CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y
DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTOS COORDINADOS EN TRES EJES.

T E S I S

MAESTRIA EN CIENCIAS

Hector Mejia Vazquez

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ABRIL DE 1979.

RESUMEN de la Tesis de Héctor Mejía Vázquez presentada como requisito para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en INSTRUMENTACION ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California, México. Abril de 1991.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTOS COORDINADOS EN TRES EJES

Resumen aprobado por:

Dr. Enrique Mitrani Abenchuchan
Director de Tesis

Se presenta el diseño de un sistema para coordinar movimiento utilizando técnica de coordinación por contorno en tres dimensiones y control en lazo abierto. El diseño se divide en circuitería y programación. Juntos crean la infraestructura necesaria para generar trayectorias lineales. La circuitería comprende una tarjeta dedicada con microprocesador , comunicación serializada, arreglos lógicos genéricos , sintetizadores digitales y protección mediante aislamiento óptico de la etapa para manejo de potencia en los motores. La programación se desarrolla en lenguajes de alto nivel y ensamblador y comprende rutinas en tiempo real para control de motores de pasos y comunicación serializada además de procedimientos para interacción con el usuario y control de secuencia de eventos mediante el empleo de banderas. Para probar el funcionamiento, el sistema utiliza una mesa trazante desarrollada en el CICESE que originalmente, contaba con desplazamientos no coordinados en dos de sus ejes y un control SI-NO en un tercero. Se arman y diseñan las tarjetas necesarias para añadir la posibilidad de desplazamiento coordinado en los tres ejes, así como el manejo de los motores activando dos fases simultáneamente. Se agrega a la programática la posibilidad de compensación de inexactitudes mecánicas de la mesa trazante así como la de interpretar archivos en DM/PL provenientes de los paquetes comerciales OrCAD y SMARTWORK.

TESIS DEFENDIDA POR: **HECTOR MEJIA VAZQUEZ**

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE:

DR. ENRIQUE MITRANI ABENCHUCHAN.- Director del Comité

M.C. MOISES CASTRO DELGADO. - Miembro del Comité

M.C. JAIME SANCHEZ GARCIA.- Miembro del Comité

M.C. HUGO HOMERO HIDALGO SILVA.- Miembro del Comité

DR. JOAQUIN ALVAREZ GALLEGOS.- Jefe del Depto. de Electrónica y Telecomunicaciones

DR. HECTOR ECHAVARRIA HERAS.- Director Académico

CICESE

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA.

DIVISION DE FISICA APLICADA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTOS COORDINADOS EN TRES EJES.

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

HECTOR MEJIA VAZQUEZ

Ensenada, Baja California, Abril de 1991.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas.

A María.

AGRADECIMIENTOS

A Don Enrique Mitrani A. por su orientación profesional que va más allá del desarrollo de esta tesis.

A María del Rosario por su ayuda en la escritura y dibujos.

A Raul Moreno por su valiosa colaboración.

A todos los miembros del comité de tesis por su comentarios y correcciones al manuscrito.

A todos mis profesores, compañeros y amigos, especialmente a Frank Loop, Moises Cywiak y Jose Rosario Gallardo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

CONTENIDO

		Página
I	INTRODUCCION	1
II	MOVIMIENTO COORDINADO Y DEPENDENCIAS.	3
	II.1 Necesidad de la coordinación de movimiento.	3
	I.2 Aplicación de la coordinación de Movimiento.	3
	II.3 Técnicas de Coordinación de Movimiento.	5
	II.4 Aplicación específica de coordinación de movimiento: mesa trazante.	6
	II.4.1 Mesa trazante CICESE.	6
	II.5 Exactitud mecánica de la mesa trazante y su influencia en la coordinación de movimiento.	8
	II.6 Movimiento coordinado aplicado a motores de pasos.	10
	II.6.1 Motores de pasos.	10
	II.6.2 Relación velocidad-carga en motores de pasos.	15
	II.6.3 Requisitos de eficiencia en la coordinación de movimiento en motores de pasos.	16
	II.7 Programación en tiempo real.	17

CONTENIDO (Continuación)

Página

III ESPECIFICACIONES Y MODELO BASICO DEL SISTEMA PARA REALIZAR MOVIMIENTO COORDINADO UTILIZANDO MOTORES DE PASOS 18

III.1 Objetivos. 18

III.2 Justificación del diseño del sistema. 18

III.3 Especificaciones. 19

III.4 Limitaciones. 21

IV DISEÑO DEL SISTEMA. 22

IV.1 Estructura general a bloques. 22

IV.2 Breve descripción del sistema. 24

IV.3 Diseño 27

IV.3.1 Tarjeta de control. 27

IV.3.1.1 Microprocesador y periféricos. 27

IV.3.1.2 Coordinador y Generador de Perfil de Velocidad GPV. 30

IV.3.1.2.1 Sintetizadores de frecuencia de tipo digital. 30

IV.3.1.2.2 Implementación del sintetizador digital. 32

CONTENIDO (Continuación)

Página

IV.3.1.2.3 Implementación del coordinador y del reloj amo. 36

IV.3.1.2.4 Implementación del GPV. 37

IV.3.1.3 Transladadores de pulsos. 40

IV.3.1.4 Lógica asociada. 47

IV.3.1.5 Combinación de programática y circuitería para lograr un desplazamiento coordinado. 52

IV.3.2 Tarjeta interfaz. 55

IV.3.3 Manejadores de potencia. 56

IV.3.3.1 Etapa de potencia. 57

IV.3.3.2 Etapa acondicionamiento. 58

IV.3.3.2.1 Multicanalizador de retardos. 61

IV.3.4. Programática. 63

IV.3.4.1 Programática para control en la secuencia de eventos y protocolo de comunicación entre TC y CP. 64

IV.3.4.1.1 Protocolo de comunicación entre TC y CP. 65

IV.3.4.2 Programática en tiempo real. 71

IV.3.4.3 Programática para interacción con el usuario. 74

CONTENIDO (Continuación)

		Página
IV.3.4.3.1	Marco de interacción con el usuario.	76
IV.3.4.3.2	Mando A: "Posicionamiento absoluto".	78
IV.3.4.3.3	Mando C: "Continuar".	79
IV.3.4.3.4	Mando D: "Disco".	80
IV.3.4.3.5	Mando E: "Ir a DOS".	83
IV.3.4.3.6	Mando F: "Flechas".	84
IV.3.4.3.7	Mando H: "Origen físico".	85
IV.3.4.3.8	Mando O: "Origen absoluto".	86
IV.3.4.3.9	Mando P: "Perfora".	87
IV.3.4.3.10	Mando Q: "Pausa".	88
IV.3.4.3.11	Mando R: "Posicionamiento relativo".	88
IV.3.4.3.12	Mando S: "Origen relativo".	90
IV.3.4.3.13	Mando T: "Anclado"	91

CONTENIDO (Continuación)

		Página
IV.3.4.3.14	Mando U: "Desanclado".	91
IV.3.4.3.15	Mando V: "Velocidad"	92
IV.3.4.3.16	Mando !: "Detente!".	93
IV.3.4.3.17	Mando ?: "Reporte".	94
IV.3.4.4	Programática de apoyo.	95
V	RESULTADOS SOBRE EL DESARROLLO DEL SISTEMA PARA MOVIMIENTO COORDINADO.	96
V.1	Especificaciones alcanzadas.	97
V.2	Limitaciones del sistema.	99
V.3	Alternativas de diseño y sugerencias para la solución a los problemas encontrados.	101
VI	CONCLUSIONES	104
LITERATURA CITADA		106
APENDICE A.	ESPECIFICACIONES GENERALES DE TRES FABRICANTES DE INDEXADORES MULTIEJES PROGRAMABLES.	108

CONTENIDO (Continuación)

		Página
APENDICE B.	MAPAS DE DISTRIBUCION DE LOS DISPOSITIVOS DE LA TARJETA DE CONTROL E INTERNO DE LAS MEMORIAS MLE Y MLEX.	112
APENDICE C.	GLOSARIO	117
APENDICE D.	PROGRAMACION DE LOS ALG.	122
APENDICE E.	ESQUEMATICOS DEL SISTEMA.	126
APENDICE F.	DIAGRAMAS DE FLUJO.	141
APENDICE G.	PROGRAMAS.	148
APENDICE H.	ANALISIS DE CARGA PARA LOS MOTORES DE MESTRA.	151

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Secuencia de estados a la salida de los transladadores en modo medio paso.	13
2	Secuencia de estados a la salida de los transladadores en modo paso completo.	13
3	Devanados del motor de pasos.	15
4	Ejemplo de relación velocidad vs. carga.	15
5	Diagrama de cuadros del sistema para movimiento coordinado.	23
6	Diagrama de cuadros de la tarjeta de control.	28
7	Diagrama de tiempos del integrado 7497.	34
8	Fases de los perfiles de velocidad aplicados a los motores.	39
9	Diagrama de estado para las secuencias de paso completo.	43
10	Diagrama de estado para las secuencias de medio paso.	44
11	Diagrama de tiempos del divisor por 6.	49
12	Diagrama de tiempos de la señal CARGA.	51
13	Detalle sobre la generacíon de la señal CARGA.	51
14	Diagrama de tiempos de la tarjeta de control.	54
15	Reforzadores de las lineas provenientes de los optoacopladores.	55
16	Diagrama de cuadros de los manejadores de potencia.	56
17	Circuito para excitar los devanados.	57
18	Circuito retardador.	59

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
19	Diagrama de tiempos del conmutador de tensiones.	60
20	Retardos y multicanalizador.	63
21	Diagramas de cuadros que muestran la interacción entre la programática de control y los procedimientos satélites.	67
22	Diagrama de flujo del programa de control desarrollado por la CP.	68
23	Diagrama de flujo del programa de control desarrollado por la TC.	69
24	Diagrama de flujo del programa del control desarrollado por la TC (continuación).	70
25	Desplegado para selección de puerto serie.	76
26	Marco o fondo de presentación.	77
27	Mando "A". Desplegado para admisión de datos.	78
28	Desplegado por intentar colocar desplazamientos fuera de límites.	79
29	Mando "C". Desplegado de aceptacion del mando.	80
30	Mando "D". Desplegado de aceptacion del mando.	81
31	Mando "D". Entrada para petición de archivo.	82
32	Mando "D". Despliegue sobre las características del área de trabajo.	83
33	Mando "F". Desplegado de aceptacion del mando.	84
34	Mando "H". Desplegado de aceptacion del mando.	85

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
35	Mando "O". Desplegado de aceptacion del mando.	86
36	Mando "P". Desplegado para admisión de datos.	87
37	Mando "Q". Desplegado de aceptacion del mando.	88
38	Mando "R". Desplegado para admisión de datos.	89
39	Mando "S". Desplegado de aceptacion del mando.	90
40	Mando "T". Desplegado de aceptacion del mando.	91
41	Mando "U". Desplegado de aceptacion del mando.	92
42	Mando "V". Desplegado de información y admisión de datos.	92
43	Mando "!". Desplegado de aceptacion del mando.	93
44	Mando "?". Desplegado de aceptacion del mando.	94
45	Diagrama de flujo del procedimiento serv_TXD desarrollado en lenguaje C.	127
46	Diagrama de flujo del procedimiento serv_RXD desarrollado en lenguaje C.	128
47	Diagrama de flujo del procedimiento SERV_AMO desarrollado en lenguaje ensamblador.	129
48	Diagramas de flujo de los procedimientos SERV_E1 y SERV_E2 desarrollados en lenguaje ensamblador.	130
49	Diagrama de flujo del procedimiento SERV_ECA desarrollado en lenguaje ensamblador.	131

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
50	Diagrama de flujo del procedimiento ACUERDO desarrollado en lenguaje ensamblador.	132
51	Diagrama de flujo del procedimiento AHEX desarrollado en lenguaje ensamblador.	133
52	Diagrama de flujo del procedimiento BREAKRETARDO desarrollado en lenguaje ensamblador.	134
53	Diagramas de flujo de los procedimientos DESPLAZAMIENTO RELATIVO y EJECUTA desarrollados en lenguaje ensamblador.	135
54	Diagramas de flujo de los procedimientos GUARDADATO e INC$TAR desarrollados en lenguaje ensamblador.	136
55	Diagrama de flujo del procedimiento LLENA desarrollado en lenguaje ensamblador.	137
56	Diagrama de flujo del procedimiento MANDO desarrollado en lenguaje ensamblador.	138
57	Diagramas de flujo de los procedimientos ANCLA, ORIGEN_FISICO, ORIGEN_ABSOLUTO y ORIGEN_RELATIVO desarrollados en lenguaje ensamblador.	139
58	Diagrama de flujo del procedimiento VELOCIDAD desarrollado en lenguaje ensamblador.	140
59	Esquemático "COORDINADOR DE MOVIMIENTOS - CIRCUITERIA".	142
60	Esquemático "DISPOSICION - TARJETA CONTROL".	143
61	Esquemático "TARJETA INTERFAZ"	144
62	Esquemático "POTENCIA - ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO".	145
63	Esquemático "APENDICE A MESTRA - CONPOT".	146

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
64	Esquemático "POTENCIA - ETAPA DE POTENCIA".	147

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Paso completo. Excitación de dos fases.	14
II	Medio paso. Excitación alternada de una y dos fases.	14
III	Transistores activos y su relación con las tablas I y II.	14
IV	Especificaciones generales del sistema para coordinación de movimiento.	20
V	Tabla de verdad del multicanalizador.	48
VI	Tabla de excitación del divisor por 6.	49
VII	Tabla de verdad para establecer prioridades de excitación. Las fase A y B son opuestas.	61
VIII	Paso completo. Excitación de una fase. Las fases C y D, al igual que A y B, son opuestas.	62
IX	Comparación de tiempos para dos microprocesadores.	73
X	Tabla que muestra el par requerido para manejar la carga en MESTRA.	152

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTOS COORDINADOS EN TRES EJES

I INTRODUCCION

La coordinación de movimiento es la técnica que hace posible el uso eficiente de recursos en la formación de trayectorias óptimas. Aunque el empleo de la coordinación es amplio, este trabajo lo circunscribe a una aplicación tridimensional aproximando trayectorias por medio de segmentos rectilíneos.

En 1982, bajo la dirección de E. Mitrani, se desarrollóuna mesa trazante: "MESTRA", cuya finalidad principal es perforar. Para lograrlo, la mesa disponía de un sistema de dos motores en los ejes "X" y "Y" y poseía un sistema neumático para desplazar una cabeza perforadora a lo largo del eje "Z". El sistema, en lazo abierto, no demandaba interacción de posicíon entre los ejes.

Con la finalidad de incrementar la eficiencia de MESTRA se estableció la necesidad de coordinar sus movimientos hasta para tres ejes ortogonales (agregando un tercer motor) así como incrementar la interacción entre el usuario y la máquina empleando una computadora personal.

Para lograrlo se plantea la infraestructura y especificaciones mínimas necesarias para desarrollar un sistema que controle la coordinación en lazo abierto

partiendo de la concepción mecánica de MESTRA.

El presente trabajo está ordenado de la siguiente manera. En el capítulo II se presenta la teoría básica en la que se apoya el sistema desarrollado. En el capítulo III se plantean las especificaciones mínimas por alcanzar. En el capítulo IV se desarrolla el diseño dividido en circuitería y programática. Los resultados del desarrollo, así como los problemas encontrados y alternativas de solución se dan en el capítulo V. Finalmente en el capítulo VI se mencionan las conclusiones obtenidas en la realización de este trabajo.

En los apéndices se concentran detalles de diseño, listados de programas (en disquete) y un breve estudio sobre especificaciones comerciales de controladores programables de movimiento coordinado en varios ejes.

II. MOVIMIENTO COORDINADO Y DEPENDENCIAS.

II.1 Necesidad de la coordinación de movimiento.

Coordinar significa "Disponer cosas metódicamente, reunir esfuerzos para un objetivo común.".

En base a lo anterior, "coordinar movimiento" puede definirse como: "Disposición metódica de técnicas para desarrollar movimiento".

En múltiples procesos relacionados con el control de posición o de velocidad se hace necesaria la introducción de coordinadores que permitan obtener las proyecciones ortogonales de los vectores de posición o velocidad, en espacios n-dimensionales de manera de lograr movimientos punto a punto.

Gracias a la introducción de microprocesadores y sistemas basados en computadoras es posible desarrollar dispositivos de control de movimiento coordinado conocidos comercialmente con el nombre de "Coordinador Multiejes Programable". Estos trabajan en tiempo real, en lazo abierto o cerrado y su complejidad crece en proporción a su costo. En la siguiente sección ahondaremos más sobre este tema.

II.2 Aplicación de la coordinación de movimiento.

El posicionamiento inteligente, sincronismo en la velocidad, eliminación de tiempos muertos, incremento en la

eficiencia y productividad del proceso, así como la versatilidad en su aplicación son el resultado lógico del empleo de coordinación en procesos relacionados con desplazamientos multidimensionales.

El mercado de aplicación de la coordinación de movimiento es extenso.

Las máquinas de escribir, impresoras , graficadores, manejadores de disco etc, son usuarios privilegiados de estas técnicas así como algunos posicionadores ópticos o de laser, cortadores de vidrio, fresadoras ya sea para la elaboración de placas para impresión de billetes, de circuitos impresos o de mapas tridimensionales, perforadoras, posicionadores, etc.

Si bién la gama de aplicaciones de la coordinación es amplia también lo es su precio. En general, los productores de esta tecnología llevan al mercado sus sistemas en forma dosificada de manera de envolver al usuario en sus productos (la cantidad de accesorios es grande); sin embargo, esto tiene su justificación: los sistemas completos son caros. Por ejemplo un sistema para coordinar movimiento en tres ejes utilizando motores de pasos, en lazo abierto, programable , con sistema operativo propietario, con transladadores de pulsos y manejadores de potencia tiene un costo de 8600 dólares (NEAT DPS-2000/3); una tarjeta compatible con el ducto de la computadora personal que coordina 3 ejes en lazo

abierto o cerrado con programática en código X (propietario) cuesta 1867 dólares y si se desea estandarizar la tarjeta para que acepte mandos en código G (norma EIA RS274-D) el intérprete cuesta 500 dólares (Compumotor PC23 y GCI respectivamente).

Sin embargo, la relación beneficio-costo de los sistema de coordinación favorece su aplicación, por las razones antes expuestas.

II.3 Técnicas de coordinación de movimiento.

Las técnicas para coordinar movimiento pueden agruparse de la siguiente manera, Tal, J. (1989):

Coordinación de velocidad.

Interpolación lineal y circular.

Posición por contorno.

La coordinación de velocidad mantiene una relación de velocidad y aceleración de los motores al nivel deseado.

Por otra parte, la coordinación por el método de interpolación se realiza sobre un plano ortogonal X-Y generando movimientos a lo largo de un sendero consistente de segmentos lineales y arcos circulares.

Por último, la coordinación por contorno genera trayectorias arbitrarias en cualquier número de dimensiones. Este método es una generalización del método de interpolación. La trayectoria requerida se especifica punto a

punto.

II.4 Aplicación específica de coordinación de movimiento: mesa trazante.

Centraremos la aplicación de coordinación al caso de desplazamiento vectorial en tres dimensiones, es decir, a la aplicación de coordinación de posición por contorno.

De las aplicaciones de coordinación, la de desplazamiento es la más popular, Tal, J, (1989). La mesa trazante es un sistema que se beneficia de este tipo de coordinación.

En los siguientes párrafos describiremos las características generales de la mesa trazante desarrollada en el CICESE, Mitrani, E. et al (1982). Se debe hacer la aclaración de que el presente trabajo de tesis se apoya en esta mesa, desde el punto de vista de aplicación del concepto de coordinación.

II.4.1 Mesa trazante del CICESE.

En el año de 1982, se diseñó una mesa trazante (MESTRA), concebida como un conjunto de mecanismos, circuitos y algoritmos que constituyen un autómata controlado por programa y que realiza la tarea de una perforadora automática.

Esta mesa ha sufrido algunas modificaciones desde

entonces y en el momento de iniciar este trabajo, las partes que lo formaban eran las siguientes:

-Plataforma con desplazamientos realizados por un mecanismo de motores de pasos y husillos de alta precisión controlados por programa. Los motores de pasos junto con los husillos proporcionan una resolución de 1/1000" con una precisión del ± .03% (suponiendo ortogonalidad perfecta), con un alcance de 17" en los ejes "X" y "Y" y de .5" en el eje "Z" (aunque por programa es posible alcanzar 32.7" en cada uno de ellos). Su velocidad de desplazamiento es de 1.5 a 1000 milésimas de pulgada/s (gama de variación mecànica) y 1.5 a 1750 milésimas de pulgada/s (gama de variación por programa) ambos con una resolución de .5/1000 de pulgada/s con una precisión de ± .5%.

-Cabeza de perforación equipada con taladro de alta velocidad, cuya magnitud en su desplazamiento no es controlada por programa.

-Sistema de control basado en una microcomputadora SBC-80 que utiliza un microprocesador 8080.

-Circuitos de acoplamiento y potencia que convierten las señales y mandos del sistema de control en señales visuales y movimientos de la plataforma X-Y y de la cabeza de perforación.

-Sistemas de interacción hombre-máquina, del cual se han realizado tres versiones. La primera mediante teletipo, la segunda a través del sistema de desarrollo "FUTURE DATA" y el último en forma de propuesta a través de una computadora personal en lenguaje "BASIC".

-Fuentes de alimentación de tipo conmutado.

II.5 Exactitud mecánica de la mesa trazante y su influencia en la coordinación de movimiento.

De manera general, la exactitud de los sistemas de ubicación puede dividirse en dos categorias:

Exactitud de la vía.

Exactitud del posicionamiento lineal a lo largo de la vía.

La primera describe el grado de traslación ideal, en un solo eje, producido por la vía (cojinetes, rodillos, etc).

La segunda está relacionada con la precisión de movimiento incremental a lo largo de la vía(típicamente relacionada con husillos, codificadores lineales u otros dispositivos de retroalimentación).

En sistemas mecánicos de baja y mediana resolución, como MESTRA, las tres fuentes más importantes de error que determinan la exactitud del sistema son:

No ortogonalidad entre los ejes.

No linealidad del husillo.

Juego entre el husillo y la tuerca.

Los errores producidos son acumulativos y pueden reducirse mediante medición directa de la cantidad de error y compensación por medio de programación.

La influencia que ejercen estas inexactitudes, es afectar los factores de coordinación, es decir, las coordenadas ideales tendrán que ser transformadas en coordenadas compensadas o corregidas. Debido a la no ortogonalidad y a las no linealidades en los husillos, las coordenadas corregidas serán el producto de algún método de interpolación entre puntos determinados por medición directa. Por otra parte, debido al juego del husillo, la coordenada corregida se altera por una constante (considerando un error promedio entre la flecha y la tuerca).

Por último, existe un cuarto error, no acumulativo, introducido por la resolución del motor de pasos. Este error solo puede reducirse mediante el empleo de un manejador por micropasos o por cajas de engranes.

Para nuestro caso particular estos errores no son muy significativos dado que nuestro espectro de aplicaciones los enmascara, por ejemplo una perforadora para circuitos impresos requiere una resolución de 100 milésimas de pulgada, mientras que MESTRA ofrece hasta .5 milésimas. Si por causa de los errores en la mesa nos desviáramos 1' de arco sobre un recorrido máximo de 17" entonces podríamos garantizar una

incertidumbre del 5% para tales desplazamientos.

II.6 Movimiento coordinado aplicado a motores de pasos.

Dado que la velocidad y desplazamiento angular de los motores de pasos está en relación directa con la tasa de pulsos por unidad de tiempo y con el número de estos, respectivamente, la coordinación de velocidad y/o de desplazamiento se logra con el control, aún en lazo abierto, de la frecuencia y el número de pulsos que alimentan a los motores.

Debido a que el par generado se degrada al aumentar la velocidad, se necesitará el cálculo apropiado de la carga que manejará el motor así como de la velocidad máxima que puede lograrse sin disminuir el valor del par por debajo del requerido para manipular la carga. Deberá realizarse una consideracíon adicional si el manejador de potencia usado se encuentra limitado a proporcionar la corriente requerida para lograr el par a la velocidad deseada.

II.6.1 Motores de pasos.

Los motores de pasos son dispositivos cuyo desplazamiento angular se realiza en incrementos discretos (pasos) en vez de hacerlo en forma contínua. Esta acción se acompaña de la conmutación de potencia de sus devanados de tal manera que la fases del motor se energizen en una

secuencia específica. Los motores de pasos son capaces de un posicionamiento preciso sin uso de retroalimentación requiriendo, a condición, el cálculo adecuado del par necesario para vencer la fricción y manipular la carga, así como el uso de un manejador de potencia capaz de permitirle alcanzar la velocidad de trabajo en el tiempo deseado, Parker (1988).

Los motores de pasos de corriente directa sin escobillas presentan ventajas con respecto a los motores de CD convencionales, Parker (1988) y Tal, J. (1989):

-Trabajan a altas velocidades (arriba de las 3000 rpm).

-Son apropiados para operar en ambientes explosivos o de vacio.

-Tienen larga vida.

-Permiten su control en lazo abierto.

-Capaces de acelerar a altas tasas, 5,000 a 100,000 rad/s^2.

-Son estables a cero velocidad.

-Tienen error no acumulativo.

-Eliminan ajustes analógicos pues carecen de derivas.

-Los rotores pueden bloquearse sin dañar el motor.

-Tienen alto par en tamaño compacto.

En contraparte, la electrónica de control es más

compleja y costosa y solo se justifica si son explotadas algunas de las cualidades de estos motores.

En cuanto a su resolución por paso[1] los motores se pueden dividir en de baja (7.5° a 90°) y de alta resolución (1.8°). Mediante el manejador de potencia adecuado es posible incrementar la resolucion desde 1/10 de paso (.18° por paso) hasta 1/125 de paso (.0144°). En cuanto al tamaño del marco, según NMB (1990) y Superior Electric (1989), abarcan comercialmente desde el NEMA 08 (31 mm) hasta el NEMA 66 (165 mm). La inercia del rotor varía con el tamaño del marco, su longitud y las características que cada fabricante da a sus motores. Generalmente se utiliza aislamiento clase B (130°Centígrados) en sus devanados lo que permite un ciclo de trabajo térmico de 65° centígrados.

Los motores de pasos más utilizados son los de imán permanente (el otro tipo es de reluctancia variable). Esto se debe a que los de imán permanente, aunque no aceleran la carga rápidamente, sí permiten obtener altas velocidades manteniendo un par útil.

MESTRA está dotada de motores de paso SLO-SYN de Superior Electric. Estos cuentan con una resolución de 1.8° por paso. El tamaño de marco es NEMA 34D (90 mm) con grado de aislamiento B.

[1] Referencias: IMC Magnetics (1989), NEAT (1990), Nippon Pulse Motor (1990), NMB (1990), Superior Electric (1987), Superior Electric (1989), Superior Electric (1990).

Existen diversas maneras de excitar los devanados; aquí se han citado las dos mas usadas. Si se desea consultar más información refierase a las referencias anotadas en el pie de página[2] al final de esta hoja.

Las secuencias que se debe proporcionar a los motores para obtener incrementos angulares de un paso y medio paso se muestran en las figuras 1 y 2. En las tablas I y II se resume este comportamiento:

La relación entre estas secuencias y los transistores activados que manejan la corriente en los devanados se describe en la tabla III y figura 3.

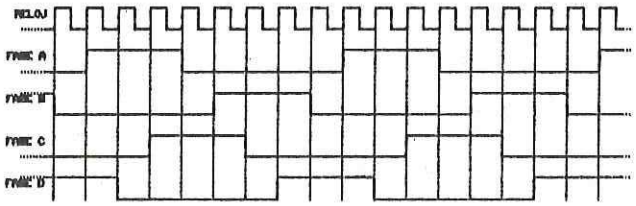


Figura 1. Secuencia de estados a la salida de los transladadores en modo medio paso.

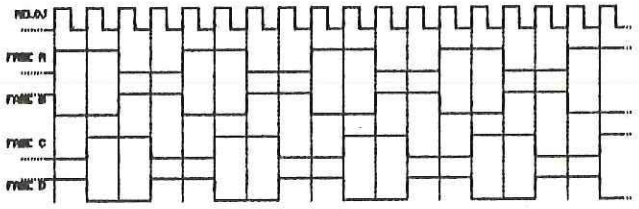


Figura 2. Secuencia de estados a la salida de los transladadores en modo paso completo.

[2] Aerotech (1988), NEAT (1990), SGS (1984) y Superior Electric (1989).

Tabla I. Paso Completo. Excitacion de dos fases.

rotación a reloj ↓

PASO	DEVANADO A B C D
1	1 0 0 1
2	1 0 1 0
3	0 1 1 0
4	0 1 0 1
1	1 0 0 0

↑ rotación contra reloj

Tabla II. Medio Paso. Excitación alternada de una y dos fases.

rotación a reloj ↓

PASO	DEVANADO * A B C D
1	1 0 0 1
2	1 0 0 0
3	1 0 1 0
4	0 0 1 0
5	0 1 1 0
6	0 1 0 0
7	0 1 0 1
8	0 0 0 1
1	1 0 0 1

↑ rotación contra reloj

Tabla III. Transistores activos y sus relación con las tablas I y II.

(a) En conexion unipolar	(b) En conexion bipolar
A activa Q_1	A activa Q_1, Q_2
B activa Q_2	B activa Q_3, Q_4
C activa Q_4	C activa Q_7, Q_8
D activa Q_3	D activa Q_5, Q_6

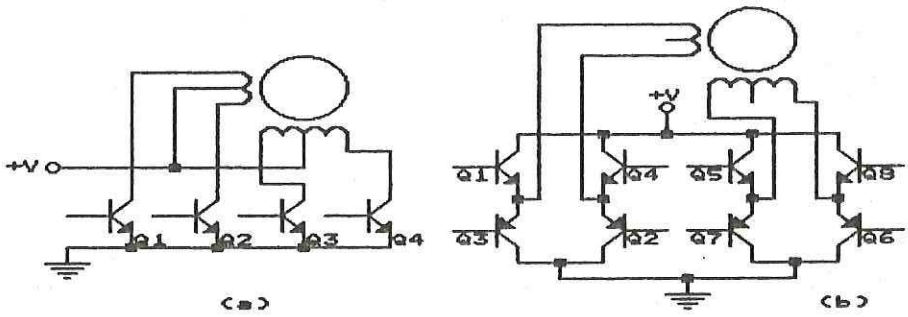


Figura 3. Devanados del motor de pasos.

