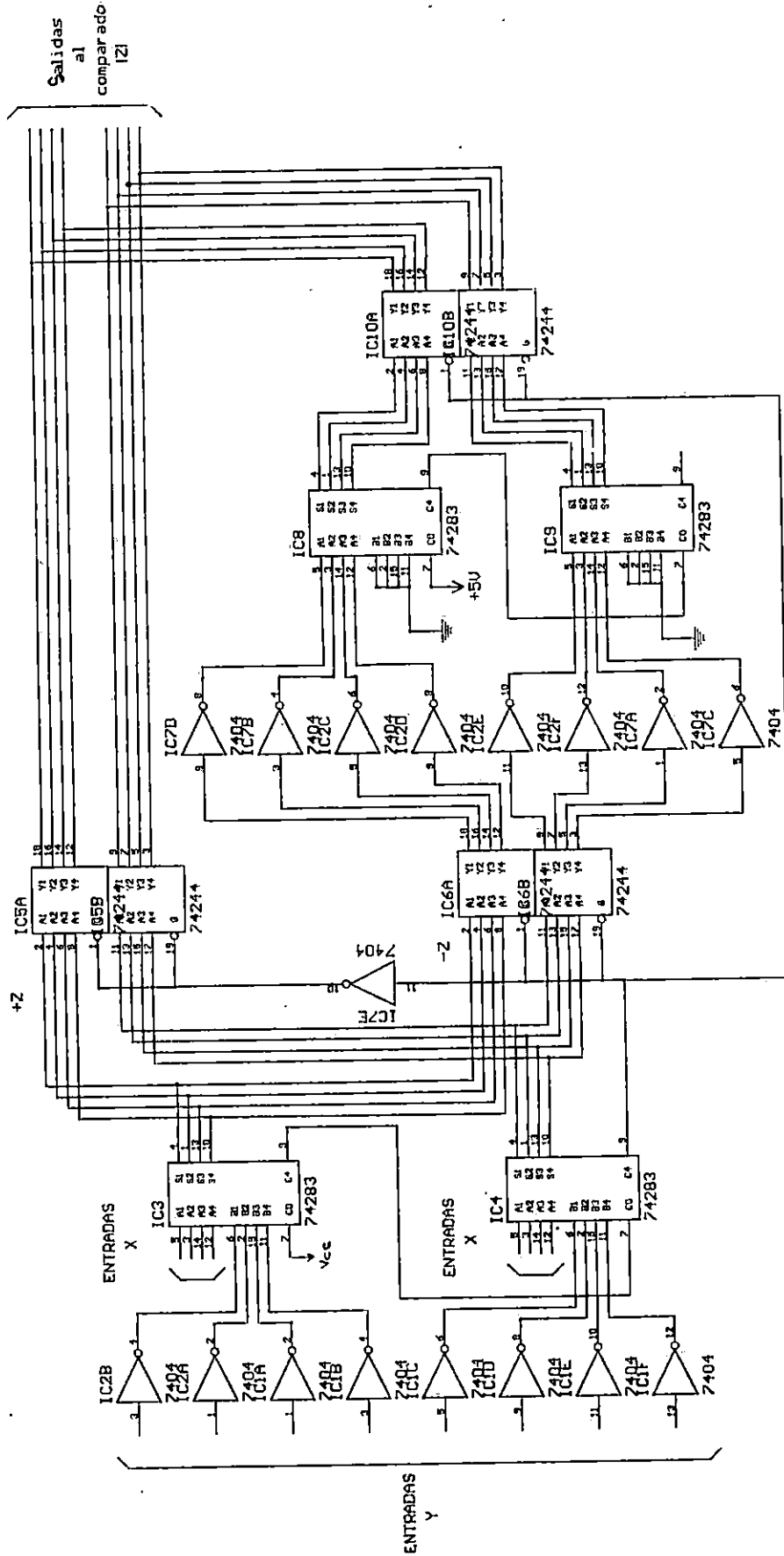
Como puede observarse en la figura 2.4, este circuito está compuesto básicamente por sumadores IC 74283 que son sumadores binarios de cuatro bits conectados en cascada para lograr sumar palabras de ocho bits. La tabla de verdad del IC 74283 se presenta en la tabla 2.1, donde podemos observar el comportamiento lógico de este sumador y como conectarlo en cascada.

El funcionamiento de este circuito es muy sencillo y se basa en la suma binaria en complemento a dos.

El circuito de la figura 2.4 muestra la configuración de este restador. Las entradas A de este circuito se alimentan por medio del teclado y por medio de la interfaz del puerto paralelo del computador; en las entradas B el valor de referencia proveniente del circuito de memoria (que se describe en secciones posteriores).

Este debe tener la característica de restar dos números binarios. Además el resultado debe ser un número en código binario; el resultado de dicha resta es con acarreo.

2.2.2 RESTADOR COMPLETO.



Salidas
al
comparado
12)

Fig. 2.4 Restador Completo.

