

26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
"CUAUTITLAN"

ACTUALIZACION DEL SISTEMA DE POTENCIA DE
LA MAQUINA UNIVERSAL AUCTOR MULTIPLEX
C. N. Z. 40 A/460 OLIVETTI

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

SAUL ARZOLA ALVAREZ



1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E T E M A T I C O

Página

I N T R O D U C C I O N	1
C A P I T U L O 1	
ANALISIS DE FACTIBILIDAD PARA DESARROLLO DEL PROYECTO.	
1.1 A N T E C E D E N T E S.	3
1.2 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO.	4
1.2.1 Sistemas Básicos del Auctor Multiplex C. N. Z. . 40A/460.	4
1.2.2 Características Principales del Auctor Multiplex.	5
1.2.3 Unidad de Gobierno del Sistema de Control Numérico.	9
1.2.4 Funciones Estándar del Auctor Multiplex C. N. Z. 40A/460.	9
1.3 PARTES INTEGRALES DE LOS SISTEMAS BASICOS DEL EQUIPO.	11
1.3.1 Sistema de Control Numérico.	11
1.3.1a Unidad Lógica.	12
1.3.1b Circuitos de Servocontrol de los Tres Ejes.	16
1.3.2 Sistema de Potencia.	18
1.3.3 Sistema Mecánico.	19
1.3.3a Descripción del Cabezal Principal.	20
1.3.3b Descripción de la Bancada.	20
1.3.3c Descripción del Cuerpo o Montante.	21
1.3.3d Descripción del Servicio de Lubricación.	21

C A P I T U L O 2

ESTUDIO DEL CONTROL DE POTENCIA.

2.1 ESTRUCTURACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA.	22
2.1.1 Funcionamiento del Sistema de Potencia.	23
2.1.2 Circuitos de Control de Potencia para el Banco de SCRs.	29
2.2 RELACION DEL SISTEMA DE POTENCIA CON LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO Y MECANICO	34

C A P I T U L O 3

DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA INTERFASE DE POTENCIA.

3.1 ENFOQUE DEL DISEÑO EN EL PROYECTO GLOBAL.	39
3.2 REALIZACION DE PRUEBAS PARA DESARROLLO DEL DISEÑO.	42
3.2.1 Pruebas Preliminares.	42
3.2.2 Prototipo de la Interfase de Potencia.	51
3.2.2a Tipos de Control de Carga.	51
3.2.2b Selección de Control Cosenoidal para el Prototipo.	54
3.2.2c Prototipo de Control de Disparo para 30 ° < α < 150 °.	60
3.3 INTERFASE DE POTENCIA.	68
3.3.1 Resumen del Diseño Integral.	68
3.3.2 Descripción de Bloques del Diseño Integral. ..	71

3.3.3	Análisis de Respuesta del Diseño de la Interfase de Potencia.	87
3.3.4	Resultados Experimentales y Comportamiento Teórico.	93
	CONCLUSIONES.	101
	GLOSARIO.	
	BIBLIOGRAFIA.	

" Dios no juega a los dados
con el Universo "

A. Einstein.

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

Con la idea de participar en la investigación de proyectos de desarrollo y optimización de equipamiento del sistema educativo de los Institutos Tecnológicos, el presente trabajo se enfoca precisamente a optimizar desde el punto de vista funcional, la máquina herramienta universal Auctor Multiplex C.N.Z. 40 A/ 460 de Olivetti.

En las últimas tres o cuatro décadas, nuestro país ha intentado formar una planta productiva con mejor competitividad en el extranjero; por ésto, dentro de los planes y programas educativos, en la década de los sesentas se dotaron a los planteles de este sistema educativo, de equipo importado para fines didácticos que brinadaran una formación educativa aprovechable en este sentido.

En esa época, este equipamiento fué de gran apoyo, pues contribuyó para formar técnicos profesionales para tener a mediano plazo una infraestructura industrial para dar mayor auge al desarrollo económico del país.

En base a esta premisa, se optó, por dar mayor apoyo a la investigación en este tipo de proyectos. Particularizando, la máquina universal Auctor es muy completa en el aspecto de

diseño y fabricación, la cual opera por control numérico, siendo capaz de maquinar dos piezas idénticas de un determinado diseño, llámese engrane, leva, flecha, etc.

Estas funciones las desarrolla con un buen grado de precisión, debido a que opera por medio del sistema de control numérico Zig-Zag (C.N.Z.) con introducción de datos programados por cinta perforada de papel.

Para la época en que fue obtenida esta máquina herramienta, resultó ser una buena innovación, pero a la fecha, con los adelantos tecnológicos en cuanto a control numérico se refiere, el sistema que tiene, es ya obsoleto y por ende lejos de dar la funcionalidad que pudiéser tener actualizando sus sistemas. Cabe mencionar que el equipo no funcionaba por ser incosteable el mantenimiento correctivo que requería, teniendo en cuenta que son alrededor de doce centros de maquinado de este tipo que existen en los Institutos Tecnológicos.

El objetivo del tema es poner de manifiesto la seriedad del profesionista para colaborar en estos proyectos, participando en forma consciente en el desarrollo tecnológico que cada vez es más oportuno para nuestro país.

C A P I T U L O 1

ANALISIS DE FACTIBILIDAD PARA DESARROLLO DEL PROYECTO.

1.1 ANTECEDENTES.

Las máquinas herramienta "Auctor Multiplex C.N.Z. 40 A/ 460" de Olivetti, fueron dotadas a los Institutos Tecnológicos aproximadamente hace veinte años. Mientras estos equipos tuvieron funcionalidad los primeros diez o quince años, apoyaron en la formación de técnicos para el desarrollo industrial. Pero en los últimos años, estos equipos representan pérdidas para el sistema educativo en cualquier aspecto, ya que son elefantes blancos de estas instituciones.

En el marco de la educación pública existe un organismo que en convenio con industrias de capital extranjero; se establecen apoyos a proyectos de desarrollo tecnológico en aspectos de investigación como es el caso de optimización de equipamiento didáctico con aplicación industrial.

En lo que se refiere al proyecto de optimización del sistema de operación del Auctor Multiplex, del cual está encargado el Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Chihuahua (C.G.I. - I.T.CH.) en coordinación con la empresa XOMOX de México, el proyecto consiste en

actualizar el sistema de control numérico, involucrando el rediseñar la parte de potencia con el diseño de los circuitos de interfase del nuevo control numérico empleado. El enfoque presentado se orienta al diseño del circuito de la interfase de potencia desarrollado, incluyendo también aspectos generales de los Sistemas de Control Numérico y Mecánico del equipo.

1.2 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO.

1.2.1 Sistemas Básicos del Auctor Multiplex C.N.Z. 40A/450.

1) Sistema de Control Numérico :

Está compuesto por lo que se denomina Unidad de Gobierno para el control numérico de los movimientos y servicios de la máquina herramienta (Figura 1-1).

2) Sistema de Potencia :

Está compuesto por el Armario Eléctrico que contiene los circuitos de potencia para la alimentación de los motores de avance y servicios de la máquina herramienta (Figura 1-1).

3) Sistema Mecánico :

Está constituido por el conjunto de componentes mecánicos para los movimientos de maquinado, la campana portaherramientas y mesa de trabajo (Bancada) Figura 1-1.

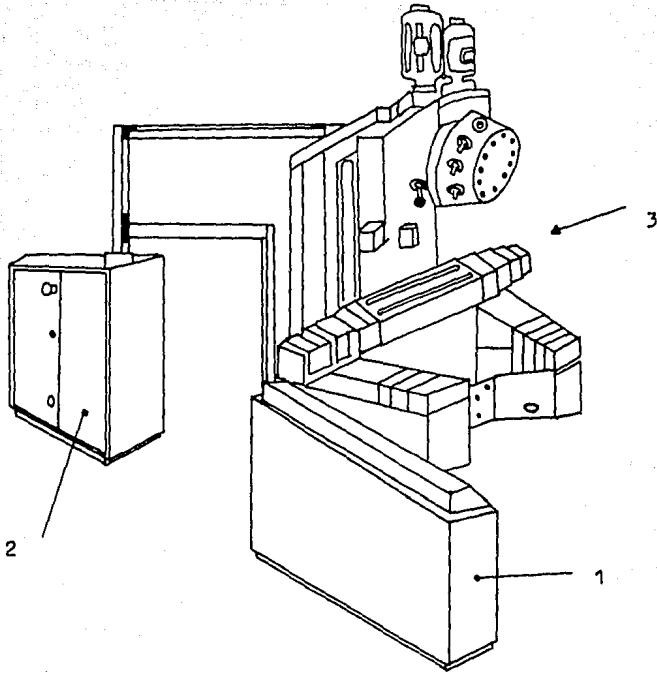


Figura 1-1 Sistemas Básicos del Auctor Multiplex C.N.Z. 40A/460 de Olivetti.

1.2.2 Características Principales del Auctor Multiplex.

- a) Control Numérico simultáneo y continuo de los ejes de movimiento X, Y, Z; en los cuales tiene desplazamiento la mesa de trabajo (Bancada).
- b) Trayectorias rectilíneas en el espacio, entre dos puntos programados en cualquier operación de maquinado.

- c) Trazos rectilíneos para la obtención de curvas en el espacio obtenidas mediante incrementos con tolerancia prefijada.
- d) "Cero Móvil", el origen de los ejes coordenados respecto a los cuales se posiciona la pieza, puede fijarse en cualquier punto de la carrera de los tres ejes con comandos independientes.
- e) Desplazamiento del "Cero" de 2mm por cinta en los ejes X o Y (función G50) de un número completo de pasos del transductor de posición lineal (Inductosyn).
- f) Desplazamiento del "Cero" de 8mm por cinta del eje Z (función G50).
- g) Posibilidad de pasar de la programación absoluta a la incremental por medio de una función auxiliar.
- h) Función " Mirror Image ", que permite trabajar con la misma cinta, piezas simétricas respecto a los ejes X o Y.
- i) Precisión de colocación a lo largo de los ejes X o Y (aproximadamente 0.01 mm independiente de la longitud de carrera).
- j) Precisión de colocación del eje Z aproximadamente 0.05 mm.
- k) Precisión de repetición a lo largo de ejes X y Y de 0.0025 mm, y en el eje Z de 0.01 mm.

- l) Velocidad de desplazamiento rápido en los ejes X y Y : 4000 mm/min; en el eje Z : 3000 mm/min.
- m) Variación continua de la velocidad de avance de la mesa (ejes X y Y) desde 0.1 hasta 4000 mm/min. y del canoto (eje Z) desde 0.1 hasta 3000 mm/min, por cinta o manualmente.
- n) Aceleración o desaceleración controladas automáticamente hasta el final del avance o de una posición prevista.
- o) En distancias menores a 15 mm, el tiempo de desplazamiento es menor a un segundo.
- p) Ciclos automáticos mandados por cinta o mecánicamente para perforaciones, avellanados, fileteados y lamados.
- q) Posibilidad de alternar avances rápidos con avances de trabajo tanto en los movimientos de la mesa así como en los movimientos del canoto.
- r) Posibilidad de programar avances diferentes para la misma carrera de trabajo; permitiendo utilizar herramientas de distintas longitudes asignando a cada una su valor de avance exacto.
- s) Retorno lento de canoto (movimiento eje Z) en las operaciones de avellanado preciso.
- t) Posibilidad de operar por cinta el bloqueo de la mesa y del canoto, mediante frenos

electromagnéticos acoplados a los motores de accionamiento.

- u) Programación de la velocidad de rotación del mandril en todo el rango (72 a 3240 RPM).
 - v) Ciclos fijos estándar para perforación y escariado. Permiten ejecutar sucesivamente operaciones iguales, programando solo el ciclo de la primera perforación, indicando para las demás las coordenadas X y Y.
 - w) Rotación del mandril en los dos sentidos.
 - x) Mandos manuales de la altura de los ejes X, Y, Z; por medio del introductor de datos (Data Input).
 - y) Posibilidad de interrumpir en cualquier punto el ciclo automático desde la cinta y de operar por consola de mando, permitiendo introducir variaciones al ciclo automático programado.
 - z) Posibilidad de utilizar cabezales para labrar, de mando manual y aparatos de expansión automáticos, para la formación de golletes.
-
- A) Campana portaherramientas para 12 herramientas.
 - B) Selección automática de la herramienta prefijada, siguiendo el camino o trayectoria más corto.
 - C) Dispositivo automático de orientación del mandril para efectuar el desbloqueo del portaherramientas.

- D) Programación de la cinta perforada por código EIA-RS 273 para control numérico.
- E) Lector de cinta Tally de 120 caracteres por segundo.

1.2.3 Unidad de Gobierno del Sistema de Control Numérico.

La Unidad de Gobierno está constituida por :

- a) Tablero o Consola de mando.
- b) Lector de cinta perforada de 8 canales, modelo Tally, de 120 caracteres/seg.
- c) Alimentador de cinta.
- d) Unidad Lógica para el procesamiento de datos.
- e) Circuitos de servicio para el control de los servomotores.
- f) Matriz de memoria para las funciones auxiliares.
- g) Lógica de conexión con la máquina herramienta.

1.2.4 Funciones Estándar del Auctor Multiplex C.N.Z. 40A/46D.

- A) Ciclos Fijos :
 - G81 Ciclo de perforación.
 - G85 Ciclo de escariado, retorno lento del eje Z.
 - G80 Cancelación de los ciclos fijos (cancela todos los ciclos G8).

B) Funciones G :

- G50 Desplazamiento del origen de los ejes (Cero Móvil).
- G51 Programación incrementada de los desplazamientos de los ejes.
- G52 Cancelación de la función G51.
- G54 Desplazamiento rápido para los ejes X y Y, para el eje Z el desplazamiento rápido se consigue con la dirección R.
- G55 Cancelación de la función G54 (o sea para desplazamiento de trabajo).

C) Funciones M :

- M00 Paro del programa.
- M02 Final del programa (con indicación de cero en todas las funciones).
- M03 Rotación del mandril en sentido horario.
- M04 Rotación del mandril en sentido antihorario.
- M05 Parada de la rotación del mandril.
- M10 Bloqueo de los ejes en el ciclo.
- M11 Exclusión de bloqueo de los ejes en el ciclo.

D) Funciones de Velocidad :

- De S01 a S14, Velocidad de mandril (eje Z).
- De F00001 a F4000, Velocidad de avance de los

ejes X y Y (Bancada).

De F00001 a F3000, Velocidad de avance del eje Z.

E) Funciones de Cambio de herramienta :

De t001 a t012, Selección de herramienta de la campana.

De t01 a t15, Selección para corregir la longitud o el radio de la herramienta.

1.3 PARTES INTEGRALES DE LOS SISTEMAS BASICOS DEL EQUIPO.

1.3.1 Sistema de Control Numérico.

Este sistema está compuesto por dos partes principales:

A) Unidad Lógica.

B) Circuitos de Servocontrol de los tres ejes.

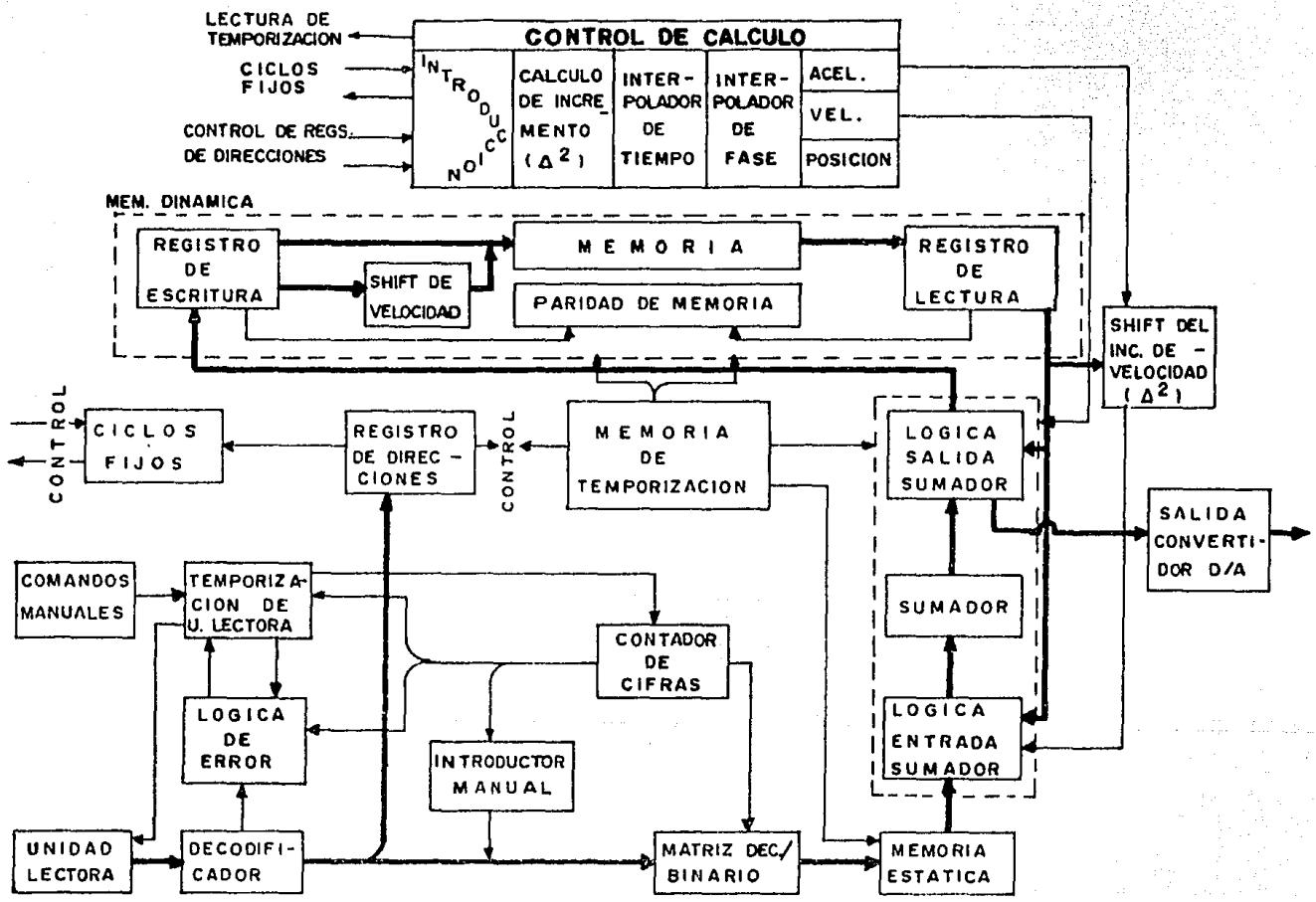
La Unidad Lógica está diseñada con circuitos lógicos de tipo discreto, es decir, dispositivos electrónicos elementales tales como transistores de baja señal, diodos, resistencias, etc. Esta unidad gobierna el funcionamiento del sistema y suministra los datos numéricos que definen la posición instantánea de los ejes. La ley de movimiento para cada eje controlado en la máquina herramienta (cota instantánea en función del tiempo) está definido por el Interpolador Numérico de la Unidad Lógica. Este dispositivo describe la función Cota-Tiempo en forma discreta, o sea establece una

serie de instantes con un período constante (tiempo patrón o estándar T_s); y para cada eje el interpolador opera las cotas correspondientes en dichos instantes. Estas cotas se transmiten a los circuitos de servocontrol de cada eje X, Y y Z.

1.3.1a Unidad Lógica :

La Figura 1-2 representa el diagrama a bloques de la Unidad Lógica, las líneas gruesas representan el flujo de datos y las líneas delgadas el flujo de control. Las coordenadas del punto de llegada y la velocidad de avance se introducen en la memoria, de manera tal que se da la información necesaria para hacer recorrer la herramienta una trayectoria rectilínea. Así mismo, realiza el control de las ordenes para efectuar sucesivamente operaciones previstas e interpreta los resultados de éstas, determinando las diferentes etapas de la introducción de los datos y cálculo de la trayectoria. La programación que se tiene es en coordenadas absolutas, programables en un solo bloque de información desde + 1 μ a + 10 m en la máquina estándar (Motor de Accionamiento de cuatro polos). La velocidad de avance es programable numéricamente desde 0.1 mm/min a 10 m/min con divisiones de 0.1 mm/min.

Figura 1-2 Diagrama o Bloques de la Unidad Logica del Auctor.