II.6.2 Relación velocidad-carga en los motores de pasos.

La relación velocidad-carga en los motores de pasos muestra una degradación del par generado al aumentar la velocidad. Este comportamiento depende de factores tales como la carga reflejada al motor, la fricción viscosa, que depende de la velocidad, y el manejo de la potencia que excita los devanados. Un ejemplo de esta característica se muestra a continuación , NEAT (1990):

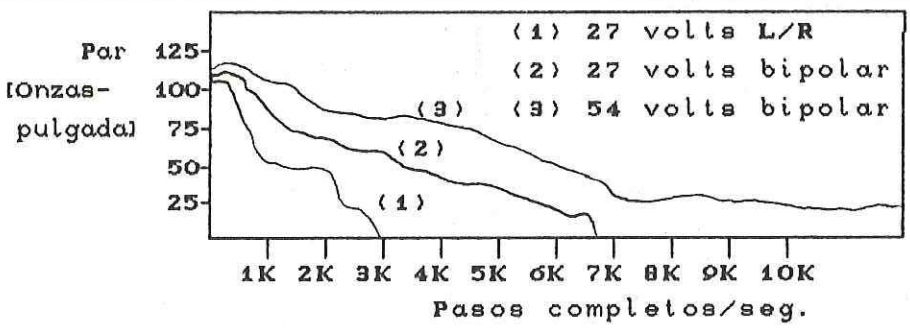


Figura 4. Ejemplo de relación velocidad vs. carga.

En la figura se observa que el par desarrollado depende de la tensión de excitación y de la forma en que éste se aplica. Mediante la reducción del efecto causado por la constante eléctrica de los devanados es posible establecer, en éstos, la corriente de trabajo en la forma mas rápida posible evitando que el motor se atasque por falta de par que controle la carga.

II.6.3 Requisitos de eficiencia en la coordinación de movimiento en motores de pasos.

La eficiencia en la coordinación de movimiento puede medirse mediante dos factores: desviación de la trayectoria ideal y desviación de la tasa ideal de pulsos por segundo.

La desviación de la trayectoria ideal está relacionada con la resolución del sistema; no será posible exigir una desviación pequeña si el sistema tiene una resolución pobre.

Por otra parte, la desviación de la tasa ideal de pulsos por segundo dependerá de la resolución del método empleado para la obtención de dichos pulsos, v. g. sintetizadores analógicos o sintetizadores digitales.

Además, para incrementar la eficiencia en la coordinación deberá considerarse las limitaciones del motor y del manejador. Esto se logra mediante el empleo de perfiles de velocidad y posición adecuados a la aplicación.

II.7 Programación en tiempo real.

Para controlar el perfil de velocidad de los motores, así como la comunicación con la CP, es necesaria la programación que atienda este tipo de eventos asíncrónicos.

Los procesos en tiempo real involucran la detección de eventos en forma asincrónica, la manipulación de información generada por éstos, así como la toma de decisiones e implementación de acciones que guien su comportamiento dentro del marco de tiempo delimitado por dos eventos de la misma naturaleza.

Debido a que el control de MESTRA involucra aceleración de motores, la que puede ser positiva o negativa y constante o variable, el tren de pulsos enviado a los motores es asincrónico. El microprocesador tendrá que llevar una estadística de los pulsos, un control sobre el flujo de los factores que programan los sintetizadores y una toma de decisiones sobre continuar o parar el movimiento de alguno de los motores, además de atender la comunicación con el usuario.

Lo anterior será posible mediante el empleo de rutinas de atención para cada motor y para la comunicación. En el peor caso, la sumatoria de tiempos empleados por estas rutinas deberá garantizar la atención oportuna de todos los eventos.

III. ESPECIFICACIONES Y MODELO BASICO DEL SISTEMA PARA REALIZAR MOVIMIENTO COORDINADO UTILIZANDO MOTORES DE PASOS.

En este capítulo plantearemos los objetivos por alcanzar, así como la justificación del diseño del sistema. Mencionaremos las especificaciones generales de un indexador multiejes programable y las de un transladador de pulsos con la finalidad de establecer una referencia de diseño. Finalmente describiremos las limitaciones que afectan el desarrollo del sistema de coordinación.

III.1 Objetivos

Se plantean los siguientes objetivos:

- -Diseñar un sistema para coordinación de movimiento en tres ejes.
- -Mostrar una aplicación específica de coordinación.
- -Establecer parámetros y especificaciones.
- -Mostrar los problemas inherentes al diseño adoptado y proponer alternativas de solución.

III.2 Justificación del diseño del sistema.

Como ya hemos comentado (II.4.1), el CICESE desarrolló, a través de un equipo de trabajo dirigido por E. Mitrani, una mesa trazante de características robustas cuya parte

electrónica ha tenido diversas mejoras. En fecha reciente se planteó la necesidad de incrementar la eficiencia de dicha máquina mediante el empleo de electrónica capaz de lograr coordinación vectorial en tres dimensiones, así como de una computadora personal para facilitar la interacción hombre-máquina.

Se eligió un sistema de coordinación de movimiento en tres ejes, en lazo abierto, utilizando la técnica de posición por contorno con la cual no solo se logra satisfacer las necesidades de MESTRA, sino que permite su utilización para fines didácticos en actividades de control por computadora en tiempo real y lenguajes de alto nivel.

Se especifica en lazo abierto, pues dentro de los límites de velocidad pretendidos es factible el manejo de la carga (apéndice H), dejando al aspécto mecánico (husillo) la definición de la resolución.

III.3 Especificaciones.

La siguiente información es un resumen de las características generales más importantes de un coordinador multiejes programable y un transladador de pulsos semejante al que se desea diseñar. Para ejemplificarlas, y dado que algunos de ellos son criterios propios de diseño que no están sujetos a normas, se tomaron como referencia las

especificaciones de sistemas de varias compañias (Superior Electric, Compumotor y New England Affiliated Technologies) c. f. apéndice A.

Tabla IV. Especificaciones generales del sistema para coordinación de movimiento.

Número de ejes coordinados:	3.
Técnica de coordinación:	Por contorno (interpolación lineal en tres ejes).
Resolución:	400 pasos/rev.
Intervalo de posición:	0 a 65535 incrementos.
Velocidad:	Intervalo: 0 a 4,000 pulsos/s. Exactitud: <0.4%.
Aceleración:	4,000 pulsos/s^2.
Perfil de velocidad:	Lineal (trapezoidal).
Comunicación:	Serie RS232C, por paquetes de información en formato hexadecimal Intel con eco de verificación.
Programación del indexador:	Lenguaje propietario. Programática para corrección de inexactitudes mecánicas de la mesa trazante (errores de ortogonalidad, no linealidad en el husillo e histéresis entre la tuerca y el husillo), mediante el empleo de tableros e interpolación lineal. Programática para convertir MESTRA en una mesa para perforaciones de impresos.
Control de movimiento:	Lazo abierto. Distribuido entre la computadora personal y una tarjeta dedicada.
Microprocesador en tarjeta dedicada:	8088 ó V20 a 5 MHz.
Entradas:	Dos dedicadas a detección de limites de desplazamiento.
Salidas:	13 optoacopladas; 12 de ellas son dedicadas al manejo de fases de los motores, 1

Transladador de Pulsos:	programable por el usuario. Integrado al coordinador. Entradas programables para controlar el sentido de giro, el paso completo o medio paso, el estado inicial de referencia (dos fases activas), el anclado y el desanclado de motor.

III.4 Limitaciones.

Dado lo extenso del trabajo de detalle alrededor del desarrollo del sistema para coordinación en tres ejes, la principal limitante es el tiempo. Debido a este factor, el desarrollo del trabajo no incluirá la etapa de potencia para manejo de los motores. De hecho, las características concernientes a estos dispositivos no se incluyó en las especificaciones citadas. Serán utilizados los manejadores con los que cuenta MESTRA y se reproducirá un manejador extra para el tercer motor. Sin embargo, dadas las características ofrecidas por la tarjeta de control será necesario realizar las modificaciones pertinentes al manejador para hacerlo compatible con el modo de paso completo por excitación de dos fases (con el diseño anterior sólo podían realizarce desplazamiento angulares de medio paso por excitación alternada y paso completo por excitación de una fase).

IV. Diseño del sistema.

En el presente capítulo, mencionaremos los parámetros, consideraciones y características involucradas en el diseño de los elementos que conforman el sistema desarrollado para movimiento coordinado en tres ejes.

Iniciaremos nuestra descripción con un esbozo general del sistema para después describir en detalle cada una de sus partes.

IV.1 Estructura general de cuadros.

El sistema para movimiento coordinado en tres ejes consiste de las siguientes partes:

Tarjeta de control.

Tarjeta interfaz.

Manejadores de potencia.

Programática.

El diagrama de cuadros se muestra en la figura 5.

Se hace la observación, de que el alcance de esta tesis excluye la etapa de potencia de los manejadores.

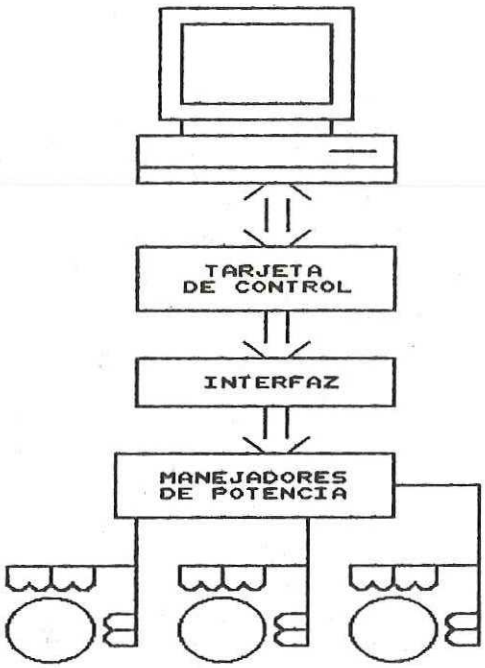


Figura 5. Diagrama de cuadros del sistema para movimiento coordinado.

IV.2 Breve descripción del sistema.

La tarjeta de control puede dividirse en:

(a) Microprocesador y periféricos.

(b) Coordinadores.

(c) Generador de perfil de velocidad (GPV).

(d) Transladadores de pulsos.

(e) Lógica de apoyo.

Las funciones que realiza cada uno de estos elementos son los siguientes:

Microprocesador y periféricos: El microprocesador utilizado es el 8088 (o, alternativamente, el V20). En el diseño adoptado, se pretende que el microprocesador sea un distribuidor y semáforo de datos más que un procesador de éstos. Esta última función se deja a la computadora personal utilizando lenguaje de alto nivel lo que facilita su mantenimiento. Para realizar su labor, el microprocesador se apoya en una serie de puertos que le permiten la distribución de factores precalculados hacia los sintetizadores y una comunicación serializada con la computadora personal en modo amo-esclavo. Su labor de semáforo se apoya en un controlador de interrupciones y conmutadores optoaislados. Por lo anterior el microprocesador

realiza un control local sobre el movimiento en lazo abierto reportando condiciones anómalas.

Coordinadores y generador de perfil de velocidad: Estos realizan la parte medular de la coordinación. Llevan a cabo la sincronización que garantiza el desplazamiento puntual y permiten el establecimiento de un perfil de velocidad de tipo trapezoidal. El circuito se basa en sintetizadores de frecuencia de tipo digital para obtener movimientos coordinados con una tasa alta de pulsos por segundo. Estos divisores son programados en base a factores precalculados que son manipulados por el microprocesador.

Transladadores de pulsos: Proporcionan la secuencia adecuada a cada motor de pasos, con la tasa que los divisores imponen, dependiendo de los parámetros programados: dirección del movimiento , número de fases manejadas, etc.

Lógica de apoyo: Se utiliza para la distribución de las señales de reloj, sincronización de datos al sintetizador que permite el perfil de velocidad trapezoidal, el optoacoplamiento y visualización de las secuencias a los motores por la tarjeta interfaz, etc.

Las funciones de los tres cuadros restantes de la figura 5 son:

Tarjeta interfaz: Refuerza la potencia de las señales provenientes de la tarjeta de control y las envía a los manejadores de potencia.

Manejadores de potencia: Convertidores de tensión a corriente para accionar los motores. Podemos dividir este cuadro en:

(a) Etapa de acondicionamiento.

(b) Etapa de potencia.

Programática: Indicado por el dibujo de la computadora personal (CP). Incluye todos los programas que permiten la interacción hombre-máquina, el cálculo de factores de coordinación, el cálculo de factores de velocidad, la interacción con la tarjeta de control, la manipulación de archivos, etc.

IV.3 Diseño.

IV.3.1 Tarjeta de control.

La tarjeta de control puede dividirse en cuatro partes: el microprocesador y los periféricos, los coordinadores y el generador de perfil de velocidad GPV, los transladadores de pulsos, y la lógica de apoyo. El diagrama de cuadros de esta parte del sistema se muestra en la figura 6.

IV.3.1.1 Microprocesador y periféricos.

El microprocesador utilizado es el 8088 o, alternativamente, el V20.

El reloj del μP lo genera el integrado 8284 (U2) que utiliza un cristal de cuarzo con frecuencia de resonancia de 15 MHz y a la cual divide por tres. Este misma pastilla habilita la señal de READY y refuerza la de RESET que tiene una duración mínima de 11.25 mseg. y cuya generación puede ser manual o por encendido de la fuente de 5 Volts.

Es necesario utilizar al menos 9 cerrojos que almacenen temporalmente las direcciones A0 a A7 y A16 a A19 dada la característica de la conmutacion de los ductos AD0-AD7 y A16/S3-A19/S6.

Los periféricos se localizan en el espacio de memoria y se seleccionan utilizando un decodificador 8205 (U6) y las direcciones A14, A15 y A16.

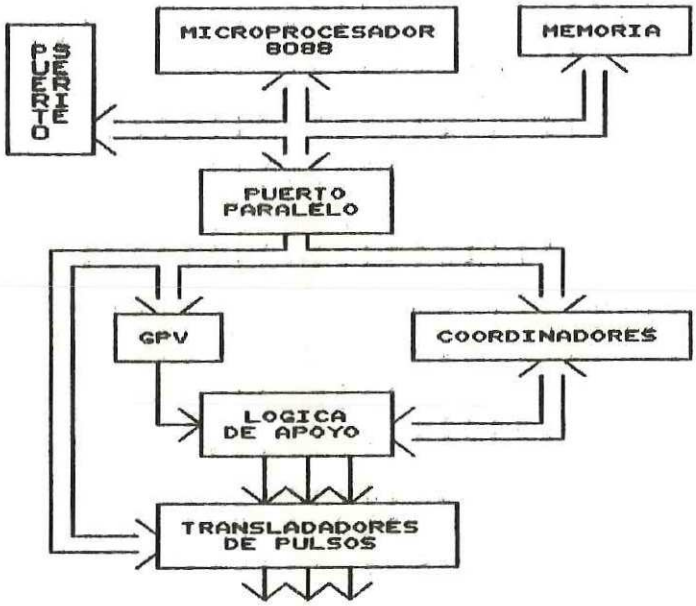


Figura 6. Diagrama de cuadros de la tarjeta de control.

La distribución del espacio de memoria se muestra en el apéndice B. /CS0 y /CS4 direccionan, cada uno, 16 kilooctetos del integrado 62256 MLE 32Kx8 (U4). La üOü -lógica negada- se implementa dentro de un Arreglo Lógico Genérico (ALG) U31. La señal resultante, denominada /RAM, se envía a la entrada /CS de U4. La ecuación de /RAM es (apéndice D):

$$/RAM = /CS0 \cdot /CS4 \qquad (1)$$

En el diseño de la tarjeta de control se incluyen tres puertos paralelos programables (PPP) U11, U12 y U13.

U11 permite controlar:

-A través del puerto A:

-el multicanalizador incluido en ALG (U30) mediante las señales C1 y C0.

-el GPV mediante la linea demandante DSIN (sección IV.3.1.2.4).

-la habilitación de los coordinadores y divisores (sección IV.3.1.2.3);

-A través de los puertos B y C:

-las líneas que programan la secuencia, dirección, anclado y referencia de los transladadores implementados en ALG (U31, U32 y U33).

U12 y U13 permiten al microprocesador programar los factores de coordinación en los sintetizadores (puerto C de U12 y puertos A, B y C de U13), así como los factores del GPV (puerto B de U13 y parte alta del puerto A de U12).

El elemento de comunicación asíncrona ECA 8250 (U9) se encarga de la comunicación serializada. El reloj de 3.072 MHz, que alimenta este integrado, lo proporciona un divisor por 2 incluido en un ALG (U30). El ECA refuerza sus lineas que van al conector DB25 mediante el integrado MAXIM 232 (U8).

El controlador programable de interrupciones CPI 8259 (U10), configurado en modo totalmente anidado, controla el flujo de interrupciones provenientes de las siguientes fuentes (en orden de prioridad decreciente):

-detector de límite inferior del eje Z.

-detector de límite para los ejes X, Y y superior de Z.

-pulsos del reloj amo.

-pulsos del reloj esclavo 1.

-pulsos del reloj esclavo 2.

-comunicación asincrónica.

IV.3.1.2 Coordinador y generador de perfil de velocidad GPV.

Antes de describir la implementación de estos dispositivos, mencionaremos las características generales en las que se apoya su diseño.

IV.3.1.2.1 Sintetizadores de frecuencia de tipo digital.

La coordinación de movimiento en motores de pasos se basa en el manejo de la cadencia de los pulsos que controlan las secuencias de giro del motor.

La coordinación se logra al ejecutarse "e" pulsos, en el motor "esclavo", en el mismo período de tiempo que "a" pulsos en el motor "amo" (o motor "pivote").

Dadas las características del sintetizador deseado la relación de pasos "amo-esclavo" deberá satisfacer:

$$\frac{e_i(t)}{a_i(t)} \cong \frac{e}{a} \qquad (2)$$

donde $e_i(t)$ y $a_i(t)$ son respectivamente el número de pulsos acumulados, enviados a los motores "esclavo" y "amo", en un período de tiempo "t".

El sintetizador diseñado cumple con la ecuación 2; es de tipo digital y permite obtener tasas de pulsos de acuerdo a la ecuación:

$$f_s = \text{entero}\left(\frac{e}{a} \cdot 65535\right) \cdot \frac{f_i}{(65536)(256)} \qquad (3)$$

$$e = 0 \ldots 65535$$
$$a = 1 \ldots 65535$$

donde:

"e" es el número de pasos para el motor esclavo.

"a" es el número de pasos para el motor amo.

Para "a" pasos en el motor "amo" se obtendrán "e" pasos en el "esclavo" si $a<256$, y "e-1" pasos si $a\geq256$.

Otro sintetizador digital se utiliza como reloj programable para implementar la ecuación:

$$f_i = \frac{p}{4096} \cdot f_{osc} \qquad (4)$$

$$p = 0 \ldots 4095$$

donde:

f_{osc} es la frecuencia del oscilador de referencia.

En forma paralela a la coordinación es posible, mediante la manipulación del factor "p", bosquejar un perfil de velocidad de característica trapezoidal o triangular que dependa del número de pasos del motor pivote, es decir, el sintetizador utilizado como reloj programable se convierte, con ayuda de programática, en un generador de perfil de velocidad (ver sección IV.3.1.2.4).

Si en la ecuación 2 se hace $f_{osc} = 2^{20}$, se tendría un intervalo de programación de velocidad de 1 a 4095 pulsos/segundo con variaciones de velocidad, para este diseño en particular, de menos del 0.4% (por abajo de 1/256) a velocidad de crucero.

IV.3.1.2.2 Implementación del sintetizador digital.

Se utiliza un multiplicador de tasa binaria 7497 (de tecnología TTL estándar) que entrega hasta 63 pulsos por cada 64 pulsos de entrada.

Para nuestro propósito usamos juegos de dos y tres integrados. Con ello logramos implementar un generador de perfil de velocidad y dos coordinadores respectivamente. Las ecuaciones que describen estos juegos son:

$$f_{2(7497)} = \frac{A \cdot 2^{6} + B}{4096} \cdot f_e \qquad (5)$$

$$f_{3(7497)} = \frac{A \cdot 2^{10} + B \cdot 2^{4} + C}{65536} \cdot f_e \qquad (6)$$

donde:

-A y B son factores en base 64

-C es un factor en base hexadecimal.

-f_e es la frecuencia de entrada.

Debido a que la salida de cada uno de los integrados es un tren de pulsos cuyo ciclo de trabajo varía dependiendo de los factores (ver figura 7 en la siguiente hoja), es muy probable que si se aplica dicho tren de pulsos a los transladadores, se obtengan secuencias poco efectivas para controlar los motores debido a efectos mecánicos (inercia).

Para resolver este problema, la salida de los divisores programables se hace pasar por un divisor constante de 256 antes de entrar al transladador. Con ello se logra uniformizar el ciclo de trabajo de los pulsos logrando que los motores no sufran por tales variaciones.

La forma de calcular los factores A,B, y C es mediante la aplicación de dos pasos:

1° paso. Consiste en aplicar la ecuación:

$$r_i = \text{entero}\left\{\frac{n}{m} \cdot 65535\right\} \qquad (7)$$

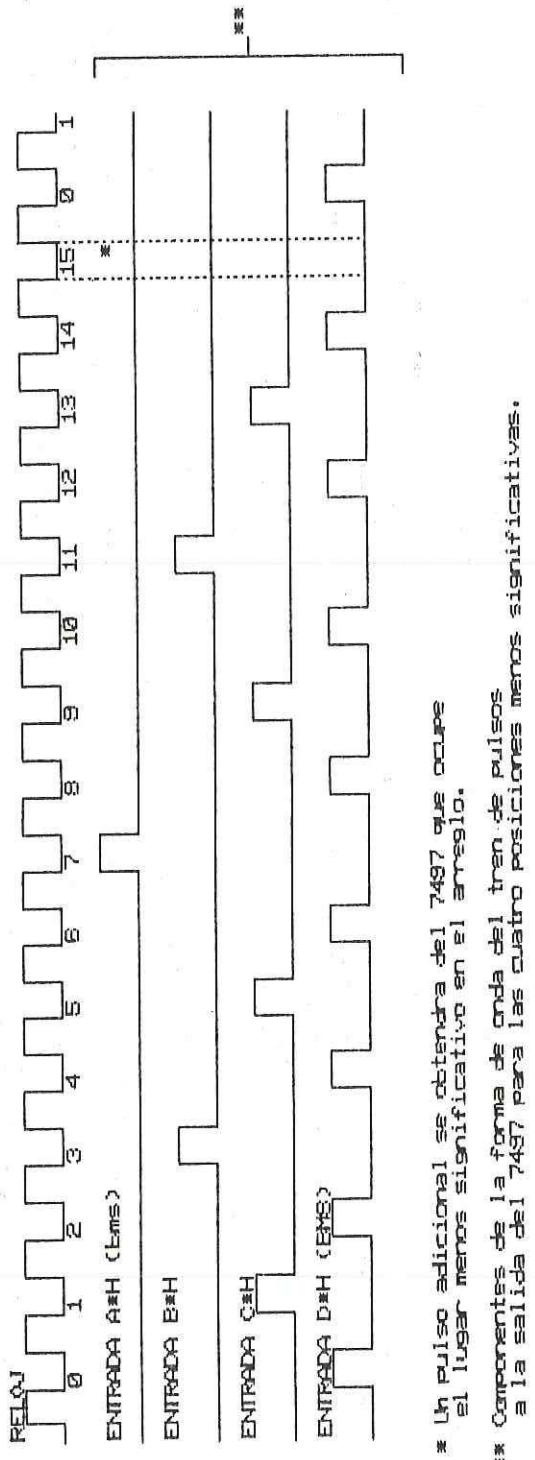


Figura 7. Diagrama de tiempos del integrado 7497.

donde "m" es el número de pulsos del reloj correspondiente al motor que se movera más pasos (reloj pivote), "n" es el número de pulsos del reloj que se desea coordinar con el pivote y "r" es el elemento por programar en el juego de divisores "i".

2° paso. Codificar los r_is conforme lo indicado en las fórmula 5 y 6, es decir:

$$f_{2(7497)} = \frac{r_i}{4096} \cdot f_e \qquad (8)$$

$$f_{3(7497)} = \frac{r_i}{65536} \cdot f_e \qquad (9)$$

Los pasos anteriores garantizan que por cada m pulsos de entrada a los divisores se tengan n ±1 pulsos (-2 en el peor caso) a la salida.

Como ya se mencionó, después de los divisores programables se tienen otros con factor constante de 256. Asociado con el efecto que provocan en el ciclo de trabajo, se encuentra la contribución de abatir la incertidumbre en el número de pulsos entregados al transladador, esto es, de ± 1 a -1 (peor caso). Lo anterior se debe a que el número de pulsos a la entrada de los divisores programables es 256 veces mayor al original, lo cual, por el mismo comportamiento de los 7497, trae como consecuencia un menor número de pulsos

a la salida del juego de divisores (hasta 255 pulsos menos) que al entrar al divisor entre 256 harán que la incertidumbre pase a ser de $-\frac{255}{256}$ pulsos en el peor caso.

IV.3.1.2.3 Implementación del coordinador y del reloj amo.

El coordinador consta de un sintetizador digital y un divisor fijo.

Dado que se pretende coordinar el movimiento de tres motores es necesario el empleo de 2 coordinadores. Al conjunto de pastillas U19 a U22 se le denomina coordinador esclavo 1 (e1) y al constituido por U23 a U26, coordinador esclavo 2 (e2).

La programación de los factores "e" de los sintetizadores se efectúa por medio de los puertos PPP. Para e1 se utilizan los puertos A y B de U13, y para e2 los puertos C de U12 y U13.

Los factores son calculados en lenguaje C y manipulados por el microprocesador 8088.

Para inicializar a cero las salidas de los coordinadores e1 y e2 se utilizan las señales RDE1 y RDE2, que son las reforzadas de DE1 y DE2 provenientes del PPP U11.

El reloj de los coordinadores esclavos proviene del GPV. Esta linea, denominada RM, junto con las DE1 y DE2 se refuerzan mediante los ALG U31 a U33 para obtener RRM, RDE1

y RDE2.

Finalmente. el reloj amo está compuesto de un divisor fijo (U18), que junto con el generador de perfil de velocidad permiten al motor que efectuará el mayor desplazamiento, ser el pivote de la coordinación. La inicialización a cero de este reloj se logra mediante la señal DA proveniente del PPP U11.

IV.3.1.2.4 Implementación del generador de perfil de velocidad.

Este generador está compuesto por un sintetizador digital, dos cerrojos sensibles al flanco, los puertos A y B de un PPP y programática. Los integrados U12 y U14 a U17 implementan el diseño.

Como ya lo hemos descrito, el sintetizador digital cumple con la ecuación 4 donde el factor "p" se controla mediante el empleo de programática y circuitería lo que permite obtener los perfiles de velocidad mostrados en la figura 8.

Las ecuaciones que describen al factor "p" son las siguientes:

$$v(t) = Vo + at \qquad 0 \le t \le t_1 \qquad (10)$$

$$d(t) = Vot + \frac{at^2}{2} \qquad 0 \le t \le t_1 \qquad (11)$$

$$a = \frac{Vf - Vo}{t_1} \qquad (12)$$

donde:

v(t) y d(t) son, respectivamente, la ecuación de velocidad y distancia recorrida en unidades de pulsos o pasos como una función del tiempo.

Vo es la velocidad inicial en pulsos/s que se sugiere sea mayor que la frecuencia de resonancia del motor.

Vf es la velocidad final o de crucero en pulsos/seg.

a es la aceleración constante en pulsos/s^2.

t_1 es el tiempo requerido para alcanzar la velocidad de crucero.

Por conveniencia, de la ecuacion 11:

$$t(d) = \frac{\sqrt{Vo^2 + 2ad} - Vo}{a} \qquad (13)$$

Sustituyendo 13 en 10:

$$v(d) = \sqrt{Vo^2 + 2ad} \quad 0 \le d \le \frac{Vf^2 - Vo^2}{2a} \qquad (14)$$

Donde el intervalo de "d" para aplicar la ecuación 14 se obtiene de sustituir t_1, dado por la ecuación 12, en 11.

Por último, el tiempo total en abarcar un desplazamiento con perfil trapezoidal es:

$$tf = \frac{d_1 + a{t_1}^2}{Vf} \qquad (15)$$

La ecuación 14 permite calcular $\frac{Vf^2 - Vo^2}{2a}$ datos correspondientes al mismo número de pasos que perfilan una

aceleración constante. Si t_2 se hace igual a $t_f - t_1$ se obtiene la gráfica izquierda de la figura 8 que tiene una pendiente de desaceleración de valor absoluto "a".

Si el desplazamiento deseado fuese menor que $\frac{Vf^2 - Vo^2}{a}$ pasos se tendría que dividir el total en dos partes iguales, dejando a los pulsos sobrantes (caso impar de pulsos) a una velocidad menor a la de crucero Vf. Lo anterior se describe en la gráfica b de la figura 8.

En el peor caso, habría que calcular todos los datos sugeridos por la ecuación 14, codificarlos como lo describe 8 y guardar las tablas resultantes en memoria de programa para su posterior utilización por parte del GPV.

