

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL  
LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y  
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**“SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL POR  
COORDENADAS CALCULADAS BASADO EN EL  
MICROPROCESADOR 80-25”.**

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACIÓN: ELECTRÓNICA

PRESENTADA POR:

FRANCISCO XAVIER HIDALGO CUESTA

GUAYAQUIL-ECUADOR  
1.988

## **AGRADECIMIENTO**

**A mi Director de Tesis y a todos y a todos y cada uno de los maestros que de una u otra forma sirvieron de guía y ejemplo en mis estudios y en la realización de esta tesis.**

## **DEDICATORIA**

**A Dios, mi creador absoluto.**

**A mis queridos padres, por su abnegada dedicación, amor y entrega en mi formación. Valores que me han permitido cumplir con mis metas.**

**A mis hermanos por su apoyo.**

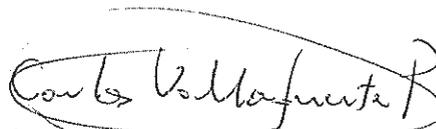
**A mis familiares más cercanos.**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



-----  
Ing. Jorge Aragundi R.  
SUBDECANO  
FAC. ING. EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACION

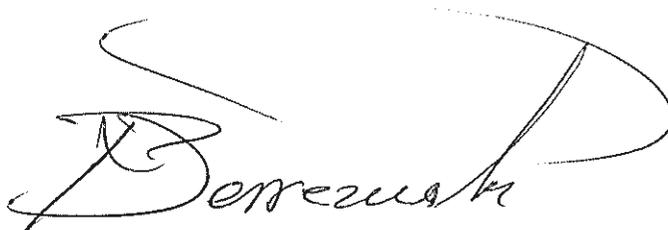
**ING. NORMAN CHOOTONG**  
DIRECTOR DE TESIS



**ING. CARLOS VILLAFUERTE**  
SUB-DECANO FIEC



**ING. ALBERTO LARCO**  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



**ING. RODRIGO BERREZUETA**  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



**ING. CÉSAR MARTÍN**  
COORDINADOR ÁREA ELECTRÓNICA



CIV-ESPOL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

**FRANCISCO XAVIER HIDALGO CUESTA**

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y construcción de un sistema para controlar el seguimiento del sol de un panel fotovoltaico, mediante el cálculo de las coordenadas del sol en cada momento.

El sistema se basa fundamentalmente en el microcomputador SDK-8085 y no requiere de fotosensores para detectar la posición del sol como ocurre en los sistemas de seguimiento directo que necesitan de la luz solar para efectuar el seguimiento y por lo tanto, operan deficientemente durante los ocultamientos del sol y durante la recuperación de la puntería, cuando el sol reaparece.

El sistema de seguimiento indirecto desarrollado, por contrario, es inmune a los nublados y otros factores que pueden producir errores de punterías en un fotosensor, como sucede por ejemplo con los destellos. El seguimiento se lleva

a cabo mediante el control de dos motores de paso que operan en lazo abierto y gobiernan los ángulos de elevación y de Azimut del panel y que son los que determinan la posición del sol en el firmamento.

La resolución que se alcanza es del orden de 1.8 grados, que corresponde al error inherente a los motores de paso empleados.

## INDICE GENERAL

	<u>Pags.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XI
INDICE DE TABLAS -----	XIV
INTRODUCCION -----	16
<b>CAPITULO I</b>	
<b>ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y PARÁMETROS DEL SISTEMA</b>	
1.1. INTRODUCCIÓN -----	18
1.2. ÁNGULO DE ELEVACIÓN -----	19
1.3. ÁNGULO DE AZIMUT -----	24
1.4. ÁNGULO DE DECLINACIÓN TERRESTRE -----	27
1.5. HORA LOCAL -----	30
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA</b>	
2.1. INTRODUCCIÓN -----	34
2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA -----	35
2.3. ANÁLISIS DEL MICROCOMPUTADOR SDK 80 – 85 -----	37
2.4. EXPANSIÓN DE MEMORIA MICROCOMPUTADOR SDK 80 –85- -----	42
2.5. EQUIPO PERIFÉRICO -----	62

2. 5.1. ENTRADA POR INTERRUPCIÓN -----	62
2. 5.2. SALIDA DE ENCERAMIENTO -----	64
2. 5.3. POSICIONAMIENTO DEL MOTOR DE ELEVACIÓN ---	68
2. 5.4. POSICIONAMIENTO DEL MOTOR DE AZIMUT -----	69
2.5.5. INTERFASE PARA LOS MOTORES DE PASO -----	75