Las salidas de este restador se ponen a las entradas A del comparador. También el acarreo C4 se utiliza para invertir el giro de el motor por lo que se conecta a la entrada del circuito de inversión de giro. Carry cuatro (C4) también controla los datos provenientes del contador que se van a procesar para almacenarse en la memoria.

2.2.3 COMPARADOR DIGITAL

Este módulo lo que pretende es comparar dos palabras binarias de ocho bit.

Las entradas A de este comparador se conectan con las salidas del restador y las entradas B se conectan directamente a las salidas Q del contador.

Para construir este modulo se utiliza el IC 7485 que es un comparador binario de magnitud cuya tabla de verdad se presenta en la tabla 2.2

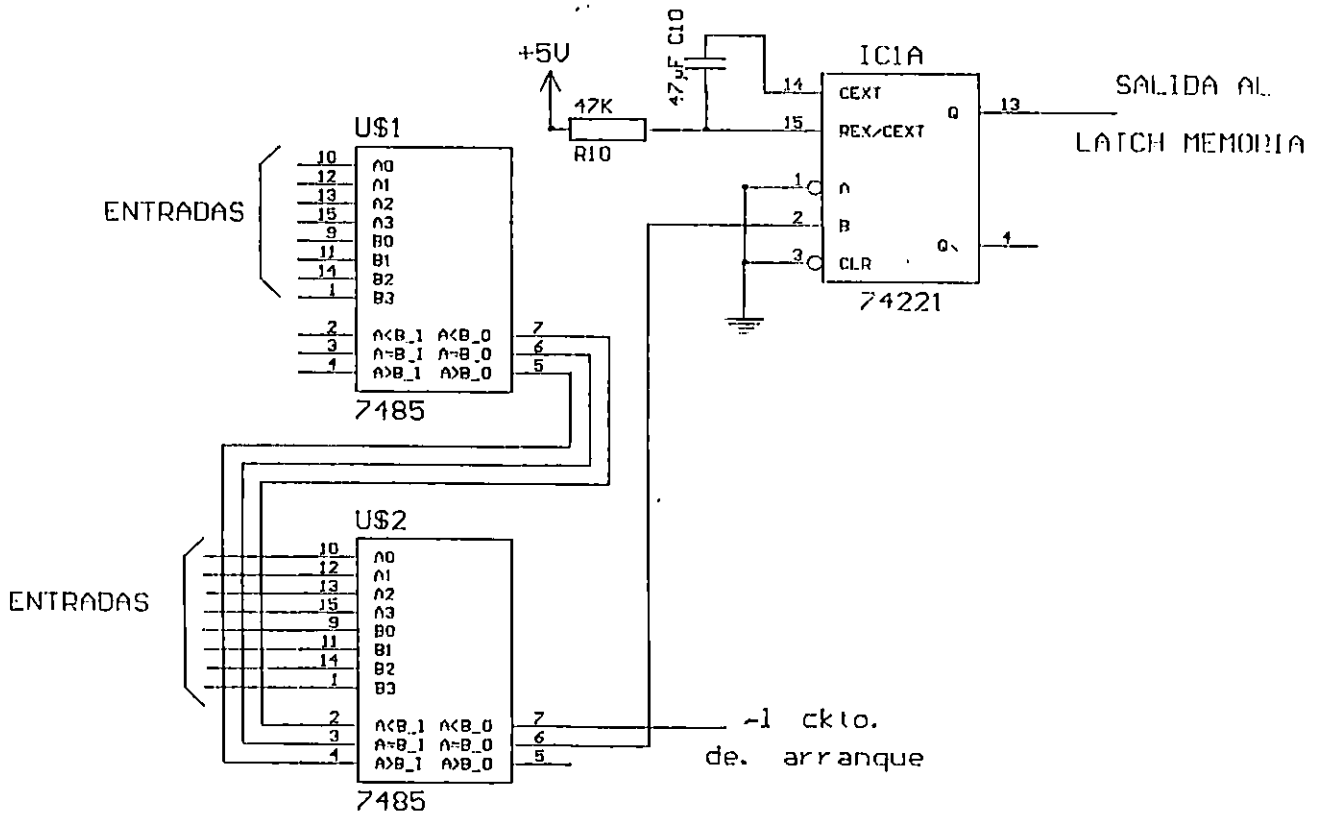


Fig. 2.5 Comparador digital y One' shot.

El 7485 es comparador de magnitud que puede comparar dos números binarios de cuatro bits, teniendo tres salidas $A > B$, $A < B$ y $A = B$ lo que permite tener tres líneas de control. Este CHIPS también posee tres entradas $A > B$, $A < B$ y $A = B$ que permiten conectarlo en cascada para poder comparar palabras mayores de cuatro bits.

En nuestro caso solo necesitamos dos CHIPS ya que solo se esta trabajando con palabras de ocho bits.

El circuito se muestra en la figura 2.5 y su funcionamiento es el siguiente:

- 1.- Cuando la palabra binaria A es mayor que la palabra B ($A > B$), entonces el pin 7 ($A > B$) se pone en alto .
- 2.- Cuando $A = B$ entonces el pin 6 ($A = B$) se pone en alto.
- 3.- Si $A < B$ el pin 5 ($A < B$) se pone en alto.