Para nuestro diseño en particular, se desea tener un aceleracion de 4,000 pulsos/s^2, con una velocidad inicial, por arriba de la resonancia del motor (>1 rev/seg), de 550

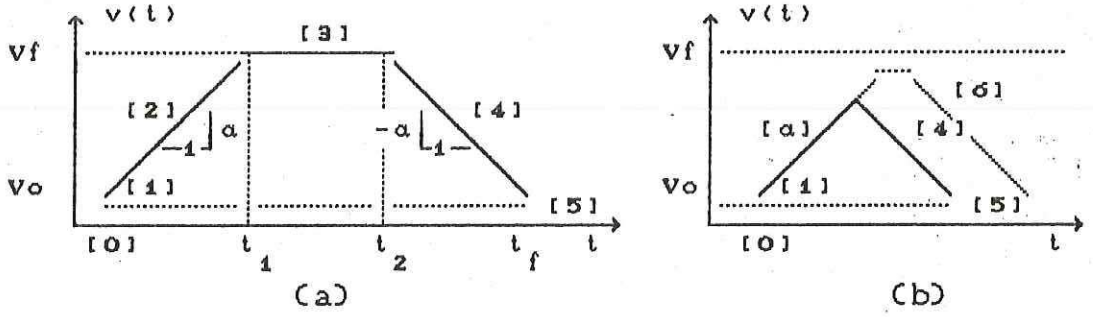


Figura 8. Fases de los perfiles de velocidad aplicados a los motores. [0] Motor en reposo: posición inicial; [1] Velocidad inicial; [2] Aceleración "a" constante; [3] Velocidad de crucero; [4] Desaceleración "-a" constante; [5] Motor en reposo: posición final; [6] Perfil para número de pasos impar y menor que $(Vf^2 - Vo^2)/2$.

pulsos/s y final deseable de 4,000 pulsos/s. De la ecuación 14 se tendrían que calcular y almacenar 1962 datos de dos octetos, es decir, 3924 octetos por tabla.

El GPV tiene una serie de líneas que lo controlan; estas son:

RLO/6. Reloj de 1.024 MHz.

QDSIN. Inicializador que tiene sus origen en el PPP U11.

CARGA. Pulso que permite incorporar un nuevo factor a las entradas del sintetizador.

Todas estas señales provienen del arreglo ALG U30. Para mayor información vea el apéndice D.

En la sección IV.3.1.5 se describe en forma detallada el proceso de generación del perfil de velocidad por la combinación circuitería-programática.

IV.3.1.3 Transladadores de pulsos.

Las señales de reloj de cada uno de los motores esclavos están coordinadas con la del reloj del motor amo. Así, las tres señales se hacen llegar a su respectivo transladador. Estos dispositivos, proporcionan la secuencia adecuada para cada motor dependiendo de los parámetros que se le hayan programado tales como dirección del movimiento y número de fases manejadas, de acuerdo con las figuras 1 y 2.

Con el fin de reducir la cantidad de componentes en la tarjeta de control se emplearon arreglos lógicos programables (tecnología ALG) para implementar a los transladadores. Las características globales del diseño de estos dispositivos son las siguientes:

-Selectividad en la dirección del movimiento tanto en rotación a reloj (linea ADEL=1) como en rotación contrareloj (ADEL=0).

-Medio paso (línea MP=1) o paso total (MP=0) por cada pulso de entrada, siendo por excitación de dos fases la de paso total.

-Sostenimiento de posición (anclado) mediante la polarización de los devanados (línea SUE=1)-Liberamiento del motor (desanclaje). Línea SUE=0.

-Estado de "REFERENCIA" mediante la colocación de un estado conocido a la salida de los transladadores tal que polarice un par de devanados opuestos. Línea REF=1.

El transladador cumple con los tableros 1 y 2 (sección II.6.1). A continuación se muestran los diagramas de estado y los mapas de Karnaugh correspondientes a la implementación de los transladadores con circuitos secuenciales síncronos usando básculas tipo D.

Los estados fuera de la secuencia principal se colocaron

de manera que pudiesen ayudar a la reducción de los mapas. En los diagramas se muestra el estado forzado cuando la línea REF es 1 lógico. Físicamente se logra el desanclado de los motores deshabilitando la salida de las básculas con la línea SUE al colocarla en 1 lógico.

De la figura 9a, y para la condición ADEL=0, MP=0, los mapas son:

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	1	1
01	0	0	1	1
11	0	0	1	1
10	1	0	1	1

$$Q_{A_1} = \overline{ADEL} \cdot \overline{MP} \cdot (C + \overline{B} \cdot \overline{D})$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	0	0
01	1	1	0	0
11	1	1	0	0
10	0	1	0	0

$$Q_{B_1} = \overline{ADEL} \cdot \overline{MP} \cdot \overline{C} \cdot (B + D)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	0	1	1
01	1	1	1	1
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{C_1} = \overline{ADEL} \cdot \overline{MP} \cdot \overline{A} \cdot (B + C)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	1	0	0
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

$$Q_{D_1} = \overline{ADEL} \cdot \overline{MP} \cdot (A + \overline{B} \cdot \overline{C})$$

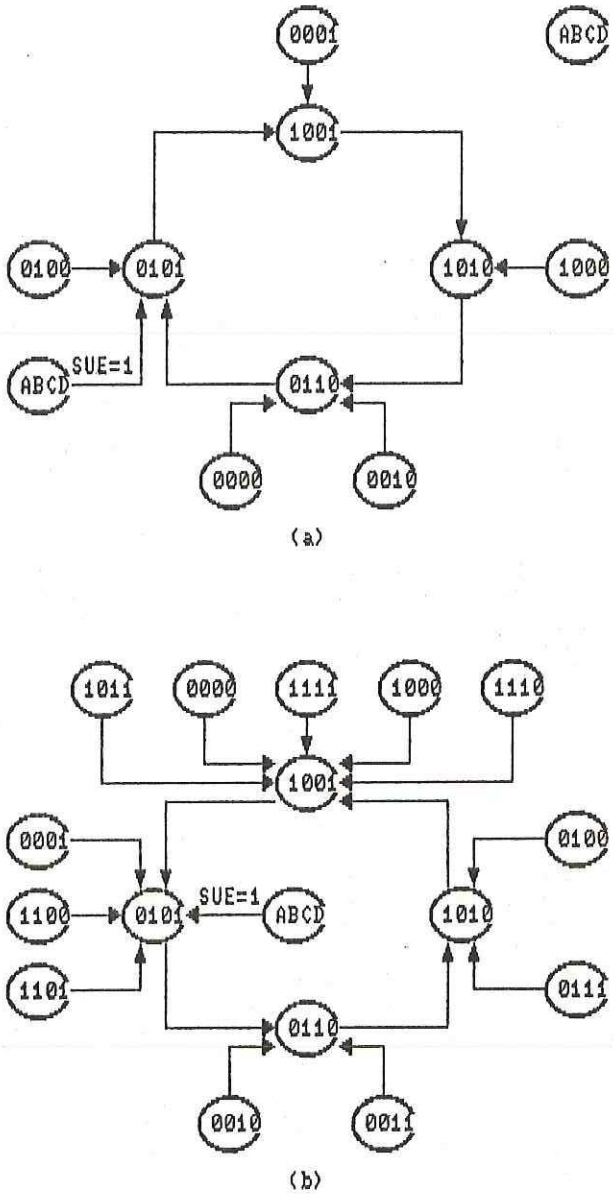


Figura 9. Diagramas de estados para las secuencias de paso completo. El valor de los estados se lee como se indica en la esquina superior derecha. (a) Giro a reloj. (b) Giro contra reloj.

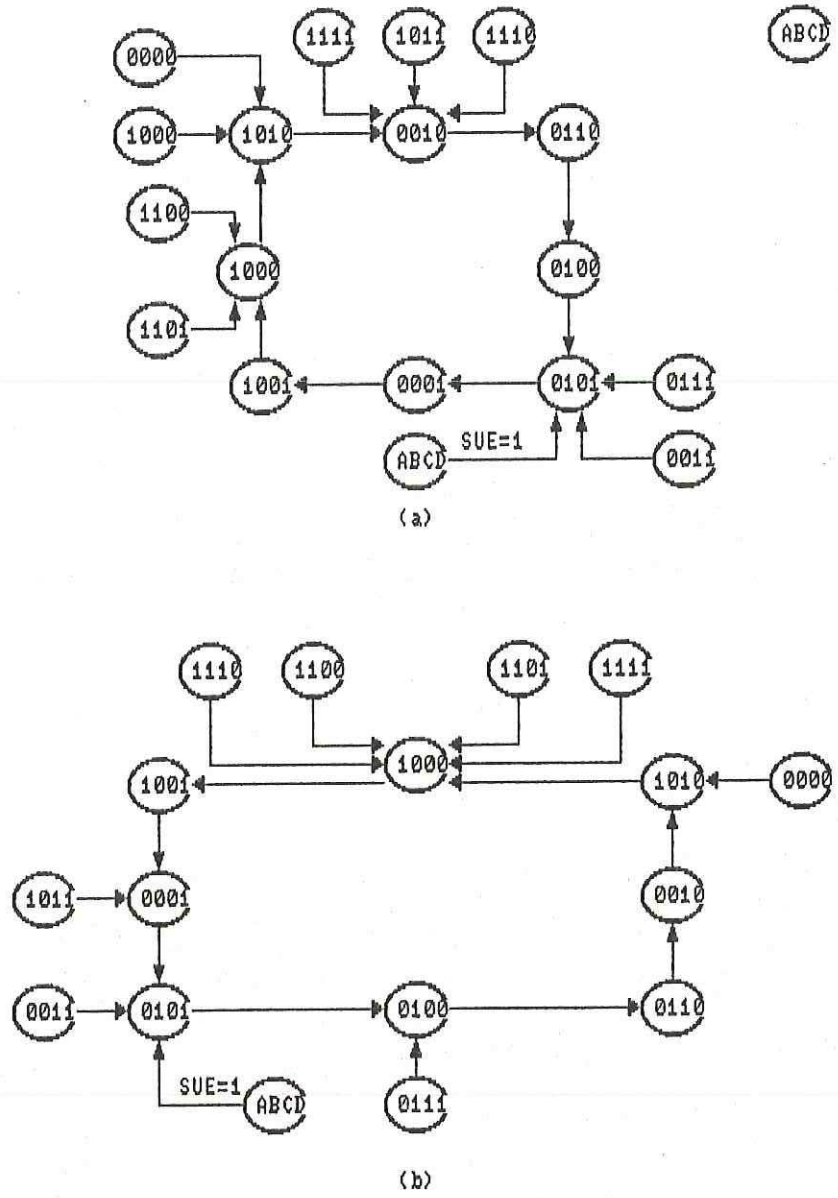


Figura 10. Diagramas de estados para las secuencias de medio paso. El valor de los estados se lee como se indica en la esquina superior derecha. (a) Giro a reloj. (b) Giro contra reloj.

De la figura 9b, y para la condición ADEL=1, MP=0, los mapas son:

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	0	1	1	0
11	1	1	1	0
10	1	1	1	0

$$Q_{A2} = ADEL \cdot \overline{MP} \cdot (D + A\overline{C})$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	1	0	0	1
11	0	0	0	1
10	0	0	0	1

$$Q_{B2} = ADEL \cdot \overline{MP} \cdot \overline{D} \cdot (\overline{A} + C)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

$$Q_{C2} = ADEL \cdot \overline{MP} \cdot (\overline{B} \cdot \overline{D} + A)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	1	1	1	1
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{D2} = ADEL \cdot \overline{MP} \cdot \overline{A} \cdot (D + B)$$

De la figura 10a, y para la condición ADEL=0, MP=1, los mapas son:

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	1	0	0	1

$$Q_{A3} = \overline{ADEL} \cdot MP \cdot (\overline{D} \cdot \overline{B} + A \cdot B)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	1	1	1	0
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{B3} = \overline{ADEL} \cdot MP \cdot \overline{A} \cdot (D + B \cdot \overline{C})$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	1	0	0	1
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{C3} = \overline{ADEL} \cdot MP \cdot \overline{A} \cdot \overline{D}$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	0	0	0	0
11	0	0	0	1
10	1	1	1	0

$$Q_{D3} = \overline{ADEL} \cdot MP \cdot \overline{B} \cdot (D + A \cdot \overline{C})$$

De la figura 10b, y para la condición ADEL=1, MP=1, los mapas son:

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	1	0	0
01	0	0	0	0
11	1	1	0	0
10	1	1	0	0

$$Q_{A4} = ADEL \cdot MP \cdot \overline{C} \cdot (A + \overline{B})$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	0	1	1
01	1	0	1	1
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{B4} = ADEL \cdot MP \cdot \overline{A} \cdot (C + B \cdot \overline{D})$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	0	0	0	0
11	0	0	1	1
10	1	0	1	1

$$Q_{C4} = ADEL \cdot MP \cdot (\overline{B} \cdot \overline{D} + A \cdot C)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	1	1	1	0
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

$$Q_{D4} = ADEL \cdot MP \cdot \overline{A} \cdot (D + B \cdot \overline{C})$$

Finalmente se obtienen las ecuaciones 16 a 19 (Q_A a Q_D respectivamente):

$$Q_A = (Q_{A1} + Q_{A2} + Q_{A3} + Q_{A4}) \cdot \overline{REF} \qquad (16)$$

$$Q_B = Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + Q_{B4} + REF \qquad (17)$$

$$Q_C = (Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}) \cdot \overline{REF} \qquad (18)$$

$$Q_D = Q_{D1} + Q_{D2} + Q_{D3} + Q_{D4} + REF \qquad (19)$$

En estas últimas ecuaciones se introduce el mando "REF" para colocar al transladador en un estado de salida conocido. Al hacer una nueva agrupación de términos en torno a las variables ADEL y MP las ecuaciones se simplifican (refiérase al apéndice D para mas información).

IV.3.1.4. Lógica asociada.

Dado que cualquiera de los relojes puede ser el pivote para realizar el movimiento coordinado, será necesario contar con un multicanalizador que permita, por una parte, manipular los relojes amo y esclavos (AMO, E1 y E2) en forma adecuada y, por la otra, inyectar el reloj apropiado a cada transladador (RLJX, RLJY y RLJZ). Lo anterior se logra implementando la tabla V. La polaridad de salida puede seleccionarse con la línea INV.

Tabla V. Tabla de verdad del multicanalizador.

INV	C_1	Co	RLJX	RLJY	RLJZ
0	0	0	AMO	E1	E2
0	0	1	E1	AMO	E2
0	1	0	E1	E2	AMO
0	1	1	E1	E2	AMO
1	0	0	/AMO	/E1	/E2
1	0	1	/E1	/AMO	/E2
1	1	0	/E1	/E2	/AMO
1	1	1	/E1	/E2	/AMO

Directamente de la tabla:

$$RLJX = \overline{C_1}\ \overline{Co}\cdot(E_2\cdot\overline{INV} + \overline{E_2}\cdot INV) + Co\cdot(E_1\cdot\overline{INV} + \overline{E_1}\cdot INV) + C_1\cdot(E_1\cdot\overline{INV} + \overline{E_1}\cdot INV) \quad (20)$$

$$RLJY = \overline{C_1}\cdot\overline{Co}\cdot(E_1\cdot\overline{INV} + \overline{E_1}\cdot INV) + C_1\cdot Co\cdot(E_2\cdot\overline{INV} + \overline{E_2}\cdot INV) + C_1\cdot(E_2\cdot\overline{INV} + \overline{E_2}\cdot INV) \quad (21)$$

$$RLJZ = \overline{C_1}\cdot(E_2\cdot\overline{INV} + \overline{E_2}\cdot INV) + C_1\cdot(E_2\cdot\overline{INV} + \overline{E_2}\cdot INV) \quad (22)$$

Estas funciones se complementan con programación forzando que el reloj pivote se presente siempre en AMO y los dos restantes en la forma que aparece en la tabla V.

Las señales RLJX, RLJY y RLJZ se usan como los relojes de los transladadores.

La frecuencia del oscilador de referencia f_{osc}, ecuación 4, se obtiene de dividir por 6 la señal de un oscilador de cristal a 6.144 MHz. Este divisor proporciona a la vez una salida por 2, 3.072 MHz, que se usa para el ECA U9. El diagrama de tiempos, la tabla de excitación, los mapas de

Karnaugh y las ecuaciones de estado (usando báscula D) relacionadas con el divisor son:

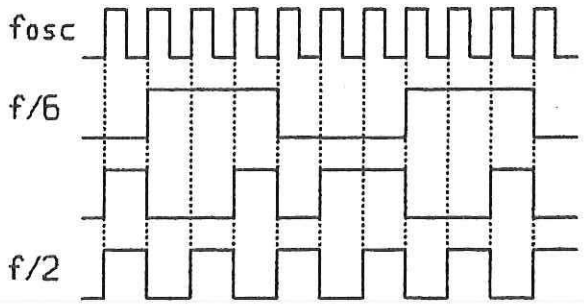


Figura 11. Diagrama de tiempos del divisor por 6.

Tabla VI. Tabla de excitación del divisor por 6.

(A	B	C)t	(A	B	C)t+1
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

A \ BC	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

$$Q_A = B\cdot C + A\cdot B = \frac{f_e}{6} = f_{osc} \qquad (23)$$

A \ BC	00	01	11	10
0	1	1	0	1
1	0	1	0	0

$$Q_B = \overline{B}\cdot C + \overline{A}\cdot\overline{C} \qquad (24)$$

A \ BC	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	1	0	0	1

$$Q_C = \overline{C} = \frac{f_e}{2} \qquad (25)$$

La ecuación 23 genera f_{osc}, mientras que la ec. 25 proporciona el reloj del ECA.

Tanto el multicanalizador, como el divisor descrito, estan contenidos en el ALG U30 (refiérase al apéndice D).

Además de lo anterior será necesario contar con una lógica adicional para cumplir con la secuencia que marca el diagrama de tiempos de la tarjeta de control mostrado en la figura 14. Aquí solo indicaremos el tipo de lógica usada y en la sección IV.3.1.5 la relacionaremos con el comportamiento global de la tarjeta de control.

Los componentes de ésta lógica son una báscula D y una compuerta O negada.

Mediante la báscula, la señal DSIN se sincroniza con el oscilador de 6.144 MHz y llega al habilitador del GPV como QDSIN.

Con la compuerta O negada se genera la señal CARGA cuyo flanco de subida transfiere en forma sincrónica el factor "p", ecuación 4 (sección IV.3.1.2.1), del PPP U12 al sintetizador del GPV (figura 12); además, permite la carga, simultáneamente con el habilitamiento del reloj amo, del primer factor "p" antes de comenzar un desplazamiento. La ecuación para CARGA es:

$$CARGA = \overline{DA + AMO} \qquad (26)$$

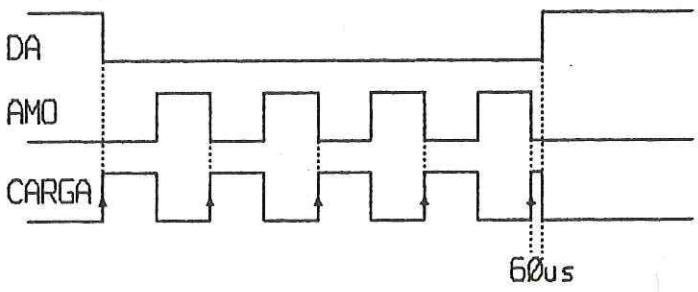


Figura 12. Diagrama de tiempos de la señal CARGA.

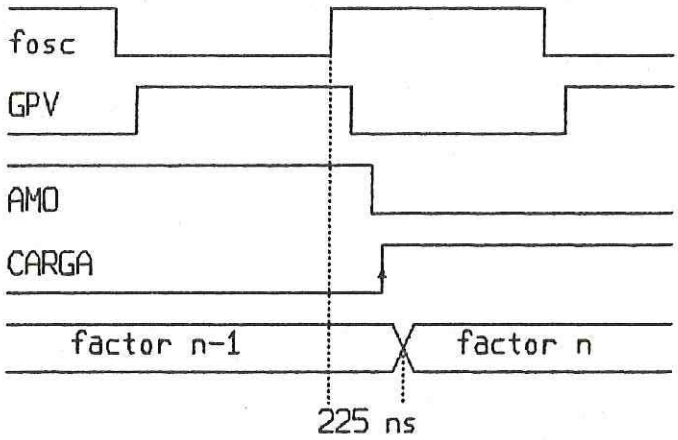


Figura 13. Detalle sobre la generación de la señal CARGA.

Para evitar el ruido generado por la etapa de potencia y proteger la tarjeta de sobretensiones, se emplea optoacoplamiento entre ésta y la interfaz. Las líneas que se aislan son las salidas de los transladadores, las entradas de los detectores de límite y la salida que dispara el relevador

externo.

El optoacoplador utilizado tiene una alta relación de transferencia de corriente (200%) y una ganancia típica de corriente en CD, h_{FE}, de 16,000.

Con ayuda de los optoacopladores es posible enviar señales de coriente por los cables que van de la tarjeta de control a la tarjeta interfaz donde se convierte de nuevo a tensión. La resistencia de entrada de ésta última es mucho mayor que la presentada por el cable lo que garantiza la recuperacíon del nivel lógico alto.

IV.3.1.5. Combinación de programática y circuiteria para lograr un desplazamiento coordinado.

En esta sección describiremos la secuencia utilizada para iniciar, mantener y terminar un desplazamiento. Para lograrlo se utiliza una combinación de programática y circuitería que cumpla con el diagrama de tiempos mostrado en la figura 14. A continuación se describe el proceso:

Paso 1. Se inicializan a cero el GPV, los coordinadores y el reloj amo colocando las lineas QDSIN en bajo, DA, DE1 y DE2 en alto. Se realizan las siguientes acciones:

Envío de los factores "r" y "p" a los sintetizadores a través de los PPP U12 y U13 (sección IV.3.1.1). Los valores de "p" estan precalculados y se encuentran almacenados en memoria.

Programación de los tres transladadores de pulsos según lo visto en la sección IV.3.1.3.

Programación del multicanalizador (sección IV.3.1.4).

Habilitamiento del reloj amo colocando la línea DA en cero lo que simultáneamente transladará el factor "p" al sintetizador del GPV (linea CARGA, ecuación 26).

Habilitamiento de los coordinadores colocando DE1 y DE2 en bajo.

Translación del siguiente valor de p al puerto PPP U12.

Inicialización de los contadores de pulsos para cada motor.

Paso 2. Se habilita el GPV haciendo DSIN = 1. Cada flanco descendente del reloj amo, o pivote, generará una interrupción en el microprocesador. Este responderá enviando un nuevo factor al GPV y contará los pulsos

Paso 3. Al momento que los contadores registren el número apropiado de pulsos, el microprocesador (μP) deshabilitará el correspondiente reloj mediante DA, DE1 o DE2.

Paso 4. Si DA·DE1·DE2 es 1, el μP deshabilita el GPV haciendo DSIN =0.

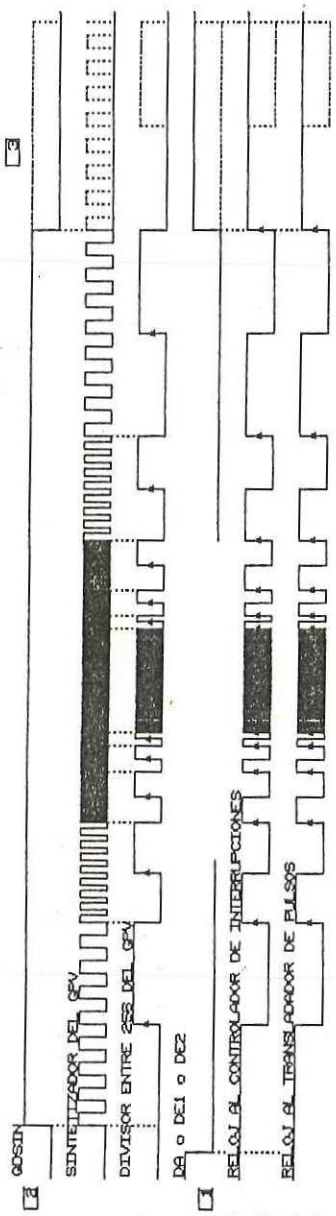


Figura 14. Diagrama de tiempos de la tarjeta de control.

IV.3.2 Tarjeta interfaz.

El objetivo de esta tarjeta es proporcionar refuerzo a las siguientes señales:

Doce líneas de los transladadores, 4 por cada motor.

Dos líneas de los detectores de límite de movimiento.

Una línea de manejo, optoaislada, para relevador.

El diseño original pertenece a MESTRA, Mitrani E. et al (1982). La versión presentada aquí considera el manejo de un tercer motor y la eliminación de teclado remoto, respetando los dos detectores y el manejador de relevador.

Para realizar el manejo de las doce líneas se utiliza el esquema de la figura 15 que emplea 2 arreglos de transistores superbeta ULN2003A de HARRIS.

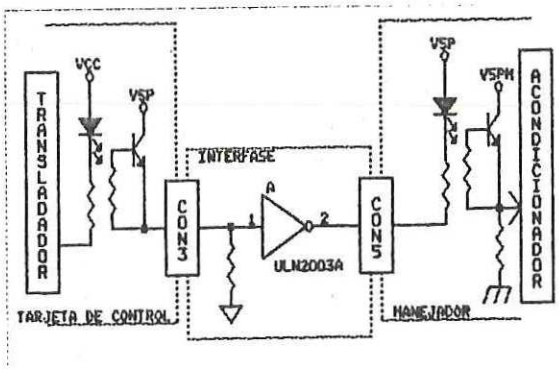


Figura 15. Reforzadores de las líneas provenientes de los optoacopladores.

Los detectores de límite están constituidos por interruptores normalmente cerrados. Para convertir sus señales a niveles lógicos se emplean circuitos con histéresis 74LS14 en conjunción con circuitos RC para evitar el rebote del interruptor.

IV.3.3 Manejadores de potencia.

Los manejadores de potencia (drivers) convierten los pulsos digitales en señales de excitación de corriente para los devanados de los motores.

El diseño original de ésta sección pertenece a MESTRA, Mitrani E. et al (1982), por lo que solo se describirá brevemente su funcionamiento con el objetivo de justificar la modificación que fué necesario realizar para permitir su funcionamiento con el nuevo sistema de control.

El manejador de potencia puede dividirse en dos partes:

Etapa de acondicionamiento.

Etapa de potencia.

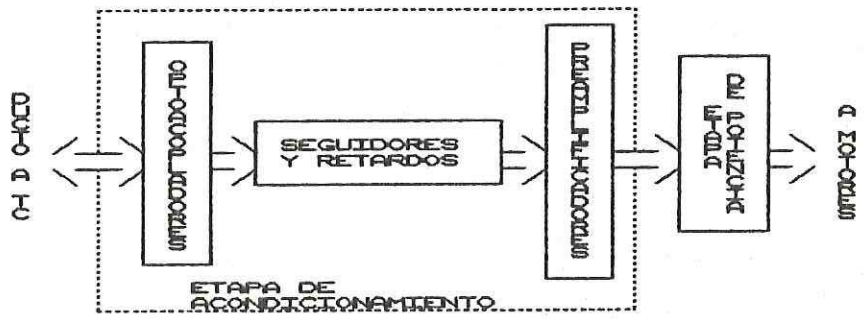


Figura 16. Diagrama de cuadros de los manejadores de potencia.

Para mayor claridad en la descripción comenzaremos con la etapa de potencia.

IV.3.3.1 Etapa de potencia.

Consiste de un transistor darlington por cada devanado y un transistor adicional, para cada par de devanados con fases opuestas, utilizado como conmutador de tensiónes. En la figura 17 se muestra mediante interruptores, este diseño (c. f. apéndice F).

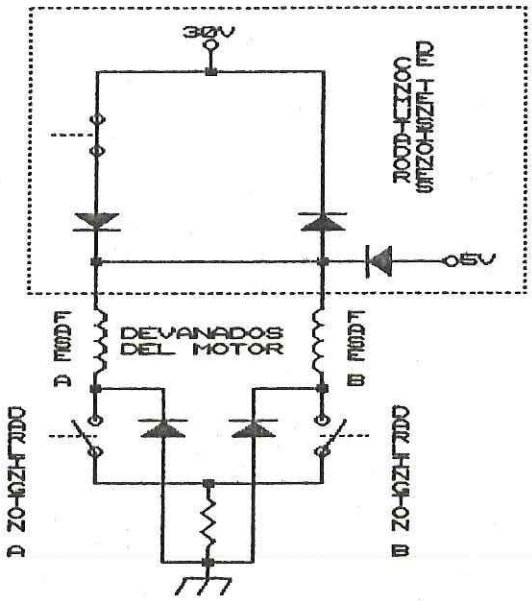


Figura 17. Circuito para excitar los devanados.

El conmutador de tensiónes se encuentra normalmente cerrado mientras que los darlington están normalmente

abiertos.

Al aplicar un pulso a cualquiera de los devanados (no es coherente hacerlo a los dos dado que son fases opuestas), circula una corriente proveniente de la fuente de 30 Volts. Un tiempo después, llega el pulso retrasado al conmutador de tensión provocando su apertura y canalizando la excitación a la fuente de 5 Volts (ver sección IV.3.3.2).

Al desaparecer el pulso de entrada el darlington se abre. Debido al efecto inductivo el devanado tratará de mantener la corriente que lo excita y al carecer de un camino de descarga la tensión comenzará a elevarse en éste. Por lo anterior y aprovechando que los devanados de las fases A y B forman un transformador con enrollados opuestos, se instala un par de diodos en serie con el secundario en turno formando así un sendero de descarga hacia la fuente de 30 Volts.

Debido al tipo de manejo utilizado, la cantidad de corriente a los devanados se reduce conforme aumenta la frecuencia de los pulsos. Actualmente y considerando un perfil de velocidad trapezoidal, el límite superior útil de este manejador es de 4,000 pulsos/s (medio paso).

IV.3.3.2 Etapa de acondicionamiento.

Esta etapa puede subdividirse en: optoacopladores, retardos y seguidores, y preamplificadores.

Los optoacopladores trabajan en la forma descrita por la

sección IV.3.1.4.

Los retardos y seguidores utilizan lógica combinacional, circuitos RC e histéresis para lograr:

Reforzar al pulso para activar el darlington.

Retrasar el arribo al conmutador de tensiones del pulso aplicado al darlington.

Establecer prioridades de excitación a los devanados por cada par de fases opuestas.

Los pulsos se refuerzan utilizando seguidores CMOS y transistores en configuraciónes de colector común.

Para retrasar el arribo del pulso al conmutador se utiliza el circuito de la figura 18. La magnitud del retraso se establece en función de la constante de tiempo del devanado de la tensión aplicada y del valor de la corriente estática de funcionamiento.