Tiene como elementos de medida, transductores de posición, lineales (Inductosyn) y rotativos como el Resólver similar en su funcionamiento, el cual se utiliza para controlar la posición del husillo portamandril en el cabezal. El Inductosyn es un dispositivo electromagnético cuya salida depende de las entradas, de la posición relativa de los elementos de entrada (Cursor) y de salida (Escala); éstos es, con determinados voltajes en la entrada se obtienen posiciones muy precisas del dispositivo. Como se muestra en la Figura 1-3, si se aplican dos señales al Cursor, el cual tiene dos devanados llamados Seno y Coseno, la salida se controla con la Escala, la cual tiene un solo devanado de cobre. Estos dos elementos están dispuestos en cada eje de movimiento de forma tal que son desplazados uno respecto al otro por los componentes motrices de la máquina.

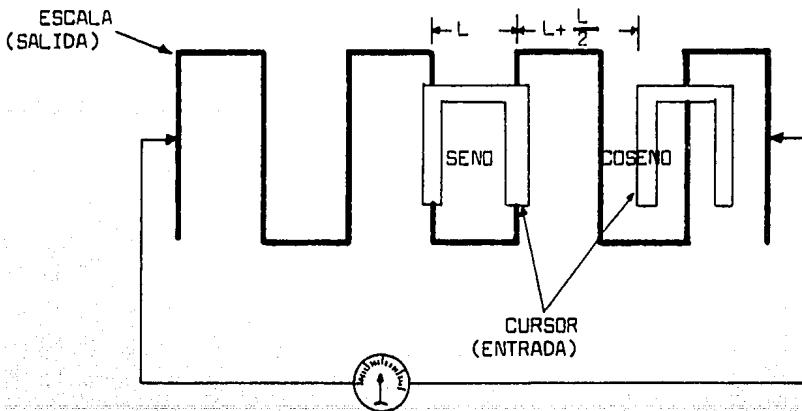


Figura 1-3 Transductor Lineal de Posición (Inductosyn).

La Escala tiene su devanado con un paso constante de longitud L . En este devanado viene controlada y medida la señal de error. El cursor está formado por su devanado, de paso igual al de la Escala pero separados entre sí 1.5 pasos ($L + L/2$). En el funcionamiento normal, el Cursor corre paralelo a la Escala a una separación de 0.3 mm. El principio de funcionamiento de la Unidad Lógica durante la ejecución de un desplazamiento se realiza con las longitudes presente en memoria y las realizadas para el cálculo de la trayectoria del movimiento de la máquina herramienta, las cuales son :

- 1) Coordenadas Finales X_f, Y_f, Z_f .
- 2) Coordenadas Actuales X_n, Y_n, Z_n .
- 3) Distancias recorridas en aceleración DA_x, DA_y, DA_z .
- 4) Incremento de las Coordenadas Actuales $\Delta X_n, \Delta Y_n, \Delta Z_n$; que determina la velocidad instantánea.
- 5) Incremento del Incremento $\Delta^2 X, \Delta^2 Y, \Delta^2 Z$, que determina la aceleración.
- 6) Incremento de la Velocidad Programada $\Delta X_m, \Delta Y_m, \Delta Z_m$; que determina la velocidad máxima requerida.

La unidad de cálculo opera en código binario, las coordenadas del punto de llegada y la velocidad de avance son introducidas en la memoria por el lector de cinta perforada o mecánicamente en la cabina de mando a través de:

- El Decodificador.
- La Matriz de Codificación Decimal/Binario.
- El Serializador.
- El Sumador.

Los datos de entrada de las direcciones de los ejes y funciones auxiliares, se memorizan directamente en flip-flops y por matrices de relevadores organizados en modo tal de poder obtener todas las funciones auxiliares previstas por la norma estándar EIA-RS 273.

1.3.1b Circuitos de Servocontrol de los Tres Ejes.

El sistema de servocontrol (Figura 1-4) hace corresponder la cota relativa dada por el interpolador en un instante dado, con la cota efectiva de cada eje controlado.

El servosistema de cada eje es del tipo de datos muestreados, siendo definidos los movimientos de cada eje por puntos o intervalos. Durante el movimiento de un eje, las cotas sucesivas se reproducen cada 4.8 mseg (Período o tiempo patrón T_s). La cota se traduce en forma analógica por medio del transductor diferencial de posición (Inductosyn o Resólver) que mide el error de posición instantáneo.

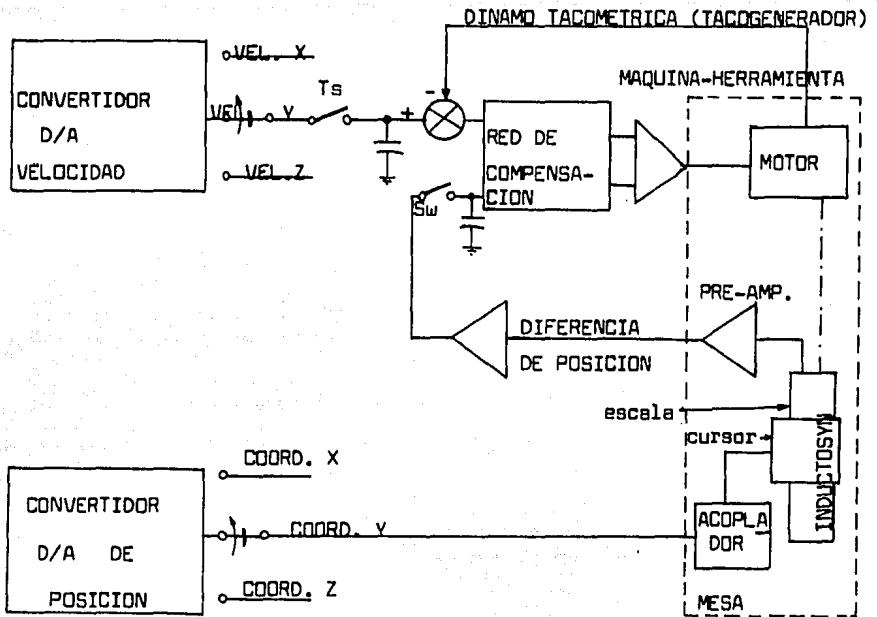


Figura 1-4 Diagrama Eléctrico del Circuito de Servocontrol de los Tres Ejes.

El servomecanismo de la máquina herramienta está diseñado en forma tal que con señal negativa, se desplaza el transductor en el sentido positivo y viceversa. La señal de actuación o actuante es proporcional a la suma de error de posición y de una señal de corrección, que puede ser la señal de error de velocidad si el eje controlado no es corregido por el dinamo o tacogenerador. La diferencia entre la señal de referencia de velocidad y la señal taquimétrica proporciona el error de velocidad, la cual se amplifica y se suma al error de posición para formar la señal actuante.

El sistema de servocontrol de los ejes se compone por :

- A) Convertidor D/A de Posición para las cotas.
- B) Convertidor D/A de Velocidad.

Y para cada Eje de movimiento :

- a) Un Transductor Diferencial de Posición
(Inductosyn: ejes X y Y ; Resólver: eje Z).
- b) Un Transductor de Velocidad (Tacogenerador).
- c) Una Cadena de Demodulación y Amplificación de las señales de error.
- d) Un Sistema de Accionamiento de los Motores Eléctricos (Tarjetas de Servoamplificadores CN 483D y CN 482C).

1.3.2 Sistema de Potencia.

Este sistema está integrado en lo que se denomina Armario o Cabina Eléctrica que contiene todos los componentes de potencia para el control de los **motores** y de los frenos electromagnéticos de la máquina. Las partes integrales de este sistema son :

- A) El Interruptor Principal de la red de alimentación.
- B) Los Telerruptores para el mando de motor del mandril y de la bomba refrigerante.
- C) Los Bancos de SCRs para el control de motores para el desplazamiento de la mesa (ejes X,Y) y del eje Z.

- D) Los Telerruptores (contactores para los controles de los frenos electromagnéticos).
- E) Los Relevadores, Temporizadores y Contactores para los servicios auxiliares de la máquina.

Básicamente, las modificaciones que se requieren son precisamente en el control de los Bancos de Tiristores (Punto C) para actualizar y poner en funcionamiento la máquina herramienta con el nuevo control numérico adaptado.

1.3.3 Sistema Mecánico.

Este sistema está compuesto por el cuerpo de la máquina en sí y sus partes integrales son :

- A) Cabezal Principal.
- B) Bancada (mesa de trabajo y dispositivos de traslación).
- C) Cuerpo o Montante.
- D) Sistemas de Lubricación.

1.3.3a Descripción del Cabezal Principal.

El cabezal de la Máquina Auctor Multiplex es completamente autónomo y comprende los siguientes mecanismos :

- a) Mecanismo de rotación del mandril.
- b) Desplazamiento y posicionamiento del husillo portamandril.
- c) Movimiento y bloqueo del cabezal sobre el cuerpo o montante.
- d) Movimiento de rotación de la campana portaherramienta según el programa utilizado.
- e) Sustitución del portaherramienta en el mandril.
- f) Bloqueo y desbloqueo automático del portaherramienta en el mandril.

1.3.3b Descripción de la Bancada.

El grupo de la Bancada está compuesto por :

- a) Mesa de trabajo de las piezas por trabajar y dispositivos de traslación longitudinal según eje X.
- b) Corredera interior de soporte de la mesa y dispositivo de traslación transversal según eje Y.
- c) Grupos mecánicos de avance de la mesa según ejes X y Y (movimiento simultáneo de la Mesa de trabajo).

1.3.3c Descripción del Cuerpo o Montante.

El cuerpo o montante está constituido por las piezas de sustentación del Cabezal, de las Mesas de Trabajo y de los Motores utilizados en los mecanismos de traslación y desplazamiento de la máquina y de los servicios auxiliares tal como lubricación y refrigerante.

1.3.3d Descripción del Servicio de Lubricación.

La lubricación de la máquina se efectúa a través de dos centrales hidráulicas colocadas en la parte anterior y posterior de las mesas de trabajo (Bancada). Estas centrales proporcionan la lubricación de guías y sinfines de los grupos de avance de las mesas; así como del cabezal, excepto de los rodamientos del mandril que son sellados con sus respectivas graseras para lubricarse con grasa especial.

Hasta aquí se pretende dar una idea descriptiva de la máquina herramienta.

En los capítulos subsecuentes se abordan los temas de la realización del proyecto, como es la restructuración y composición del sistema de control de potencia; y su relación con los otros dos sistemas básicos la Máquina Universal Auctor Multiplex C. N. Z. 40A/460 de Olivetti.

C A P I T U L O 2

ESTUDIO DEL CONTROL DE POTENCIA.

2.1 ESTRUCTURACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA.

En virtud de la idea de llevar a cabo proyectos para optimizar y/o aprovechar los recursos existentes en el sistema de Educación Tecnológica, se brinda apoyo a aquellos que tengan como finalidad el reacondicionamiento del equipo que está fuera de uso, ya sea por obsolescencia, falta de mantenimiento preventivo o correctivo, etc.

La máquina Universal Auctor, está fuera de servicio desde hace diez años debido a que su mantenimiento correctivo es costoso e infuncional; además de considerar que el sistema de control numérico que tiene es obsoleto. Haciendo el cambio del control numérico por un control por microprocesador, se requiere hacer una reestructuración del sistema de control de potencia para que sea operado a través de una interfase adecuada al nuevo control numérico utilizado.

2.1.1 Funcionamiento del Sistema de Potencia.

El Sistema de Potencia para el control de los motores de avance de las mesas y de los frenos electromagnéticos consisten básicamente de :

- El interruptor principal de alimentación 3 ϕ .
- Los contactores para el control del motor del mandril (Mandrino) y de la bomba refrigerante.
- Los Bancos de Tiristores (SCRs) del control de los motores para el avance de las Mesas y del Husillo Portamandrill.
- Los contactores para los controles de los frenos electromagnéticos.
- Relevadores, Temporizadores y Contactores para los servicios auxiliares de la máquina.

La Figura 2-1 muestra el esquema eléctrico de un Banco de SCRs, el cual maneja un motor SICME de C.D. a 110 V; ya sea según ejes X, Y, X/Y o Z, las líneas remarcadas indican la circulación de corriente de carga del motor. El Sistema de Potencia cuenta con tres bancos de SCRs, uno para cada eje de desplazamiento.

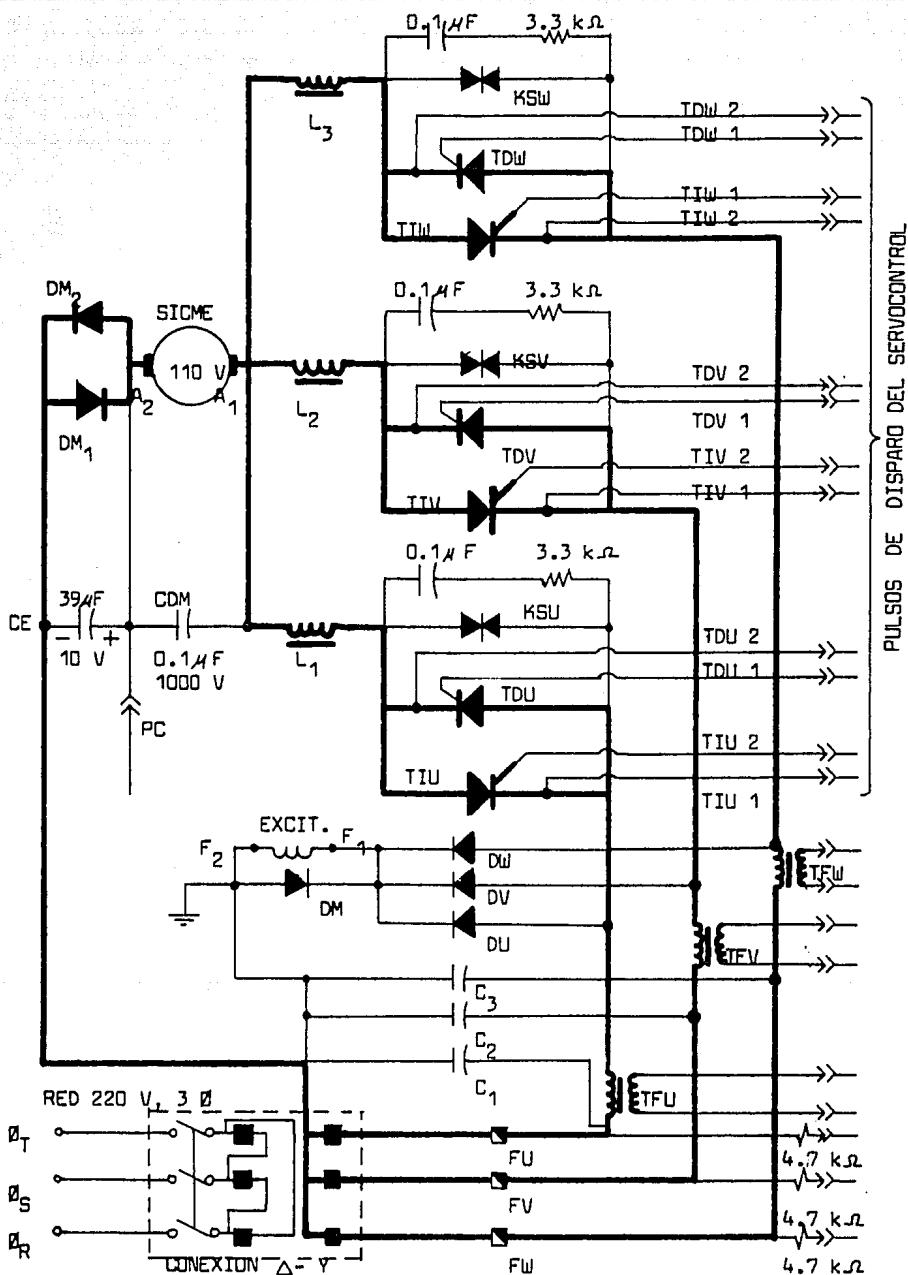


Figura 2-1 Diagrama Eléctrico de un Banco de Tiristores del Auctor Multiplex.

La fuente de alimentación se obtiene del transformador de potencia del mismo sistema, la cual es una red de 220 volts en conexión delta-estrella ($\Delta - Y$), o sea 220/110 Vrms, obteniendo tres señales U, V, W, de sus fases ϕ_R , ϕ_S , ϕ_T , respectivamente.

Los transformadores TFU, TFV y TFW alimentan una red limitadora de corriente de armadura (I_a) con una relación de 110/24 VTC, la cual está en la tablilla del servoamplificador CN 482D. De las fases van conectados los diodos DU, DV y DW que rectifican el voltaje para la excitación del devanado de campo (F_1, F_2), el cual es un voltaje de C.D. pulsante de media onda.

El diodo DM conectado en paralelo con el devanado de campo o excitación se le conoce como Diodo de Rotación Libre, el cual permite que la corriente de campo siga fluyendo en el semiciclo negativo, debido a que el campo induce un voltaje contrario al de línea, polarizando al diodo directamente, permitiendo que circule la corriente de campo (I_f) en la misma dirección anterior.

Cada fase maneja un par de SCRs en paralelo-inverso (TDU, TIU), (TDV, TIV) y (TDW, TIW) para el control en ambos sentidos de rotación del motor. Las señales de control para cada uno de ellos provienen de los circuitos de disparo que están en la tablilla CN 483C

del sistema.

El control de disparo se realiza por un tren de pulsos obtenidos de esta tablilla a través de transformadores de impulsos, cuyas señales son (TIU1, TIU2), (TDU1, TDU2), (TIV1, TIV2), (TDV1, TDV2), (TIW1, TIW2) y (TDW1, TDW2). Cada par tiristórico tiene conectado en paralelo un varistor llamado tirector KSU, KSV, KSW y una malla RC (resistencias de 3.3 K Ω y capacitores de 0.1 μ F a 1000 V) para las tres fases. Los tiretores protegen los SCRs de los transitorios de alto voltaje de la línea de alimentación. La malla RC es un filtro de ruido bajo para que los tiretores no actúen con señales de ruidos inherentes a la línea. Los tiretores actúan como dos diodos zener conectados en serie y en oposición. Al presentarse un voltaje que exceda el voltaje nominal del varistor, éste absorbe el exceso, actuando como un corto circuito, protegiendo al SCR de un sobrevoltaje entre ánodo y cátodo.

El grupo de inductancias L1, L2, L3 que están conectadas en serie con la armadura del motor son "Shokes" de armadura, los cuales se utilizan para reducir el rizo del voltaje aplicado para eliminar la necesidad de disminuir la potencia del motor debido al excesivo calentamiento del devanado de armadura por la

corriente de carga demandada por el motor en estado permanente.

El motor que emplean cada uno de los grupos de avance de las mesas según ejes X, Y, XY simultáneo, además del husillo portamandril (eje Z) son de corriente directa tipo SICME, dando velocidad de avance comprendidas entre 0.1 mm/min a 4000 mm/min (.01 pulg/min a 160 pulg/min) en los ejes longitudinal X y el transversal Y; y de 0.1 mm/min a 3000 mm/min (.01 pulg/min a 120 pulg/min) en el eje Z.

El tipo de conexión del motor en cuestión, es derivación con excitación independiente y control o ajuste por armadura. El esquema de la Figura 2-2 muestra el diagrama de esta conexión.

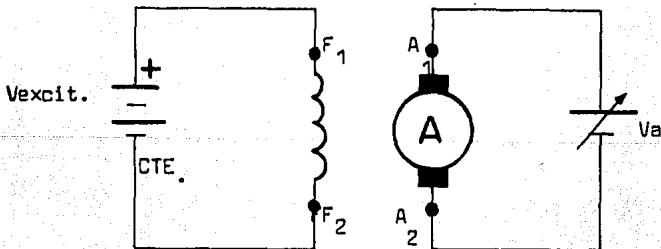


Figura 2-2 Motor Derivación con Excitación Independiente con control por Armadura.

Este tipo de control por Armadura, tiene la ventaja de proporcionar una buena regulación de carga, debido a que produce un par motor muy grande, dado que el campo magnético de excitación es constante, en tanto que la corriente de armadura aumenta, por lo que la velocidad a plena carga aumenta. La gráfica de la Figura 2-3 muestra esta característica para un valor determinado del ajuste de velocidad.

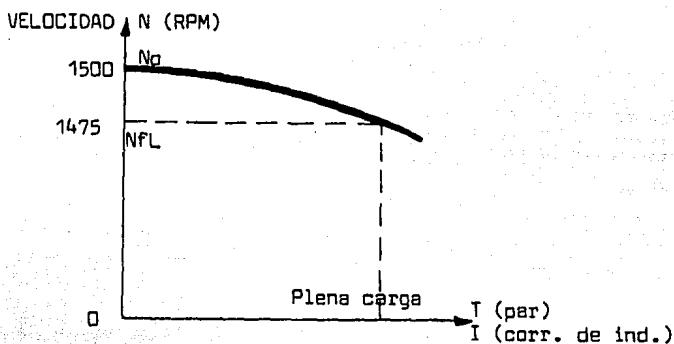


Figura 2-3 Factor de Regulación de un motor Derivación con control por Armadura.