En los casos anteriores solo un pin se activa a la vez para cada condición.

La salida $A > B$ de este circuito se conecta al circuito de arranque del motor. También se utiliza la salida $A = B$ para activar el circuito de memoria. Este se introduce a un ONE SHOT para generar un pulso de almacenamiento.

2.2.4 CIRCUITO DE ALMACENAMIENTO DE LA REFERENCIA DEL SISTEMA.

En el sistema se hace necesario almacenar la última posición de la antena, ya que si esto no se hiciera se perdería la referencia y el sistema no seria capaz de darse cuenta en que posición se encuentra la antena.

Para solucionar este problema se construyó el circuito que se presenta en la fig. 2.6.

Este circuito esta compuesto por las siguientes etapas:

1. Un sumador restador.
2. Una memoria permanente.
3. Una memoria temporal.

Cada uno de estas etapas se explicará a continuación.

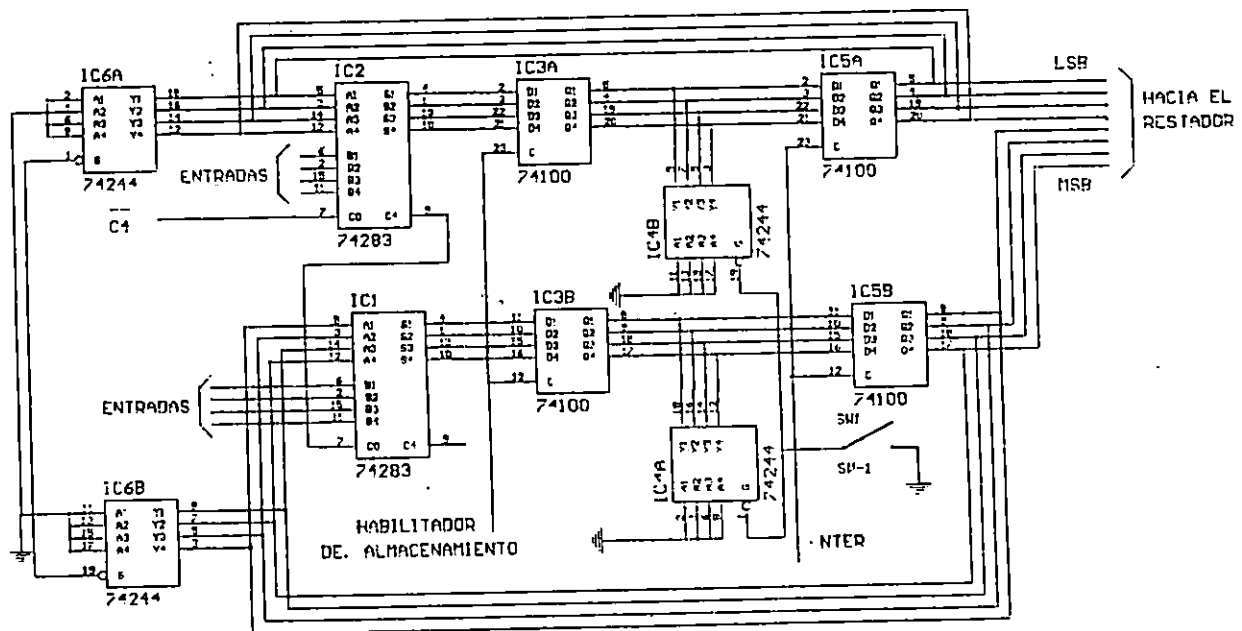


Fig. 2.6 Almacenamiento de la posición verdadera de la antena.

2.2.4.1 Sumador restador

Este circuito es muy similar al circuito restador total, se trata de dos 74283 conectados en cascada para formar un sumador de ocho bits. Las entradas A de este circuito son provenientes de la memoria temporal y las entradas B son provenientes del contador binario para guardar en la memoria permanente solamente el valor que en realidad se ha movido la antena. Las salidas del contador pueden ser las Q o las Q negadas debido al inhibidor compuesto por compuertas AND y OR las cuales están controladas por C4 y C4 negado lo que le permite a este circuito sumar o restar. Si el C4 es cero el contenido de la memoria temporal es mayor que la palabra de entrada al restador total, entonces es necesario efectuar una resta, y el inhibidor deja pasar las Q negadas del contador binario, además el CO del sumador es uno y se efectúa la resta en complemento a dos. De lo contrario el inhibidor deja pasar el contenido de las Q del contador, y junto con CO que en este caso es cero para efectuar una suma binaria normal.

El circuito de esta etapa se presenta en la figura 2.6 en el que no aparece el inhibidor (Fig. 2.7) ya que éste se incluye por facilidad en el circuito del contador.

En este circuito cuando se tiene el caso de una resta no es necesario tener un circuito para sacar el complemento a dos al resultado ya que el contenido de la memoria temporal siempre es mayor que el contenido del primer conteo del contador binario, ya que este siempre comienza de cero y termina en el valor igual $|Z|$ que es la diferencia de la palabra de entrada y el contenido de la memoria permanente que en este caso a pasado a la memoria temporal.