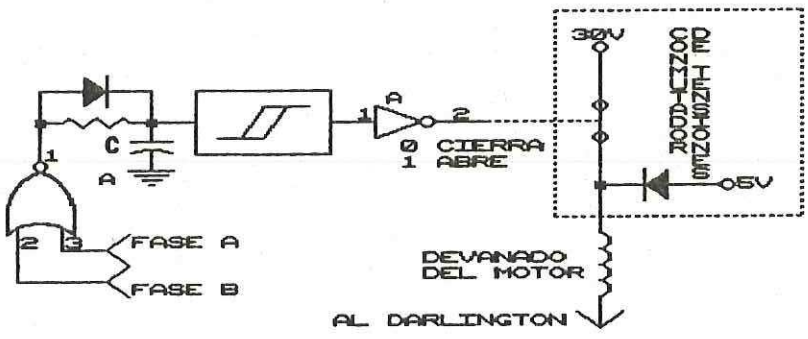


Figura 18. Circuito retardador.

velocidad.

Para establecer prioridades de excitación, que eviten activar dos fases opuestas en forma simultánea, se utiliza lógica combinacional que cumple con la tabla VII.

Tabla VII. Tabla de verdad para establecer prioridades de excitación. Las fases A y B son opuestas.

fase A	fase B	A	B
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

IV.3.3.2.1 Multicanalizador de retardos.

Como es fácil deducir, el circuito anterior (figura 18) solo puede funcionar para un esquema de control en el que entre la desactivación de la fase A y la activación de la B, en cada par de devanados, medie un tiempo significativo T_D en que ambas fases permanezcan desactivadas (tableros II y VIII).

Tabla VIII. Paso completo. Excitación de una fase. Las fases C y D, al igual que A y B, son opuestas.

rotación a reloj ↓

PASO	DEVANADO A B C D
1	1 0 0 0
2	0 0 1 0
3	0 1 0 0
4	0 0 0 1
1	1 0 0 0

rotación contra reloj ↑

Es durante el periodo T_D que se permite la descarga del capacitor "C" (figura 18).

En el esquema de control con paso completo propuesto en este trabajo, en todo momento se tienen dos fases activas (c.f. tablero I, sección II.6.1).

Mediante este método es posible aumentar el par del motor, según Superior Electric (1990) e IMC Magnetics (1989), pero siendo T_D prácticamente nulo, el circuito manejador del conmutador de tensiones debe ser modificado.

Para resolver el problema, se superpone un circuito que produce un retardo por cada fase y un multicanalizador con prioridad por cada par de fases opuestas (figura 20). La implementación de este módulo se logra utilizando inversores con histéresis y ALG (c.f. apéndice F).

Dentro del mismo ALG se incluyen los reforzadores para activar los darlington.

Para incorporar este circuito a las tarjetas ya armadas es necesario sustraer los integrados CI2, CI3 y CI4, Mitrani

E. et al (1982), e insertarlo en el área despejada.

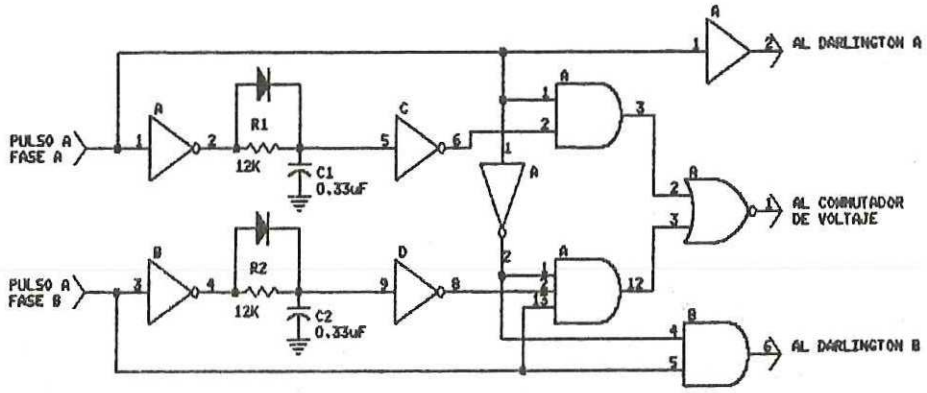


Figura 20. Retardos y multicanalizador.

En el caso del manejador armado para el motor en el eje Z, los inversores y el ALG se incluyen en la nueva tarjeta como lo muestra el esquemático CONPOT-MESA TRAZANTE en el apéndice F.

IV.3.4. Programática

Por la función que desempeña, la programática para este trabajo la podemos dividir en:

Programática para control en la secuencia de eventos y protocolo de comunicación entre TC y CP.

Programática en tiempo real.

Programática para interacción con el usuario.

Programática de apoyo.

En cuanto a su distribución y al lenguaje utilizado se distinguen dos casos:

Programática para computadora personal realizada en lenguaje C.

Programática para la tarjeta de control realizada en lenguaje ensamblador del microprocesador 8088 de Intel.

Por limitaciones de tiempo para el desarrollo del tema pero sin perder de vista el objetivo de formar la infraestructura básica para realizar movimiento coordinado, se adoptó el criterio de desarrollar la mayor parte de la programática en lenguaje de alto nivel dejando para lenguaje ensamblador las rutinas más críticas (tiempo real y supervisión).

IV.3.4.1 Programática para control en la secuencia de eventos y protocolo de comunicación entre TC y CP.

La programática en lenguaje C proporciona datos predigeridos a la programática escrita en ensamblador. Esta última los interpreta, distribuye, supervisa y reporta los resultados obtenidos que afectarán las decisiones de la programática en C, formando así, un lazo cerrado en el control de la secuencia de eventos.

Los diagramas de cuadros de la figura 21 muestran la interacción entre la programática de control, que se encuentra distribuida entre la TC y la CP, y los diferentes procedimientos. La secuencia de control se guía por el valor de las banderas (c.f. apéndice G).

El diagrama de flujo de la figura 22 corresponde al programa de control desarrollado por la CP, mientras que el mostrado en las figuras 23 y 24 corresponden a los de la TC (c.f. apéndice G, procedimiento "main" del programa COMCON.C).

IV.3.4.1.1. Protocolo de comunicación entre TC y CP.

El intercambio de información entre la TC y la CP se realiza en forma serializada. Los datos se envían en paquetes usando formato hexadecimal Intel.

: nn 000000 .....hasta 255 datos.... vv rc cl

donde:

":" es el caracter de inicio de paquete.

"nn" es el número de datos en el paquete y no es mayor a 255.

"vv" es la verificación por suma.

"rc" es el código para retorno de carro

("0D").

"cl" es el código para cambio de línea ("0A").

Utilizando elementos de comunicación asincrónica los datos se envían y reciben con verificación de paridad. Por cada paquete de datos enviados por la CP, la TC responde con alguno de los siguientes mensajes:

"X": recepción correcta del paquete. La TC anexa reporte corto.
"Y": demanda de retransmisión (error en el formato del paquete). La TC anexa reporte corto.
"?": recepción correcta del paquete. La TC anexa reporte largo.
BREAK: señal de alarma por ocurrencia de error en la comunicación (errores de paridad, marco, sobreflujo y por detección de DTR inactiva).

El mnemónico y parámetros para los acuerdos "X" o "Y" son los siguientes (para "?" c.f. IV.3.4.3.17):

Octetos	Descripción
1	Referencia de mensaje
2	Mnemónico del acuerdo: "X" o "Y".
3-4	Palabra de control de la TC.
5-6	Espacio disponible en cola de tareas.
7	Registro de errores.

En la sección IV.3.4.3 se describe la información enviada por el canal de comunicación correspondiente a cada mando programado por el usuario.

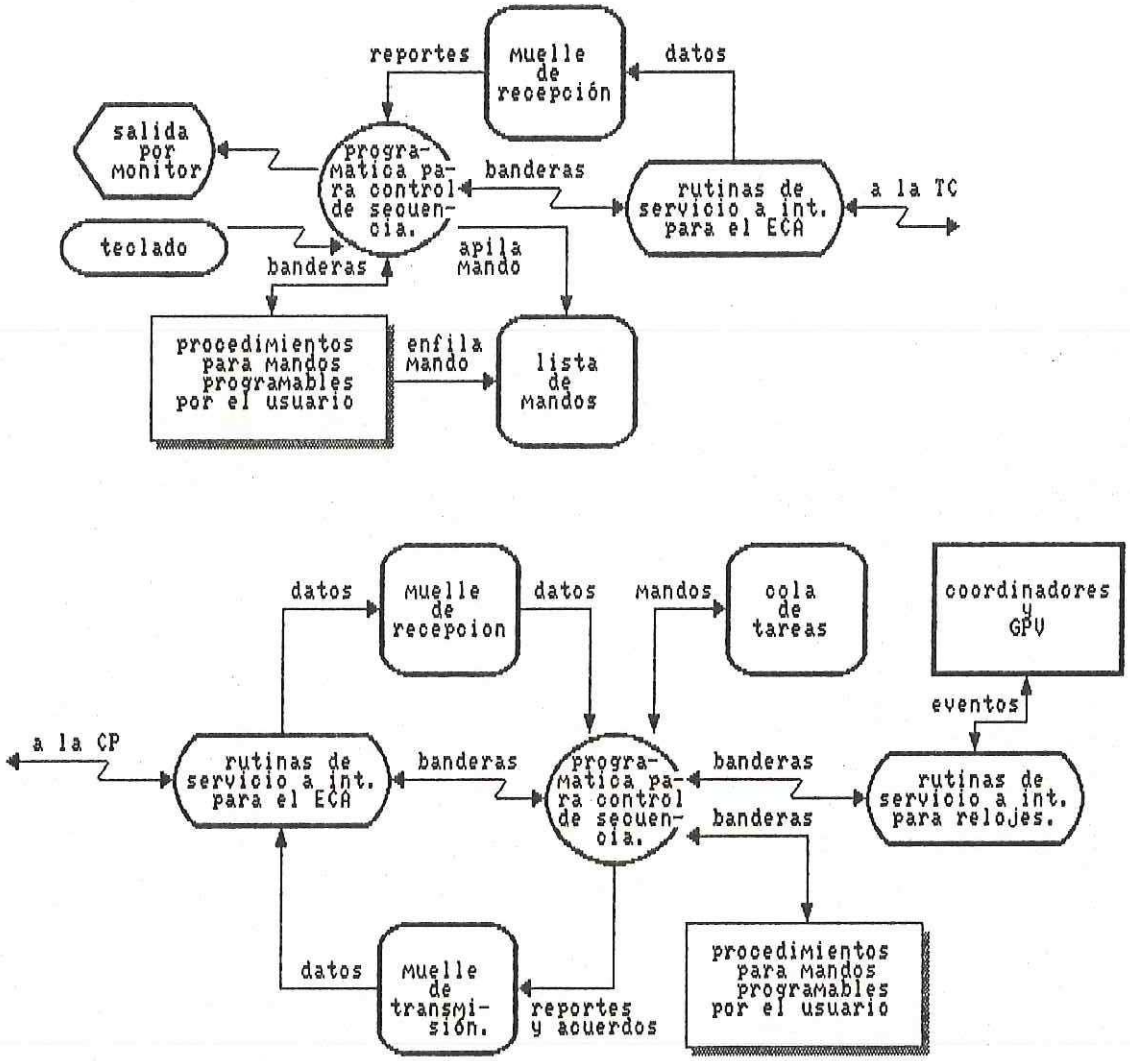


Figura 21. Diagramas de cuadros que muestran la interacción entre la programática de control y los procedimientos satélites. El diagrama superior corresponde al programa en la CP y el inferior al de la TC.

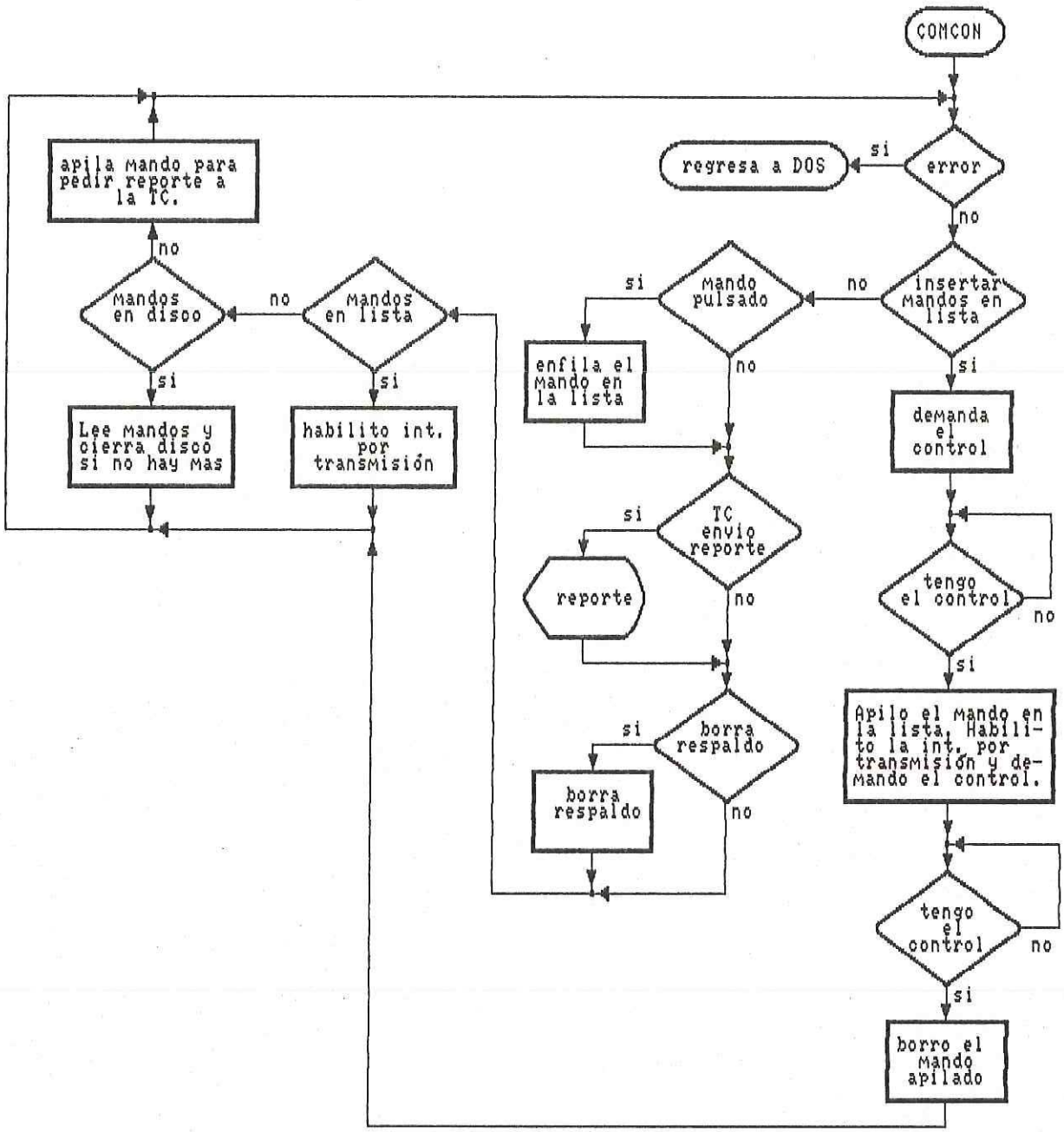


Figura 22. Diagrama de flujo del programa de control desarrollado por la CP.

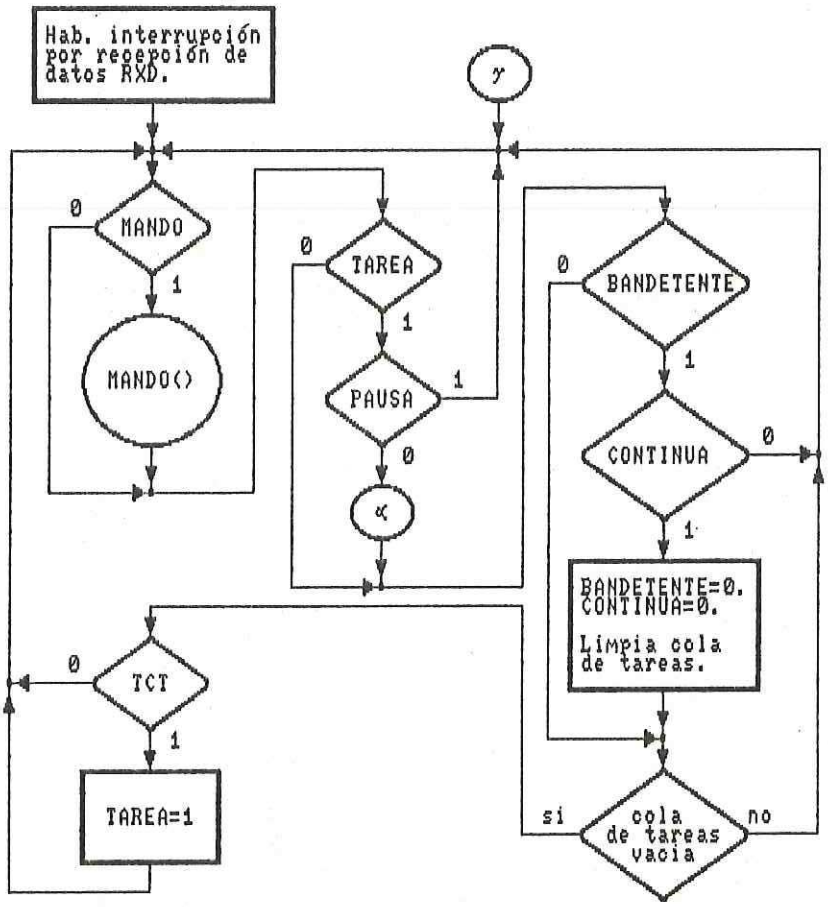


Figura 23. Diagrama de flujo del programa de control desarrollado por la TC.

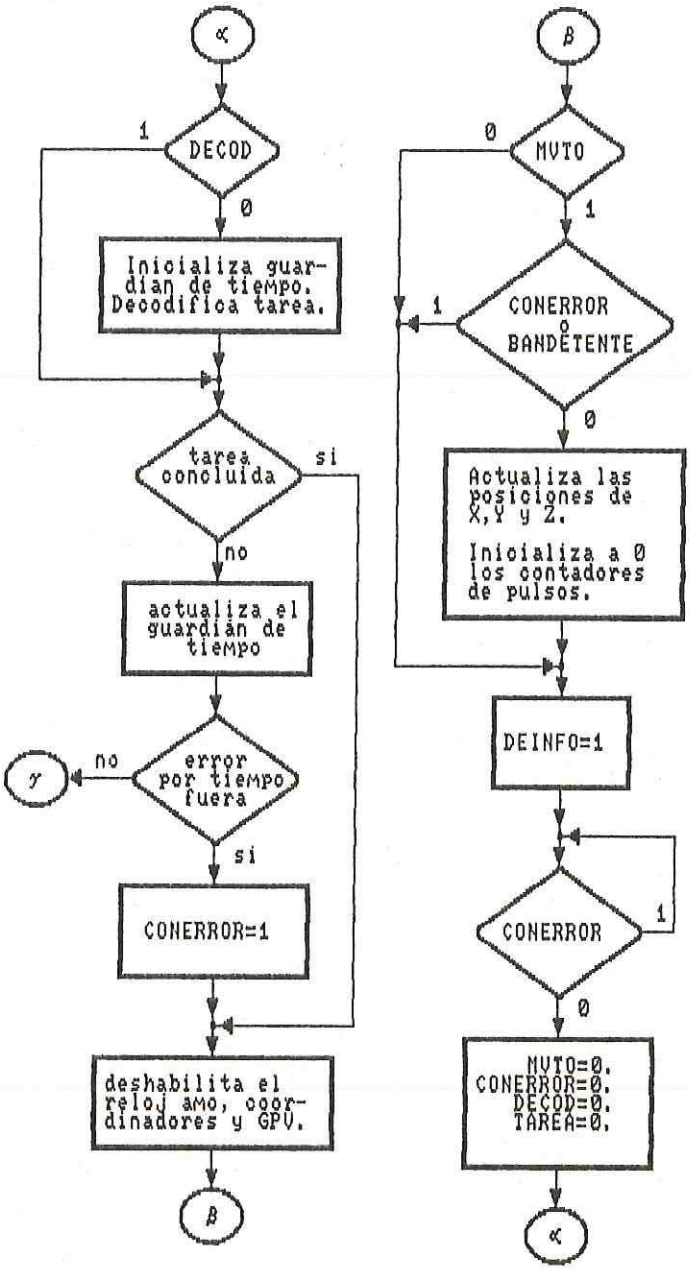


Figura 24. Diagrama de flujo del programa de control desarrollado por la TC (continuación).

IV.3.4.2 Programática en tiempo real.

En el capítulo III se especificó una velocidad máxima o de crucero de 4000 pulsos/s, es decir, 250 μs entre eventos. Dado que, en el peor caso, se debe atender 3 relojes a la frecuencia especificada más una cuarta fuente de información, debida a las rutinas de comunicación ,debe cumplirse con la ecuación 27 para no perder eventos relacionados con la recepción de datos.

$$t_{TXD} + t_{RXD} + t_{RLJS} \cdot \sigma \leq t_{RISTRA} \qquad (27)$$

$$\sigma = \text{entero}\left(\frac{(\text{bits por trama}) \cdot (\text{velocidad de crucero})}{\text{tasa de transmisión de datos}}\right)$$

donde:

t_{TXD} es el tiempo de ejecución más largo de la rutina de servicio a interrupción para transmisión.

t_{RXD} es el tiempo de ejecución más largo de la rutina de servicio a interrupción para recepción.

t_{RLJS} es la suma de los tiempos de ejecución de las rutina de servicio a interrupciones para atención a los relojes amo y coordinadores esclavos 1 y 2.

σ es el número de juegos de tres interrupciones provenientes de los relojes amo y esclavos.

t_{RISTRA} es el tiempo necesario para enviar un dato de 8 bits con 1 bit de paridad, 1 bit de inicio y 1 bit de paro a la tasa de transmisión deseada.

En las especificaciones se indica una tasa de transmisión de datos de 9600 bauds/s por lo que, en el intervalo de transmisión de 11 bits, se tendrían σ=4 juegos de interrupciones por los relojes y hasta dos interrupciones más por transmisión y recepción de datos (14 interrupciones en total que deben ser atendidas). La condición para lograrlo la expresa la ecuación 28:

$$t_{RLJS} + \frac{t_{TXD} + t_{RXD}}{\sigma} \leq \frac{1}{\text{velocidad de crucero}} \qquad (28)$$

En el apéndice E se muestran los diagramas de flujo para las rutinas de servicio a interrupción para transmisión y recepción de datos, tanto en la CP como en la TC, así como para los relojes amo y esclavos.

Estableceremos un análisis de tiempos para mostrar que se cumplen las ecuaciones 27 y 28 para las rutinas en la TC. Para la CP no es necesario hacerlo dado que las únicas rutinas en tiempo real son las de comunicación.

Tomando como referencia los tiempos empleados por el microprocesador 8088 a 5 MHz en ejecutar las rutinas correpondientes, se tienen los siguientes tiempos:

$$t_{RXD} + t_{TXD} = 96.4\ \mu s + 77.2\ \mu s = 173.6\ \mu s$$

$$t_{RLJS} = 136.8\ \mu s$$

Como σ=4, se cumplen las ecuaciones 27 y 28 permitiendo una holgura de 425 μs.

Según las ecuaciónes 27 y 28 podríamos incrementarse la tasa de transmisión a 35 Kbauds/s para una velocidad de crucero de 3200 pulsos/s (σ=1) o aumentar la velocidad de crucero hasta 6180 pulsos/s manteniendo una tasa de 9600 bauds/s.

Tabla IX. Comparación de tiempos para dos microprocesadores.

parámetro	8088 a 5 MHz	8088 a 10 MHz
$t_{RXD}+t_{TXD}$	178.6 μs	86.8 μs
t_{RLJS}	136.8 μs	68.4 μs
holgura si Vf es 4000 pulsos/s y se transmite a 9600 bauds/s.	425 μs	785 μs
holgura si Vf es 4000 pulsos/s y se transmite a 19200 bauds/s	125 μs	350 μs
Vf máxima a 9600 bauds/s	6188 pulsos/s	14600 pulsos/s
Vf y tasa de transmisión si σ=1.	35 Kbauds/s a Vf = 3200 pasos/s	70 Kbauds/s a Vf = 6400 pasos/s

Manteniendo la velocidad de crucero de 4000 pulsos/s podríamos transmitir a 19200 bauds/s con una holgura de 125μs.

Los resultados anteriores se resumen en el tablero IX donde además se añade una comparación con respecto al 8088 a 10 MHz.

IV.3.4.3 Programática para interacción con el usuario.

La interacción hombre-máquina se realiza mediante la presentación de menúes a través de ventanas en el monitor.

El usuario se limita a proporcionar los datos que le demanda el sistema. Las fuentes de información pueden provenir del teclado o de archivos en unidades de disco.

Toda ésta parte fue realizada usando lenguaje de alto nivel lo que facilitó su construcción. Básicamente se apoya en ventanas que ocupan zonas de memoria de manera temporal. Solo las ventanas más importantes, como las que despliegan información proveniente de la TC, se respaldan a lo largo de la ejecución del programa.

Para evitar el acceso de información que no es del tipo pedido se utiliza un filtro para los datos provenientes del teclado. Para eliminar el control local por flechas- colocado originalmente en la mesa trazante del CICESE, Mitrani E. et al (1982)- se incluye el censado de las provistas en la CP.

En el apéndice G se detalla cada una de las rutinas que

integran la inteligencia del sistema para coordinación. A continuación se describe el ambiente de interacción con el usuario a través de ventanas y menúes.

IV.3.4.3.1 Marco de interacción con el usuario.

Al ejecutarse el programa PELICANO.EXE en la computadora personal se despliega la siguiente información:

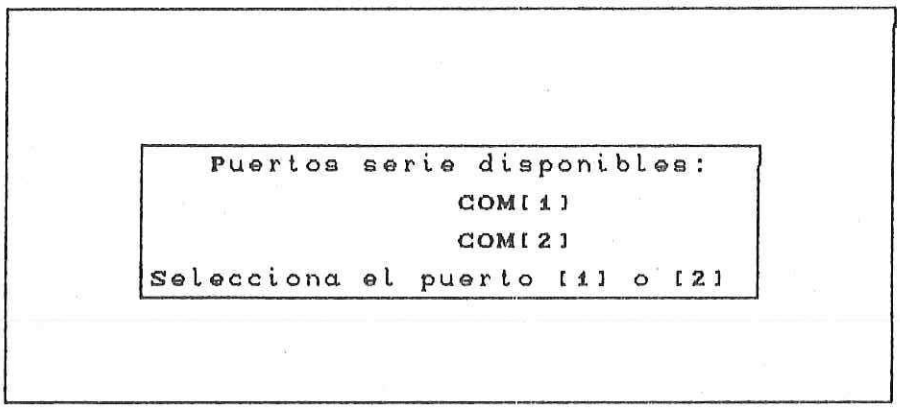


Figura 25. Desplegado para selección de puerto serie.

Se detecta la presencia de los puertos serie COM1 y COM2. En caso de tener uno solo se despliega el nombre del puerto y espera por cualquier tecla para continuar. Para el caso de tener ambos puertos se pide la selección de alguno de ellos con lo que el programa continuará. Lo anterior permite conectar la TC al puerto deseado.

El desplegado siguiente muestra el marco principal, o fondo, conteniendo cuatro ventanas. Las dos primeras son los renglones superior e inferior utilizados para reportar información de posición y reloj, las restantes muestran el sentido de desplazamiento cuando se utiliza el mando F "Flechas" (sección IV.3.4.3.6).

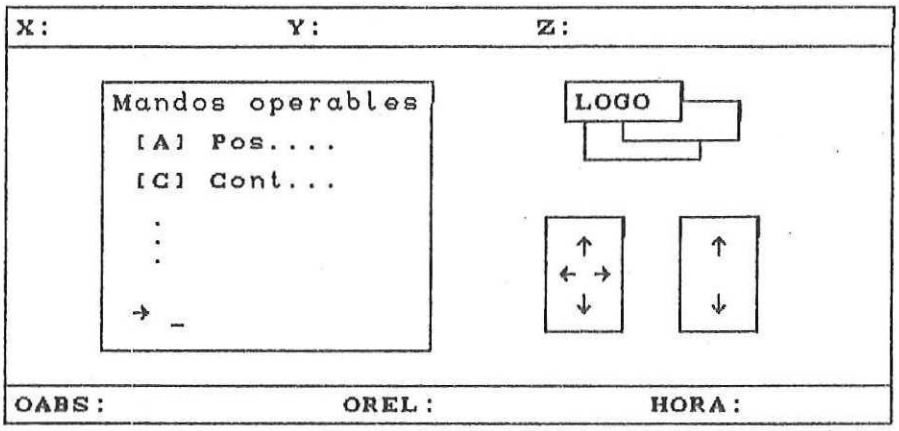


Figura 26. Marco o fondo de presentación.

El sistema de coordenadas de MESTRA contiene tres tipos de origenes, estos son: físico, absoluto y relativo.

Dado que el sistema trabaja en lazo abierto es necesario ubicar a MESTRA en una coordenada de referencia (usada en el cálculo de correcciones para compensar inexactitudes mecánicas) a la que se denomina origen físico.

El origen absoluto puede ubicarse lejos de origen físico y dentro del área de desplazamiento de MESTRA. El origen relativo solo puede ubicarse en coordenadas positivas y relativas al origen absoluto.

El renglon inferior, figura 26, despliega la información de los origenes absoluto (O_ABS) y relativo (O_REL) junto con la de hora.

El renglon superior despliega las coordenadas X,Y,Z de la posición relativa al origen relativo.

La ventana inferior derecha con 4 flechas corresponde al despliegue de sentido de movimiento en X-Y (mando F sección

IV.3.4.3.6): -Y (↓) y +Y (↑), -X (←) y +X (→). De manera semejante la ventana con dos flechas muestra los sentidos para Z: +Z(↓) y -Z(↑).

El programa de control de secuencia de eventos (c.f. IV.3.4.1) envía periodicamente un mando para petición de reporte corto. La información enviada por el canal de comunicación es:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "F"

Los mandos operables se despliegan usando un menú bajo el título de "Mandos operables". En las siguientes secciones se describirá a detalle cada uno de ellos.

IV.3.4.3.2 Mando A: "Posicionamiento absoluto".