Por último los diodos de potencia DM1 y DM2 conectados en serie con la armadura del motor en paralelo-inverso para cuando se va a realizar la inversión de giro actuar uno de ellos (DM1) como diodo de rotación libre para la continuidad de la corriente de armadura. El capacitor CE se carga cuando el control se ejecuta en el semiciclo positivo (sentido directo) y cuando se aplica la señal de control PC proveniente de la

tarjeta CN 482D para el sentido inverso, el capacitor se descarga para que exista una circulación corriente a través del diodo DM1. Esto sirve como una banda muerta para protección del banco de tiristores cuando se invierte el giro del motor.

2.1.2 Circuitos de Control de Potencia para el Banco de SCRs.

El control de la potencia de los motores de accionamiento está constituido por dos tarjetas de servoamplificadores: CN 482D y CN 483C. El diagrama de la Figura 2-4, muestra el tipo de circuito de control para un servomotor de C.D. que es similar al utilizado en el Auctor Multiplex.

La señal de error de C.A. 'Ve' es amplificada por el preamplificador, obteniéndose la señal 'Vsal', la cual puede estar o no en fase con Ve. En un cierto valor del semiciclo positivo, el voltaje amplificado 'Vsal', alcanzará el voltaje de disparo del diodo de cuatro capas D1 produciendo un impulso hacia el devanado primario del transformador de pulsos T1. El disparo del diodo D1 sucede en cada semiciclo positivo (si 'Vsal' está en fase con 'Ve') cuando el voltaje de error se encuentra por encima de un cierto valor mínimo para que se dispare D1.

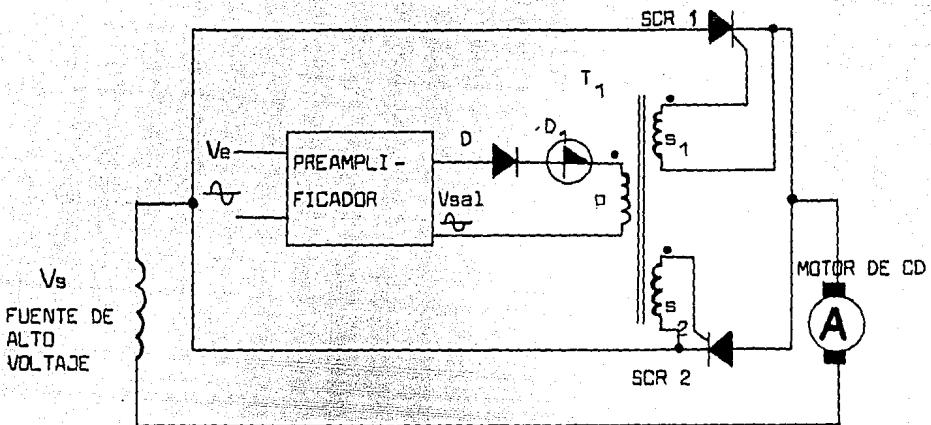


Figura 2-4 Circuito de Control para un Servomotor de C. D.

Para un voltaje de error grande, el disparo ocurre rápidamente; para un voltaje de error pequeño, el disparo ocurre más lentamente. La gráfica de la figura 2-5 muestra lo que pasa con las señales ' V_e ' y ' V_{sal} ' para diferentes amplitudes que hacen variar el ángulo de disparo θ .

Cuando el diodo de cuatro capas se dispara, ocurren pulsos positivos en los devandos secundarios de T_1 .

Estos dos pulsos positivos los reciben las puertas de SCR1 y SCR2, los cuales tratan de ponerse en conducción, pero debido a que existe una relación de fase entre el voltaje de la fuente ' V_s ' y ' V_e '; solo uno de ellos conducirá y el otro no, y viceversa. Esto

determina la dirección del motor y por lo tanto de la del movimiento del objeto controlado para nuestro caso. La magnitud de 'Ve' determina el ángulo de disparo θ de los SCRs, controlando el promedio del voltaje de armadura, regulando así la velocidad del servomotor de C.D.

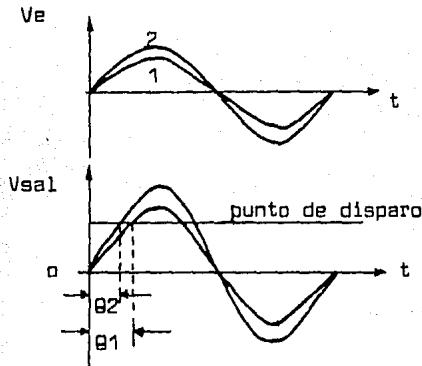


Figura 2-5 Ángulo de Disparo en Función de la Amplitud de 'Ve'.

La Figura 2-6 muestra en bloques como está integrado el sistema de accionamiento para los motores de C.D., el cual es una interfase entre el Servocontrol y el Banco de Tiristores, tal como está originalmente en la máquina herramienta.

Este sistema es de lazo cerrado o retroalimentado a través de dispositivos correctores finales, en este caso son los Bancos de Tiristores (SCRs), donde la corriente de carga requerida está variando

continuamente.

La tarjeta del servoamplificador CN 482D constituye básicamente los amplificadores del Servocontrol para la Unidad de Gobierno (Sistema de Control Numérico). También tiene un circuito limitador de corriente de carga aislado galvánicamente por transformadores de voltaje.

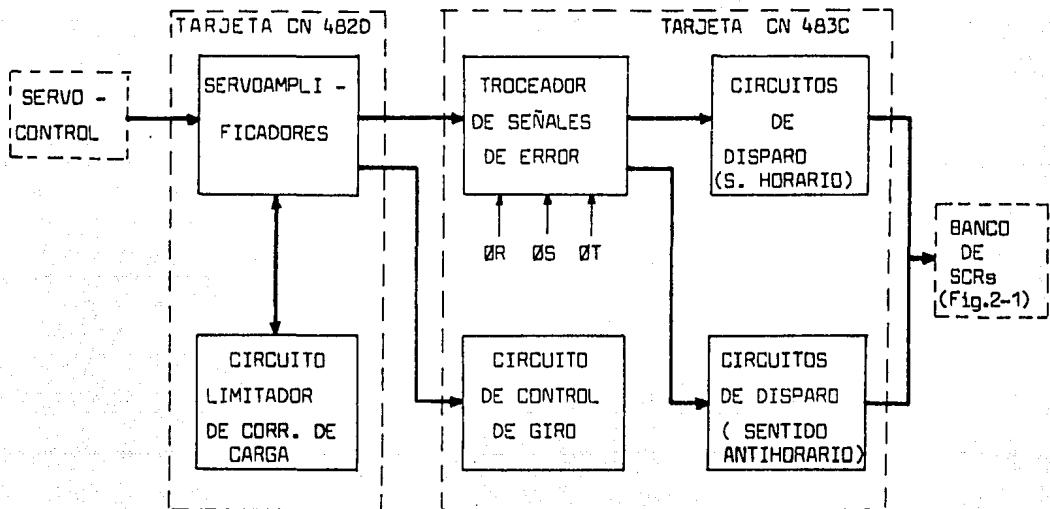


Figura 2-6 Sistema de Accionamiento para los Motores de C. D. del Auctor.

La tarjeta CN 483C integra lo que es la etapa de control de potencia cuyos circuitos son un Troceador de Señales de Error por fase ($\varnothing R$, $\varnothing S$, $\varnothing T$), un Circuito Control de Giro, según se requiera el sentido; y de los Circuitos de Disparo para ambos sentidos, los cuales

utilizan transformadores de impulsos para efectuar la conducción y/o corte de los tiristores (Figura 2-1).

La Figura 2-7 muestra como está formado el Sistema de Control de Potencia de los motores de accionamiento del Auctor para cada uno de sus ejes.

El sistema emplea el Inductosyn y el Resólver como transductores de posición, los cuales miden la diferencia instantánea entre una cota prescrita (valor de referencia V_r) y una cota efectiva (valor sentido o real V_m) para obtener el error de posición V_e .

La señal actuante V_a , es proporcional a la suma de este error de posición y una señal de corrección, que puede ser la señal de error de velocidad o una referencia de velocidad, si el eje controlado no está corregido por tacogenerador. La diferencia entre la señal del transductor de velocidad (tacogenerador) nos proporciona el error de velocidad, el cual se amplifica y se suma al error de posición para formar la señal actuante del sistema.

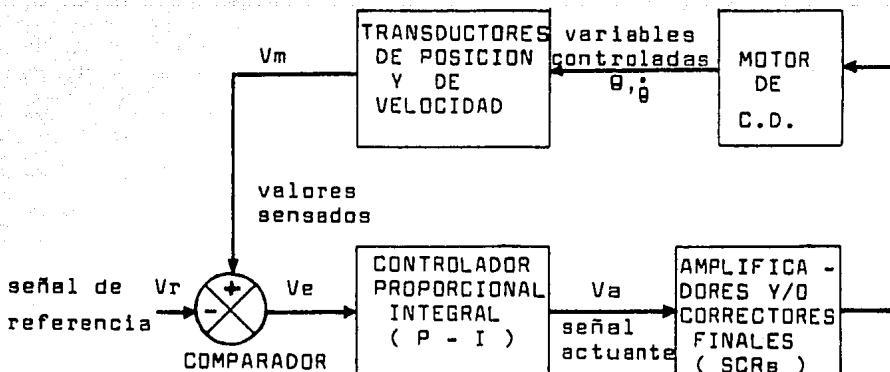


Figura 2-7 Sistema de Control de Potencia del Auctor.

El tipo de controlador utilizado es el proporcional-integral (P - I), debido a que los cambios en la carga son grandes y rápidos, por lo que el valor de referencia varía bruscamente requiriéndose un control con capacidad de respuesta rápida.

2.2 RELACION DEL SISTEMA DE POTENCIA CON LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO Y MECANICO.

En este apartado se hace una descripción de la interrelación de los tres sistemas del Auctor, para posteriormente en el Capítulo 3, indicar cuales fueron los cambios que se realizaron en el mismo.

La Figura 2-8 muestra el diagrama a bloques de los sistemas del Auctor.

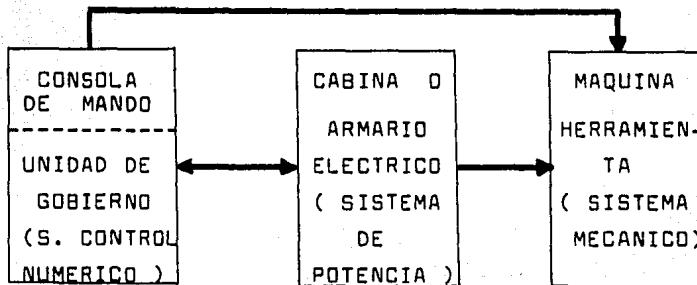


Figura 2-8 Relación de los tres Sistemas Básicos del Auctor.

Como se observa en la Figura 2-8 existe una relación recíproca entre el Sistema del Control Numérico y el Sistema de Potencia para realizar cada uno de ellos sus funciones y una relación de control entre los dos sistemas con el Sistema Mecánico, los diagramas que muestran las Figuras 2-9, 2-10 y 2-11 son los esquemas topológicos de los componentes del Armario Eléctrico y su interconexión con los Sistemas de Control Numérico y Mecánico. Todas las nomenclaturas indican la manera como están conectadas en tres tablillas conectoras que se encuentran en este mismo Armario o Cabina Eléctrica.

Nomenclatura de las Figuras 2-9, 2-10 y 2-11 :

- ✕ Indica conexión entre los Sistemas de Control Numérico y Mecánico.
- Indica conexión entre los Sistemas de Potencia y Mecánico.
- Indica conexión entre los Sistemas de Control Numérico y de Potencia.

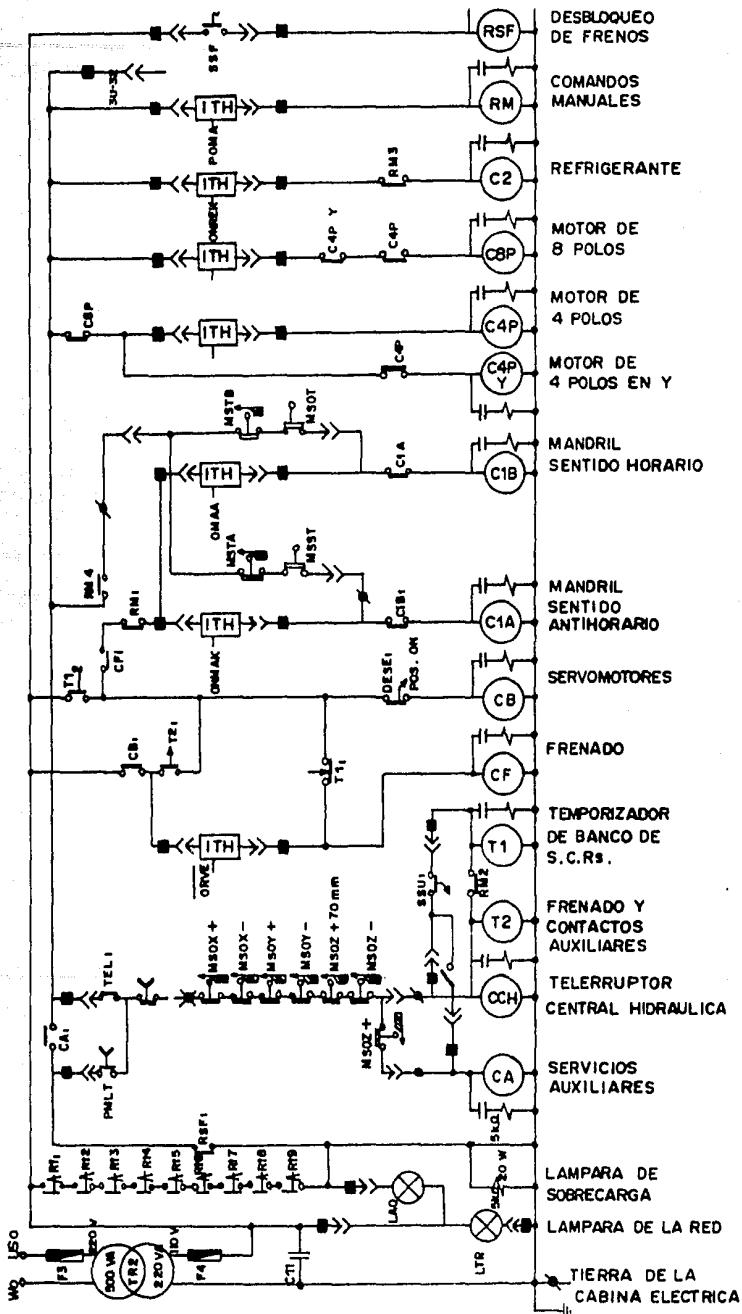


Figura 2-10 Diagrama Eléctrico de Contactores, Relevadores y Temporizadores de los Servicios Auxiliares del Auctor.

C A P I T U L O 3

DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA INTERFASE DE POTENCIA.

3.1 ENFOQUE DE DISEÑO EN EL PROYECTO GLOBAL.

Como se planteó en un principio, el proyecto global se centra en la idea de optimizar los sistemas de operación del Centro de Maquinado Italiano (Auctor Multiplex), esto es, desechar el control numérico que tiene e implementar un sistema de control numérico computarizado (C.N.C.) que consiste en una computadora tipo IBM-PC y una tarjeta especializada en control numérico con multibus (NCB-102).

En la actualidad varias máquinas herramientas operan con este tipo de sistema C.N.C., que emplean microprocesador para su control automático.

El desarrollo del proyecto global se divide en tres secciones que son :

- 1) Estudio de compatibilidad de Hardware/Software del sistema C.N.C. para su aplicación en el Auctor Multiplex.
- 2) Estudio de alternativas o métodos de transductores de posición para el sensado de posicionamiento de las mesas de trabajo.

- 3) Realización de Pruebas de diseño para los circuitos de la interfase de potencia entre el Sistema C.N.C. y los motores de accionamiento.

El diagrama de la Figura 3-1 muestra cada una de la secciones que integran el proyecto global.

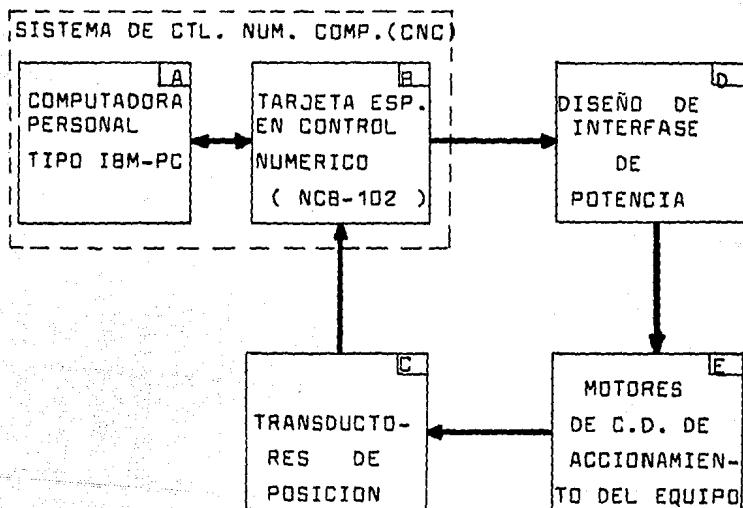


Figura 3-1 Secciones Integrantes del Proyecto Global.

Los bloques A y B corresponden a la sección 1 del proyecto global; la computadora personal maneja y supervisa todo el sistema. Para acoplar la tarjeta a la IBM-PC se diseñó una interfase y software de control, debido a que la tarjeta tiene un multibus

(Norma IEEE-796) que no es compatible con el bus de control de 62 líneas de la computadora. Con este sistema de C.N.C. se reúnen todas las características que tienen los sistemas actuales de Control Numérico Computarizados.

El bloque C corresponde a la sección 2 del proyecto, el cual consiste en medir o sensar la posición en cada uno de los tres ejes con una resolución de 10 micras, con un tiempo máximo de 5 μ seg entre medición.

Con la finalidad de utilizar los mismos sensores de posición que tiene la máquina herramienta, que son el Inductosyn y el Resólver, se buscaron varias alternativas para diseñar el transductor adecuado para el sensado o medición de posición con la nueva tarjeta de control numérico. Se optó por utilizar el transductor IRDC-173 que es un circuito híbrido comercial que cumple con las especificaciones adecuadas para el sensado a partir del voltaje inducido en el cursor del Inductosyn y el Resólver.

Por último el bloque D, representa el diseño de la interfase de potencia, que enfoca el tema que se plantea. En los siguientes apartados se trata más ampliamente el diseño realizado. El bloque E son propiamente los motores de C.D. de accionamiento de la máquina herramienta.

3.2 REALIZACION DE PRUEBAS PARA DESARROLLO DEL DISEÑO.

3.2.1 Pruebas Preliminares.

I) Circuito de Disparo : Este circuito de disparo como en todo circuito de control industrial, se tiene el problema de interfase, ya que existen tres secciones que son: Las secciones de entrada y salida operan a voltajes de línea, que son altos (120 Vc.a.) y la sección lógica que opera a voltajes bajos, alrededor de 20 V o menos.

Los circuitos de interfase son los que hacen posible este acoplamiento entre dos niveles de voltaje diferentes; el circuito de disparo es un circuito de interfase necesario para el diseño requerido.

I.1) Primera Etápa de Prueba del Circuito de Disparo :

" Detector de Cruce por Cero (D.C.C.) ".

Este circuito, que se muestra en la Figura 3-2, es básicamente un Comparador de Malla Abierta Inversor, el cual garantiza o asegura la conmutación al estado de conducción de un Tiristor o SCR en el instante que el voltaje de C.A. V_L cruza por cero. Esta característica es necesaria

porque se evita que haya una gran corriente de carga cuando la misma tiene una impedancia baja y existe un voltaje diferente de cero aplicado a la carga. Además elimina la interferencia electromagnética, resultado de los grandes picos de la corriente de carga, cuando ésta es inductiva, como en el caso de un motor eléctrico. Esta técnica es muy usual en los circuitos de control de potencia. En la Figura 3-3 se muestran las señales de la fuente de alterna 'Ve' acoplado por transformador de 120 V/ 6 Vc.a. y del voltaje de salida 'Vs' para la detección de cruce por cero. Viendo estas señales, notemos que V_1 es un voltaje de C.D. pulsante de media onda y V_2 es un voltaje de C.D. de referencia fijo, entonces:

$$\text{Si } V_1 > V_2 \quad V_s = V_2 = 0 \text{ volts}$$

$$\text{Si } V_1 < V_2 \quad V_s = V_{cc} = 5 \text{ volts}$$

Por lo que 'Vs' tiene la capacidad de detectar el cruce por cero de la señal de la fuente, en forma de señal cuadrada con dos niveles lógicos de voltaje.