2.2.4.2 Memoria permanente.

El objetivo de este circuito es almacenar en forma permanente el contenido de la posición última de la antena.

Esta memoria consiste en un LATCH 74100 para atrapar el valor de la posición real de la antena cuando el pulso proveniente del ONE SHOT aparece. La señal de entrada del ONE SHOT proviene de la salida del comparador que corresponde a $A=B$ que indica cuando se ha terminado una operación.

La alimentación de éste IC se hace por medio de una fuente independiente a la de todo el sistema, por si hay falta de energía, para que no se pierda el valor del contenido de el LATCH. Esto se logra interconectando las dos fuentes por medio de diodos como se muestra en la figura 2.9, con el objetivo de que no se pierda el verdadero valor de la posición de la antena.

2.2.4.3 Memoria temporal.

La memoria temporal se usa debido a la necesidad de mantener por un tiempo el valor de la palabra que se encuentra en la memoria permanente mientras se ejecuta la operación correspondiente en el sumador-restador y para inicializar nuestro sistema con una entrada igual a cero utilizando el buffer evitando en ese momento que la señal $A>B$ este activada.

Además de lo anterior este LATCH mantiene enclavada la palabra que va a la entrada del restador; así como también la palabra que entra al sumador restador.

La señal que controla la transferencia de información a través de este LATCH es la señal ENTER que se activa

siempre que se introduce un numero al sistema ya sea por la computadora o por teclado.

2.2.5 CONTADOR y TRANSDUCTOR DE MOVIMIENTO.

El circuito contador es el que se muestra en la figura 2.7 junto con el transductor de posición. El objetivo de esta etapa es detectar los cambios en la posición de la antena para que esta sea comparada con la de entrada para sacar el valor real que debe moverse la antena. El contador puede contar hasta $2^8 - 1$ ya que posee 8 flip-flop donde se puede contar los grados que mueve la antena teniendo un rango de 0 a 255 utilizando en este caso solo desde 0 hasta 180 ya que el ángulo de elevación varia en ese rango. Si se quiere contar en medios grados el rango disminuye siendo para el caso de 0 hasta 127.5, este rango es reducido pero podemos movernos con mas exactitud a los satélites que deseamos sintonizar.

2.2.5.1 Funcionamiento del contador

Este circuito no es mas que un contador asíncrono o de rizo que esta compuesto de 8 flip-flop. Las pulsaciones de salida del transductor de posición son conectadas directamente a la entrada CLK del primer flip-flop y hacen que éste cambie su estado cada vez que ésta va de alto a bajo.

Las salidas del primer flip-flop se conecta a la entrada CLK del segundo flip-flop haciéndose esto para todos los restantes. Los pulsos provenientes del transpuesto no son cuadrados por lo que se hace necesario utilizar un IC con inversores SMIT TRIGGER para hacerlos cuadrados.

Como puede observarse en la figura aparece un conjunto de compuertas AND y OR que no es mas que un inhibidor para poder controlar las salidas de este contador que pueden ser las Q o las Q negadas para que se pueda sumar o restar en la etapa de almacenamiento de la referencia. Las salidas Q de esta etapa están conectadas directamente a las entradas del comparador.