Al pulsar "A" se despliega la siguiente ventana:

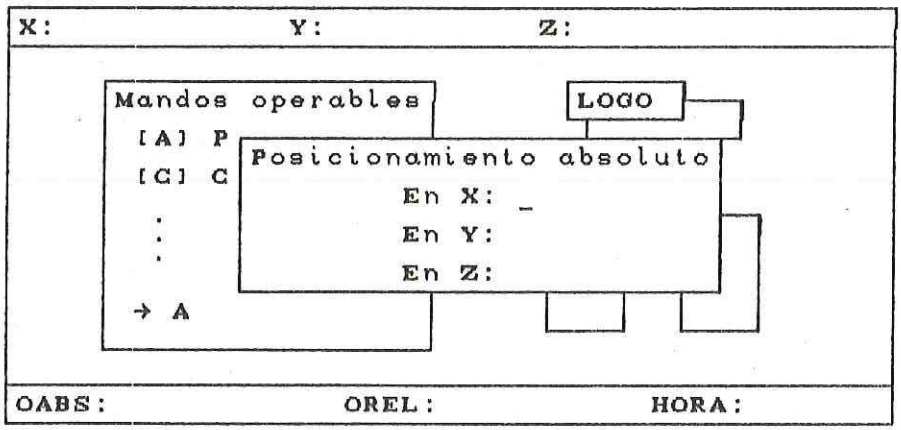


Figura 27. Mando A. Desplegado para admisión de datos.

Mediante la tecla <ESC> es posible abortar el mando. Los valores de X, Y y Z introducidos se consideran relativos al origen absoluto. Tanto para este mando como para otros relacionados con desplazamientos, se verifica que las coordenadas estén dentro de límites. La siguiente ventana despliega la ocurrencia de un error por intentar posicionamiento fuera de límites.

El intervalo depende del manejo de los motores. A medio paso es de 0 a 65534 para X y Y y 0 a 5000 para Z, a paso completo es de 0 a 32767 para X y Y y 0 a 2500 para Z.

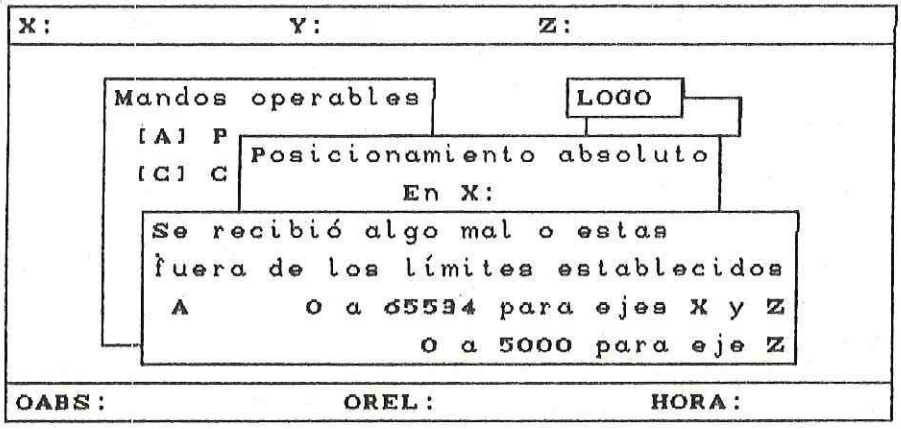


Figura 28. Desplegado por intentar colocar desplazamientos fuera de límites.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son los mismos que para el mando "R" (sección IV.3.4.3.11).

IV.3.4.3.3 Mando C: "Continuar".

Al pulsar "C" se despliega la ventana de la figura 29.

La TC interpreta el mando "C" dependiendo de la causa por

la que se desea continuar. Si la ejecución de tareas es interrumpida por el mando "Q" (sección IV.3.4.3.10) el mando

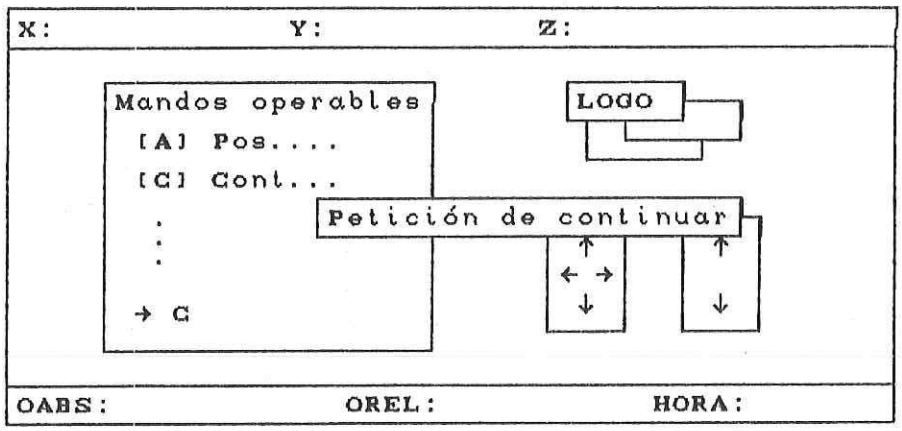


Figura 29. Mando "C". Desplegado de aceptación del mando.

"C" significa continuar con la ejecucuión de tareas. Si la interrupción es por causa del mando "!" (sección IV.3.4.3.16) entonces "C" indica a la TC continuar con la secuencia de tareas original o con una nueva. Finalmente si la causa es por el mando "D" (c.f. IV.3.4.3.4) indica comenzar a perforar.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "C"

IV.3.4.3.4 Mando D: "Disco".

Al pulsar "D" se despliega la ventana de la figura 30.

Pulsando <ESC> se aborta el mando. Con el mando "D" se

aceptan entradas de datos, provenientes de unidades de disco, para generar desplazamientos sobre el plano X-Y. Los archivos deben estar escritos en lenguaje DM/PL tal como los generados por los paquetes de programación comerciales OrCAD y SMARTWORK. Los siguientes ejemplos muestran como generar una nueva coordenada usando DM/PL, Houston Instruments (1986),

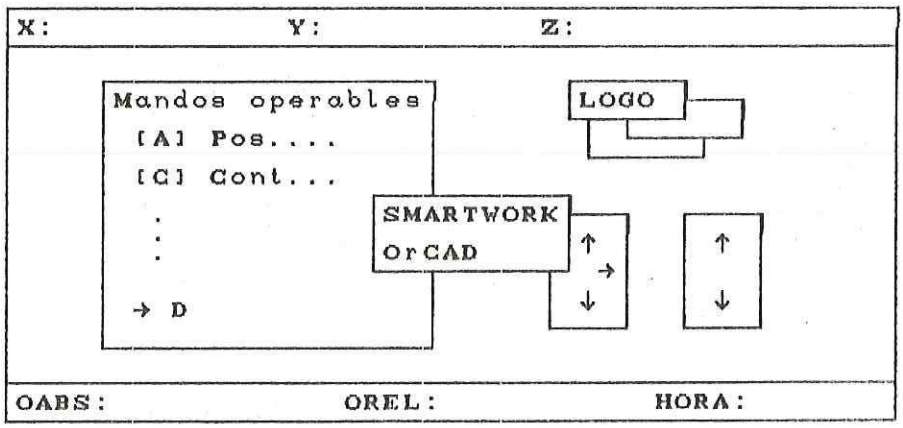


Figura 30. Mando "D". Desplegado de aceptación del mando.

(caracteres en ASCII):

Opción OrCAD: UCCxxxxx,yyyyy,U,

Opción SMARTWORK: C_A_xxxxx,yyyyy_<ENTER>

Donde "xxxxx" y "yyyyy" son las coordenadas escaladas 2:1, y "_"es un espacio. Para la opción SMARTWORK es necesario especificar los límites del área de desplazamientos indicando las cuatro coordenadas que la definen comenzando con la esquina superior derecha y definiendo las restantes en sentido de giro a reloj. Para ello se utiliza el mando DM/PL:

D_A_xxxxx,yyyyy_<ENTER>

Tecleando la letra inicial de cualquiera de las opciones

de la figura 30, "S" u "O" desplegará la siguiente ventana para pedir el nombre del archivo:

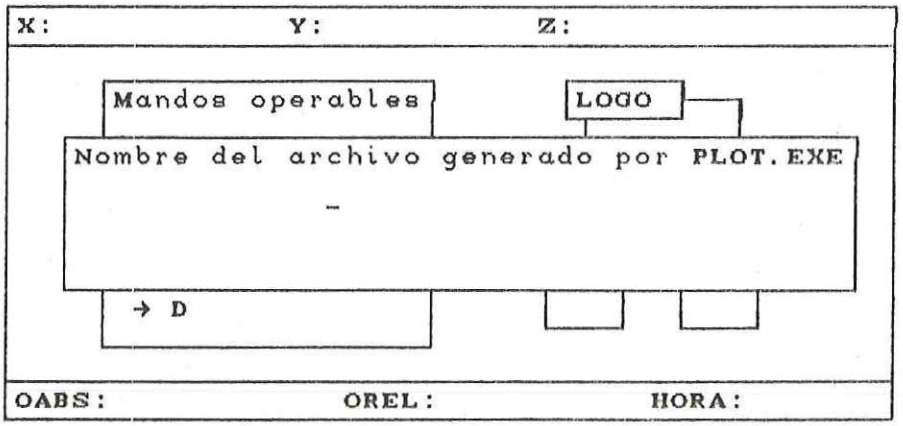


Figura 31. Mando "D". Entrada para petición de archivo.

Oprimiendo la tecla <ESC> se aborta el mando. El usuario debe pulsar el nombre del archivo y la trayectoria para su localización. Si el archivo accesado no corresponde al generado por la opción seleccionada, o no existe, o el disquete no está presente, se desplegara, en la misma ventana, un mensaje de error y se regresará a la condición descrita al inicio de este párrafo.

Si el archivo es accesado se despliega la ventana de la figura 32, en donde se reportan las dimensiones del área de perforación, la esquina inferior izquierda del área (con respecto al origen relativo) y se considera la coordenada actual como la posición más inferior izquierda correspondiente a una perforación. Si se pulsa <ESC> se aborta el mando, cualquier otra tecla indica continuar.

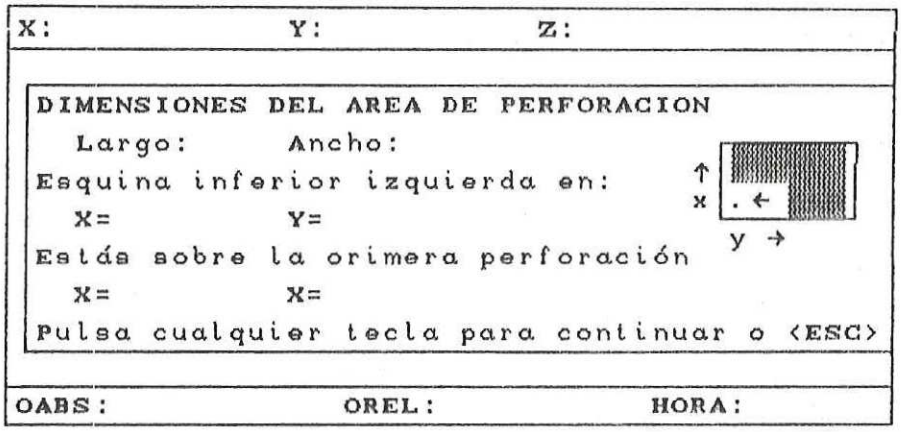


Figura 32. Mando "D". Despliegue sobre las características del área de trabajo.

Para facilitar el encuadraje de la tarjeta por perforar se cuenta con dos posiciones de referencia correspondientes a una perforación: la coordenada actual que se hace coincidir con la posición más inferior izquierda y la posición más superior derecha (en éstas no se ejecuta perforación inmediata). Para comenzar a perforar se utiliza el mando "C" (sección IV.3.4.3.3).

Los mnemónicos y parámetros enviados a la TC son semejantes a los de los mandos "R" y "C" (c.f. IV.3.4.3.11 y IV.3.4.3.3 respectivamente).

IV.3.4.3.5 Mando E: "Ir a DOS".

Al ejecutarse este mando el programa termina y regresa al sistema operativo de la CP.

IV.3.4.3.6 Mando F: "Flechas".

Al pulsar "F" se despliega la siguiente ventana:

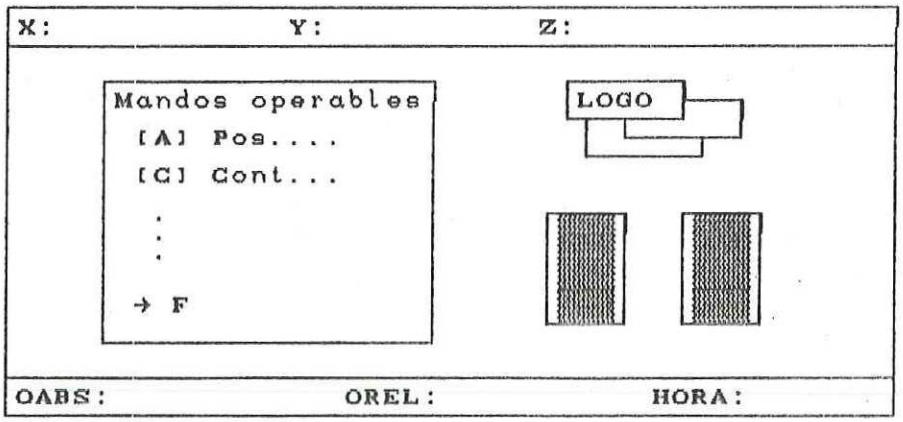


Figura 33. Mando "F". Desplegado de aceptación del mando.

Para salir del "modo flechas" es necesario pulsar <ESC>. En el teclado de la CP aparece un juego de flechas, las horizontales ← y → se utilizam para -X y +X y las verticales ↑ y ↓ para -Y y +Y respectivamente. Para el tercer eje se usan las teclas "Page Up" (-Z) y "Page Down" (+Z). En la figura 33 la ventana izquierda sombreada despliega la flecha pulsada para X-Y. De manera semejante, la ventana sombreada derecha despliega Z. Actualmente el incremento ejecutado por teclear una flecha es de 1 milésima para manejo de los motores a paso completo y 0.5 milésimas para manejo a medio paso.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son semejantes a los del mando "R" (c.f. IV.3.4.3.11)

IV.3.4.3.7 Mando H: "Origen físico".

Al pulsar "H" se despliega la siguiente ventana:

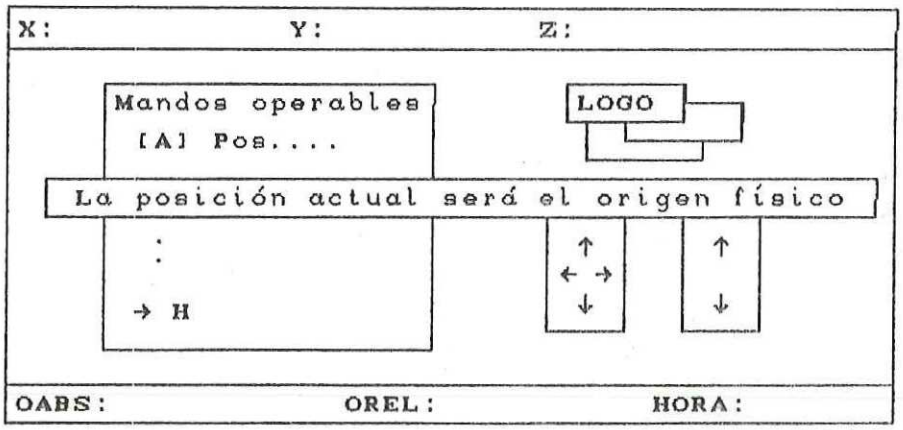


Figura 34. Mando "H". Desplegado de aceptación del mando.

La posición en que se encuentra la mesa se considerará como el origen físico, es decir, la coordenada para la cual la tabla de correcciones de inexactitudes mecánicas de MESTRA es válida (la tabla de correciones se formó considerando dicha coordenada). Las acciones ejecutadas por "H" son inicializar a cero los origenes absoluto y relativo y la coordenada X,Y,Z. Para colocar a la mesa en el origen físico pueden utilizarse los mandos para desplazamiento "A", "R" y "F" (c.f. IV.3.4.3.2 ,IV.3.4.3.11 y IV.3.4.3.6 respectivamente).

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "H"

IV.3.4.3.8 Mando O: "Origen absoluto".

Al pulsar "O" se despliega la siguiente ventana:

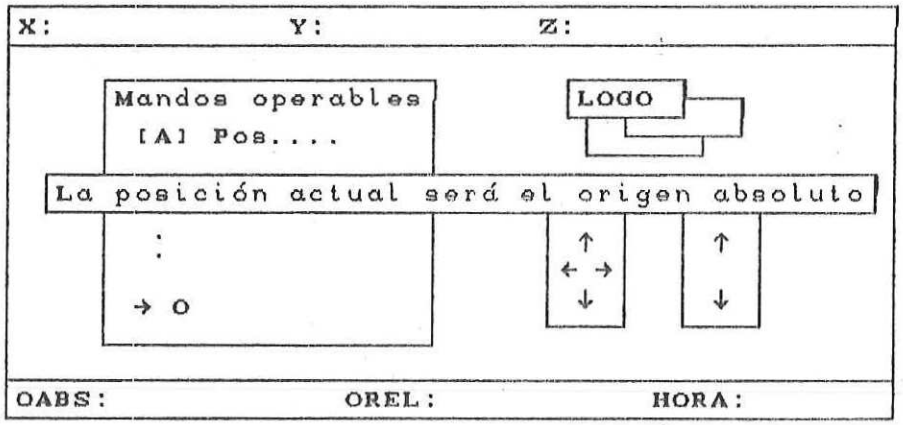


Figura 35. Mando "O". Desplegado de aceptación del mando.

Mediante "O" se establece la coordenada que será considerada como el origen absoluto. Esta posición es relativa al origen físico por lo que podrá ser una coordenada con parámetros negativos. Cualquier intento de colocar la coordenada fuera de los límites virtuales (0 a 65534 para manejo a medio paso y 0 a 32767 para manejo a paso completo) desplegará un mensaje de error como el de la figura 28. El origen absoluto delimita el área de desplazamiento virtual a coordenadas positivas. El establecimiento del origen relativo cae dentro de este contexto (c.f. IV.3.4.3.12).

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "O"

IV.3.4.3.9 Mando P: "Perforación".

Al pulsar "P" se despliega la siguiente ventana:

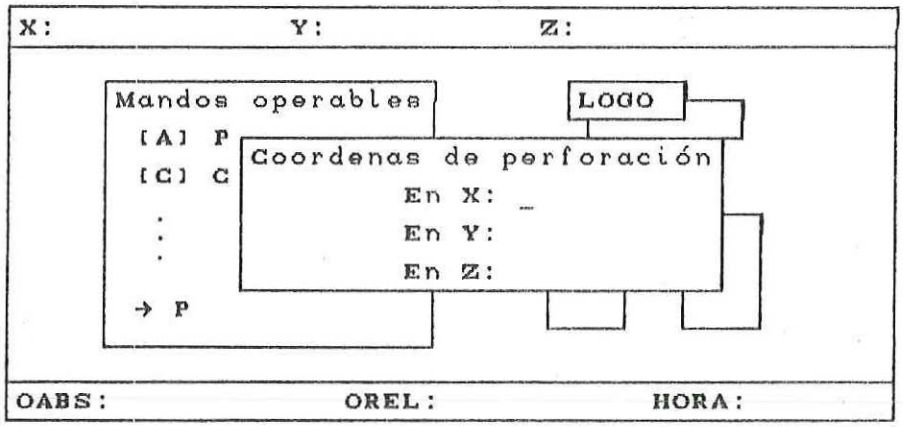


Figura 36. Mando "P". Desplegado para admisión de datos.

Mediante la tecla <ESC> es posible abortar el mando. Los valores de X, Y y Z introducidos se consideran con relación al origen relativo. Se verifica que las coordenadas estén dentro de límites. En caso de sobrepasarlos se despliega una ventana como en la figura 28.

El mando "P" genera hasta 5 secuencias de desplazamiento: las dos primeras son para posicionamiento y compensación de histéresis, la tercera es para posicionar al taladro a la altura base para perforación (250 milésimas de pulgada de separación entre la broca y área de trabajo) y las dos últimas ejecutan los deplazamiento del taladro que logran la perforación.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC para cada una de las secuencias de deplazamiento son semejantes a los enviados por el mando "R" (sección IV.3.4.3.11).

IV.3.4.3.10 Mando Q: "Pausa".

Al pulsar "Q" se despliega la siguiente ventana:

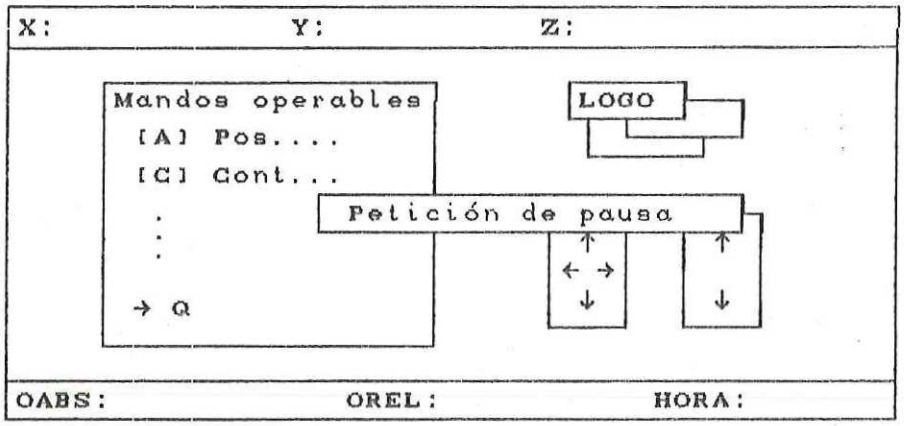


Figura 37. Mando "Q". Desplegado de aceptación del mando.

Con "Q" es posible generar una pausa indefinida al finalizar la tarea que ejecuta la TC. Para reanudar la ejecución de tareas se utiliza el mando "C" (c.f. IV.3.4.3.3)

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "Q".

IV.3.4.3.11 Mando R: "Desplazamiento relativo".

Al pulsar "R" se despliega la ventana de la figura 38.

Mediante la tecla <ESC> es posible abortar el mando. Los valores de X, Y y Z introducidos se consideran con relación al origen relativo. Se verifica que las coordenadas estén dentro de límites. En caso de sobrepasarlos se despliega una ventana como la de la figura 28.

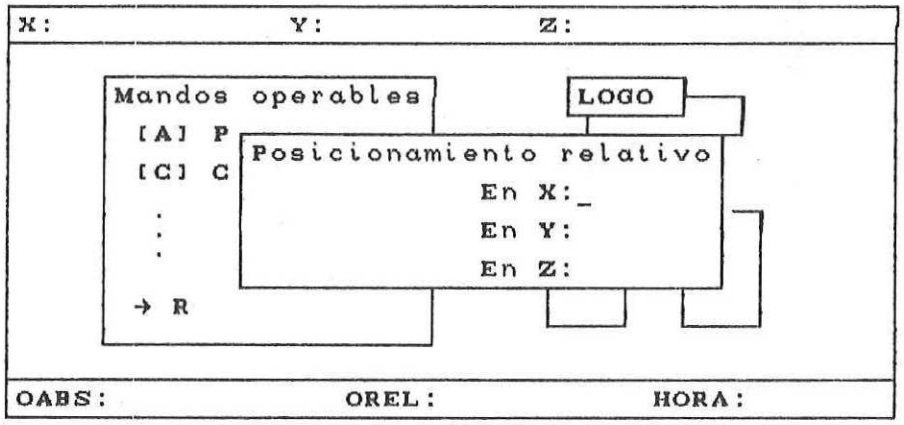


Figura 38. Mando "R". Desplegado para admisión de datos.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "R"
4-5	Siguiente posición absoluta de X.
6-7	Siguiente posición absoluta de Y.
8-9	Siguiente posición absoluta de Z.
10-11	Número de pulsos en la fase a velocidad constante (perfil trapezoidal).
12-13	Número de pulsos en las fases de aceleración y frenado (perfil trapezoidal).
14-15	Número de pulsos para el coordinador esclavo 1.
16-17	Número de pulsos para el coordinador esclavo 2.
18-19	Factores para el sintetizador del coordinador esclavo 1.
20-21	Factores para el sintetizador del coordinador esclavo 2.
22	Sentidos de giro para motores y configuración del multicanalizador en TC (c.f. IV.3.1.4)

IV.3.4.3.12 Mando S: "Origen relativo".

Al pulsar "S" se despliega la siguiente ventana:

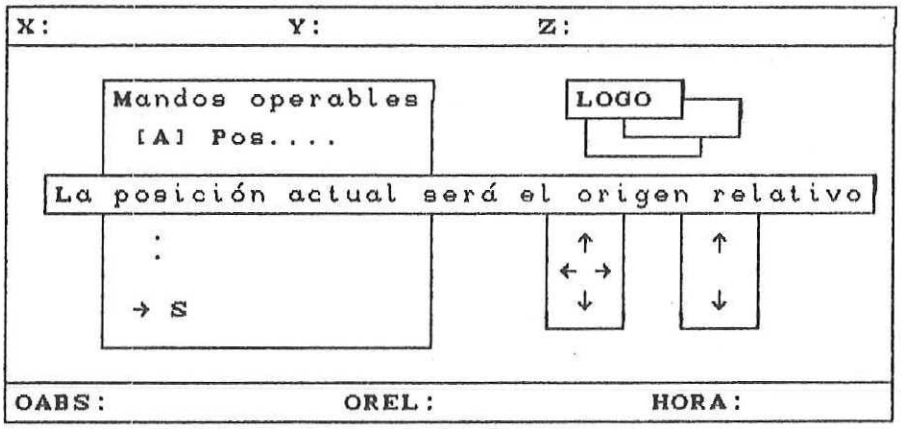


Figura 39. Mando "S". Desplegado de aceptación del mando.

Mediante "S" se establece la coordenada con respecto del origen absoluto que será siempre positiva. El origen relativo delimita el área en la cual se podrán realizar desplazamiento cuya magnitud es relativa a este origen y con parámetros siempre positivos. Cualquier intento de ubicar una coordenada fuera del cuadrante definido por el origen relativo causará un desplegado de error como el de la figura 28.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "S".

IV.3.4.3.13 Mando T: "Anclado".

Al pulsar "T" se despliega la siguiente ventana:

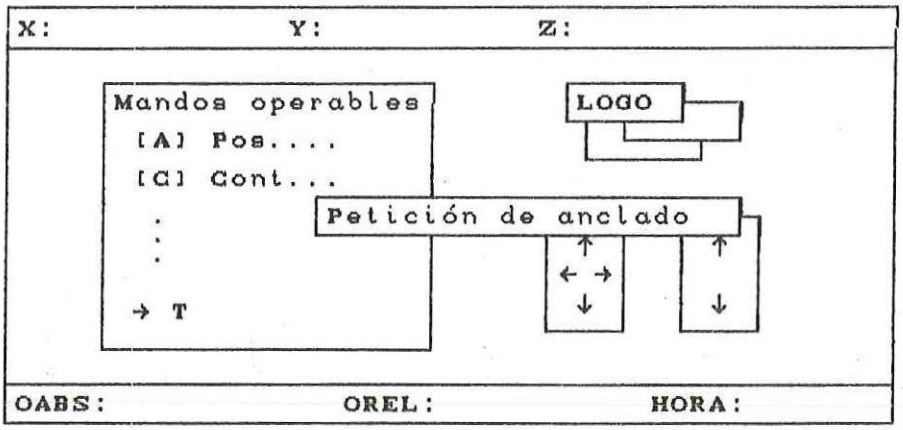


Figura 40. Mando "T". Desplegado de aceptación del mando.

Con este mando se logra configurar a los transladadores de la TC para energizar los devanados de los tres motores.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "T".

IV.3.4.3.14 Mando U: "Desanclado".

Al pulsar "U" se despliega la ventana de la figura 41.

Con este mando se logra configurar a los transladadores de la TC para desenergizar a los tres motores e internamente colocar la salida en el estado correspondiente a dos fases activas (c.f. IV.3.1.3).

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "U".

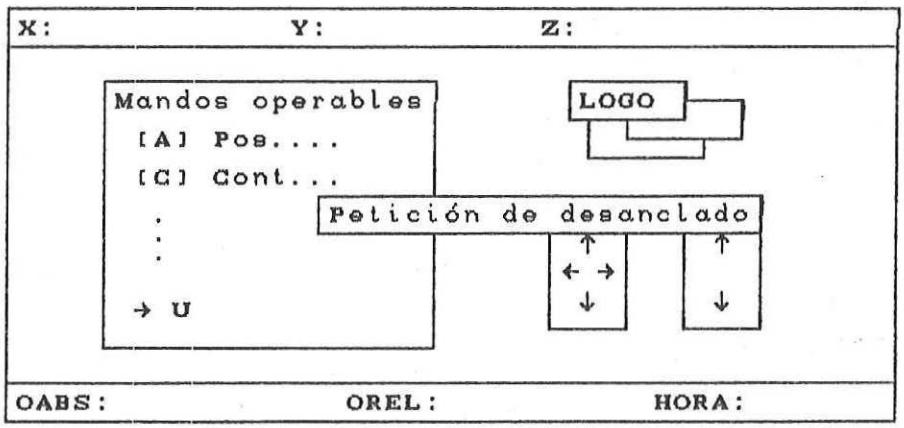


Figura 41. Mando "U". Desplegado de aceptación del mando.

IV.3.4.3.15 Mando V: "Velocidad".