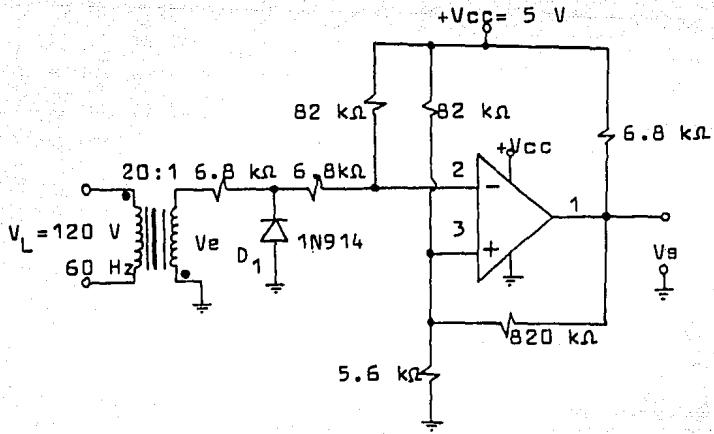


Figura 3-2 Detector de Cruce por Cero (D.C.C.).

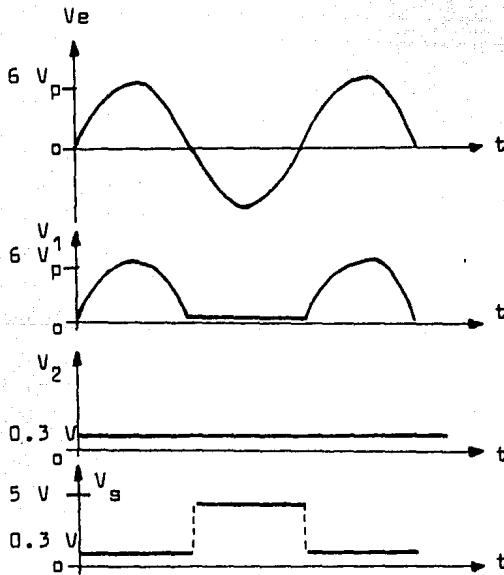


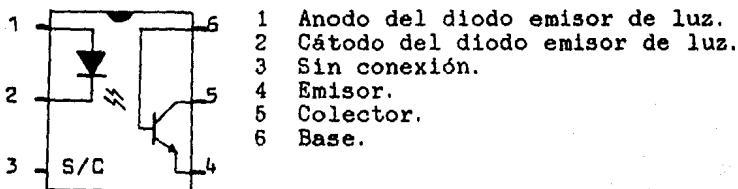
Figura 3-3 Formas de Onda del Detector de Cruce por Cero (D.C.C.).

I.2) Segunda Etapa de Prueba del Circuito de Disparo :

" Dispositivo de Acoplamiento del Circuito de Interfase ".

Una vez probado el Detector de Cruce por Cero, se puso en prueba un circuito integrado que acoplara, con un buen aislamiento galvánico, las tres secciones, ésto es, las secciones de entrada y salida de voltajes altos y la sección lógica de voltaje bajo. Se realizó la prueba con un optoacoplador, el primero que se seleccionó es el optotransistor 4N28 que tiene las siguientes características :

- Diagrama de Pins :



- Diodo de Entrada :

Voltaje Inverso	$V_R = 3 \text{ V}$
Corriente Inversa	$I_R = 80 \text{ mA}$
Corriente Pico de Directa	$I_{pk} = 3 \text{ A}$
Ancho de Pulso	$PW = 1 \text{ } \mu\text{seg}$
Potencia Disipada	$P_D = 150 \text{ mW}$

- Transistor de Salida :

Voltaje Colector-Emisor	$V_{CE} = 30 \text{ V}$
Voltaje Colector-Base	$V_{CB} = 70 \text{ V}$
Voltaje Emisor-Colector	$V_{EC} = 7 \text{ V}$

- Características de Acoplamiento :

Voltaje de Entrada-Salida	$V_{io} = 500 \text{ Vp}$
Voltaje Colector-Emisor de Sat.	$V_{CEsat} = 0.5 \text{ V}$
Corriente de Salida de Colector	$I_{c \text{ max}} = 3 \text{ mA}$
Resistencia de Entrada-Salida	$R_{io} = 10 \text{ } \Omega$
Ancho de Banda de Colector	$BW = 300 \text{ kHz}$
Capacitancia de Entrada-Salida	$C_{io} = 1.3 \text{ pF}$
Aislamiento Eléctrico	1000 volts

La Figura 3-4 muestra el circuito de prueba de esta segunda etapa empleando el SCR para control de una carga puramente resistiva (lámpara L). Se empleó un transistor uni-unión UJT como dispositivo de disparo; la manera como está dispuesto el UJT es para sincronizar el pulso del transistor uni-unión y la polaridad del SCR. Es decir, se garantiza que el disparo se efectúe cuando el tiristor esté polarizado directamente para que conduzca. Las compuertas inversoras se utilizan como acoplo de impedancia e inversión de señal.

La potencia en la carga se controla con el potenciómetro R_E , ésto es, el ángulo de conducción α_c está en función de la constante de tiempo $R_E C_E$, dependiendo de que tan rápido se carga C_E haciendo variar el promedio de la corriente de carga debido a la magnitud variable del ángulo de conducción α_c del SCR.

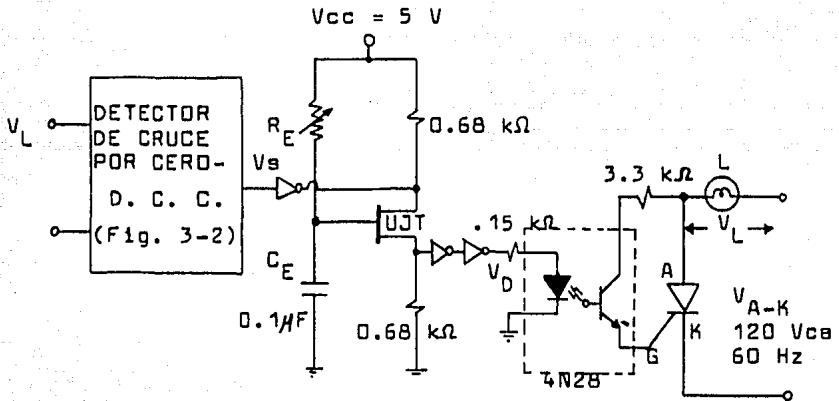


Figura 3-4 Circuito de Disparo con D.C.C. y Acoplamiento a un Carga Resistiva 'L' con el Optotransistor 4N28.

La Figura 3-5 muestra las formas de onda de las señales analizadas en este circuito para una constante de tiempo $R_E C_E$ determinada.

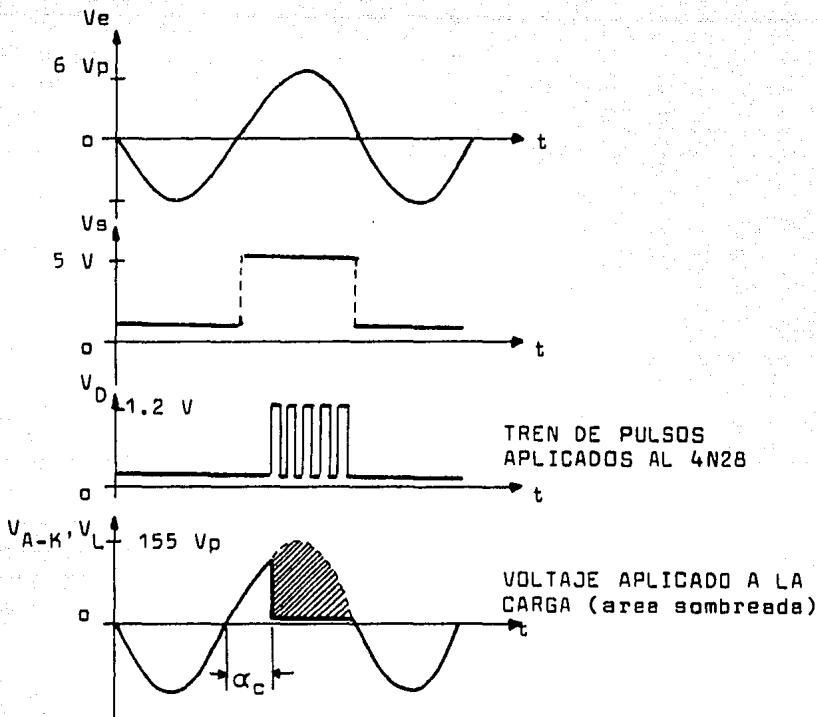


Figura 3-5 Formas de Onda de las señales del Circuito de Disparo (Figura 3-4).

Los componentes utilizados en el circuito son :

- 1) Amplificador Operacional cuádruple de fuente sencilla LM2902N.
- 2) Optoacoplador 4N28.
- 3) Compuerta inversora séxtuple 74LS04N.
- 4) Transistor Uni-Unión UJT 2N4871.
- 5) Tiristor SCR TIC126A.

I.3) Tercera Etápa de Prueba del Circuito de Disparo :

" Prueba con el Optotriac MOC 3010 como Dispositivo de Aislamiento ".

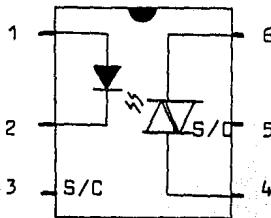
En esta etápa se substituyó el optotransistor 4N28 por el optotriac MOC 3010, el cual tiene las siguientes características :

- Voltaje de Aislamiento	7500 volts
- Corriente de Directa	$I_F = 50 \text{ mA}$
- Voltaje de Inversa	$V_R = 3 \text{ V}$
- Voltaje de Inversa Máximo	$V_{DRM} = 250 \text{ V}$
- Corriente Inversa Máxima	$I_{DRM} = 10 \text{ a } 100 \text{ nA}$

Características de Acoplamiento :

Corriente de Disparo Eficaz	$I_{Trms} = 100 \text{ mA}$
Corriente de Disparo Salida Latch	$I_{FT} = 8 \text{ a } 15 \text{ mA}$
Voltaje de Directa a 100 mA	$V_{F(on)} = 3 \text{ V}$
Corriente de Mantenimiento	$I_H = 100 \text{ } \mu\text{A}$

Diagrama de Pins :



- 1 Anodo del LED.
- 2 Cátodo del LED.
- 3 Sin conexión.
- 4 Terminal ppal. MT1.
- 5 Sin conexión.
- 6 Terminal ppal. MT2.

3.2.2 Prototipo de la Interfase de Potencia.

3.2.2a Tipos de Control de Carga.

Atendiendo al control que se tiene en el ángulo de disparo α , existen algunos circuitos de control de carga, como los siguientes :

I.1) Control Lineal Vertical.

En este control, el ángulo de disparo o cebado α del tiristor está relacionado con la tensión o voltaje de control V_c por la siguiente ecuación o función de transferencia :

$$\alpha = k (V_c / V_{cm})$$

donde: k : es una constante de linealidad.

V_c : es el voltaje de control.

V_{cm} : es el voltaje de control máximo.

La gráfica de la Figura 3-7 muestra el defasamiento lineal que se obtiene superponiendo los dos voltajes involucrados en el control vertical, el primero V_r , sirve de referencia que es una señal diente de sierra que utiliza para un Convertidor de CA-CD y el segundo es el voltaje de control de defasamiento V_c .

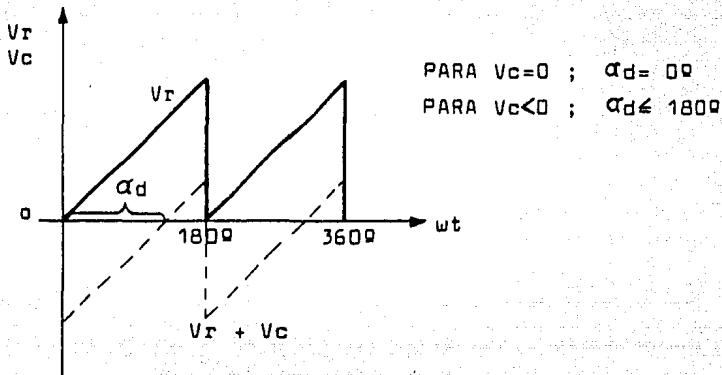


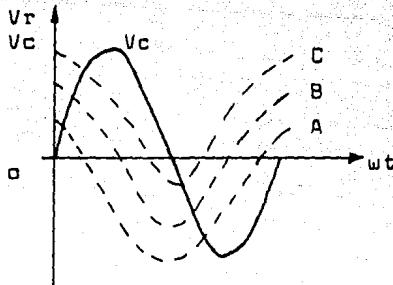
Figura 3-7 Señales de Control Vertical Lineal.

I.2) Control Arco-coseno Vertical.

Este tipo de control se utiliza en los convertidores de CA-CD, ya sea en montajes mixtos o totalmente controlados. El control de fase arco-coseno también se obtiene superponiendo dos voltajes, el de referencia V_r que es cosenoidal y el voltaje de control V_c , dando una Función de Transferencia de la forma :

$$\alpha_d = \cos^{-1} (V_c/V_{cm})$$

La gráfica de la Figura 3-8 muestra el defasamiento del arco-coseno de este control.



- A: Si $V_c = 0$; $\alpha_d = 90^\circ$
 B: Si $V_c < 0$; $\alpha_d \rightarrow 0^\circ$
 C: Si $V_c > 0$; $\alpha_d \rightarrow 180^\circ$
- A, B o C = $V_r + V_c$

Figura 3-8 Señal del Control Arco-coseno Vertical.

La ganancia de este control es el producto de las ganancias parciales : G_1 (ganancia del rectificador) y G_2 (ganancia del circuito de control). Es decir,

$$G_c = G_1 \cdot G_2$$

donde :

$$G_1 = \Delta \alpha_d / \Delta V_c \quad \text{y} \quad G_2 = \Delta E_d / \Delta \alpha_d$$

V_c : Es el voltaje de control.

E_d : Es el voltaje medio rectificado.

G_c : Es la ganancia del convertidor o interfase.

Entonces la ganancia del convertidor es :

$$G_c = (\Delta \alpha_d / \Delta V_c) (\Delta E_d / \Delta \alpha_d)$$

$$G_c = \Delta E_d / \Delta V_c$$

Si el voltaje de control V_c y el voltaje medio rectificado E_d son constantes, entonces la ganancia del convertidor es constante; o sea,

$$G_c = E_d / V_c = \text{CTE.}$$

3.2.2b Selección de Control Cosenoidal para el Prototipo.

El tipo de control de ángulo de disparo que se seleccionó para el diseño es el control cosenoidal, siendo el más apropiado para manejarlo con amplificadores operacionales, acoplando directamente las señales de la red trifásica. Enseguida se muestra el prototipo diseñado para el control del motor de C.D. del sentido directo (sentido de las manecillas del reloj).

La Figura 3-9 muestra el diagrama a bloques del circuito.

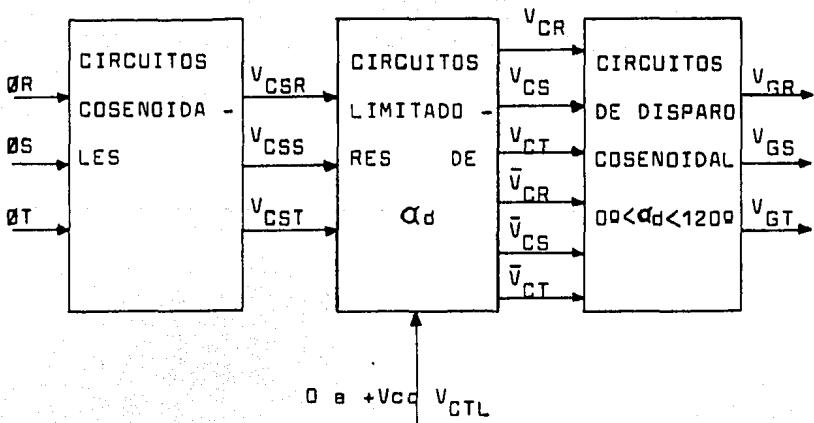


Figura 3-9 Prototipo de la Interfase de Potencia (Sentido Directo).

El primer bloque son tres circuitos cosenoidales, los cuales son amplificadores operacionales que tienen la función de detectar la señal de cada fase (ϕ_R , ϕ_S , ϕ_T) de la fuente trifásica y obtener su cosenoide (V_{CSR} , V_{CSS} , V_{CST}). La Figura 3-9.1 muestra este circuito y las señales de entrada-salida. La señal de entrada V_E es un voltaje senoidal que se obtiene del secundario de un transformador de 120/6 Vca, por lo que el voltaje promedio de la señal de entrada V_E es :

$$V_i = \sqrt{2} V_p \quad V_i = \sqrt{2} (6 \text{ V}) \quad V_i = 8.5 \text{ volts}$$

Entonces,

$$V_E = V_i \sin \omega t \quad V_E = 8.5 \sin \omega t$$

Y para el voltaje de salida sería :

$$V_S = (V_i/RC) \cos \omega t \quad V_S = 8.5 \cos \omega t$$

Representando V_S , la forma de onda de los circuitos cosenoidales V_{CSR} , V_{CSS} , V_{CST} , respectivamente para cada fase R, S, T.

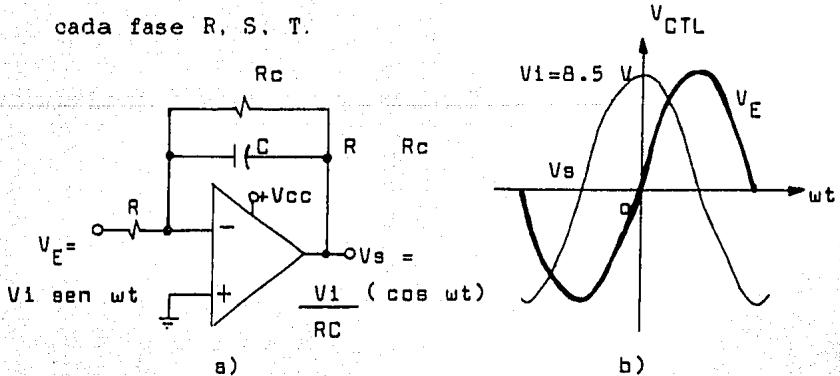


Figura 3-9.1 Circuito Cosenoidal. a) Diagrama Eléctrico. b) Formas de Onda de V_E y V_S .

El segundo bloque representa los circuitos limitadores de ángulo de disparo α , los cuales son dos amp-op; un comparador de malla abierta inversor, que da un nivel de voltaje de control V_{co} a la salida cada vez que la función cosenoide V_s es menor que un voltaje de control V_{CTL} como referencia. El otro circuito es un seguidor para obtener la señal de onda cuadrada V_c de la cosenoide para el control de ángulo de disparo α . La Figura 3-9.2 muestra el diseño de los circuitos limitadores de α y las formas de onda de V_c y V_{co} .

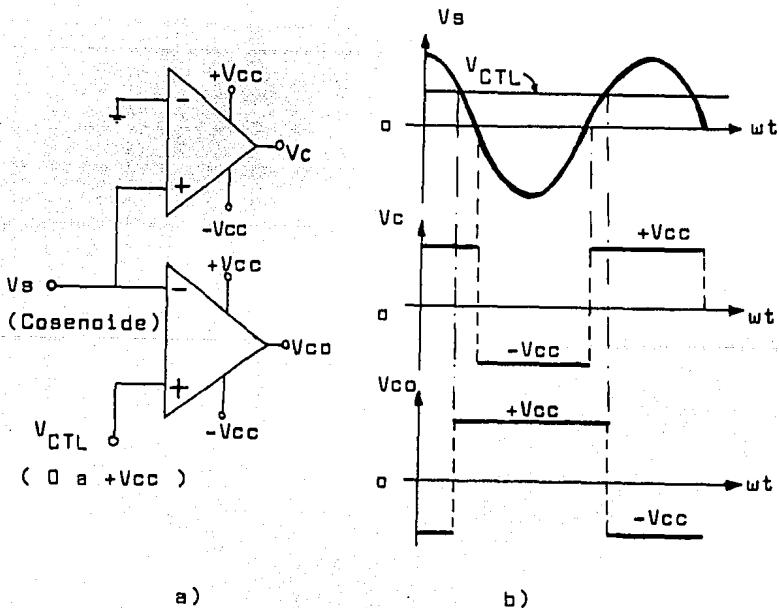


Figura 3-9.2 Circuito Limitador de α . a) Diagrama Eléctrico. b) Formas de Onda de V_c y V_{co} .