### **CAPITULO III**

#### **DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA**

3.1. INTRODUCCIÓN -----	85
3.2. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL -----	89
3.3. RUTINA INGRESO DATO -----	93
3.4. RUTINA INGRESO DIA - MES -----	94
3.5. RUTINA INGRESO HORA - MINUTO -----	98
3.6. RUTINA GENERACIÓN DE MENSAJE DE ERROR -----	102
3.7. RUTINA BLANQUEAR DISPLAY -----	104
3.8. RUTINA CONVERSIÓN BCD A BINARIO -----	105
3.9. RUTINA CONVERSIÓN DE MINUTO A HORA -----	107
3.10. RUTINA DE INTERRUPCIÓN -----	109
3.11. RUTINA SEIS DESPLAZAMIENTOS -----	113
3.12. RUTINA COMPLEMENTO A DOS -----	115
3.13. RUTINA MULTIPLICACIÓN -----	117
3.14. RUTINA EXPONENCIACIÓN -----	119
3.15. RUTINA DIVISIÓN -----	122
3.16. RUTINA COS-X PARCIAL -----	124
3.17. RUTINA SEN-X PARCIAL -----	128
3.18. RUTINA COS-X -----	131

3.19. RUTINA SEN-X -----	135
3.20. RUTINA CÁLCULO ÁNGULO DELTA -----	139
3.21. RUTINA CÁLCULO ÁNGULO HORARIO -----	143
3.22. RUTINA SENO DE ELEVACIÓN -----	145
3.23. RUTINA SENO DE AZIMUT -----	151
3.24. RUTINA SENO INVERSO X -----	155
3.25. RUTINA SIGNO DE AZIMUT -----	159
3.26. RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACIÓN -----	164
3.27. RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT -----	169

#### **CAPITULO IV**

##### **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA**

4.1. INTRODUCCIÓN -----	174
4.2. TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES -----	175
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----</b>	<b>192</b>
<b>APÉNDICES -----</b>	<b>195</b>
<b>BIBLIOGRAFIA -----</b>	<b>261</b>

## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO I

1.1. DEFINICIÓN DE LOS ÁNGULOS DE ELEVACIÓN Y AZIMUT --	20
1.2. PANEL EN POSICIÓN PERPENDICULAR AL SOL -----	26
1.3. TRAYECTORIA DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL -----	28
1.4. VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE DECLINACIÓN DURANTE EL AÑO -----	28
1.5. VARIACIÓN SINUSOIDAL DE LA DECLINACIÓN TERRESTRE -	29

### CAPITULO II

2.1. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA -----	36
2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SDK 80 - 85 -----	38
2.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MICROPROCESADOR 8085 A –	40
2.4. MAPA DE MEMORIA DEL SDK 80 - 85 -----	45
2.5. MEMORIA 2114A-5 -----	50
2.6. MEMORIA 2732 A -----	52
2.7. DECODIFICADOR 74LS138 -----	52
2.8. ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL DECODIFICADOR 74LS138 ---	60
2.9. CIRCUITO DE EXPANSIÓN DE MEMORIA -----	61
2.10.a. CIRCUITO DE RELOJ EXTERNO -----	67
2.10.b. CIRCUITO DE RELOJ DE DIAGRAMA DE TIEMPOS -----	67
2.11. MOTOR DE PASO PARA EL CONTROL DEL ANGULO DE ELE_ VACIÓN -----	69

2.12. ÁNGULO DE ELEVACIÓN DE LA PLACA METÁLICA	70
2.13. SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA	72
2.14. SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA	73
2.15. SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA	74
2.16. DIAGRAMA DE TIEMPOS DE LAS FASES A, B, C, Y D	76

### **CAPITULO III**

3.1. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL	85
3.2. RUTINA INGRESO DATO	89
3.3. RUTINA INGRESO DIA/MES	93
3.4. RUTINA INGRESO HORA - MINUTO	94
3.5. RUTINA GENERACIÓN DE MENSAJE DE ERROR	98
3.6. RUTINA BLANQUEAR DISPLAY	104
3.7. RUTINA CONVERSIÓN BCD A BINARIO	106
3.8. RUTINA CONVERSIÓN DE MINUTO A HORA	108
3.9. RUTINA DE INTERRUPCIÓN	111
3.10. RUTINA SEIS DESPLAZAMIENTOS	114
3.11. RUTINA COMPLEMENTO A DOS	116
3.12. RUTINA DE MULTIPLICACIÓN	118
3.13. RUTINA DE EXPONENCIACIÓN	121
3.14. RUTINA DE DIVISIÓN	123
3.15. RUTINA COS-X PARCIAL	126
3.16. SEN-X PARCIAL	129
3.17. RUTINA COS X	132
3.18. RUTINA SEN X	137

3.19. CÁLCULO ÁNGULO DELTA	141
3.20. RUTINA CÁLCULO ÁNGULO HORARIO	144
3.21. RUTINA PREPSEN	146
3.22. RUTINA SENO DE ELEVACIÓN	148
3.23. RUTINA MULT-DIV	153
3.24. RUTINA CÁLCULO SENO DE AZIMUT	154
3. 25. RUTINA SENO INVERSO X	157
3.26. RUTINA CÁLCULO TAN (DELTA)	160
3. 27. RUTINA SIGNO AZIMUT	162
3.28. RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACIÓN	167
3.29. RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT	171