Al pulsar "V" se despliega la siguiente ventana:

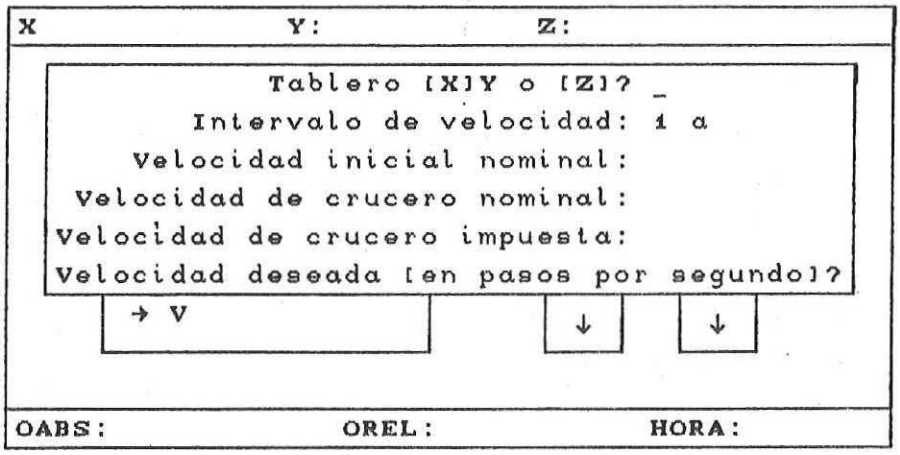


Figura 42. Mando "V". Desplegado de información y admisión de datos.

Mediante al selección del tablero XY o Z se despliega información sobre las características del perfil de velocidad trapezoidal almacenado en memoria de solo lectura de la TC. Si se pulsa <ESC> se aborta el mando. El único parámetro alterable es el de velocidad de crucero.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "V".
4-5	Nuevo factor correspondiente a la velocidad de crucero impuesta por el usuario.
6-7	Desplazamiento de la dirección donde almacenar al nuevo factor.
8	Código de identificación de tablero.

IV.3.4.3.16 Mando !: "Detente!".

Al pulsar "!" se despliega la siguiente ventana:

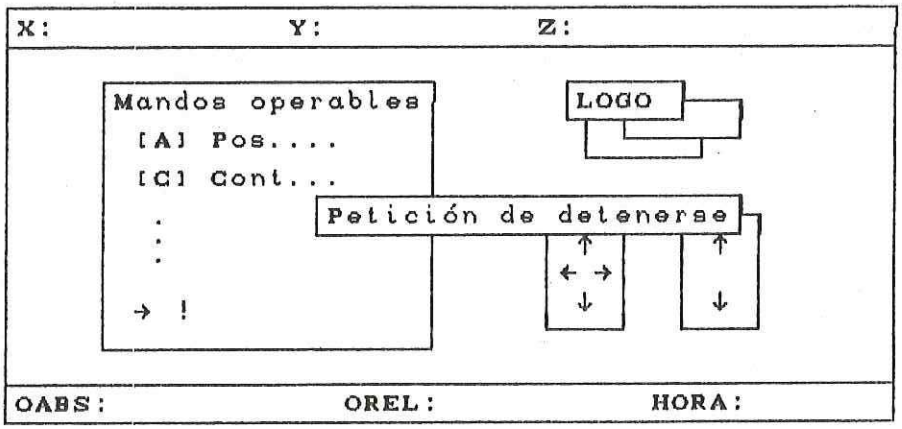


Figura 43. Mando "!". Desplegado de aceptación del mando.

Mediante el mando "!" la tarjeta de control detendrá el movimiento de los motores sin pérdida de pasos. Utilizando el mando "C" (sección IV.3.4.3.3), la mesa regresará a la posición que tenía antes de recibir el mando "!" y continuará con la secuencia original o con una nueva trayectoria.

IV.3.4.3.17 Mando ?: "Reporte".

Al pulsar "?" se despliega la siguiente ventana:

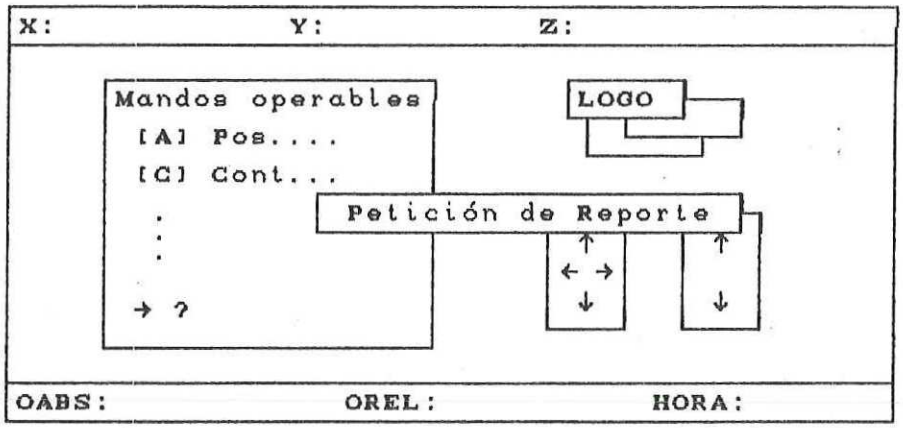


Figura 44. Mando "?". Desplegado de aceptación del mando.

A voluntad del usuario es posible demandar a la TC la generación y envío de un reporte extenso. Actualmente el contenido no se despliega en la pantalla de la CP y la información no se explota intensivamente.

El mnemónico y los parámetros enviados a la TC son:

Octetos	Descripción
1-2	Referencia de mensaje
3	Mnemónico del mando: "?".

El mnemónico y los parámetros recibidos son:

Octetos	Descripción
1	Referencia de mensaje
2	Mnemónico del mando: "?".
3-4	Palabra de control de la TC.
5-6	Espacio disponible en cola de tareas.
7	Registro de errores.
8	Registro del mnemónico de la tarea.
9-10	Referencia de mensaje de la tarea apuntada.
11-16	Registros de posición de X, Y y Z.

17-28	Registros de origen absoluto y relativo de X, Y y Z.
29-34	Registros de pulsos dados a los motores amo, esclavo 1 y esclavo 2.

IV.3.4.4. Programática de apoyo.

Esta clase de programática efectua el cálculo de los tableros para los factores, tanto del GPV como el de correcciones de la mesa trazante, programas ejecutables, listados, etc (c.f. apéndice G).

V RESULTADOS SOBRE EL DESARROLLO DEL SISTEMA PARA MOVIMIENTO COORDINADO

El proceso de diseño se puede resumir en tres puntos:

1) Se eligió, entre varias alternativas, la arquitectura de la tarjeta de control que favoreciera los requisitos de velocidad y simplificación de programación impuestos por las especificaciones.
   Esta opción es, básicamente, un algoritmo alambrado retroalimentado por los datos enviados por un controlador.

2) La programática se estructuró a manera de concentrar la mayor parte posible de las funciones del proceso en la CP programada en lenguaje de alto nivel lo que facilitó su desarrollo y prueba.

3) Se armaron y diseñaron los módulos necesarios (tarjetas interfaz, CONPOT, POTENCIA y APENDICE) así como programas de prueba para verificar el desempeño del sistema desarrollado.

A continuación mencionaremos las especificaciones alcanzadas así como las limitaciones del sistema y finalizaremos este capítulo sugiriendo alternativas de diseño y solución a los problemas encontrados.

V.1 Especificaciones alcanzadas.

Se cumplieron las especificaciones mínimas citadas en la tabla IV, sección III.3. Además, se lograron añadir las siguientes:

- -Programática para interacción con el usuario por medio de menúes.
- -Programática que soporta la lectura de archivos usados en la fabricación de mascarillas para circuitos, creados por los paquetes ORCAD y SMARTWORK y escritos en lenguaje DM/PL, para la obtención de puntos de perforación.

El último punto permite evaluar la eficacia del sistema de coordinación desarrollado limitándolo a una aplicación específica: perforación.

La posibilidad de correción de inexactitudes mecánicas es relevante en aplicaciones en las que existe un compromiso con la incertidumbre. Para el caso de convertir MESTRA en mesa para perforaciones de impresos, tales errores pueden ser importantes sobre todo al aumentar el área de perforación y/o la simetría del circuito.

Por ejemplo, considerando únicamente el error por no ortogonalidad en los ejes "X" y "Y", el recorrido máximo de perforaciones espaciadas 100 milésimas entre sí, se reduce al

aumentar la desviación en la cuadratura para un porcentaje de incertidumbre dado.

Para una incertidumbre del 5% y un error de ortogonalidad de 1 minuto de arco, entonces el recorrido máximo sería de 17 pulgadas. Si se duplica el error el recorrido se reduce a la mitad.

Sin embargo, alejándonos de los casos extremos, la distribución de componentes en la tarjeta presentan simetría sobre áreas pequeñas (v.g. encapsulados "sip" y "dip") en la que los errores por inexactitud mecánica pueden despreciarse si las perforaciones se realizan cada 100 milésimas de pulgada.

Para conservar constante el error por no ortogonalidad de MESTRA, una vez tomados los datos para los tableros de corrección tendrá que evitarse mover la bancada superior en otro eje que no sea el natural. El área del impreso por perforar tendrá que orientarse. Para ello, los programas que soportan los archivos DM/PL citados permiten orientar el área utilizando dos puntos lejanos y contrarios entre sí (el inferior izquierdo y el superior derecho dentro del área).

A través de los menúes o añadiendo rutinas a la programática básica es fácil convertir MESTRA en otro tipo de herramienta además de perforadora. La programática cuenta con las primitivas necesarias para crear y coordinar cualquier

desplazamiento lineal.

La interacción hombre-máquina se agiliza mediante el empleo de menúes y presentación de reportes en formato sencillo. Se hace uso de ventanas para la presentación de parámetros o petición de datos orientadas a ofrecer un ambiente agradable al usuario.

V.2 Limitaciones del sistema desarrollado.

Dada la forma en que se diseñó la circuitería y la programación de la tarjeta de control no es posible crear desplazamientos "al vuelo" que permitirían la realización de perfiles de desplazamiento en forma continua (a velocidad constante) reduciendo el tiempo de ejecución en trayectorias curvas y suavizando el movimiento.

Dado que en la PC se calculan los parámetros para la realización de un desplazamiento y luego se envían a la TC a través de un puerto serie, existe la posibilidad de formación de tiempos muertos en los que la TC solo lee información pero no ejecuta desplazamientos. Esto sucede cuando la ejecución del desplazamiento es mucho más rápida que el tiempo necesario para recibir los parámetros enviados por la PC.

Sin embargo se estima que este problema no se presentará (c.f. V.3) para la aplicación de MESTRA como perforadora de impresos a una tasa de transmisión de información de 9600

bauds/s y manejo de motores a medio paso.

Las limitaciones en los manejadores de potencia reducen la velocidad a la que podría llevarse los motores. Actualmente esta velocidad es de 4,000 pulsos/s para manejo a medio paso, es decir, 10 revoluciones por segundo. La aceleración alcanzada es de 4000 pulsos/s^2. Se estima, según Superior Electric (1990), que usando manejadores bipolares con los devanados en configuración paralelo sería posible mantener el par requerido (apéndice H) a 6,000 pasos completos/s, que pueden ser proporcionados por la tarjeta de control reprogramando el ALG U30 para hacer f_{osc} (sección IV.3.1.2.1) igual a 6.144/4 MHz.

El sistema no cuenta con un editor estándar orientado al control numérico de máquinas tal como el lenguaje G (norma EIA RS274D) empleado por tarjetas coordinadoras de movimiento (c.f. apéndice A). Es ideal la utilización de un editor de este tipo que permita el control de la máquina apegandose a normas.

No se realiza interpolación circular aunque es posible la creación de dichas curvas mediante polígonos lo cual requiere un gran manejo de información.

V.3 Alternativas de diseño y sugerencias para la solución a los problemas encontrados.

Actualmente la tarjeta de control, aún con la utilización de arreglos lógicos genéricos, presenta una distribución densa de componentes y un consumo de potencia elevado (2.5 A a 5 V). Es posible, mediante el empleo de circuitos de alta escala de integración (microcontroladores y arreglos de compuertas configurables) reducir significativamente su tamaño y su consumo de energía.

Las rutinas generadoras de las primitivas, actualmente en lenguaje de alto nivel, tendrán que trasladarse a la TC para reducir dependencias e incrementar la eficiencia del sistema. Por razones de tiempo, y facilidad de programarlas en lenguaje de alto nivel, no se realizó este punto.

Con respecto a la posibilidad de tiempos muertos en la TC (sección V.2), ésta existe si se efectúa una serie de desplazamientos para un equivalente menor a 80 pulsos (40 milésimas de pulgada con manejo de motores a medio paso).

Para calcular dicha distancia es necesario obtener (fórmula 29) el tiempo empleado en recibir mando y parámetros para efectuar un desplazamiento, así como para transmitir un acuerdo (con reporte largo), y sustituirlo en la fórmula 11 (sección IV.3.1.2.4.). El doble de la distancia obtenida será el dato buscado.

$$t_{mando+acuerdo} = \frac{1.1(long_{mando+acuerdo} \text{ en octetos})(11 \text{ bits/octetp})}{2(\text{tasa de transmisión en bauds/s})} \quad (29)$$

donde se considera:

-un 10% adicional por el manejo de los datos en la TC.

-perfiles de velocidad triangular o trapezoidal con un solo punto a velocidad constante (dado que la distancia recorrida es muy corta).

Para series de desplazamientos menores a un equivalente de 80 pulsos, como puede suceder en la formación de curvas, puede atacarse el problema desde otro flanco: llenar la cola de tareas de la TC antes de ejecutar el primer desplazamiento y respetar el tiempo mínimo de espera (ec. 30) antes de enviar un pulso a los transladadores.

$$t_{ejec} > \frac{(octetos_{mando})(long_{mando-acuerdo})}{(\text{long. de la cola de tareas en octetos})} \quad (30)$$

donde:

t_{ejec} es el intervalo mínimo antes de enviar un pulso a los transladadores.

$octetos_{mando}$ es el número de octetos que ocupa el mando dentro de la cola de tareas).

$octetos_{mando-acuerdo}$ es el número de datos, transmitidos,

correspondientes al mando.

t_{TXDM} es el tiempo empleado por el ECA para transmitir un dato.

En el peor caso, desplazamiento por un pulso, t_{ejec} indica el intervalo mínimo a respetar antes de enviar un pulso a los transladadores y su recíproco la velocidad máxima a programar como "factor máximo" para generar el primer pulso que cargue el dato de velocidad inicial en el GPV (c.f. procedimiento EJECUTA, apéndice G).

Por ejemplo para los siguientes datos:

$$t_{TXDM} = \frac{11}{9600} \text{ s.}$$

$$\text{octetos}_{mando} = 22$$

$\text{octetos}_{mando-acuerdo}$ = octetos por conversión a ASCII del mando y acuerdo + 20 por formato Intel = 132

longitud de la cola = 0.9 (2048) $\simeq$ 1900 octetos.

tendría que cargarse un factor inicial correspondiente a 520 pulsos/s sustituyendo al actual de 550 pulsos/s.

VI CONCLUSIONES

El sistema desarrollado para coordinación de movimiento emplea técnicas digitales y control en lazo abierto para desarrollar desplazamientos lineales punto a punto dentro de un espacio tridimensional. Cualquier contorno puede realizarse aproximándolo por medio de rectas.

Sin embargo el precio pagado por ésto es el obtener trayectorias que no son abarcadas a velocidad constante ,v. g. interpolación circular, reduciéndose el espectro de aplicaciones del esquema desarrollado.

El sistema completo de control para movimientos coordinados en lazo abierto usando motores de pasos está constituido por tres módulos: potencia, control e inteligencia del sistema; sin embargo, por razones de tiempo, no fue posible optimizar el primero con lo que se eliminó la posibilidad de incrementar -significativamente- la velocidad y aceleración de la carga.

Se concluye que el esquema adoptado para resolver el problema de la coordinación en lazo abierto usando motores de pasos es adecuado para las demandas de MESTRA como perforadora y óptimo para trayectorias rectilíneas de mediana resolución. Sin embargo, no es adecuado compararlo con controladores multiejes comerciales dado que un factor importante para su creación fue la aplicación específica a

MESTRA.

Faltan detalles importantes alrededor del diseño si se desea hacer -con reservas- una "comparación" con los controladores de multiejes comerciales que pueden hacer lo mismo: el interprete de código G, la interpolación circular, mayor escala de integración, etc.

Es importante un nuevo diseño para el módulo de potencia que permita incremnetar velocidad y aceleracíon de la carga.

LITERATURA CITADA

Aerotech. 1988. Motion Control Product Guide. Aerotech, USA.

Borland International. 1985. Turbo C. Reference Manual. Borland International. USA.

Eastern Air Devices. Brushless DC Motors. Eastern Air Devices Inc. USA.

Eastern Air Devices. Stepping motors. Eastern Air Devices Inc. USA.

Houston Instruments. 1986. DM/PL Command Language. Houston Instruments. USA.

Houston Instruments. 1987. DMP-41/42 Operation Manual. Houston Instruments. USA.

Houston Instruments. 1983. CPS-14/15 Operator Manual. Houston Instruments. USA.

Houston Instruments. 1983. PTC-6-1 Command structure/protocol. Houston Instruments. USA.

Houston Instruments. 1983. CPS-14/5, CPS-14/6 and CPS-15/5, CPS-15/ Operation an interface. Houston Instruments. USA.

IMC Magnetics Corp. 1989. TORMAX Steppers and Controls. IMC. Cerritos California, USA. 35 pp.

Intel. 1983. iAPX 88 Book with an introduction to the iAPX 188. Intel Corporation Literature Department. Santa Clara California, USA. 420 pp.

Intel. Abril 1978. Peripherical Design Handbook. Intel. USA.

Lattice. 1989. GAL Data Book. Lattice. Hillsboro, Oregon, USA. 144 pp

Lattice. 1989. GAL Generic Array Logic. Lattice. Hillsboro Oregon, USA. 270 pp.

Mitrani, E. 1982. Información del proyecto "Mesa Trazante". CICESE. Ensenada, México.

Morse S. P. 1982. The 8086/8088 Primer. Hayden Book Company, Inc. USA.

LITERATURA CITADA (continuación)

Motorola. 1978. CMOS Integraded Circuits. Motorola. USA.

NEAT. 1990. Precision Positioning Components and Systems. NEAT. Massachussetts USA. 149 pp.

Nippon Pulse Motor. 1990. Stepper Motors, Synchronus Motors Controls. Nippon Pulse Motor CO, LTD. Japón, 27 pp.

NMB. 1990. Astrosyn Stepping Motors, Catalog MD/190. NMB Technologies Incorparated. Chatswotrh California, USA. 40 pp.

Oriental Motor. 1989. Super Vexta's Motor/Drive Package. Oriental Motor USA Corporation. Santa Clara California USA. 14 pp.

Ormond T. 1990. Stepper Motors. Devices handle strict positioning needs. EDN. 6. 83-92.

PARKER. 1988. Compumotor. Programmable Motion Control. Parker Hannifin Corporation. Rohnert Park California USA. 270 pp.

SGS. 1984. Databook Power Linear Actuators. SGS. USA.

Superior Electric. 1987. SLO-SYN DC Stepping Motors. Superior Electric. Bristol Connecticut, USA. 20 pp.

Superior Electric. 1987. SLO-SYN Micro Series. Step Motor Drives and Programmable Motion Controls. Catalog MSC 887-1. Superior Electric. Bristol Connecticut USA. 59 pp.

Superior Electric. 1989. SLO-SYN AC Synchronous, Gearmotors and DC Stepper Motors. Superior Electric. Bristol Connecticut, USA. 67 pp.

Superior Electric. 1990. SLO-SYN Motion Controls, Catalog MSC 190. Superior Electric. Bristol Connecticut, USA. 119 pp.

Tal, Jacob. 1989. Motion Control Applications. Galil Motion Control, Palo Alto California USA.

Texas Instruments. 1985. The TTL Data Book Vol 2. Texas Instruments. Texas, USA.

APENDICE A. ESPECIFICACIONES GENERALES DE TRES FABRICANTES DE COORDINADORES MULTIEJES PROGRAMABLES.

Las siguientes especificaciones fueron tomadas de modelos que pueden ser comparados con el diseño adoptado. En ellas se denotan sus principales características, así como su costo. El hecho de incluir esta información en la tesis cumple con el objetivo de establecer un marco de referencia sobre las especificaciones mínimas que orientan el diseño de nuestro sistema (ver capítulo III); de ninguna manera pretenden alcanzarlas dado que los sistemas descritos son generalizados y el tiempo de elaboración del tema es finito y con aplicación centrada en una mesa trazante ya desarrollada.

Nombre:	Caja de engranes electrónica modelo MSR-320 (Electronic Gearbox MSR-320).
Fabricante:	Superior Electric.
Numero de ejes coordinados:	3
Técnicas de control de velocidad:	Tasación múltiple de velocidad (control síncrono multiejes). Proporcional de frecuencia (control proporcional de velocidad en multiejes).
Velocidad:	Intervalo de resolución: 0.1% a 100% de la frecuencia del reloj amo cuya frecuencia es de 2 MHz.
Perfiles de velocidad:	Rampa (trapezoidal), "S" (tipo senoidal) e hiperbólica.

Exactitud de tasación operando con el reloj amo:	±0.025% (oscilador digital).
Comunicación :	Serie RS232C.
Lenguaje de programación:	Código propietario mezclado con código G (Código de control numérico EIA standar RS274-D).
Otras características:	Control sobre sentido de giro, medio paso o paso completo.
Precio:	1,115 dólares

Nombre:	Coordinador modelo PC23 con interprete de código G (Model PC23 Indexer & Model GCI).
Fabricante:	Compumotor.
Número de ejes coordinados:	3
Técnicas de control de desplazamiento:	Caudal Distancia-tiempo. Permite crear un contorno arbitrario de movimiento incluyendo interpolación lineal y circular.
Resolución:	Soporta hasta 50,000 pasos/rev.
Control de velocidad:	Lazo abierto o cerrado en los tres ejes.
Exactitud del paso:	±0 pasos.
Velocidad	Exactitud: ±0.02% de la tasa máxima arriba de 0.01 rev/s. Repetitividad: ±0.02% de la tasa máxima. Intervalo: Para 25,000 pasos/rev: 01-20 rev/s. Para 5,000 pasos/rev:

	.01-100 rev/s.
Intervalo de aceleración:	Para 25,000 pasos/rev: .01-999.9 rev/s^2 Para 5,000 pasos/rev 0.05-4,999.95 rev/s^2.
Intervalo de posición:	0-99,999,999 pasos.
Entradas y Salidas programadas por el usuario:	6 y 6 optoaisaladas.
Detectores de limites de movimiento:	En los tres ejes y en SMR y CSMR. Además detector de "HOME".
Interfase:	Compatible con ducto IBM PC, AT, XT, PS2 modelo 30.
Entradas disparadas:	Duración de la señal ≥ 4 mseg.
Lenguaje de programación:	Código X (propietario), interprete de código G (opcional) modelo GCI.
Otras características:	Autoprueba.
Precio:	PC23: 1867 dólares; GCI: 500 dólares.

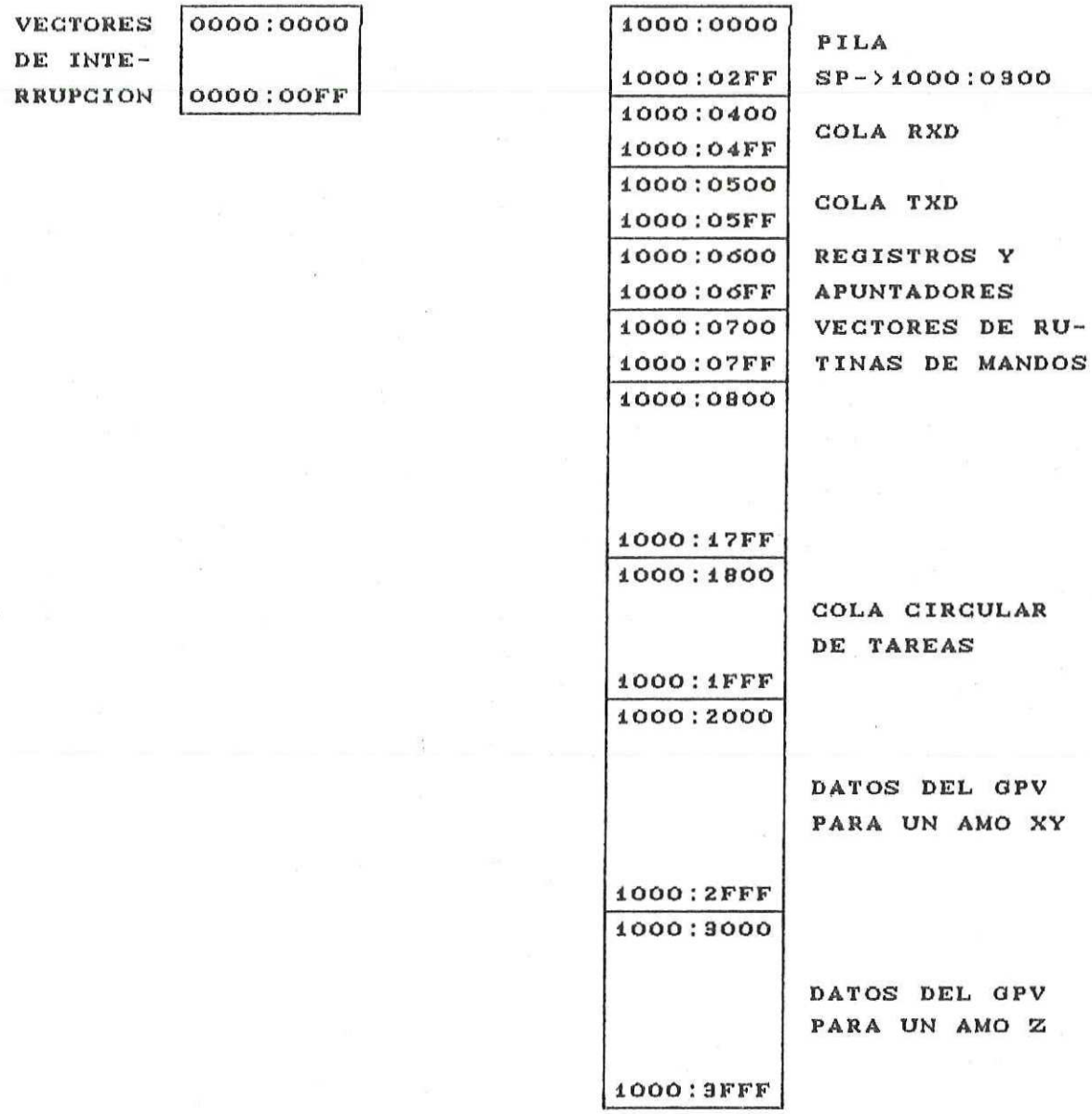
Nombre:	Tarjeta coordinadora compatible con PC modelo NEAT PC3 (NEAT PC3).
Fabricante:	NEAT.
Número de ejes coordinados:	3
Técnicas de control de desplazamiento:	Interpolación lineal y circular (dos ejes).
Resolución:	Soporta hasta 2,000 pasos/rev.

Control de velocidad:	Lazo abierto o cerrado (dos ejes).
Perfiles de velocidad:	Lineal, parabólico y cosenoidal.
Intervalo de Velocidad:	0-524,000 pasos/s.
Intervalo de aceleración:	0-8,000,000 pasos/s^2.
Intervalo de posición:	0-134,000,000 pasos (27 bits).
Exactitud del paso:	±0 pasos.
Lenguaje de programación:	Código propietario.
Microprocesador utilizado:	68000.
Interfase:	Compatible con ducto IBM PC, AT, XT.
Entradas programadas por el usuario:	3 optoacopladas.
Detectores de limites de movimiento:	En los tres ejes. Además detector de "HOME"
Otras características:	Autoprueba. No cuenta con Transladador. Sus salidas (dirección de giro y tren de pulsos) permiten manipular a los transladadores/manejadores modelos NEAT SDM7 y serie NEAT 100 y 200.
Precio:	1,695 dólares.

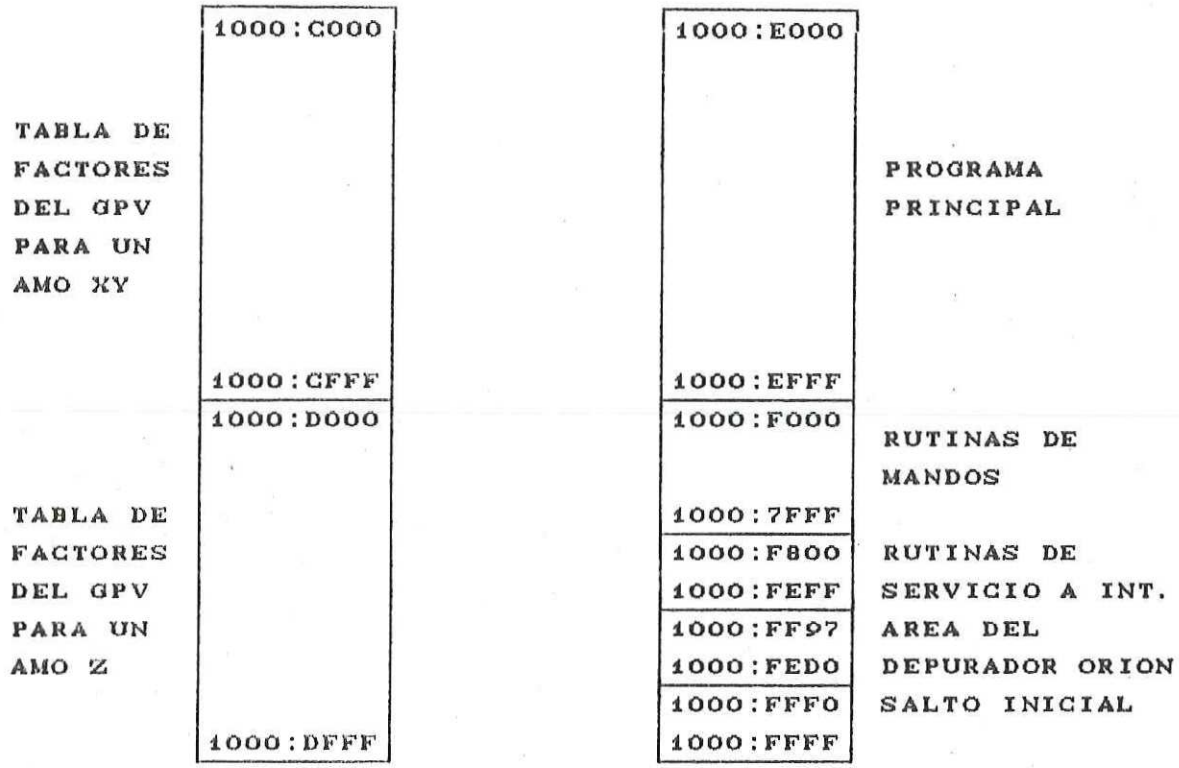
APENDICE B. MAPAS DE DISTRIBUCION DE LOS DISPOSITIVOS DE LA TARJETA DE CONTROL E INTERNO DE LAS MEMORIAS MLE Y MLEX.