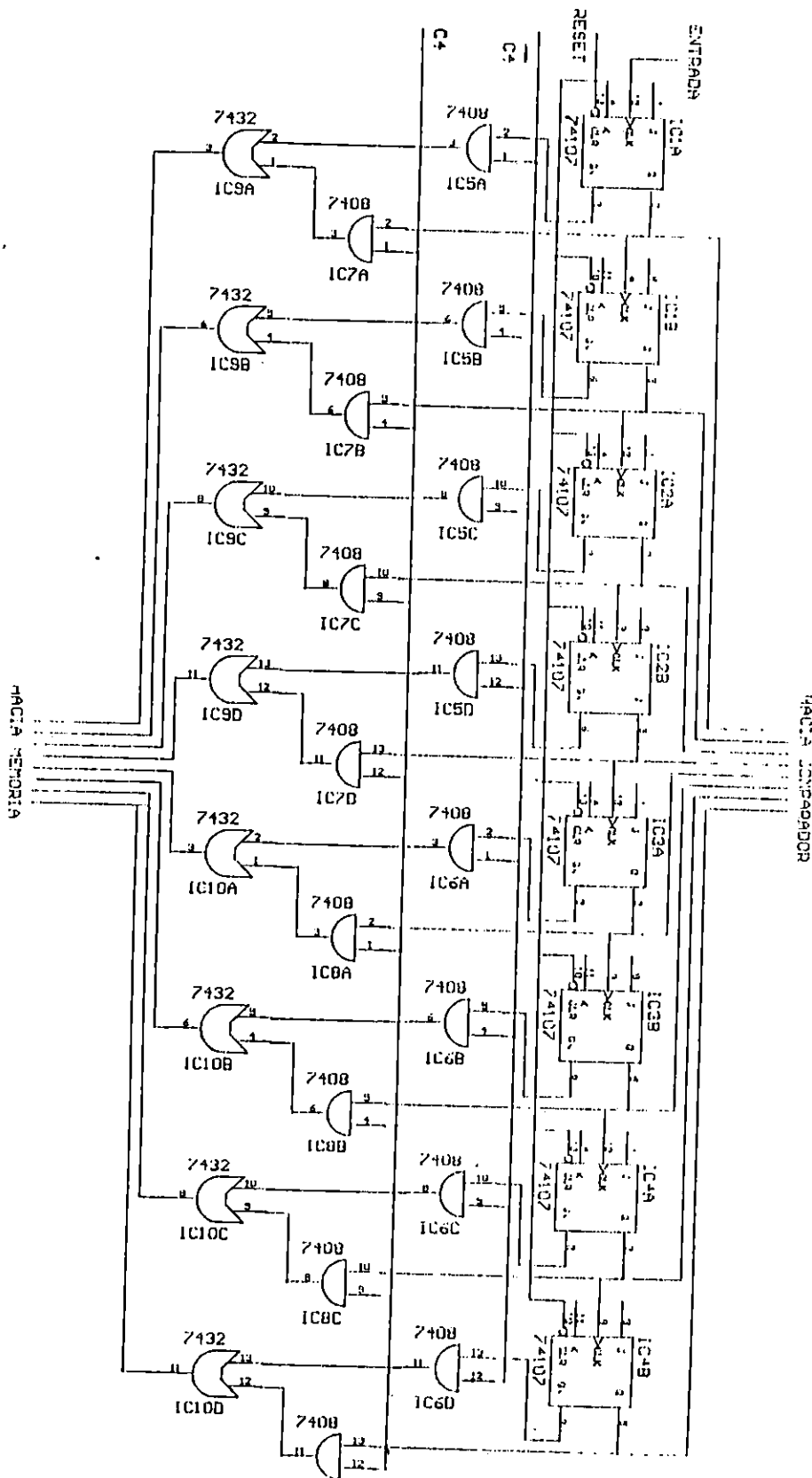


Fig. 2.7 Contador Binario.

2.2.5.2 El Transductor.

En el capítulo I se describieron diferentes tipos de transductores los cuales se pueden usar para detectar el error en la posición sin embargo, estos se usan dependiendo de la filosofía del diseño, en nuestro caso el transductor se eligió el tipo óptico ya que éste es completamente digital y se conecta de manera que pueda generar pulsos cuando la posición de la antenna sea modificada.

Se trata de un opto-acoplador conectado de manera que genere pulsos al interrumpir la luz que es emitida por un diodo emisor de luz (LED) y éste acciona al transistor para que trabaje en dos estados: saturación y corte. Cuando el transistor está en corte, es por que la antenna se ha movido un grado (esta dependerá si cuenta grado a grado), es decir a la salida tenemos 5 volts. y si está en saturación la salida es 0 volts.; o sea no envia pulso al contador.

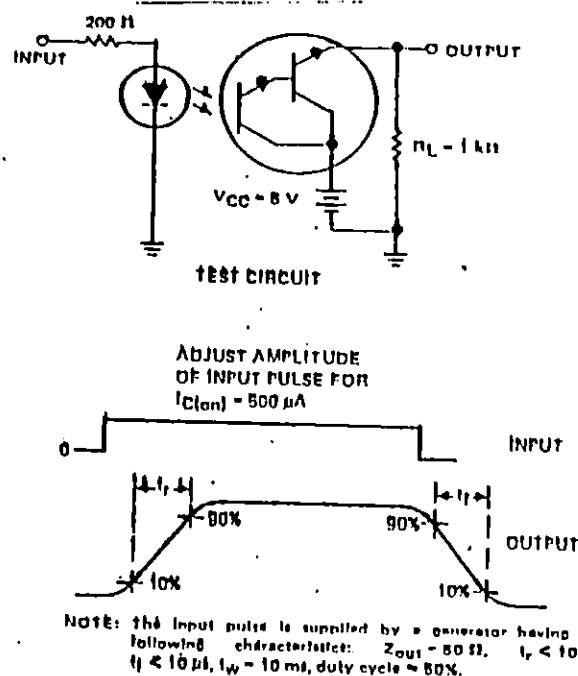


Fig. 2.8 El transductor y su polarización.