El tercer bloque constituye los circuitos de disparo cosenoidales para $0^\circ < \alpha < 120^\circ$, los cuales son compuertas 'AND' implementadas con amp-ops. La Figura 3-9.3 muestra el diagrama eléctrico y las formas de onda del disparo para $0^\circ < \alpha < 120^\circ$.

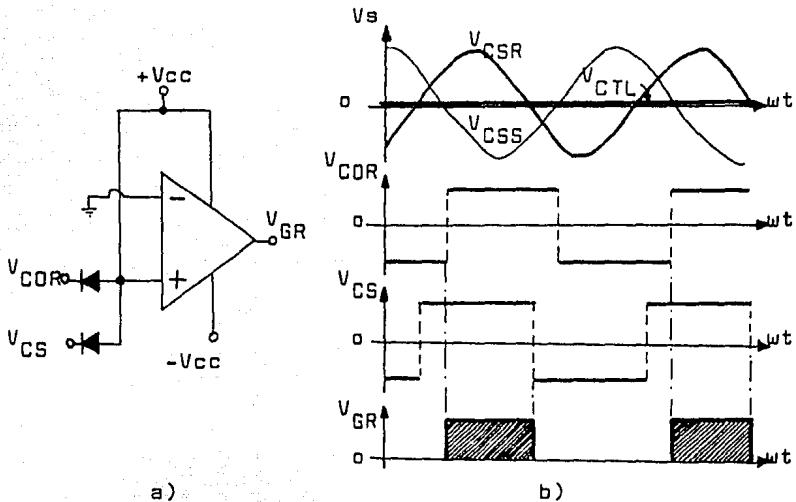


Figura 3-9.3 Circuito de Disparo Cosenoidal. a) Diagrama Eléctrico. b) Formas de Onda.

Observando la Figura 3-9.3, este circuito proporciona la señal de disparo V_G para un cierto ángulo de disparo en base a un voltaje de control V_{CTL} . Las señales que controlan este disparo son, la cosenoide de una fase, digamos V_{CSR} (de la fase R) en el inicio y se limita el ángulo de disparo por la señal de control V_C de la siguiente fase, en este caso ϕ_s .

Nótese que en la gráfica $V_{CTL} = 0$ volts. Estas dos señales son las entradas de la compuerta 'AND' implementada; es decir, por ejemplo para la fase R, $V_{GR} = V_{COR} \cdot V_{CS}$.

La combinación lógica de estas dos señales realizan el control de α entre 0° y 120° , dependiendo de V_{CTL} que varía de 0 a + V_{CC} volts.

La Figura 3-9.4 muestra el diagrama eléctrico general del diseño del prototipo desarrollado y las formas de onda de disparo V_{GR} , V_{GS} y V_{GR} ; indicando un cierto nivel de voltaje de control V_{CTL} , marcando con líneas punteadas cada bloque de los circuitos descritos que lo integran.

3.2.2c Prototipo de Control de Disparo para $30^\circ < \alpha < 150^\circ$.

Al prototipo anterior se le modificó el control de disparo para operar entre 30° y 150° E, en vez de 0° y 120° E. La razón de esto es que se tiene un control más lineal en este rango, pues la función se comporta casi linealmente. Esta característica se muestra en la gráfica de la Figura 3-10.

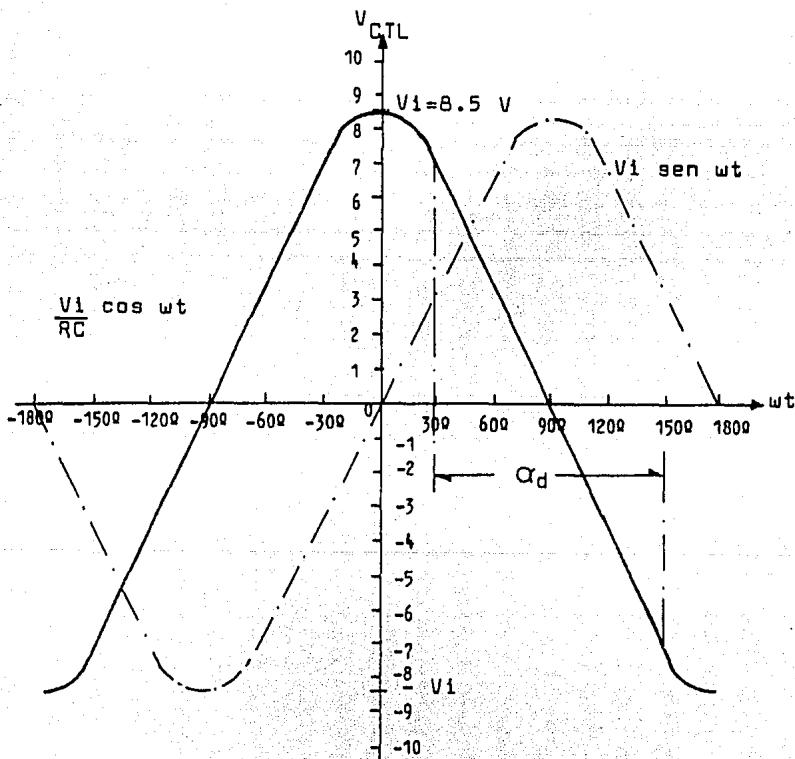


Figura 3-10 Comportamiento Lineal de la función V_{cs} en el rango de $30^\circ < \alpha < 150^\circ$.

Entonces, por ejemplo las señales de control de disparo de Inicio y Limite de la fase R son :

Límite Inferior (Inicio) :

$V_{cSS} = V_R + 30^\circ E$, V_{cSS} es la cosenoide de la fase S.

Límite Superior (Limite) :

$V_{cST} = V_R + 150^\circ E$, V_{cST} es la cosenoide de la fase T.

Si V_S y V_T son las señales de las fases S y T, entonces V_S está defasada $120^\circ E$ de V_T , por lo que V_{cSS} (la cosenoide de V_S) también esta defasada $120^\circ E$ de V_{cST} , siendo la magnitud del rango de control de disparo de $120^\circ E$.

Este control es efectivo, por una parte, la linealidad que se tiene en el control de disparo y por otra, porque con ésto se evitó la polarización de todo el equipo de prueba ya que se utiliza un sistema trifásico como fuente de alimentación para el convertidor de CA-CD.

Las Figuras 3-11 y 3-12 muestran los diseños de los prototipos de la interfase para los dos sentidos de giro del motor, sentido directo y sentido inverso respectivamente. Nótese que el diagrama es prácticamente el mismo a diferencia que la señal del control cosenoidal es efectuada con un comparador inversor (Amp-ops 1C, 2C y 3C) y un voltaje de

control VcTL negativo para controlar el semiciclo negativo del voltaje aplicado al motor. Las formas de onda de estos controles se presentan en las Figuras 3-13 y 3-14.

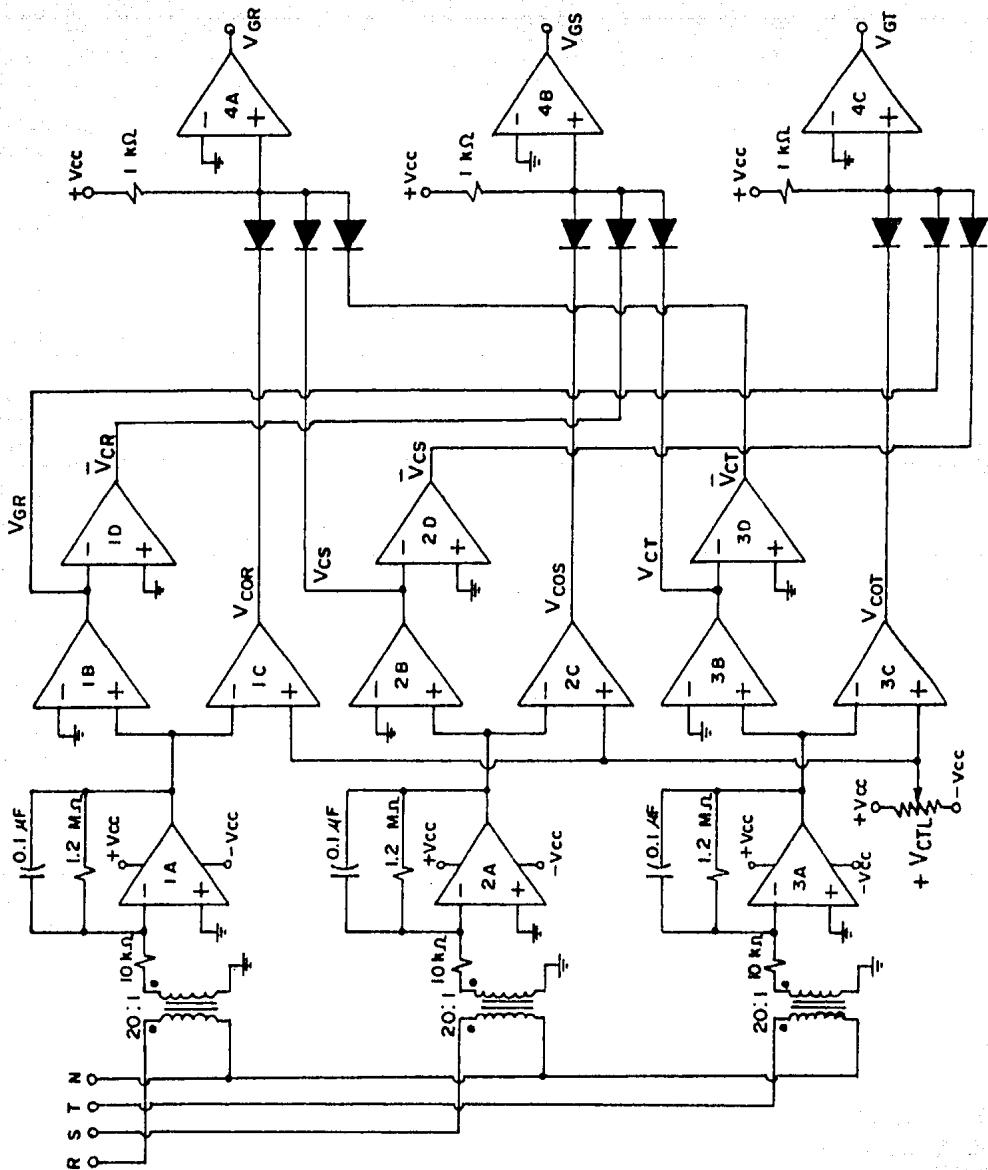


Figura 3-11 Control de Disparo para $30^\circ < \alpha_d < 150^\circ$ (Sentido Directo).

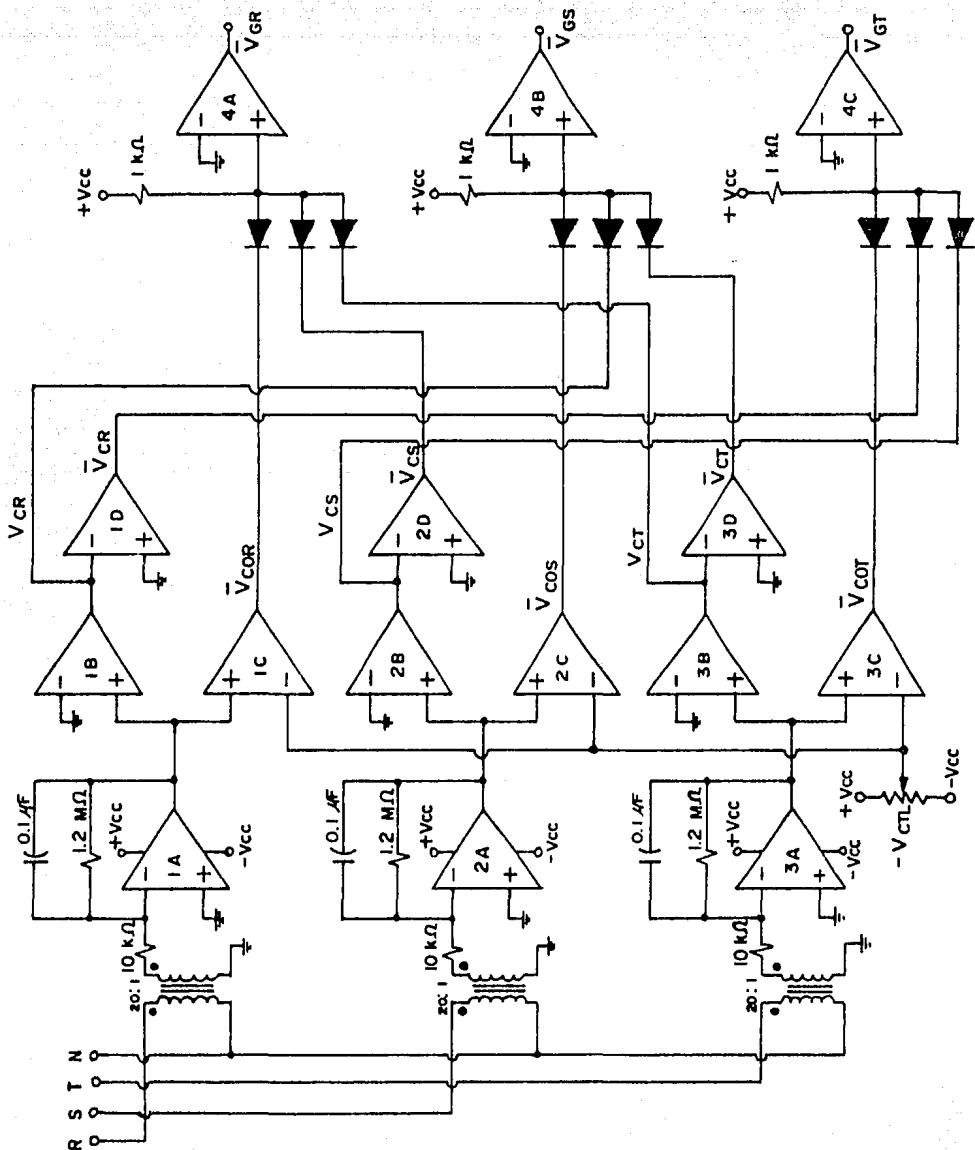


Figura 3-12 Control de Disparo para $30^\circ < \alpha_d < 150^\circ$ (Sentido Inverso).

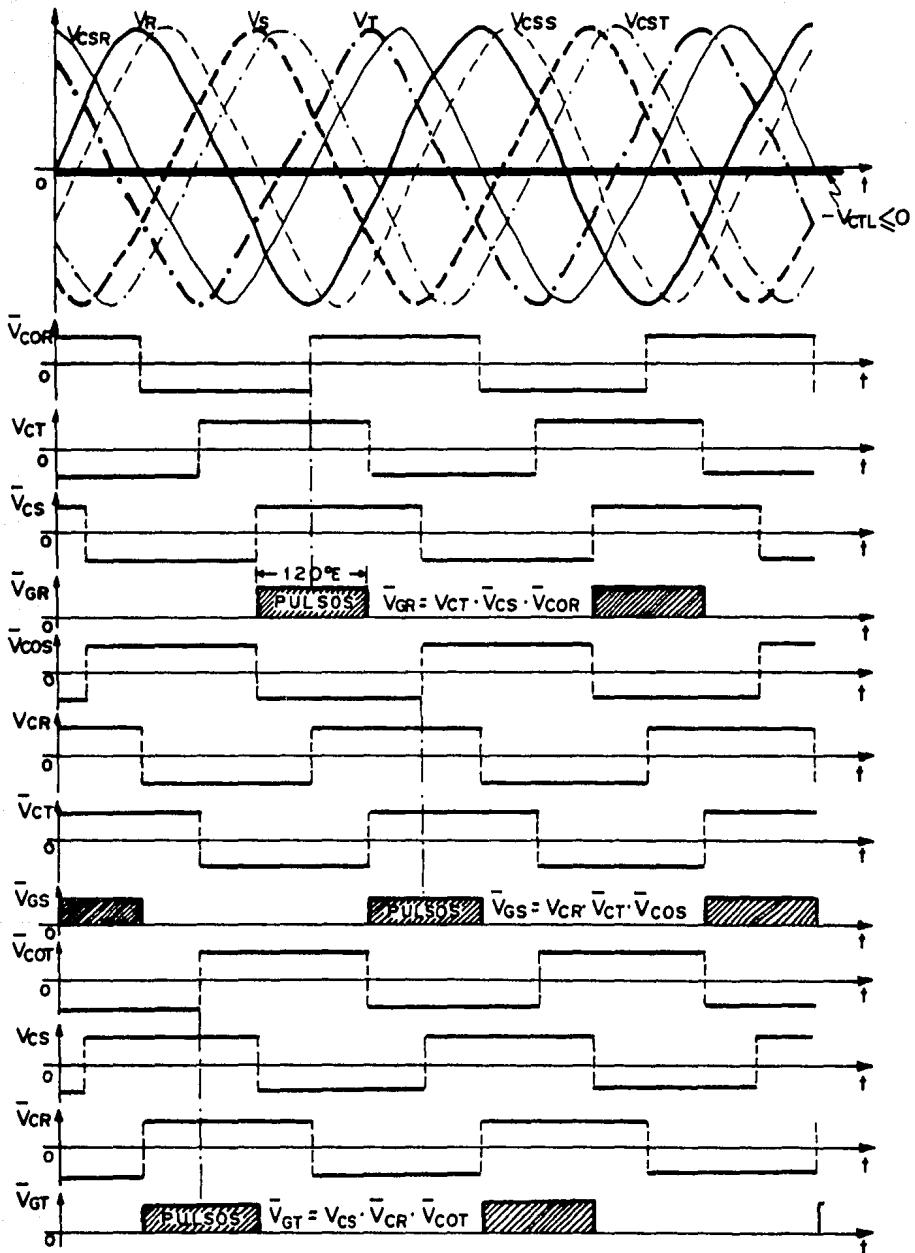


Figura 3-14 Formas de Onda del Control para $30^\circ < Q_d < 150^\circ$
(Sentido Inverso de Giro).

Notemos que las señales de control V_{COR} , V_{COS} , V_{COT} y las negadas para el control del sentido inverso \bar{V}_{COR} , \bar{V}_{COS} y \bar{V}_{COT} , son moduladas por ancho de pulso dependiendo del voltaje de control, que en este caso indicamos con líneas verticales punteadas para $V_{CTL} = 0$ volts para ambos casos (Figuras 3-13 y 3-14).

La Función Lógica de los pulsos de disparo para cada sentido de giro son :

$$\begin{array}{l}
 V_{GR} = V_{CS} \cdot \bar{V}_{CT} \cdot V_{COR} \\
 V_{GS} = V_{CT} \cdot \bar{V}_{CR} \cdot V_{COS} \\
 V_{GT} = V_{CR} \cdot \bar{V}_{CS} \cdot V_{COT} \\
 V_{GR} = V_{CT} \cdot \bar{V}_{CS} \cdot \bar{V}_{COR} \\
 V_{GS} = V_{CR} \cdot \bar{V}_{CT} \cdot \bar{V}_{COS} \\
 V_{GT} = V_{CS} \cdot \bar{V}_{CR} \cdot \bar{V}_{COT}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \\
 \text{Sentido Directo} \\
 \\
 \\
 \text{Sentido Inverso} \\
 \end{array}$$

Hasta aquí se hace una reseña de los prototipos diseñados para la interfase, en el siguiente apartado se entrará en detalle del diseño completo de la Interfase de Potencia.

3.3 INTERFASE DE POTENCIA.

3.3.1 Resumen del Diseño Integral.

El desarrollo de la interfase de potencia es básicamente un sistema de control de velocidad de motores de C.D. con Excitación Separada del Auctor Multiplex, en base a un Convertidor de CA-CD Trifásico de media onda con común controlado por fase. Esta interfase (Bloque D, Figura 3-1) es operada por una tarjeta especializada en control numérico NCB-102, la cual proporciona un voltaje analógico de salida de :

- I) Giro del motor en Sentido Directo : 0 a + 10 Volts.
- II) Giro del motor en Sentido Inverso : 0 a - 10 Volts.

Estos voltajes se utilizan como señales de referencia para el control de potencia, para regular la velocidad de los motores de C.D. Estos, están alimentados con una fuente trifásica y un Banco de Tiristores (SCRs) configurados en paralelo-inverso, los cuales dan un nivel máximo de 128 Vcd variables en la carga. Se requiere que el Convertidor CA-CD tenga una respuesta lineal a la salida para cambios lineales en la entrada del sistema alimentado por la tarjeta de control

numérico NCB-102. El control seleccionado y probado es cosenoidal de ángulo de fase, el cual tiene una salida lineal de voltaje de C.D. respecto a cambios en el voltaje analógico de salida VTAR de la tarjeta de control.

La Figura 3-15 muestra el diagrama a bloques de los circuitos que constituyen la Interfase de Potencia del diseño integral.