Mapa de memoria de la MLE U4 y MLEX U5.

La distribución de la memoria de lectura escritura es la siguiente:



La distribución de la memoria de lectura escritura es la siguiente:



Distribución de los dispositivos de la tarjeta de control.

Notación: segmento : desplazamiento.

Todas las direcciones en hexadecimal.

Dispositivo	Dirección (IO/$\overline{M}$ = 0)
U4 62256 MLE 32Kx8.	/CS0
	0000: 0000⟶0000: 3FFF y
	/CS4
	1000: 0000⟶1000: 3FFF
U16 82C55A PPP (1)	/CS1
	0000: 4000⟶0000: 5FFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO A.

Direcciones impares: DATOS PUERTO B.

0000:6000⟶0000:7FFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO C.

Direcciones impares: CONTROL.

U17 82C55A PPP (2) /CS2

0000:8000⟶0000:9FFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO A.

Direcciones impares: DATOS PUERTO B.

0000:A000⟶0000:BFFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO C.

Direcciones impares: CONTROL.

U18 82C55A PPP (3) /CS3

0000:C000⟶0000:DFFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO A.

Direcciones impares: DATOS PUERTO B.

0000:E000⟶0000:FFFF

Direcciones pares: DATOS PUERTO C.

Direcciones impares: CONTROL.

U10 8250 ECA /CS5

1000:400¥⟶1000:7FF¥ DONDE ¥ ES:

	0	Registro muelle de recepción RBR (solo lectura). DLAB=0.
	1	Registro de sostenimiento para transmisión THR (solo escritura). DLAB=0.
	0	Cerrojo del divisor (octeto menos significativo). DLAB=1
	1	Cerrojo del divisor (octeto más significativo). DLAB=1.
	1	Registro de habilitamiento de interrupción IER. DALB=0.
	2	Registro de identificación de interrupción IIR (solo lectura).
	3	Registro de control de línea LCR.
	4	Registro de control del modem MCR.
	5	Registro del estado de línea LSR
	6	Registro del estado del modem MSR.
	7	Registro borrador SCR.
U15 8259 CIP		/CS6
		1000:8000⟶1000:BFFF
		Direcciones pares: ICW1, OCW2 Y OCW3.
		Direcciones impares: ICW2, ICW4 Y OCW1.

U5 MLEX 27128 16Kx8 /CS7

1000:C000⟶1000:FFFF

APENDICE C. GLOSARIO

Glosario de términos usados en este trabajo.

a. Aceleración en pasos/s^2.

ADEL. Línea que configura al transladador. Si es 1 genera secuencias de giro en rotación a reloj; si es 0 genera secuencias en rotación contra reloj.

ALG. Arreglo Lógico Genérico.

AMO. Señal de salida del divisor U18. Se considera como la señal de reloj para el motor amo o pivote.

BANDETENTE. Bandera usada por la TC. En 1 indica detener el desplazamiento que se ejecuta.

BREAK. Estado editado por el ECA que envía a la línea TXD (terminal 2 del conector DB25) a un 0 lógico sostenido.

C. Mando programable que indica continuar con la ejecución de tareas.

CARGA. Línea de la TC proveniente del ALG U30 que permite introducir datos al GPV. Su ecuación se describe en el apéndice D.

CONERROR. Bandera de la TC. En 1 indica que existe error de ejecución en algún procedimiento.

CONTINUA. Bandera de la TC. En 1 indica que se recibió el mando C.

CP. Computadora Personal.

CPI. Controlador Programable de Interrupciones.

C_1,C_0. Lineas que configuran el multicanalizador integrado en el ALG U30.

DECOD. Bandera de la TC. En 1 indica que la tarea está decodificada.

DEINFO. Bandera de la TC. En 1 indica que la TC enviará un reporte extenso con el siguiente envío de acuerdo.

DSIN. Línea de la TC proveniente del PPP U11 que permite deshabilitar el sintetizador del GPV.

DE1. Deshabilitador del coordinador e1. DE2. Deshabilitador del coordinador e2.

e1. Coordinador esclavo 1.

e2. Coordinador esclavo 2.

E1. Línea de la TC proveniente de e1. Esta señal se considera como el reloj esclavo 1.

E2. Línea de la TC proveniente de e2. Esta señal se considera como el reloj esclavo 2.

ECA. Elemento de Comunicación Asincrónica.

GPV. Generador de Perfil de Velocidad.

INDETENTE. Bandera de la TC. En 1 indica alterar la trayectoria del perfil de velocidad.

MANDO. Bandera de la TC. En 1 indica que se recibió un mando no inmediato.

MESTRA. Mesa Trazante.

MP. Línea que configura al transladador. Si es 1 las secuencias de salida son para manejo a medio paso; si es 0 las secuencias son para paso completo.

MVTO. Bandera de la TC. En 1 indica que la tarea alteró las coordenadas (la tarea generó un desplazamiento).

p. Factor que programa el sintetizador del GPV.

PAUSA. Bandera de la TC. En 1 indica mando Q recibido.

PPP. Puerto Paralelo Programable.

Q. Mando programable que detiene la ejecución de tareas al finalizar la presente.

r. Factor que programa el sintetizador del coordinador.

RDE1. Línea reforzada de DE1.

RDE2. Línea reforzada de DE2.

READY. Línea utilizada para añadir estados de espera a los ciclos de máquina del 8088.

REF. Línea que configura al transladador. Si es 1 la salida se encadena al estado correspondiente a dos fases activas.

RESET. Línea que inicializa las funciones del microprocesador 8088.

RLJX. Línea de la TC proveniente del ALG U30 utilizada como reloj del transladador del motor X.

RLJY. Línea de la TC proveniente del ALG U30 utilizada como reloj del transladador del motor Y.

RLJZ. Línea de la TC proveniente del ALG U30 utilizada como

reloj del transladador del motor Z.

RLO/6. Señal cuadrada de 1.044 MHz.

RM. Línea de la TC proveniente del GPV. Esta señal es el reloj para los dos coordinadores y el divisor U18.

RXD$PROC. Apuntador a procedimiento para la rutina de servicio a interrupción por recepción de datos.

SUE. Línea que configura al transladador. Si es 1 las salidas del transladador se colocan en 0. Si es 0 las salidas correponden con las secuencias de manejo.

Tablero XY. Tablero que contiene los factores para generar un perfil de velocidad trapezoidal.

Tablero Z. Tablero que contiene los factores para generar un perfil de velocidad trapezoidal.

TAR$. Apuntador temporal.

TAR$TRAS. Apuntador utilizado para introducir datos a la cola circular de tareas.

TAREA. Bandera de la TC. Si 1 indica que una tarea se ejecuta.

TC. Tarjeta de Control.

TCT. Bandera de la TC. Si 1 indica que hay, al menos, una tarea en la cola de tareas.

TXD$PROC. Apuntador a procedimiento para la rutina de servicio a interrupción por transmisión de datos.

paso_RXD. Indicador a procedimiento para la rutina de

servicio a interrupción por recepción de datos.

paso_TXD. Indicador a procedimiento para la rutina de servicio a interrupción por transmisión de datos.

pTXD. Apuntador a estructuras definidas en lenguaje C. Dentro de la estructura contiene la dirección del arreglo de datos (mandos) por transmitirse.

Vf. Velocidad final, o de crucero, del perfil de velocidad trapezoidal.

Vo. Velocidad inicial del perfil de velocidad trapezoidal.

?. Mando programable que demanda la generación de un reporte extenso.

μP. Microprocesador.

APENDICE D. PROGRAMACION DE LOS ALG.

Se incluyen los archivos en formato ASCII necesarios para la programación de los arreglos lógico genéricos GAL16V8 incluidos en la tarjeta de control y el la etapa de acondiconamiento del manejador de potencia.

```
'*****************************************************************
'                          APENDICE.GAL
'
' DISPOSITIVO: GAL16V8 de LATTICE.
'
' FIRMA ELECTRONICA: APENDV1
'
' -FUNCIONES:
'
'  -Circuito combinacional que permite utilizar al
'   manejador de potencia de los motores de paso en modo
'   paso completo por excitacion de dos fases.
'
'          30/NOVIEMBRE/90                        H. MEJIA
'*****************************************************************

DEVICE 16V8;

PIN1        1
ALFA        2
DALFA       3
DBETA       4
BETA        5
GAMA        6
DGAMA       7
DDELTA      8
DELTA       9
GND         10
/HAB        11
RALFA       12
ALBE        13
RGAMA       14
RGAMA       15
GADEL       16
RDELTA      17
SGAMA       18
```

```
SDELTA      19
VCC         20

START
RALFA       = ALFA;
ALBE       /= ALFA*DALFA + BETA*DBETA*/ALFA;
RBETA       = BETA*/ALFA;
RGAMA       = GAMA;
GADEL      /= GAMA*DGAMA + DELTA*DDELTA*/GAMA;
RDELTA      = DELTA*/GAMA;
SGAMA      /= GAMA;
SDELTA     /= DELTA;
END

'*****************************************************************
'                          MUXV2.GAL
'
' DISPOSITIVO: GAL16V8 de LATTICE.
'
' -FUNCIONES:
'
'     -Selector-Multicanalizador de 3 entradas y 3 salidas.
'     -Divisor de frecuencia, (divide entre 6 y entre 2)
'     -Generador de señal de sincronía para GPV y de inicio y
'      fin de secuencia de desplazamiento.
'
'   11/MAYO/89                                          H.MEJIA
'*****************************************************************

DEVICE 16V8;

RLO          1
INV          2
DA           3
DSIN         4
C0           5
C1           6
E2           7
E1           8
AMO          9
GND         10
GND1        11
RLJX        12
RLJY        13
RLJZ        14
CARGA       15
QDSIN       16
RLOS2       17
```

```
RLOT          18
RLOS6         19
VCC           20

START
RLOS6     := RLOT*RLOS2 + RLOS6*/RLOT ;
RLOT      := /RLOT*RLOS2 + /RLOS6*/RLOS2 ;
RLOS2     := /RLOS2 ;
QDSIN     := DSIN ;
CARGA     /= AMO + DA ;
RLJZ       = /C1*E2*/INV + C1*AMO*/INV +
             /C1*/E2*INV + C1*/AMO*INV;
RLJY       = /C1*/CO*E1*/INV + /C1*CO*AMO*/INV + C1*E2*/INV +
             /C1*/CO*/E1*INV + /C1*CO*/AMO*INV + C1*/E2*INV ;
RLJX       = /C1*/CO*AMO*/INV + CO*E1*/INV + C1*E1*/INV +
             /C1*/CO*/AMO*INV + CO*/E1*INV + C1*/E1*INV ;
END

'*****************************************************************
'                          TRANSV6.GAL
'
' DISPOSITIVO: GAL16V8 de LATTICE.
'
' FIRMA ELECTRONICA: TRANSV6
'
' -FUNCIONES:
'
'    -Transladador programable.
'
' 29/OCTUBRE/90                                    H. MEJIA
'*****************************************************************

DEVICE 16V8;

RLJT          1
IN2           2
IN3           3
IN4           4
IN5           5
IN6           6
REF           7
ADEL          8
MP            9
GND           10
SUELTO        11
/A            12
/B            13
```

```
/C              14
/D              15
SL6             16
/SL5            17
SL4             18
SL23            19
VCC             20

START
/A      /:= /ADEL*/MP*C*/REF + /ADEL*/B*/D*/REF +
            /ADEL*MP*A*B*/REF + ADEL*/MP*D*/REF +
            ADEL*MP*/B*/C*/REF + ADEL*A*/C*/REF ;
/B      /:= /ADEL*/MP*B*/C + /ADEL*/MP*/C*D +
            /ADEL*MP*/A*D + ADEL*/MP*C*/D +
            ADEL*/MP*/A*/D + ADEL*MP*/A*C  +
            /A*B*/C*/D + REF ;
/C      /:= /ADEL*/MP*/A*B*/REF + /ADEL*/MP*/A*C*/REF +
            /ADEL*MP*/A*/D*/REF + ADEL*/MP*A*/REF +
            ADEL*/B*/D*/REF + ADEL*MP*A*C*/REF ;
/D      /:= /ADEL*/MP*A + /ADEL*/MP*/B*/C +
            /ADEL*MP*/B*D + /ADEL*MP*A*/B*/C +
            ADEL*/A*D + ADEL*/MP*/A*B +
            ADEL*MP*/A*B*/C + REF ;
SL4       = IN4 ;
/SL5     /= IN5 ;
SL6       = IN6 ;
SL23     /= IN2*/IN3 + /IN2*IN3 ;
END
```

APENDICE E. DIAGRAMAS DE FLUJO.

En las siguientes páginas se muestran los diagramas de flujo correspondientes a los programas descritos en el apéndice G.

Refiérase al glosario (apéndice C) para identificación de las abreviaturas y parámetros empleados.

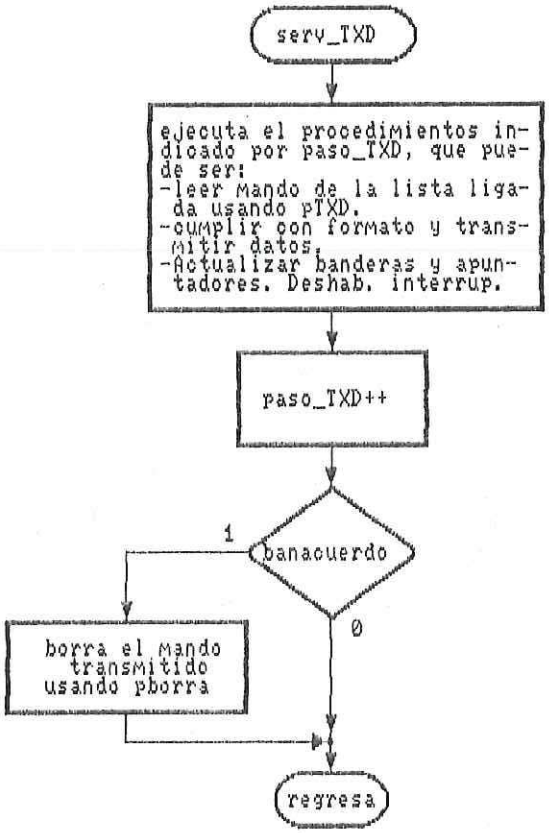


Figura 45. Diagrama de flujo del procedimiento serv_TXD desarrollado en lenguaje C.

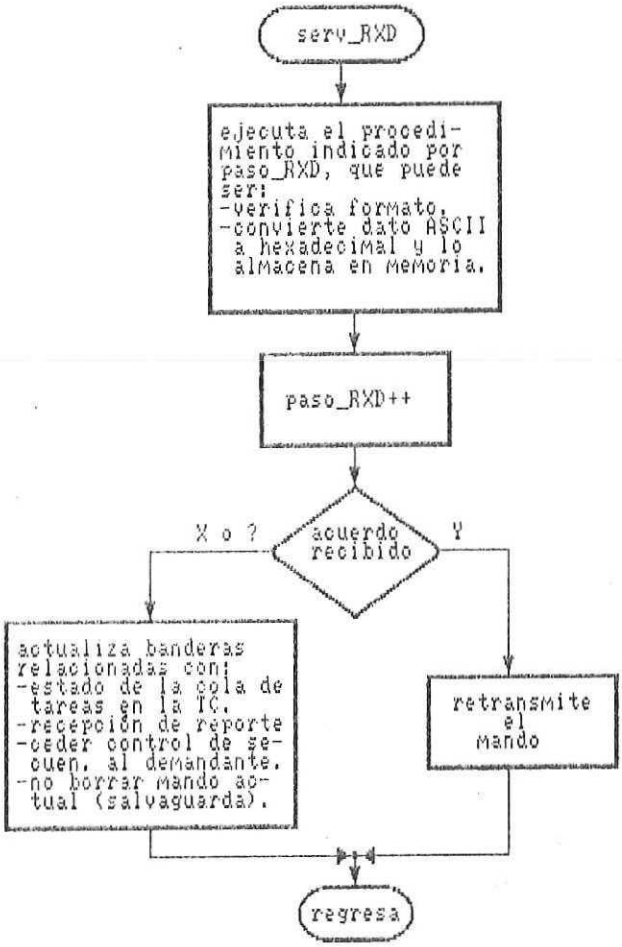


Figura 46. Diagrama de flujo del procedimiento serv_RXD desarrollado en lenguaje C.

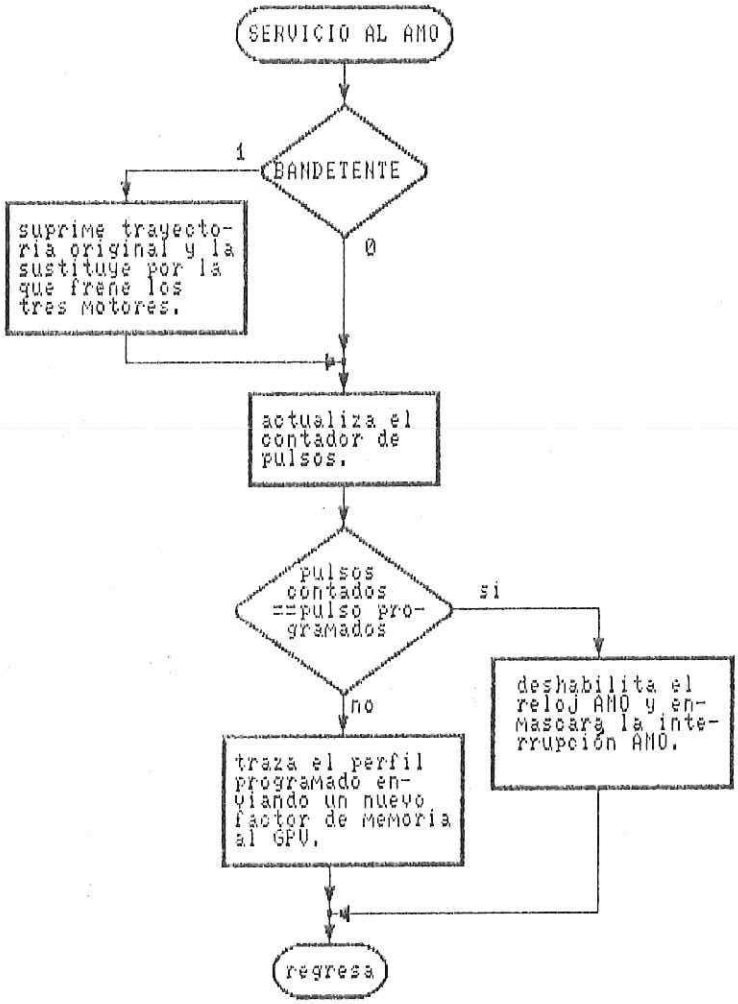


Figura 47. Diagrama de flujo del procedimiento SERV_AMO desarrollado en lenguaje ensamblador.

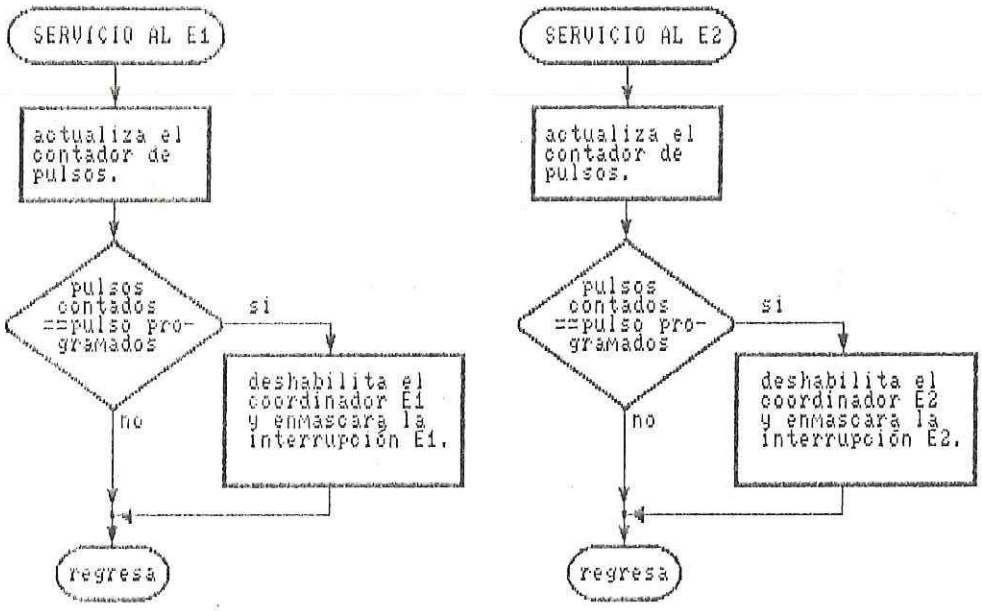


Figura 48. Diagramas de flujo de los procedimientos SERV_E1 y SERV_E2 desarrollados en lenguaje ensamblador.

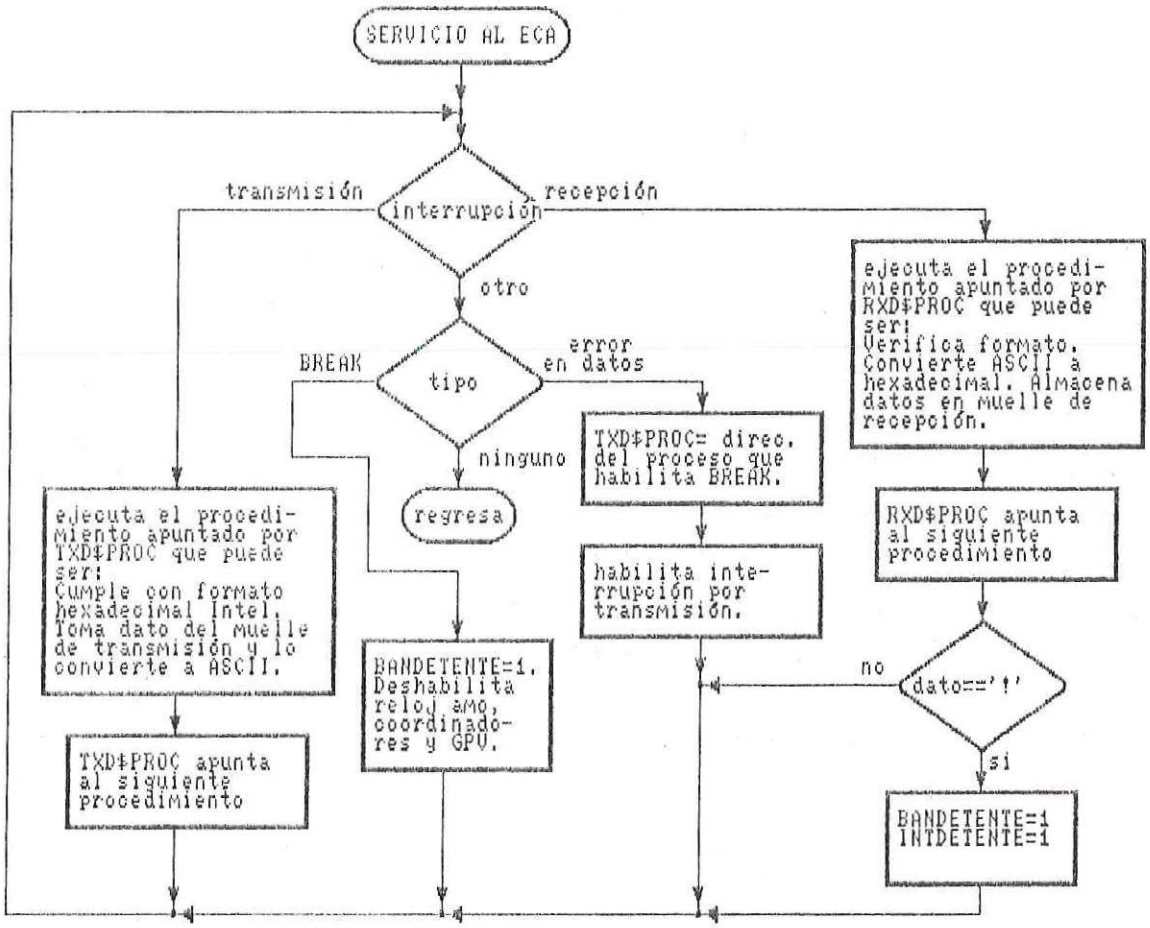


Figura 49. Diagrama de flujo del procedimiento SERV_ECA desarrollado en lenguaje ensamblador.

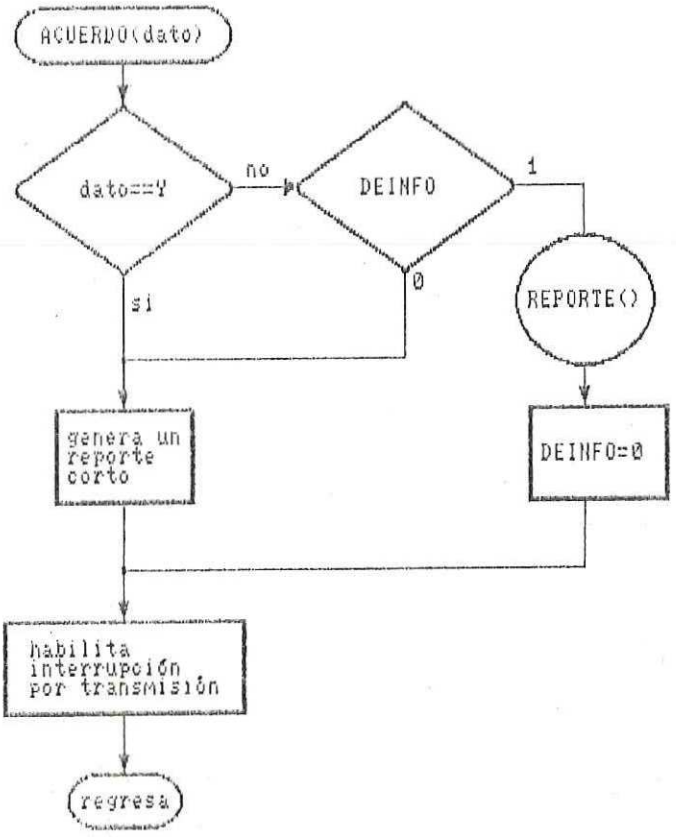


Figura 50. Diagrama de flujo del procedimiento ACUERDO desarrollado en lenguaje ensamblador.

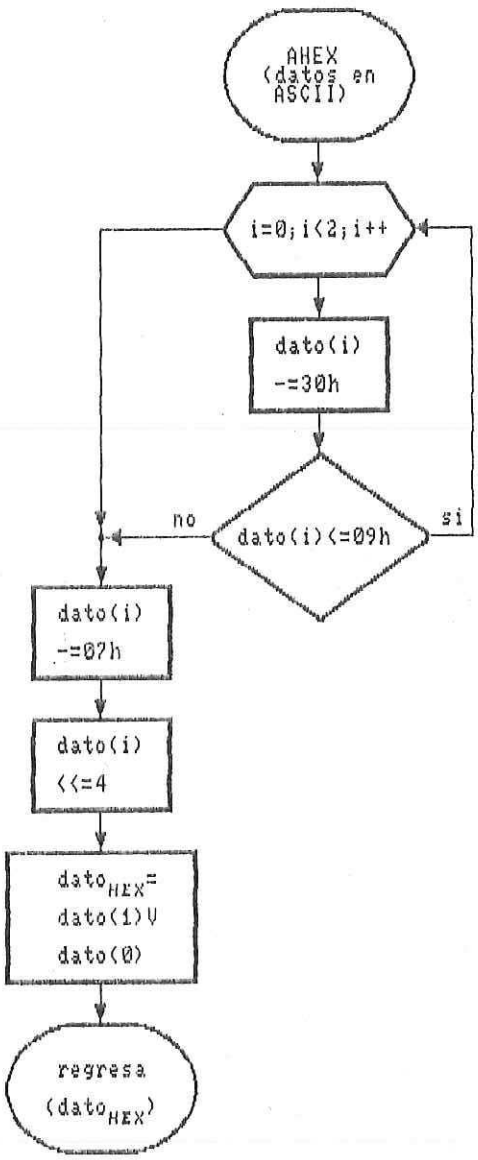


Figura 51. Diagrama de flujo del procedimiento AHEX desarrollado en lenguaje ensamblador.

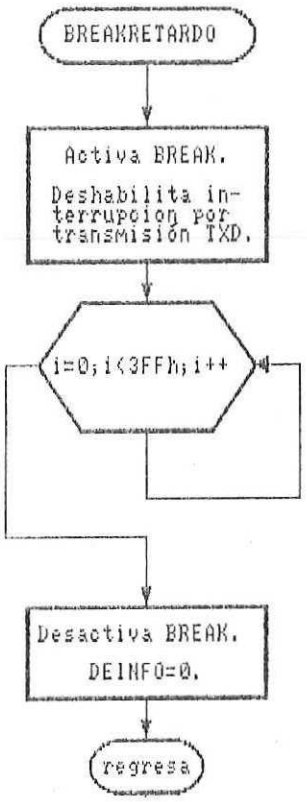


Figura 52. Diagrama de flujo del procedimiento BREAKRETARDO desarrollado en lenguaje ensamblador.