2.3 INICIALIZACION DEL SISTEMA

En esta parte se describe como el sistema comienza a trabajar. El objetivo de esta etapa es para que cuando el sistema se encienda no se provoque movimientos inestables

debidos al arranque. Estos movimientos pueden ser causados por:

- 1.- Al arrancar el sistema aparezca una palabra a la entrada proveniente de los LATCHS que están controlando la entrada, ya que estos ponen valores al azar en su salida al momento de energizarse debida a que estos están contruidos con circuitos multivibradores. Este problema se resuelve utilizando buffers que pongan a tierra las salidas de estos dispositivos en el momento de encendido.
- 2.- Otro problema se da con el contador binario ya que este también esta contruido por elementos almacenadores de energía y estos ponen un valor al azar al ser energizados. Este problema se soluciona conectando al pin de limpiado (clear) de los flip-flop una red RC con una constante de tiempo de unos milisegundos. Estos circuitos de inicialización deben ser utilizados ya que sin estos el sistema no arrancaria de una forma correcta, debido a todos los circuitos que almacenan energía que se incluyen en el sistema.
- 3.- El circuito de memoria, además de estar contruido por elementos que almacenan energía, también está alimentado por una fuente diferente a la del sistema lo que produce una inestabilidad al desconectar la fuente del sistema, ya que el habilitador de este circuito proviene de un ONE_SHOT que esta alimentado por la fuente del sistema. Entonces este pin quedaria en alta impedancia cuando se desactive la fuente del sistema. Como las entradas del LATCH son altas activas tomaria esta como un estado alto y el LATCH estaria listo para dejar pasar el dato que esta en la entrada. Este problema se resuelve poniendo un contacto normalmente cerrado entre este pin y tierra asegurando con esto que cuando la fuente del sistema se desconecte en este pin exista un estado bajo quedando el LATCH deshabilitado. También se conecta un capacitor en paralelo con el contacto normalmente cerrado para evitar las cambios bruscos de voltaje.

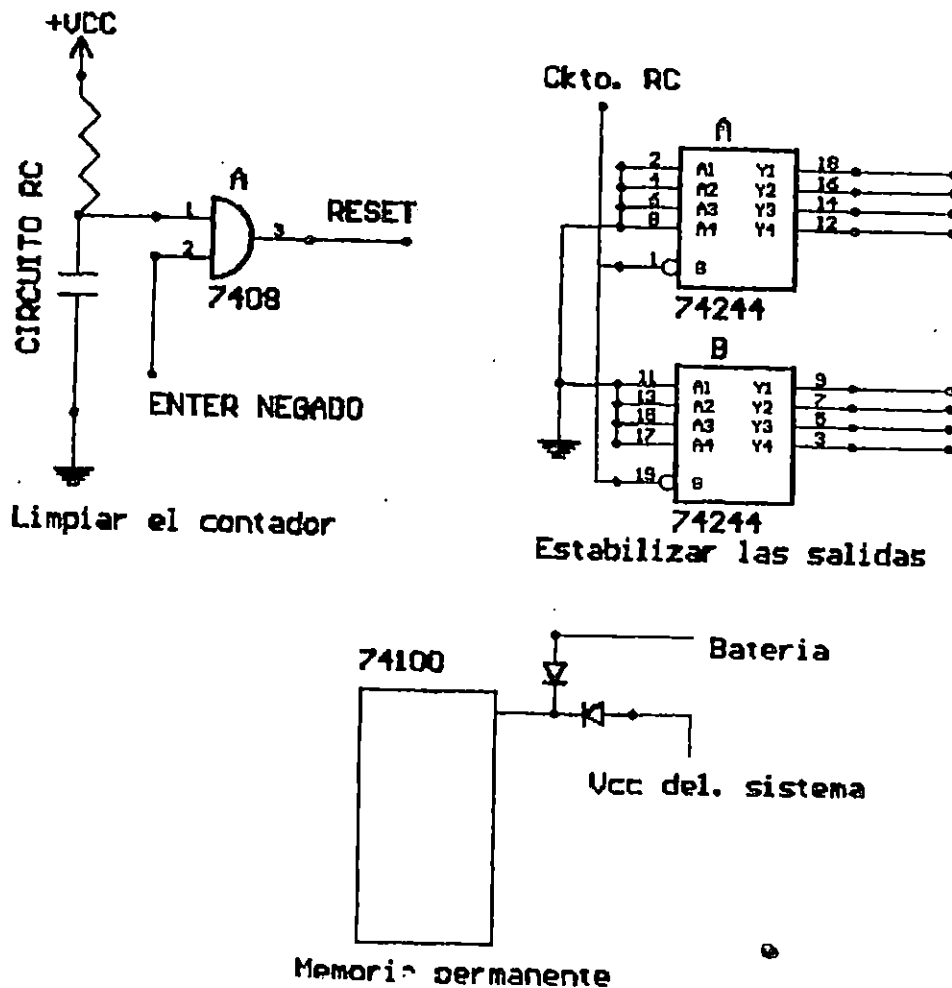


Fig. 2.9 Cktos. de inicialización del sistema.

2.4 EL MOTOR

El motor se puede elegir dependiendo de la carga a mover. En el caso de manejo de antenas, generalmente se utilizan motores de baja potencia ya que las cargas a manejar son ligeras.

En nuestro caso se utilizó un motor de excitación independiente de imán permanente ya que éste se puede arrancar sin necesidad de un circuito adicional de arranque.

En el capítulo I se presentan algunos tipos de motores de corriente continua y sus características.