Los Bloques 1, 2 y 4 integran el control cosenoidal de ángulo de disparo por fase. El Bloque 3 es el que acondiciona el voltaje de control para cada semiciclo del voltaje aplicado al motor, tomado de la salida de la tarjeta de control numérico.

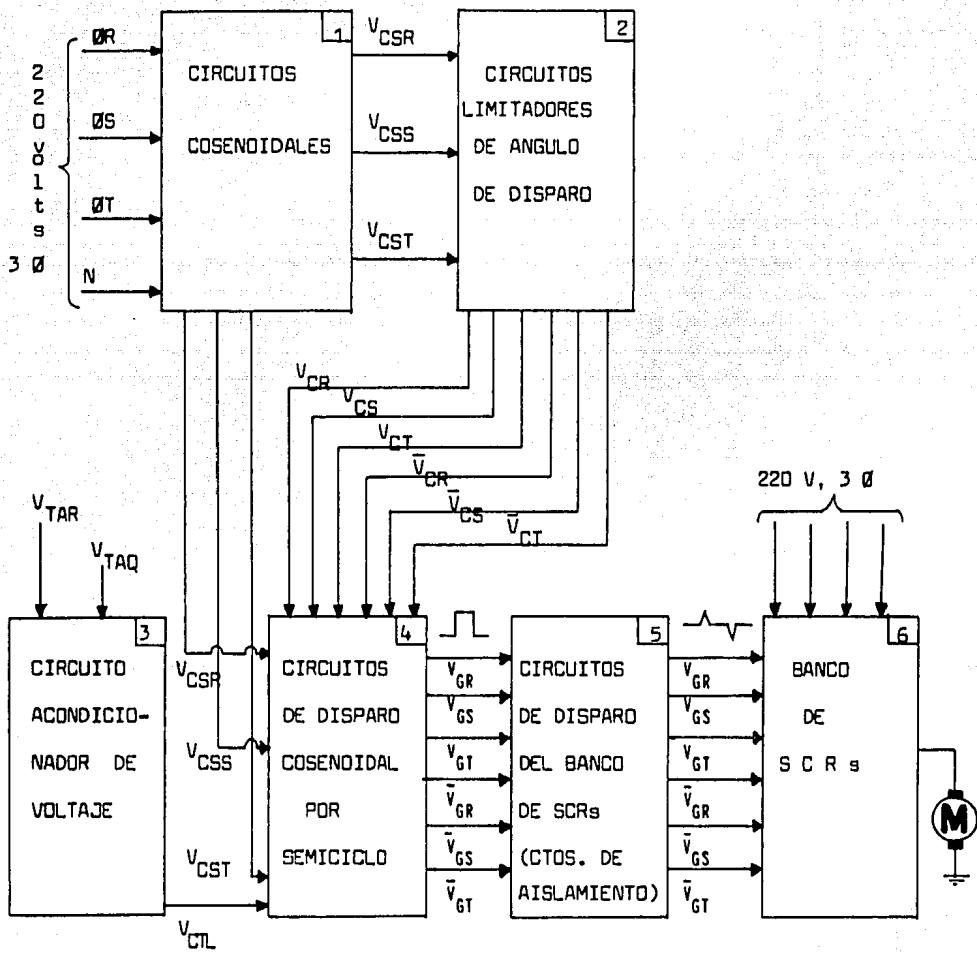


Figura 3-15 Diseño Integral de la Interfase de Potencia.

3.3.2 Descripción de Bloques del Diseño Integral.

Bloque 1 : Circuitos Cosenoidales.

Para implementar la técnica de Cruce por Coseno para los circuitos de disparo de los SCR's, y obtener una respuesta lineal de voltaje de control contra voltajes de armadura en terminales del motor; es necesario tener una función cosenoidal de cada fase R, S y T. El diseño de los circuitos cosenoidales es en base a amplificadores operacionales integradores cuya ganancia de lazo cerrado es $A_{VCL} = 1$. La Figura 3-15i muestra este diseño.

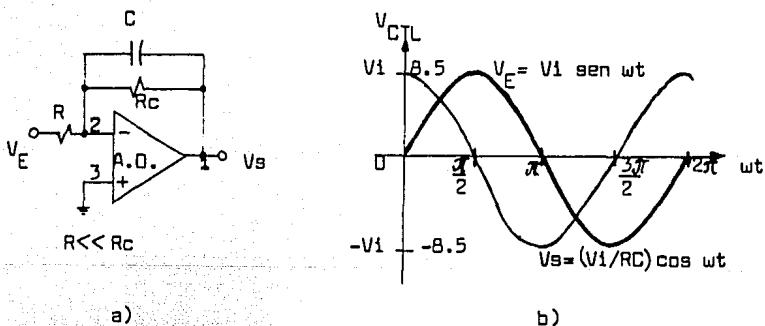


Figura 3-15i Circuito Cosenoidal. a) Diagrama Eléctrico.
b) Formas de Onda de los voltajes de entrada y salida.

El voltaje de control V_{CTL} genera pulsos de disparo en el punto de cruce por cero del voltaje cosenoidal V_s , obtenido del voltaje de entrada V_E . Este voltaje es

una función senoidal dada por un transformador de 120/6 Vca acoplado a cada fase R, S y T. Estas señales en función del tiempo son :

$$V_s(t) = \sqrt{2} (6 \text{ Vca}) \sin wt$$

$$\text{donde } wt = 2\pi ft = 2(3.14)(60 \text{ Hz})t = 377 t$$

$$V_s(t) = 8.5 \sin(377 t) \quad \dots \text{ Ec. 3-1}$$

La función cosenoidal está dada por :

$$V_s(t) = (V_i/RC) \cos wt$$

El valor eficaz del voltaje de V_s es igual al de V_s , entonces:

$$V_i/RC = 8.5 \text{ Volts}$$

Por lo que:

$$V_s(t) = 8.5 \cos(377 t) \quad \dots \text{ Ec. 3-2}$$

Los valores máximo y mínimo de la función cosenoidal V_s son los límites de control de disparo de los SCRs. Se puede establecer que el límite de pendiente negativa controle el giro del motor en sentido directo (sentido de las manecillas del reloj) y el límite de pendiente positiva controle el giro en sentido inverso (contrario a las manecillas del reloj). La ganancia del amplificador es unitaria con defasamiento de 180° .

Las funciones cosenoidales obtenidas se denominan V_{csr} , V_{css} , V_{cst} para cada fase R, S, T, respectivamente.

El Bloque 1 completo se muestra en la Figura 3-15ii.

Los transformadores que proporcionan la entrada de cada fase son de 120/24 Vcr, 250 mA, suficiente para proporcionar el voltaje para el control y ofrecen un buen aislamiento eléctrico de la fuente trifásica de alimentación.

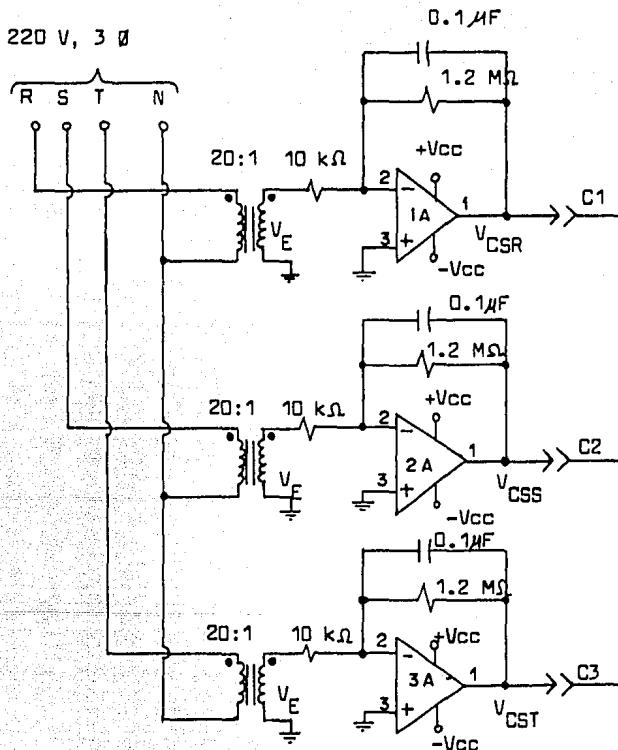


Figura 3-15ii Diagrama Eléctrico de los Circuitos Cosenoidales.

Bloque 2 : Circuitos Limitadores de Angulo de Disparo α .

Estos circuitos definen los ángulos de disparo con los que conducirá cada tiristor por fase y sentido de giro. Como base para el diseño se consideran los cruces por cero de las funciones cosenoidales (V_{cSR} , V_{cSS} , V_{cST}). Se emplea un amplificador operacional en configuración de comparador de malla abierta no-inversor, donde cada función cosenoidal se compara con tierra (0 volts) para obtener una señal de onda cuadrada con fase igual a las funciones cosenoidales. Estas señales se denominan V_{CR} , V_{CS} y V_{CT} , para el semiciclo de control positivo.

Mediante un comparador de malla abierta inversor se obtienen las funciones cosenoidales negadas \bar{V}_{CR} , \bar{V}_{CS} y \bar{V}_{CT} para el semiciclo de control negativo.

La Figura 3-16 muestra el diagrama del diseño de este bloque. La combinación lógica de estas funciones, limitan los ángulos de disparo mínimo y máximo para cada fase R, S y T.

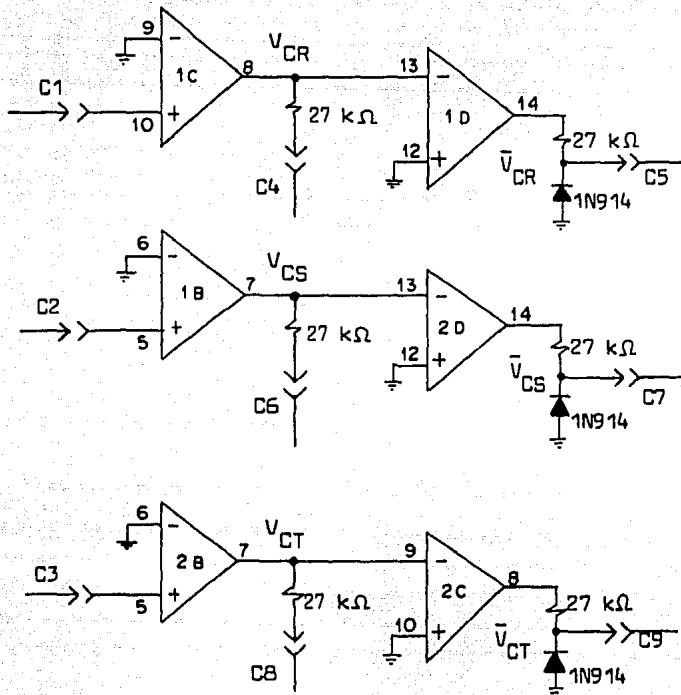


Figura 3-16 Diagrama Eléctrico de los Circuitos Limitadores de Angulo de Disparo α .

Bloque 3 : Circuito Acondicionador de Voltaje y Acción de Control P-I.

Este Bloque representa el circuito que acondiciona el voltaje que proporciona la tarjeta de control numérico (± 10 Volts), de tal modo que pueda ser utilizado por el circuito de disparo cosenoidal por semiciclo (Bloque 4) que se describe en la sección siguiente.

La Función de Transferencia del voltaje promedio de C.D. aplicado al motor con respecto al voltaje de la tarjeta (V_{TAR}) y el voltaje de control de disparo cosenoidal (V_{CTL}) se muestra en la gráfica de la Figura 3-17 para ambos sentidos de giro del motor de C.D.

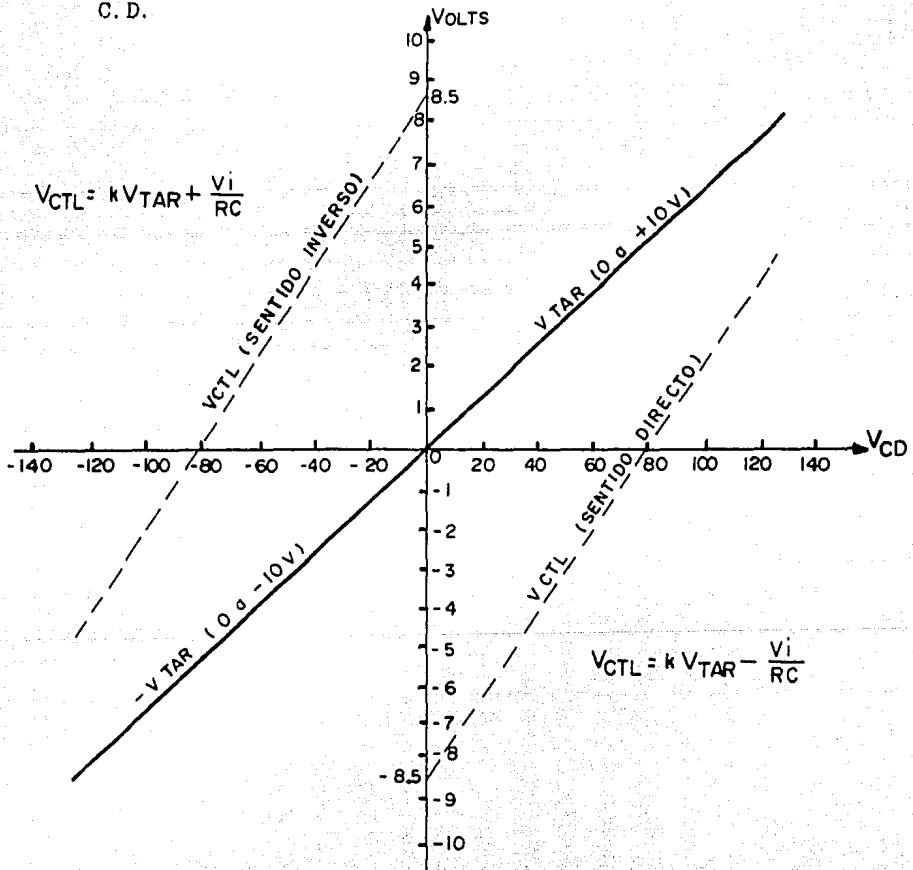


Figura 3-17 Funciones de Transferencia V_{TAR} y V_{CTL} en función de V_{CD} .

De la gráfica se observa que para cada semiciclo se requiere una función de transferencia que acondicione el voltaje de control. Para el sentido directo del motor la función es :

$$V_{CTL} = k V_{TAR} - (V_i/RC) \quad \dots \text{Ec. 3-3}$$

Donde k es una constante de linealidad para acondicionar el voltaje de control y V_i/RC es el valor pico de la función cosenoidal, esto es $k = 1.7$ y $V_i/RC = 8.5$ volts por lo tanto la Ecuación 3-3 es :

$$V_{CTL} = 1.7 V_{TAR} - 8.5 \text{ volts} \quad \dots \text{Ec. 3-4}$$

y para el sentido contrario la función de transferencia es :

$$V_{CTL} = 1.7 V_{TAR} + 8.5 \text{ volts} \quad \dots \text{Ec. 3-5}$$

La Figura 3-18 muestra el diagrama eléctrico que cumple con las características para el acondicionamiento de voltaje de control V_{CTL} con el voltaje dado por la tarjeta. V_{TAR} se acondiciona de tal manera que se tenga una ganancia $k = 1.7$ con arreglo de amplificadores operacionales para sensar los voltajes de la tarjeta de 0 a +10 V, así como el voltaje taquimétrico V_{RAQ} de retroalimentación dado por la velocidad del motor.

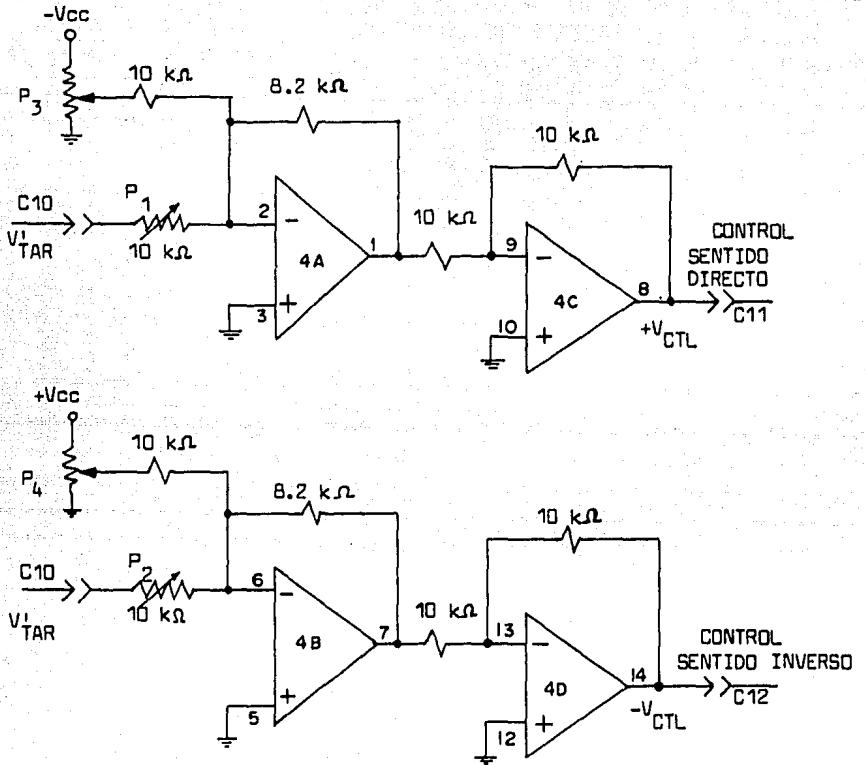


Figura 3-18 Circuito Acondicionador del Voltaje de Control de Disparo Cosenoidal.

El circuito de la Figura 3-19 muestra el diseño de esta acción de control que es del tipo proporcional-integral, para obtener una buena regulación de velocidad del motor.

ESTO NO DEBE SER
 LEIDO POR LA
 SALIDA

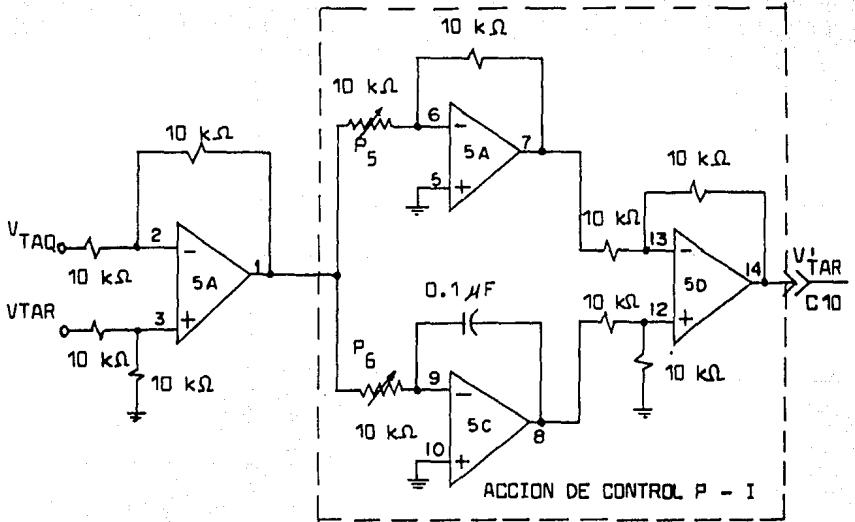


Figura 3-19 Acción de Control P-I para el Acondicionamiento del Voltaje de Control.

La Figura 3-19a muestra el diagrama a bloques de esta acción de control P-I.

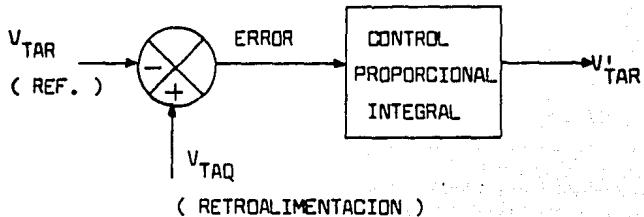


Figura 3-19a Acción de Control Proporcional-Integral.

El Detector de Error es el Amp-Op (5A) que está en configuración de comparador de malla abierta no inversor donde el voltaje de referencia (V_{TAR}) dado por la tarjeta de control numérico NCB-102 se compara con el voltaje taquimétrico que proporciona el tacogenerador del valor real de la velocidad del motor de C.D. La diferencia de estas señales proporciona el voltaje de error actuante del controlador, el cual se compone de dos Amp-Ops (5B y 5C) cuyas salidas van a un Amp-Op sumador para tener la acción de control Proporcional-Integral. La ganancia del controlador es Unitaria por lo que la función de transferencia es proporcional al error actuante del sistema .