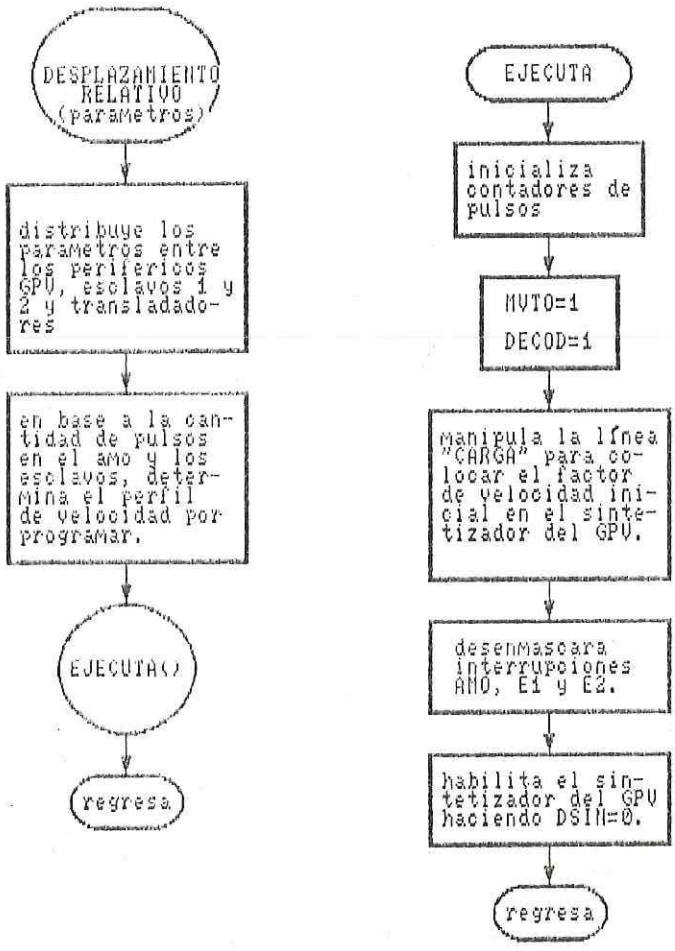


Figura 53. Diagramas de flujo de los procedimientos DESPLAZAMIENTO RELATIVO y EJECUTA desarrollados en lenguaje ensamblador.

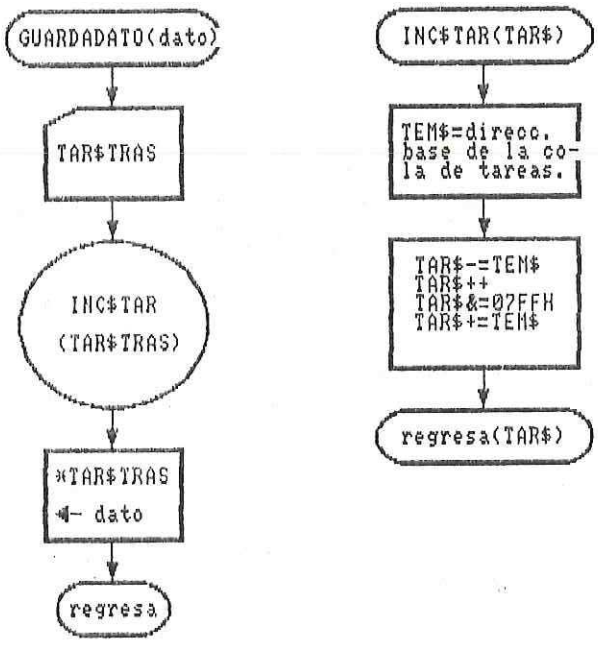


Figura 54. Diagramas de flujo de los procedimientos GUARDADATO e INC$TAR desarrollados en lenguaje ensamblador.

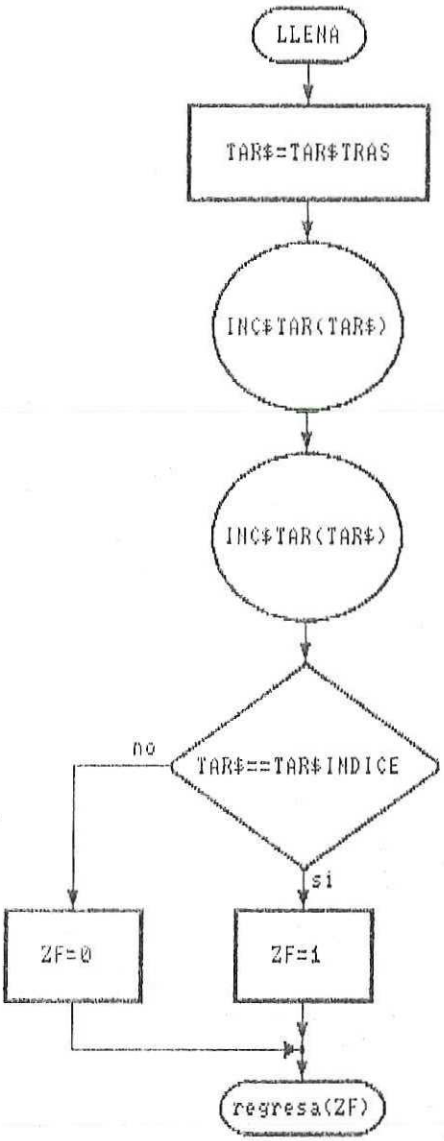


Figura 55. Diagrama de flujo del procedimiento LLENA desarrollado en lenguaje ensamblador.

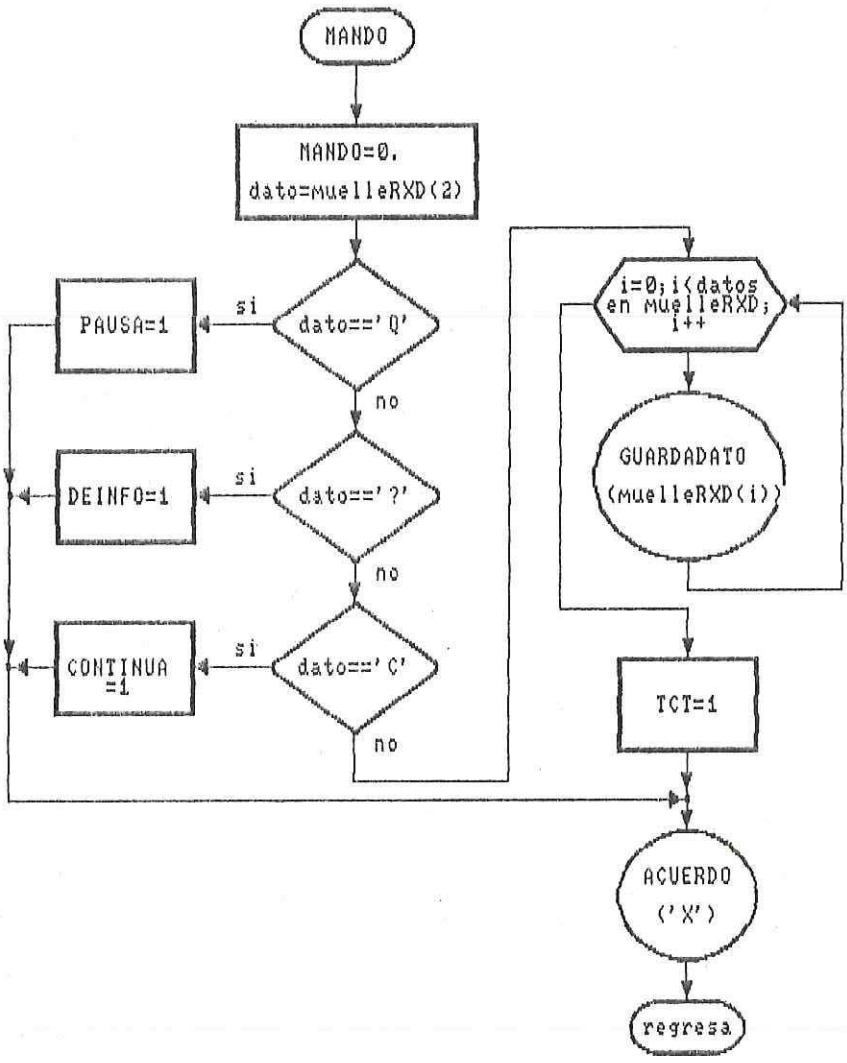


Figura 56. Diagrama de flujo del procedimiento MANDO desarrollado en lenguaje ensamblador.

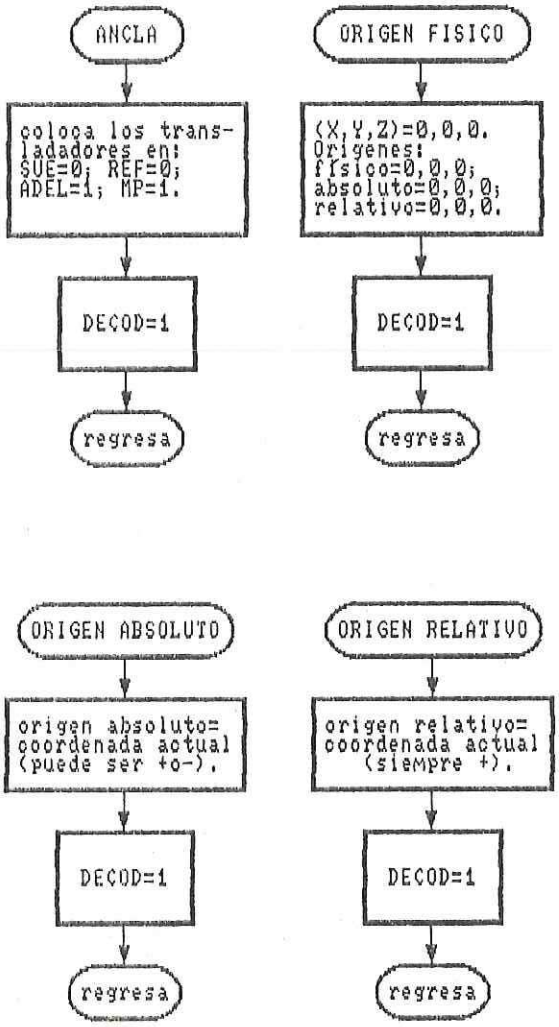


Figura 57. Diagramas de flujo de los procedimientos ANCLA, ORIGEN_FISICO, ORIGEN_ABSOLUTO y ORIGEN_RELATIVO desarrollados en lenguaje ensamblador.

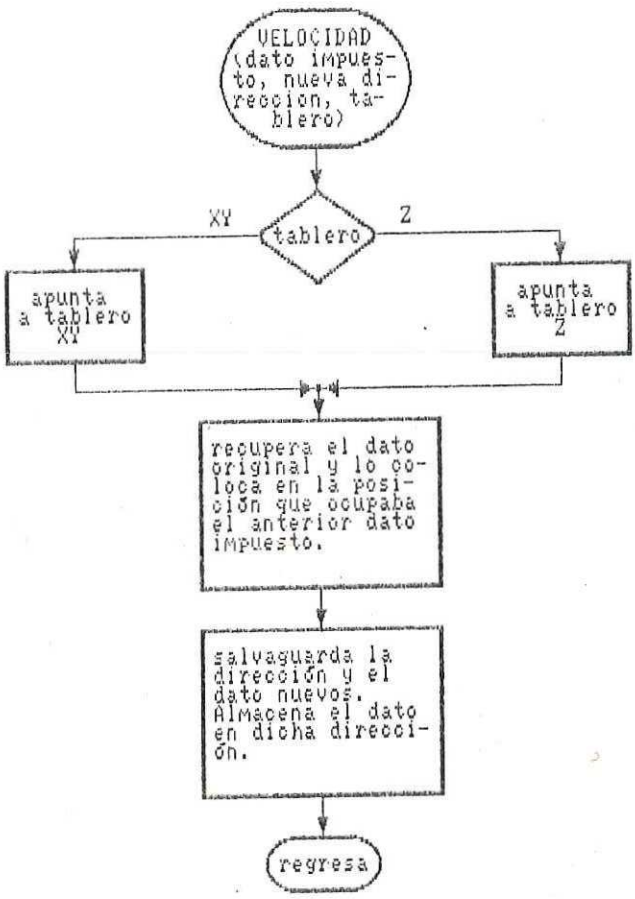


Figura 58. Diagrama de flujo del procedimiento VELOCIDAD desarrollado en lenguaje ensamblador.

APENDICE F. ESQUEMATICOS DEL SISTEMA.

En las siguientes páginas se encuentran concentrados los esquemáticos de la circuitería que integra el sistema para coordinación de movimiento.

La descripción de cada uno de ellos es como sigue:

COORDINADOR DE MOVIMIENTOS - CIRCUITERIA. Tarjeta de control.

DISPOSICION - TARJETA CONTROL. Disposición de integrados en la tarjeta de control.

TARJETA INTERFAZ. Tarjeta interfaz.

POTENCIA - ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO. Tarjeta CONPOT para el eje Z.

APENDICE A MESTRA - CONPOT. Tarjeta superpuesta a la de MESTRA - CONPOT, Mitrani A. et al (1982).

POTENCIA - ETAPA DE POTENCIA. Conecciones entre tarjetas CONPOT, transistores de potencia y motores.

Figura 59. Esquemático: "COORDINADOR DE MOVIMIENTOS - CIRCUITERIA."

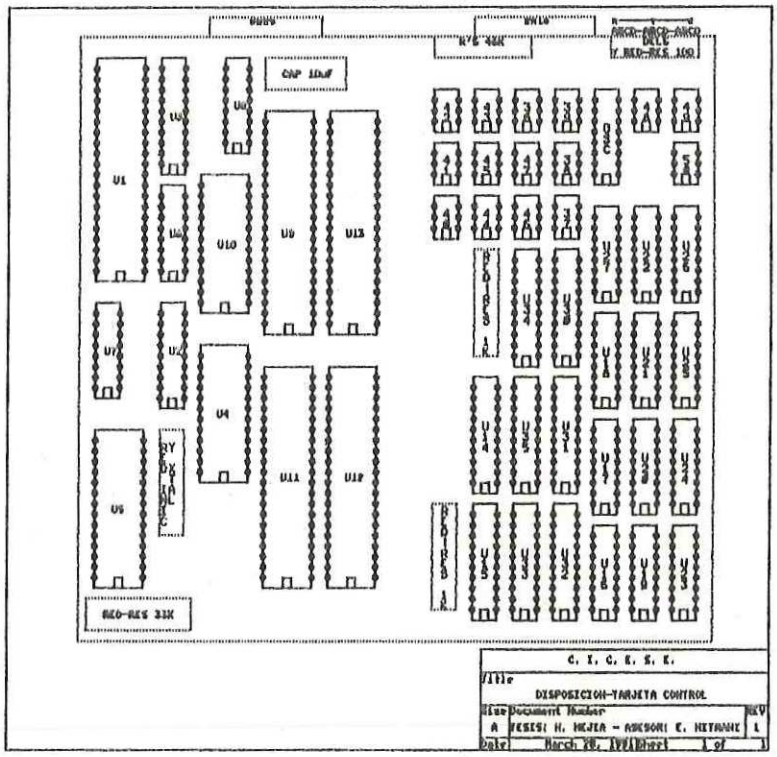


Figura 60. Esquemático: "DISPOSICION - TARJETA CONTROL".

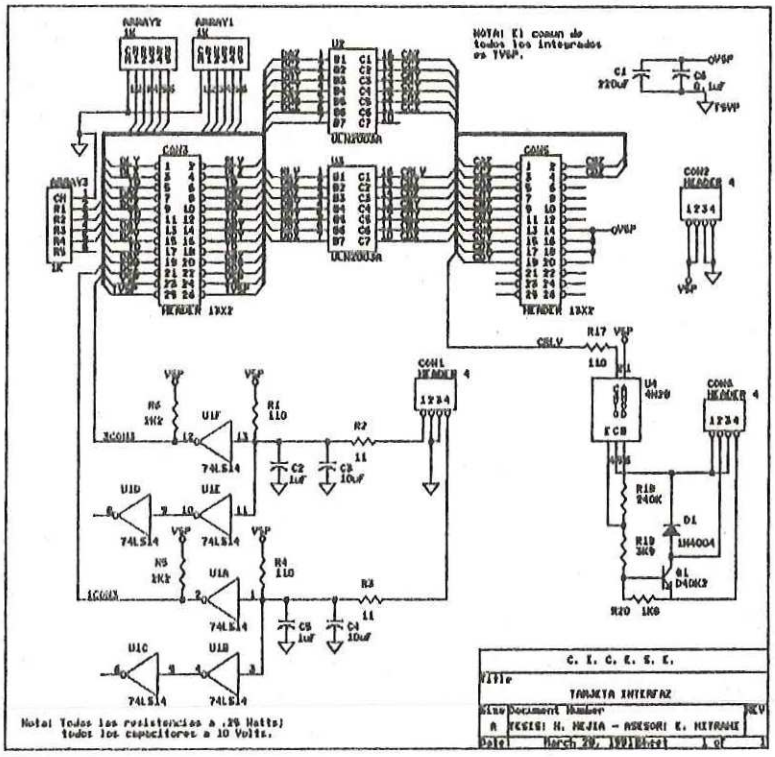


Figura 61. Esquemático: "TARJETA INTERFAZ".

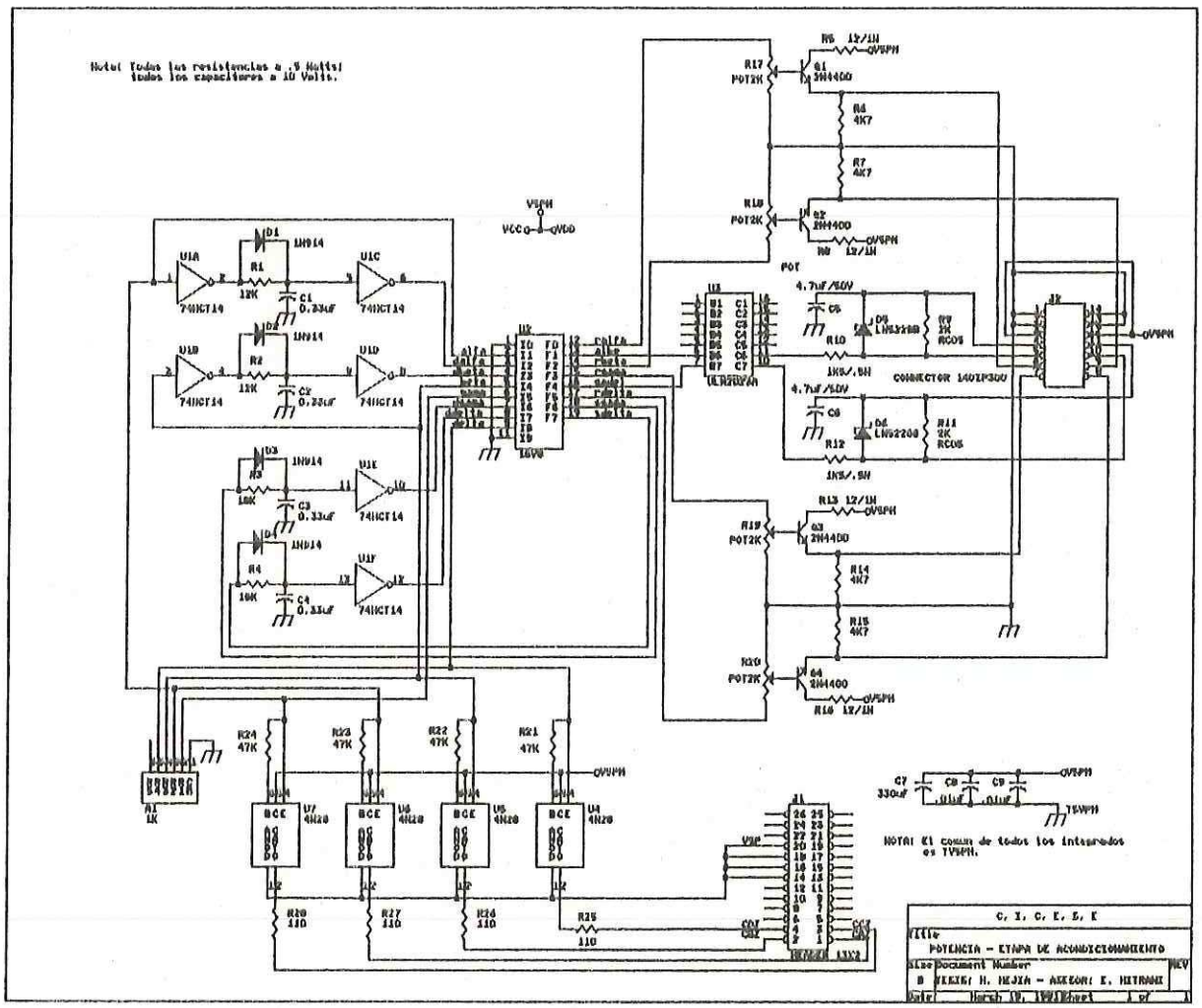


Figura 62. Esquemático: "POTENCIA - ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO".

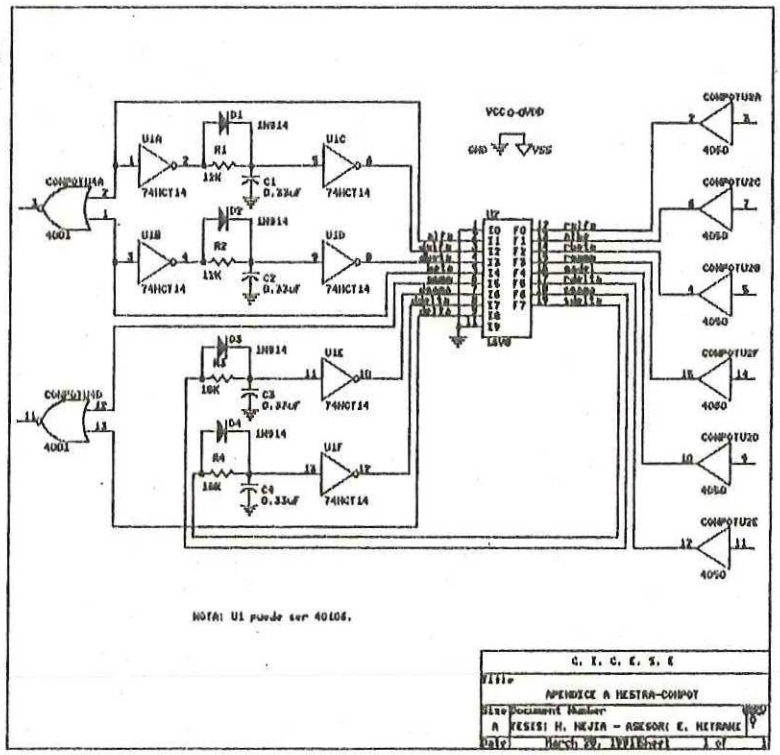


Figura 63. Esquemático: "APENDICE A MESTRA - CONPOT".

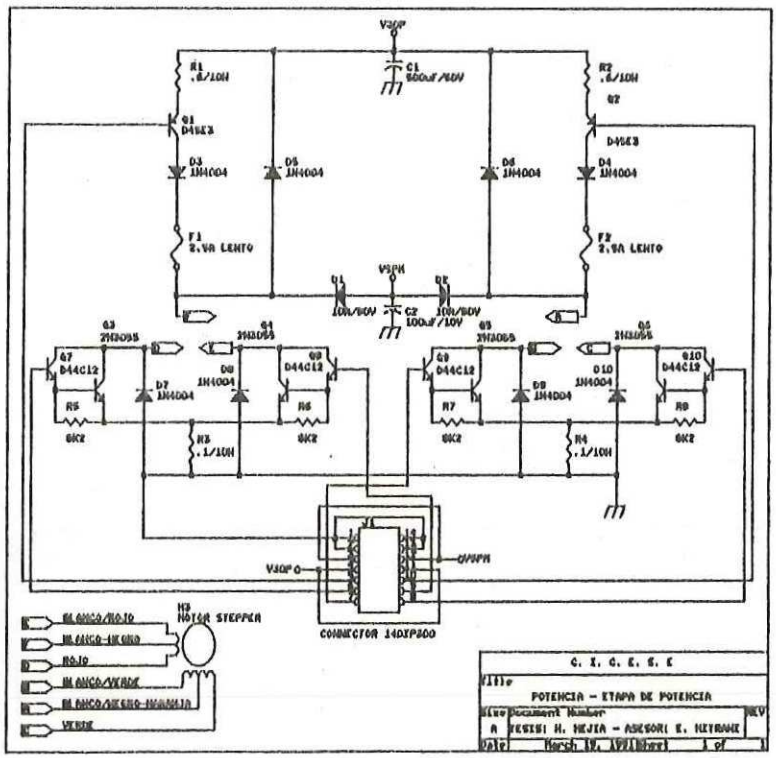


Figura 64. Esquemático: "POTENCIA - ETAPA DE POTENCIA".

APENDICE G. PROGRAMAS.

Los programas desarrollados se encuentran concentrados en un disquete disponible en la Coordinación Académica del CICESE.

Los programas fuente, tanto en ensamblador (extensión .ASM) como en C (extensión .C) se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Subdirectorio PELC (los programas numerados integran PELICANO.PRJ):

ABSOLUTO.C	1
CLISTADO.C	
COMCON.C	2
DEMAS.C	3
DESPLIEG.C	4
DESP_REL.C	5
MENU.C	6
ORCAD.C	7
PELICANO.PRJ	
PERFORA.C	8
PREMENU.C	9
SMART.C	10
TURBOLIS.EXE	
VELOCID.C	11

Subdirectorio PELASN (los programas numerados son los fuente del programa MP.COM almacenado en la memoria de lectura exclusiva de la TC.):

ALISTADO.BAT	
COMPASOS.BAT	
ENCADENA.EXE	
FACVEL.BIN	1
MPV12.ASM	2
MPV12AUX.ASM	3
TURBOLIS.EXE	

Subdirectorio APOYO:

ENCADENA.C
FACMESA.BIN
FACMESA.C
FACVEL.C
TURBOLIS.C
VELOZ.BIN

Para crear un listado global para los .C debe ejecutarse el programa CLISTADO.BAT y para los .ASM el ALISTADO.BAT que generarán los archivos .glb (global fuente) y .tls (listado del .glb).

El programa SUPERLIS.EXE permite crear listados y es utilizado por los .BAT anteriores.

Para generar el programa ejecutable de C, PELICANO.EXE, es necesario estar dentro del ambiente de TurboC en modelo de memoria HUGE y cargar el proyecto PELICANO.PRJ. Los archivos a:VELOZ.BIN y a:FACMESA.BIN son leidos por PELICANO.EXE.

Para generar el ejecutable de ASM, MP.COM, se utiliza COMPASOS.BAT. El programa ENCADENA.EXE y el archivo FACVEL.BIN son usados por COMPASOS.BAT.

MP.COM se encuentra grabado en la memoria de solo lectura U5 de la TC.

Además de los anteriores, existen otros programas de apoyo cuya función se describe a continuación:

FACMESA.C. Encadena los archivos FACVEL.BIN y MPV12.COM produciendo el archivo a:MP.COM.

FACVEL.C. Almacena los factores de ajuste que

compensarán las inexactitudes mecánicas de MESTRA (plano X-Y) generando el archivo a:facmesa.bin.

ENCADENA.C. Calcula los factores a programar en el GPV para obtener un perfil de velocidad trapezoidal.

TURBOLIS.C. Genera el listado de un archivo ASCII proveniente de .ASM o de .C.

APENDICE H. ANALISIS DE CARGA PARA LOS MOTORES DE MESTRA.

El par necesario para mover la carga cumpliendo los requisitos de aceleración se divide en:

$$T_{total} = T_{fricción} + T_{aceleración} \qquad (30)$$

Para el esquema de manejo de carga a través del empleo de un husillo, PARKER (1988), el $T_{fricción}$ y el $T_{aceleración}$ se calculan con las siguientes fórmulas:

$$T_{fricción} = \frac{\mu_s \cdot W}{2\pi \cdot g_h \cdot \varepsilon} \qquad (31)$$

$$T_{aceleración} = \frac{1}{386}\left[\frac{J_{carga}}{\varepsilon} + J_{husillo} + J_{motor}\right]\cdot\frac{\omega}{t} \qquad (32)$$

$$J_{carga} = \frac{W}{(2\pi \cdot g_h)^2} \qquad (33)$$

$$J_{husillo} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho \cdot R^4}{2} \qquad (34)$$

$$\omega = 2\pi \cdot g_h \cdot (pasos/s) \qquad (35)$$

donde:

μ_s: coeficiente de fricción estática entre el husillo y la tuerca.
W: peso de la carga en onzas.
ω/t: aceleración en pulgadas/s^2.
g_h: graduación del husillo en hilos/pulgada.
ε: eficiencia del husillo-tuerca.
L: longitud del husillo en pulgadas.
ρ: densidad del material del husillo en onzas/$pulgada^3$.
R: radio del husillo en pulgadas.

J_{motor}: inercia del motor en onzas·pulgada^2.

Para MESTRA se tienen los siguientes datos:

μ_s: para el contacto acero-bronce (lubricado) es de 0.19.

W: el soportado por el motor Y es de 2,404.3 y para el X es de 1,066.3 onzas. Dado lo irrelevante de la carga en Z no se incluye el cálculo de carga para este motor.

ω/t: 4,0000 pasos/seg^2 equivalente a 2π(20 pasos/seg^2) a paso completo y 2π(10 revoluciones/seg^2) para medio paso equivalente a 4,000 pasos/s^2.

g_h: 5 hilos/pulgada.

ε: el valor medio para un husillo ACME y una tuerca de bronce es 40%.

L: 27 pulgadas.

ρ: densidad para acero es de 4.48 onzas/pulgada^3.

R: 0.375 pulgadas.

J_{motor}: se usan motores con 10.24 onzas·pulgada^2, Superior Electric (1990).

Sustituyendo estos datos en las ecuaciones 30 a 35 se obtienen los resultados mostrados en la tabla X (unidades en onzas·pulgada).

Tabla X. Tabla que muestra el par requerido para manejar la carga en MESTRA.

	medio paso		paso completo	
	motor Y	motor X	motor Y	motor X
$T_{fricción}$	36.35	16.12	36.35	16.12
$T_{aceleración}$	3.27	2.72	6.54	5.44
T_{total}	39.62	18.84	42.89	21.56

El par de sostenimiento del motor utilizado es de 300

onzas·pulgada y cae hasta 40 onzas·pulgada a 4000 pasos/seg (paso completo) bajo corriente nominal y usando un manejador de potencia bipolar en configuración paralelo, c.f. Superior Electric (1990).

Para nuestro caso, se encuentra experimentalmente que un valor confiable de velocidad y aceleración es de 2000 pasos/s y 4000 pasos/s^2 respectivamente. El valor de velocidad puede mejorarse al cambiar el esquema del manejador de potencia.