2.4.1 CIRCUITO DE ARRANQUE.

El circuito de arranque es muy sencillo ya que éste se trata del encendido y apagado del motor. Se trata de un relé manejado por un transistor que es controlado por la

salida A>B del circuito de control, como se muestra en la figura 2.10.

En caso de que se utilice un motor que no sea de imanes permanentes es necesario diseñar un circuito de arranque para proteger el motor. Esto se hará dependiendo de las características del motor.

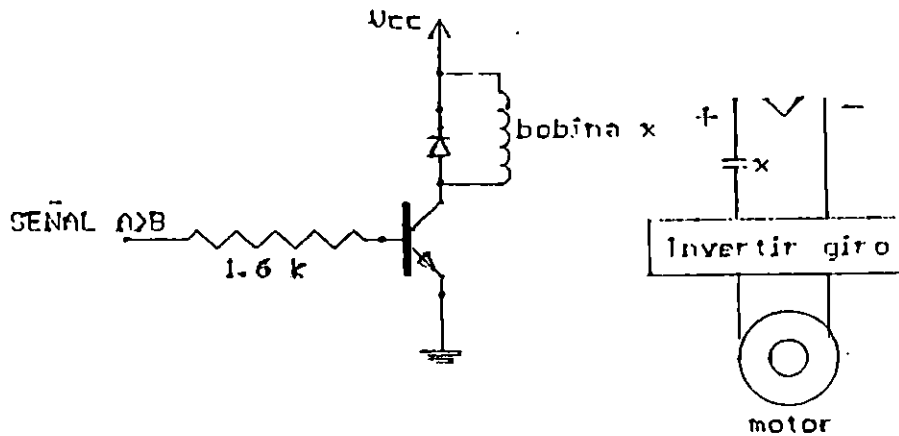


Fig. 2.10 Circuito de arranque.

2.4.2 CIRCUITO DE INVERSION DE GIRO.

El circuito se muestra en la figura 2.11, como puede observarse, consta de un transistor y un relé el cual es activado cuando se produce un estado alto en la base del transistor; esta entrada es controlada por C4 que proviene del restador completo el cual nos indicará hacia donde se debe mover el motor (horario o antihorario).

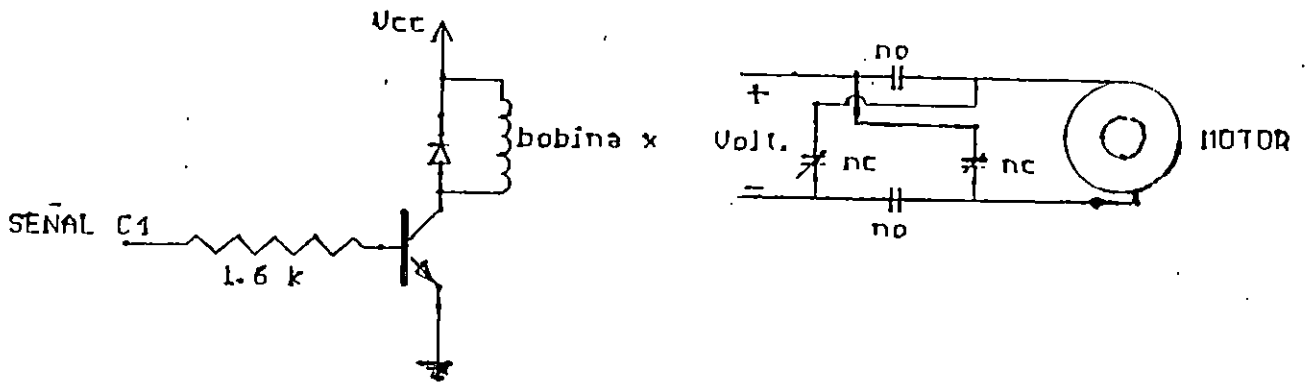


Fig. 2.11 Circuito de inversión de giro.

2.5 SOFTWARE UTILIZADO

El software utilizado es el lenguaje de programación turbo pascal, por ser mas conocido y por su facilidad de manejar el puerto paralelo. La forma de configurar la interfase es con la instrucción Port[\$3EC]:={contenido decimal del dato que se requiere a la salida del interfase}.

Y para poner una palabra en la salida de la interfase se hace con la instrucción Port[\$3ED]:= direcciona al puerto B.

En el capitulo I se presenta más información sobre ésta interfase y sus modos de operación. El byte de control que sirve para configurar el puerto se direcciona con la instrucción Port[\$3EF]:={palabra de control}. (Consultar cap.I).

2.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMPLETO

En esta sección se explicará el funcionamiento del sistema completo y se observaran sus limitaciones. Esto se hará partiendo de la entrada (palabra binaria) hasta la salida (movimiento de la antena).