El tipo de entrada al sistema son escalones unitarios y el tipo de sistema del controlador es de un polo en el origen por lo que el coeficiente de error estático de velocidad es una constante por lo que el error actuante estable del sistema es cero.

Bloque 4 : Circuitos de Disparo Cosenoidal por Semiciclo.

Este Bloque representa los Circuitos de Disparo Cosenoidal por Semiciclo para las tres fases, estos consisten básicamente de un comparador que proporciona un nivel de voltaje a la salida cada vez que la función

cosenoidal es menor que el voltaje de control V_{CTL} dado por el Circuito Acondicionador (Bloque 3), proporcionando un tren de pulsos para disparar el Banco de SCRs a través de los Circuitos de Aislamiento (Bloque 5).

La Figura 3-20 muestra el diseño de estos circuitos para ambos semiciclos de control. Nótese que lo que cambia entre uno y otro es la polaridad del comparador. Las compuertas AND de tres entradas realizan la combinación lógica para determinar los ángulos de disparo máximo y mínimo.

Las resistencias de $27\text{ k}\Omega$ que se emplean en las entradas de las compuertas son de acoplamiento, entre estas y las señales limitadoras de α . Los diodos son para proteger las compuertas de voltaje pico inversos que se presentasen en la fuentes de polarización.

Las señales de disparo que se obtienen a la salida de las compuertas AND son V_{GR} , V_{Gs} , V_{Gr} para el semiciclo positivo y \bar{V}_{GR} , \bar{V}_{Gs} , \bar{V}_{Gr} para el semiciclo negativo del voltaje de alimentación de la fuente trifásica.

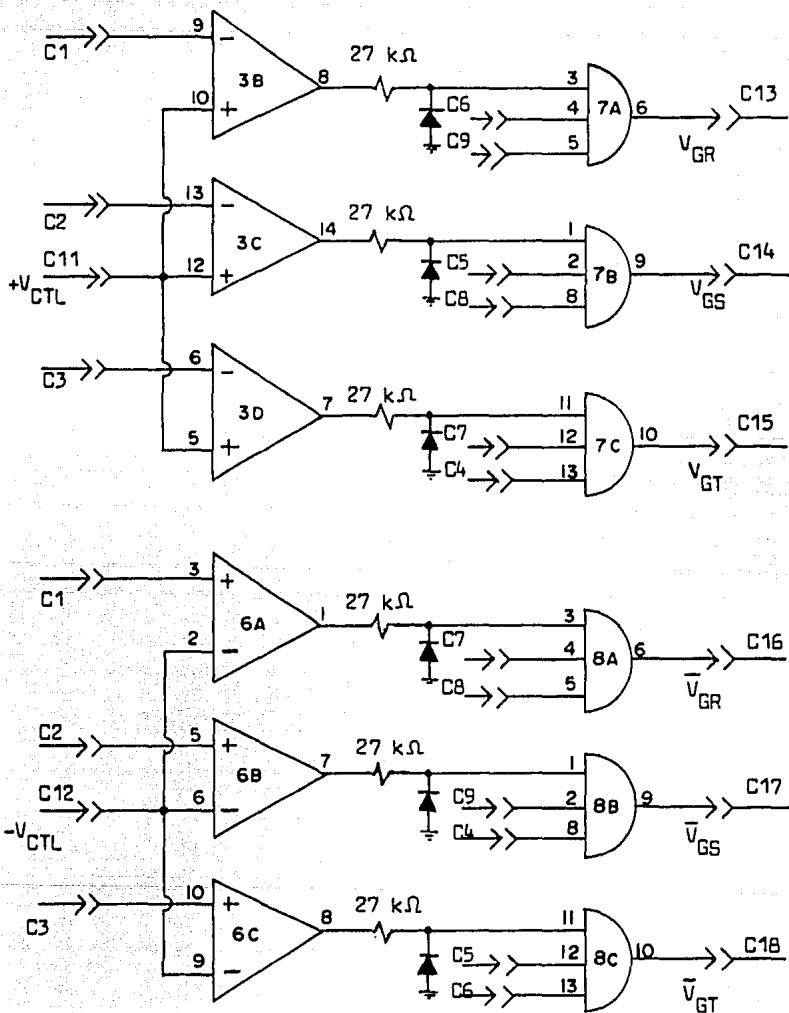


Figura 3-20

Diagrama Eléctrico de los Circuitos de Disparo Cosenoidal por Semiciclo.

Bloque 5 : Circuitos de Disparo del Banco de Tiristores (Circuitos de Aislamiento).

Este Bloque representa los Circuitos de Disparo del Banco de SCRs, los cuales consisten en circuitos diferenciadores que producen un tren de pulsos al recibir las señales de disparo V_{GR} , V_{GS} , etc., para alimentar un transformador de impulsos.

El circuito diferenciador es una red RC que produce un tren de impulsos que se aplican a la base de un transistor para amplificarlos, los cuales son aplicados al primario del transformador de impulsos (TFI); el secundario del TFI proporciona los pulsos de disparo amplificados en magnitud a los tiristores del Convertidor de CA-CD.

La Figura 3-21 muestra el diagrama eléctrico de este Bloque.

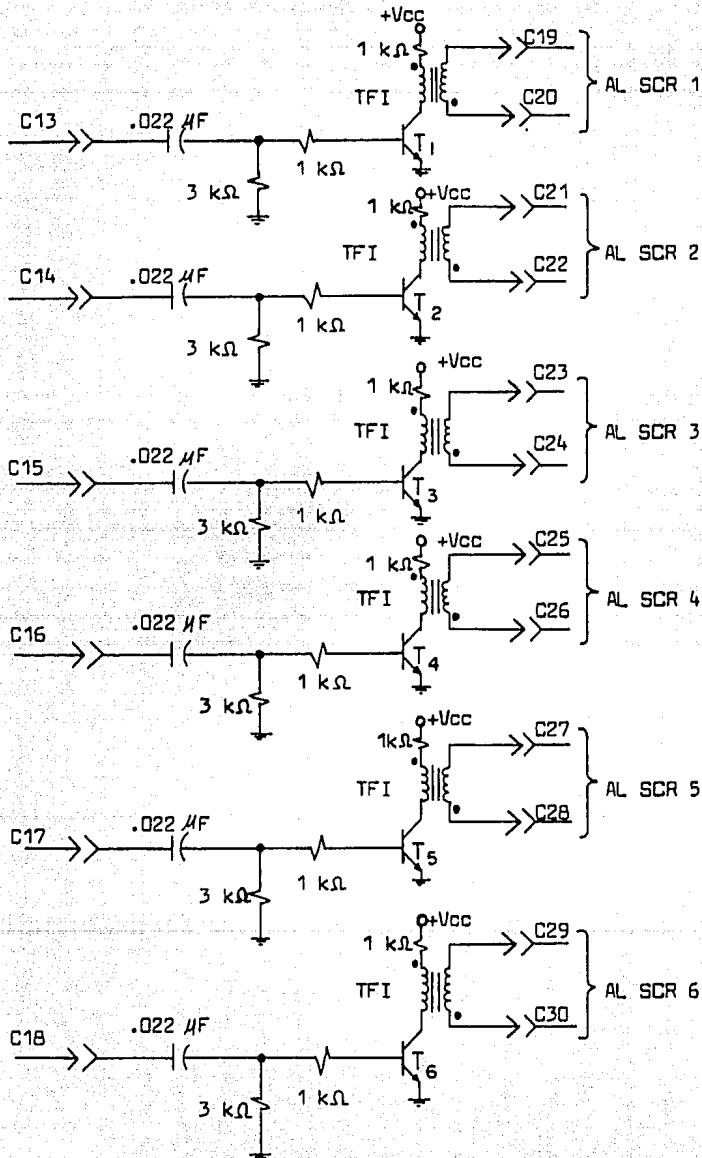


Figura 3-21 Circuitos de Disparo del Banco de SCRs.

Bloque 6 : Banco de Tiristores (SCRs).

Este Bloque representa el Convertidor de CA-CD que se va a utilizar en esta Interfase de Potencia. Este convertidor es trifásico de media onda con común.

Los tiristores están conectados en paralelo-inverso, tal como está en el diseño original del Auctor Multiplex.

Este sistema realiza la conmutación en forma natural, por lo que no se requieren dispositivos adicionales para realizar la conmutación en forma forzada. La Figura 3-22 muestra el Convertidor y la conexión con el inducido del motor de C.D. La alimentación se obtiene del mismo equipo de un transformador Δ -Y de 220 V/110 V con común.

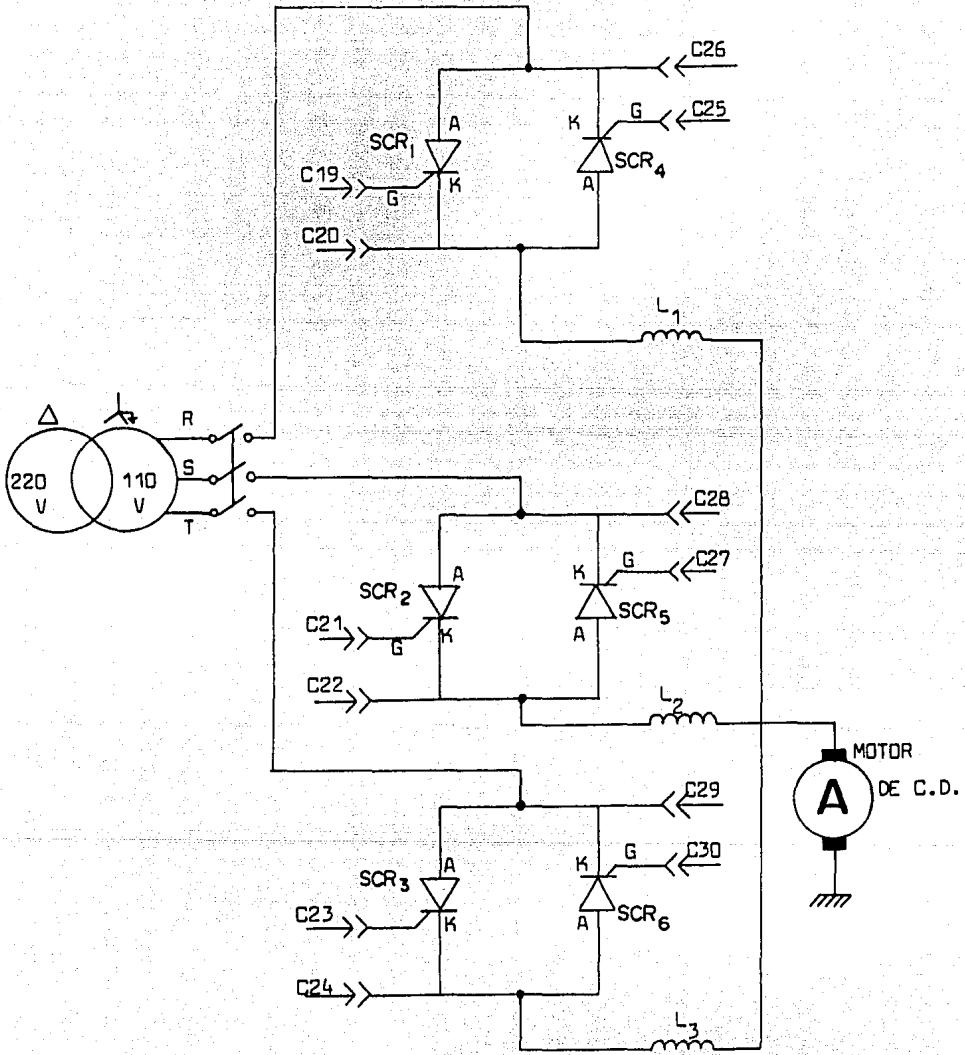


Figura 3-22 Convertidor de CA-CD Trifásico de Media Onda con Común.

3.3.3 Análisis de Respuesta del Diseño de la Interfase de Potencia.

El diagrama de la Figura 3-23a nos muestra el diseño completo de la interfase de potencia para el control de velocidad de los motores de C. D. de la máquina universal Auctor Multiplex. Las Figuras 3-23b y 3-23c presentan las formas de onda del control de disparo para el sentido directo e inverso respectivamente.

Este diseño es un sistema de control de lazo cerrado, el cual proporciona una buena regulación de velocidad, basada ésta en una retroalimentación a través de un tacogenerador que posee el servocontrol del Auctor.

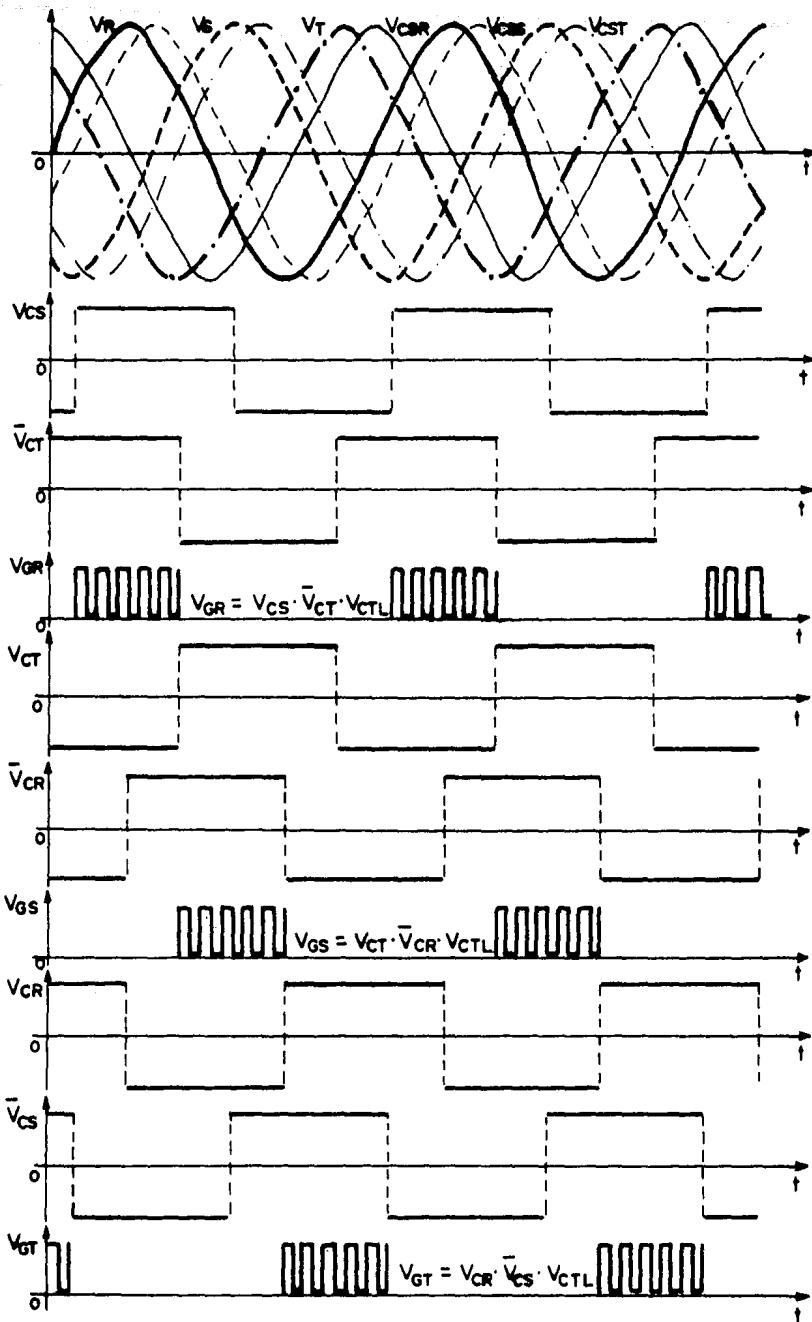


Figura 3-23b Formas de Onda del Control de Disparo de la Interfase de Potencia (Sentido Directo de Giro).

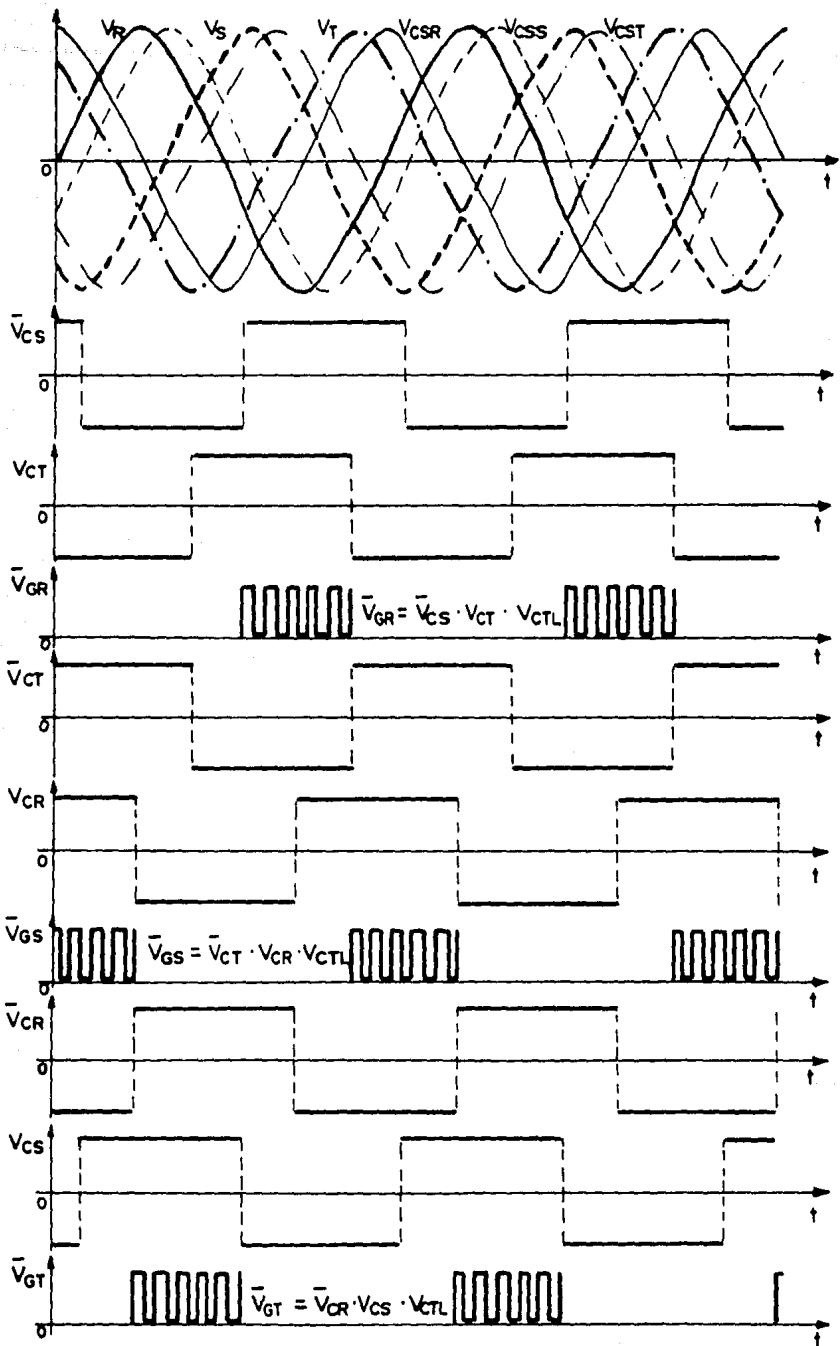


Figura 3-23c Formas de Onda del Control de Disparo de la Interfase de Potencia (Sentido Inverso de Giro).

El Diagrama a bloques del sistema de control de velocidad se muestra en la Figura 3-24.

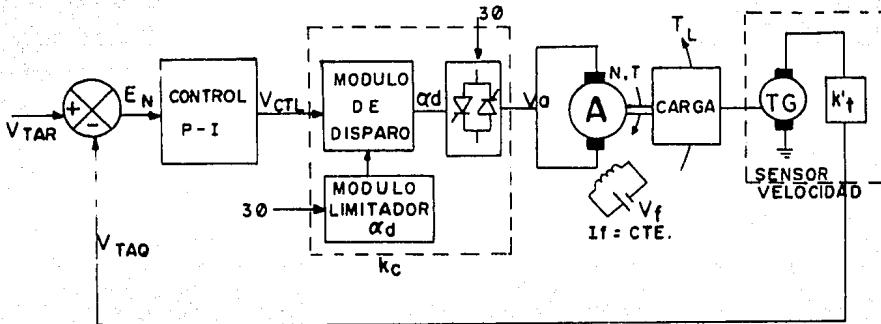


Figura 3-24 Sistema de Control de Velocidad de los Motores de Accionamiento del Auctor.