- 1.- Cuando aparece una palabra binaria en la entrada proveniente del teclado independiente o de la computadora esta pasa directamente a la entrada del restador el cual resta la palabra de entrada con la palabra que se encuentra en la memoria. Si la antena esta en la posición cero entonces esta palabra de la memoria será cero. La diferencia de esta suma puede ser positiva o negativa dependiendo de el contenido de la memoria. La diferencia y el signo de esta resta determina la posición que en realidad debe moverse la antena. Además si la diferencia es positiva indica que la posición inicial es menor que la posición final y si la diferencia es negativa la posición final es menor que la inicial. Lo anterior indica que hay que mover la antena en dos sentidos por lo que hay que invertir el giro de el motor. En este restador se tiene como resultado de la suma una diferencia y un acarreo, éste puede ser uno o cero, si es uno el resultado es negativo y si cero el resultado es positivo. Este acarreo se utiliza para controlar el sentido de giro del motor.
- 2.- La diferencia obtenida en el restador es comparada con el contenido del contador binario. El resultado de esta comparación puede ser:

4.- Este sistema puede mover una antena grado a grado desde cero a ciento ochenta grados. Si se desea mover en proporciones menores sería necesario modificar el transductor, haciendo que la parte mecánica a utilizar de nueva más rápido o más lento y para que este pueda enviar pulsos en posiciones menores o mayores de un grado, además sería necesario modificar el software para que los datos a introducir se hagan en esas proporciones.

3.- Cuando la antena ya se ha movido a la posición requerida se produce el pulso del ONE SHOT que le indica a la memoria que guarde el valor real de la posición. Este valor se obtiene de una operación ya sea suma o resta, el cual dependerá de la posición inicial. Cuando se va a ejecutar una operación de movimiento el contenido de la memoria permanente se pone a la entrada del restador a través de la memoria temporal la cual se habilitará por medio de la señal de ENTER que proviene del computador o del teclado independiente lograndose con esto que la entrada del restador se encuentre en cero al encender el sistema. Además asegurará que el contenido a almacenar sea el correcto ya que la palabra anterior se encuentra almacenada en este dispositivo (memoria temporal).

envía pulsos ya que están directamente acoplados.

binario, y si el motor esta parado el transductor no a que el transductor gobierna directamente al contador motor se para y no se producirá ningún conteo más debido igual a la salida del restador ya que cuando $A=B$ el cero y se detendrá cuando el contenido del contador sea nuestro caso ya que el contador comenzará a contar desde la salida del restador. Esta condición no se tendrá en (c) $A < B$ indica que el contenido del contador es mayor que producirse otro pulso (cuando $A=B$).

del LATCH, manteniendose ahí hasta que vuelva a que el resultado del sumador-restador pase a la salida pulso producido por este habilita al LATCH MEMORIA para subida (de 0 a 1) evitando que se active al inicio. El esta configurado para activarse en una transición de detiene, además alimenta la entrada del ONE SHOT el cual estado alto se desactiva la línea $A > B$ y el motor se contenido del contador. Cuando esta línea pasa a un b) $A=B$ indica que la salida del restador es igual al del motor.

a) $A > B$ esto indica que la salida del restador es mayor mantendrá mientras el motor esta funcionando ya que un que el contenido del contador y esta condición se estado alto de esta línea activa el circuito de arranque

CONCLUSIONES

- La facilidad de manejo de la interfase así como la versatilidad de sus tres puertos facilitan la generación de las señales necesarias para el control del sistema.

- Debido al tipo de componentes utilizados en el diseño del sistema vuelve sencillo su comprensión y susceptible a modificaciones posteriores.

- El consumo total de potencia del circuito de control es muy bajo debido al tipo de dispositivos utilizados los cuales tienen una disipación de potencia en el orden de los miliwatts.

- Los problemas presentados en la implementación del circuito en tarjeta impresa (dado sus dimensiones físicas) dió origen a situaciones no previstas en el diseño teórico debido a que estas son producto de la experiencia de la cual no se tiene mayor información escrita.

- Debido a la separación de la etapa de control de la de potencia es posible utilizar cualquier tipo de motor siempre y cuando se modifique el arranque y su fuente de alimentación.

BIBLIOGRAFIA

Tocci, Ronald J.
SISTEMAS DIGITALES PRINCIPIOS Y APLICACIONES.
Traducido por: Juan Carlos Vega Fagoaga.
México D. F., México:
Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.
1988.

Texas Instruments Incorporated
THE TTL DATA BOOK
2a. edición.

CONCLUSIONES GENERALES

- El arreglo circuital que conforma el controlador es básicamente circuiteria digital (inversores, comparadores, sumadores, compuertas, etc.), la cual indica el manejo de señales TTL con gran exactitud, dando con esto gran precisión en el resultado del circuito.

- Los opto-acopladores debido a su versatilidad se utilizan para diversas aplicaciones en circuiteria analógica y digital para el aislamiento eléctrico entre etapas que poseen diferentes características eléctricas.

- Los mecanismos de engranajes como tornillos sin fin y cremalleras vencen la inercia de los elementos que estan conectados a ellos, además de transformar el par y la velocidad, por lo que el motor que maneja la antena no necesita ser frenado.

- Los comparadores digitales son mucho más estables que los comparadores analógicos, debido a que no necesitan ser ajustados.

A N E X O S

ESQUEMA GENERAL