La Dinámica del sistema de control es:

a) Para la Acción de Control P-I, tenemos:

$$V_{CTL}(s) = K_p [1 + (1/T_i s)] E_N(s)$$

$$V_{CTL}(s)/E_N(s) = K_p [1 + (1/T_i s)]$$

b) Para el Convertidor CA-CD, tenemos:

$$V_a(s) = K_c V_{CTL}(s)$$

$$V_a(s)/V_{CTL}(s) = K_c$$

c) Para el motor acoplado a la carga, tenemos :

$$N(s) = [K_m / s(T_m s + 1)] V_a(s)$$

$$N(s)/V_a(s) = K_m / s(T_m s + 1)$$

Por lo que la Función de Transferencia del Sistema es.

$$\frac{V_{TAR}(S)}{V_{TAQ}(S)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] K_c \left[\frac{K_m}{s (T_{ms} + 1)} \right]$$

- Donde:
- T_i: Constante de tiempo integral del controlador.
 - T_m: Constante de tiempo del motor.
 - K_p: Ganancia del Controlador.
 - K_c: Ganancia del Módulo de Disparo y el Convertidor CA-CD.
 - K_m: Ganancia del motor acoplado a la carga.

Estos valores no se midieron experimentalmente, debido a que la Interfase se diseñó en función de las características propias del sistema de potencia de la máquina herramienta, siendo ajustables las ganancias y tiempo de respuesta de la interfase.

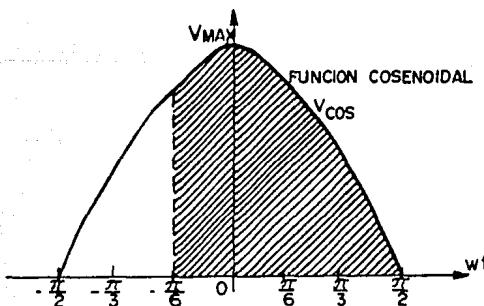
Cabe mencionar que entre las características del diseño, se pueden hacer ajustes para tener un ancho de banda muerta para la posibilidad de frenado dinámico (con la técnica de Modo de Circulación de Corriente) al invertirse el giro del motor, dando mayor confiabilidad al sistema debido a que se eliminan las corrientes circulantes en el Banco de Tiristores en la conmutación de un semiciclo a otro.

3.3.4 Resultados Experimentales y Comportamiento Teórico.

Este apartado muestra una sinopsis de los resultados que se obtuvieron experimentalmente en comparación con el comportamiento teórico de la transferencia de control de la Interfase de Potencia.

A continuación, se definen las expresiones matemáticas para calcular el voltaje promedio de C.D aplicado a la armadura del motor en función del voltaje de control cosenoidal para ángulos de disparo α de 0 a 120° E. El rango de control se lleva a cabo desde 30° E a 150° E, por lo que necesitamos definir las ecuaciones que nos proporcionen el cálculo del voltaje promedio de C.D. aplicado a la armadura en este rango.

La Gráfica 3-1 muestra la señal de control cosenoidal para el período $T = 2\pi / 3$ de 60 a 180° E.



Grafica 3-1 Voltaje promedio V_{cp} con control de 60 a 180° E.

El voltaje promedio V_{CD} de la función cosenoidal V_{cos} para $-\pi/6 < \alpha < \pi/2$ es:

$$V_{CD} = 1/T \int_{t_0}^t V_{cos}(t) dt = 3/2\pi \int_{-\pi/6}^{\pi/2} V_{max} \cos wt dwt \quad \therefore$$

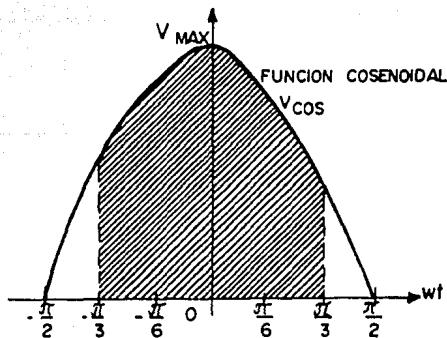
$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [\text{sen}(\pi/2) - \text{sen}(-\pi/6)]$$

Para cualquier valor de α de 0 a 120° , V_{CD} es:

$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [1 - \text{sen}(-\pi/6 + \alpha)] \quad \therefore \text{Ec. 3-6}$$

Para $-\pi/6 < \alpha < \pi/2$

La Gráfica 3-2 muestra la señal de control para $T = 2\pi/3$ con control de 30° a 60° E.



Gráfica 3-2 Voltaje promedio V_{CD} con control de 30° a 150° E.

Entonces.

$$V_{CD} = 1/T \int_0^T V \cos(\omega t) dt = 3/2\pi \int_{-\pi/3}^{\pi/3} V_{max} \cos \omega t d\omega t \quad \therefore$$
$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [\operatorname{sen} \pi/3 - \operatorname{sen}(-\pi/3)]$$

Para cualquier valor de α de 0 a 120° , V_{CD} es :

$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [\operatorname{sen}(\pi/3 + \alpha) - \operatorname{sen}(-\pi/3 + \alpha)] \quad \dots \text{Ec. 3-7}$$

Para $-\pi/3 < \alpha < \pi/3$

La Ecuación 3-6 nos proporciona el voltaje promedio V_{CD} para valores de α de 30° a 60° E y la Ecuación 3-7 para valores de α de 60° a 180° E de la señal cosenoidal V_{cos} .

Como necesitamos calcular el voltaje promedio V_{CD} aplicado a la armadura, es decir, de la función senoidal de la fuente de alimentación; haciendo un corrimiento de 90° E, las Ecuaciones 3-6 y 3-7 quedan definidas como sigue:

$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [1 - \operatorname{sen}(-\pi/2 + \alpha)] \quad \dots \text{Ec. 3-8}$$

La ecuación 3-8 es valida para valores de T_c y α de:

$$T_c \leq 2\pi/3 \quad \text{y} \quad \pi/3 < \alpha < \pi$$

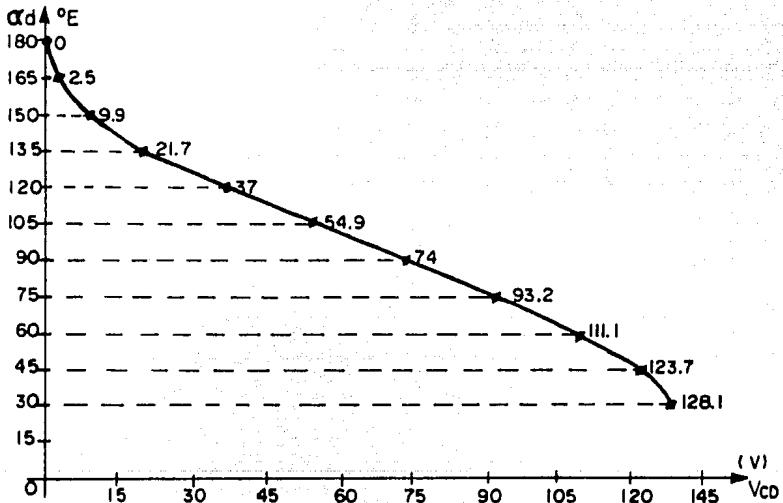
$$V_{CD} = 3 V_{max} / 2\pi [\operatorname{sen}(\pi/6 + \alpha) + \operatorname{sen} \pi/2 + \alpha] \quad \dots \text{Ec. 3-9}$$

La Ec. 3-9 es válida para valores de T_c y α_d de:

$$T_c \leq 5\pi/6 \quad \text{y} \quad \pi/6 < \alpha_d < \pi/3.$$

Donde T_c es el período de conducción del semiciclo para un ángulo de disparo α_d determinado.

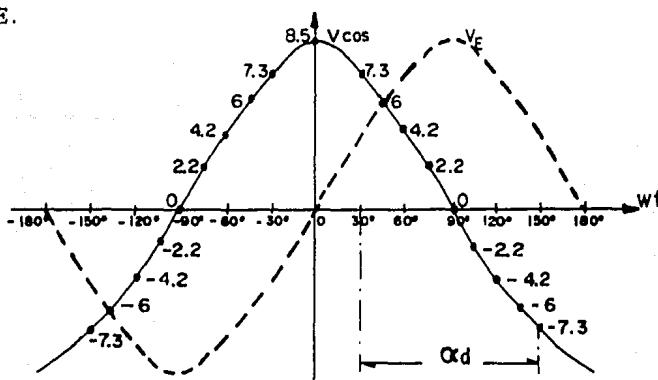
Empleando estas Ecuaciones 3-8 y 3-9 obtenemos la respuesta de V_{CD} en función de α_d como se muestra en la Gráfica 3-3



Gráfica 3-3 Respuesta de V_{CD} en función de α_d .

En la Gráfica anterior se puede observar que la respuesta es lineal, resumiendo que el control cosenoidal es bastante aceptable para emplearse en el diseño.

Una vez analizado como se comporta el voltaje promedio V_{cd} aplicado al motor, observemos cual es el comportamiento del acondicionamiento entre el voltaje de control cosenoidal y el voltaje dado por la tarjeta de control numérico. La Gráfica 3-4 muestra la señales de voltaje cosenoidal de control, mostrando los valores instantáneos para diferentes ángulos de disparo de 30 a 150 °E.



Gráfica 3-4 Valores Instantáneos del Voltaje Cosenoidal para 30 ° α_d <math>< 150^\circ</math> E.

El Acondicionamiento del voltaje de control de +7.3 volts es :

A) Para el semiciclo positivo de conducción:

VOLTAJE DE TARJETA V_{tar}	VOLTAJE DE CONTROL V_{cTL}	ANGULO DE DISPARO α_d
10 V	7.3 V	30 ° (mínimo)
1 V	- 5.8 V	150 ° (máximo)

Tabla 3-1 Valores Mínimo y Máximo del Voltaje de Control(Semiciclo Positivo).

La Función de Transferencia es:

$$V_{CTL} = k V_{TAR} - 7.3 \quad \dots \text{Ec. 3-10}$$

Donde k es una constante de linealidad, esto es:

$$\text{Para } V_{TAR} = 1 \text{ V} \quad V_{CTL} = - 5.8 \text{ V}$$

$$\text{Para } V_{TAR} = 10 \text{ V} \quad V_{CTL} = 7.3 \text{ V}$$

Sustituyendo para $V_{TAR} = 10 \text{ V}$ en la Ec. 3-10, tenemos:

$$7.3 = 10 (k) - 7.3 \quad \therefore \quad k = 1.46$$

La Función de Transferencia de Control para el semiciclo positivo es:

$$V_{CTL} = 1.46 V_{TAR} - 7.3 \quad \dots \text{Ec. 3-11}$$

B) Para el semiciclo negativo de conducción:

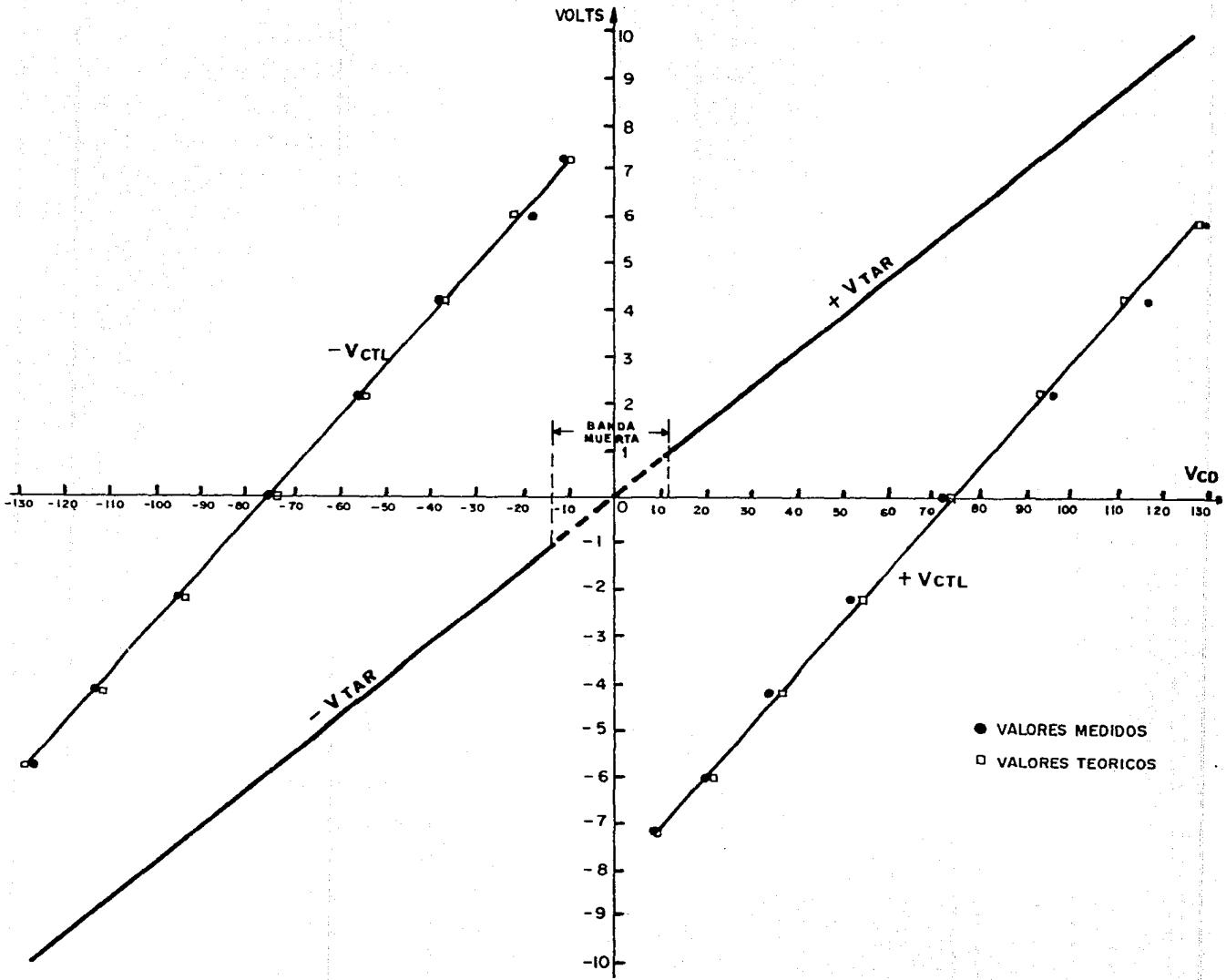
VOLTAJE DE TARJETA V_{TAR}	VOLTAJE DE CONTROL V_{CTL}	ANGULO DE DISPARO α
- 10 V	- 7.3 V	30 ° (mínimo)
- 1 V	5.8 V	150 ° (máximo)

Tabla 3-2 Valores Mínimo y Máximo del Voltaje de Control (Semiciclo Negativo).

La Función de Transferencia de Control es:

$$V_{CTL} = 1.46 V_{TAR} + 7.3 \quad \dots \text{Ec. 3-12}$$

La Gráfica 3-5 y la Tabla 3-3 muestran los resultados obtenidos contra los valores calculados de las funciones de transferencia del acondicionamiento del voltaje de control cosenoidal de la interfase de potencia diseñada.



SENTIDO DIRECTO DE GIRO (Semiciclo Positivo)					
VOLTAJE DE CONTROL		VOLTAJE PROMEDIO		ANGULO DE DISPARO	
V _{CTL} (Volts)		V _{CD} (Volts)		α _d (°E)	
VALORES TEORICOS	VALORES MEDIDOS	VALORES TEORICOS	VALORES MEDIDOS	VALORES TEORICOS	VALORES MEDIDOS
5.83	5.83	128.1	129	30	32
4.24	4.24	111.1	116	60	61
2.19	2.19	93.2	95	75	74
0	0	74	72	90	91
- 2.19	- 2.19	54.9	51	105	102
- 4.24	- 4.24	37	33	120	118
- 6	- 6	21.7	20	135	132
- 7.2	- 7.2	9.9	9	150	148
SENTIDO INVERSO DE GIRO (Semiciclo Negativo)					
7.2	7.2	- 9.9	- 11.3	150	147
6	6	- 21.7	- 18.3	135	131
4.24	4.24	- 37	- 38.6	120	117
2.19	2.19	- 54.9	- 56.8	105	104
0	0	- 74	- 76.1	90	90
- 2.19	- 2.19	- 93.2	- 95.2	75	76
- 4.24	- 4.24	-111.1	-113.2	60	59
- 5.83	- 5.83	-128.1	-127.3	30	31

Nota : Los valores medidos de V_{CTL} se ajustaron a los valores teóricos para el análisis comparativo del diseño.

Tabla 3-3 Resultados Experimentales vs. Datos Teóricos de la Interfase de Potencia.

C O N C L U S I O N E S

El trabajo presentado consiste evidentemente en la implementación y desarrollo de técnicas para controlar la velocidad para motores de C.D., como los que accionan la Máquina Universal Auctor Multiplex. Estas técnicas cumplen con ciertas características como buena regulación de velocidad con carga, inversión de giro, frenado dinámico, aceleración y desaceleración automáticas, etc. Aprovechando el diseño constructivo propio del sistema de potencia de la Máquina, los requerimientos del proyecto plantean la necesidad de un estudio previo para utilizar una tarjeta especializada en control numérico como interfase entre un sistema computarizado de operación y el sistema mecánico (motores de accionamiento en los tres ejes de movimiento X, Y, Z), con ciertas características de control capaces de realizar funciones mecánicas más complejas que las del sistema de gobierno original.

Previsto lo anterior, en base a las características de la tarjeta de control (Interfase de Control), se salvó esta parte, desarrollando el acondicionamiento de señales que permiten tener una respuesta lineal del convertidor de CA-CD para cambios lineales en la entrada del control del módulo de disparo, alimentado por esta tarjeta. La técnica de cruce por coseno proporciona adecuadamente un control

cosenoidal de ángulo de disparo, directo a la fuente de alimentación con una sincronización automática, obteniendo una salida lineal de voltaje aplicado a las terminales de la armadura del motor.

El convertidor utilizado tiene la ventaja de recuperar energía de la fuente de alimentación debido a que el módulo de disparo está diseñado para que el motor actúe como generador en ciertos valores del ángulo de disparo, en los que las variables de operación (Voltaje y Corriente de Armadura) tienen polaridades opuestas; es decir, el convertidor no rectifica la corriente aplicada, sino que la invierte recuperando energía a la fuente de C.A., pudiéndose aprovechar para efectuar un frenado dinámico del motor.

En el análisis comparativo de los datos obtenidos experimentalmente y los cálculos teóricos de las características de transferencia y control de la interfase diseñada, se puede observar que no existen desviaciones entre los resultados que sean considerables, por lo que podemos afirmar que el sistema cumple con las condiciones requeridas para manejar las variables físicas de los movimientos de traslación longitudinal y transversal de la bancada según cada eje X, Y o Z de la Máquina Universal Auctor Multiplex C.N. Z. 40A/460 de Olivetti.

G L O S A R I O

- Avellanado .- Ensanchamiento en una porción de los barrenos de una pieza maquinada.
- Canoto .- Elemento mecánico para desplazamiento en la dirección del Eje Z.
- Escariado .- Redondeado de un barreno mediante el escariador.
- Fileteado .- Roscado de una pieza cilíndrica.
- Gollete .- Buje o cuello estrecho.
- Husillo .- Pieza cilíndrica o Eje que proporciona el movimiento angular de una máquina herramienta.
- Labrar .- Trabajar una pieza mecánica en una máquina herramienta.
- Lamado .- Desbaste rectilíneo en una pieza mecánica.
- Mandril .- (It. Mandrino) Elemento mecánico de sujeción de una pieza en una máquina herramienta.

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

- MANUAL DE INSTALACION Y MANUTENCION DE LA MAQUINA UNIVERSAL AUCTOR MULTIPLEX C.N.Z. 40A/460 DE OLIVETTI, 1968.
- MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AUCTOR MULTIPLEX C.N.Z. 40A/460 (C.R.O.D.E.-CELAYA), Agosto de 1982.
- TESIS : EL CONTROL NUMERICO DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS, PARTICULARIZANDO A LAS MAQUINAS AUCTOR MULTIPLEX C.N.Z. OLIVETTI ADQUIRIDAS POR LOS I.T.R.s, Marzo de 1970.
- ELECTRONICA INDUSTRIAL, DISPOSITIVOS Y SISTEMAS de Timothy J. Maloney, Editorial PHI, 1983.
- CONTROL ELECTRONICO DE LOS MOTORES DE C.C. DE R. CHAUPRADE, COLECCION ELECTRONICA/INFORMATICA, Editorial G. Gili S.A., 1983.
- MEMORIA DE CONFERENCIAS DE LA IX REUNION ACADEMICA DE INGENIERIA ELECTRONICA " ELECTRO '87 ", Octubre de 1987.