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO II

2.1.	SEÑALES DE HABILITACIÓN DE DECODIFICADOR 8205 - - - - -	43
2.2.	TABLA DE VERDAD DEL DECODIFICADOR 74LS138 - - - - -	54
2.3.	REPRESENTACIÓN DE LA BARRA DE DIRECCIÓN INDICANDO LA LOCALIDAD INICIAL Y FINAL QUE ABARCA CADA BLOQUE DE 1K X 8 BITS - - - - -	55
2.4.	SEGMENTO DE PROGRAMA TRASLADO DE LA DIRECCIÓN 8012 A LA 9012 - - - - -	57

### CAPITULO III

3.1.	LOCALIDADES DE MEMORIA - - - - -	87
3.2.	NÚMERO DE DIAS ASOCIADOS AL MES - - - - -	87

### CAPITULO IV

4.1.	EVALUACIÓN RUTINA Cos-X PARCIAL - - - - -	181
4.2.	EVALUACIÓN RUTINA Sen-X PARCIAL - - - - -	182
4.3.	EVALUACIÓN RUTINA Cos-X - - - - -	183
4.4.	EVALUACIÓN RUTINA Sen-X - - - - -	184
4.5.	EVALUACIÓN DEL SENO INVERSO (Sen-E) - - - - -	185
4.6.	EVALUACIÓN RUTINA SENO DE AZIMUT - - - - -	186
4.7.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO - - - - -	187
4.8.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO - - - - -	188

4.9.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO DURANTE EL	
	AÑO -----	189
4.10.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO -----	191

## I N T R O D U C I Ó N

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y construcción de un sistema de seguimiento del sol, mediante el cálculo de sus coordenadas, basado fundamentalmente en el microcomputador SDK-8085.

El seguimiento se realiza mediante el control de dos motores de paso utilizados para gobernar los ángulos de Elevación de Azimut que determinen la ubicación del sol en el firmamento, de esta manera se consigue un óptimo aprovechamiento de la radiación solar directa en sistema tales como colectores térmicos o paneles solares que requieren alcanzar para ello, un posicionamiento perpendicular al sol.

El punto de referencia escogido para el seguimiento es la ciudad de Guayaquil.

Inicialmente se efectúa una descripción de los ángulos y parámetros asociados a las ecuaciones así como también, se analizan la metodología a seguir para el desarrollo mediante programación de las diferentes ecuaciones relacionadas con el seguimiento.

Se procede a continuación a efectuar una análisis detallado del microcomputador seleccionado, en lo referente a su arquitectura, componentes,

mapa de memoria y principalmente en lo relacionado a la expansión de la memoria que requirió ser implementada para el manejo de las memorias de acceso aleatorio (RAM) 2114A-5 y la memoria borrable – programable eléctricamente (EPROM) 2732<sup>a</sup>, depositaria final de los programas desarrollados en el presente trabajo.

Se analiza también la interfase digital diseñada para el control de los motores de paso y su respectiva comunicación con el microprocesador mediante el uso de las puertas de entrada y salida y la interrupción RST 6. 5.

Posteriormente se efectúa el estudio de los diferentes programas y rutinas elaborados y que constituyen el mayor esfuerzo y dedicación de tiempo empleado en la presente tesis, procediendo finalmente a la evaluación de los mismos; las pruebas a los motores que incluye a la interfase digital y por último las pruebas al sistema operando en conjunto.

Se adjunta una aportación a los estudiantes, un apéndice relacionado a los motores de paso, información no difundida muy ampliamente en el medio.

Se incluye además tres apéndices referentes el primero a la construcción del sistema, el segundo destinado al procedimiento de puesta en operación del sistema y finalmente el tercero que incluye el listado completo de los programas desarrollados en el presente trabajo.

# C A P Í T U L O I

## ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES Y PARAMETROS DEL SISTEMA

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo, el análisis de las ecuaciones trigonométricas que definen la posición del sol en el firmamento, en función de parámetros tales como fecha, hora, longitud, latitud y declinación terrestre, así como también, el estudio de los ángulos de elevación y Azimut que determinan la posición del sol.

El punto de referencia para el seguimiento es la ciudad de Guayaquil, cuyas coordenadas son:

Latitud =  $2,19^\circ$  (sur)

Longitud =  $79,53^\circ$  (oeste)

Se analiza el proceso matemático a desarrollarse para la obtención de las ecuaciones sinusoidales asociadas a los diferentes ángulos, el cual está basado fundamentalmente en los Desarrollos de la Serie de Taylor

para las funciones Sen X y Cos X. Adicionalmente se analizan las simplificaciones introducidas, con el fin de minimizar los programas, siempre dentro de un margen de error especificado.

Finalmente se explica la corrección que debe introducirse a la hora oficial de la república del Ecuador debido a que esta viene dada con respecto al Huso Horario 5, es decir  $75^\circ$  longitud oeste, diferente a la longitud de la ciudad de Guayaquil.

## **1.2. ÁNGULO DE ELEVACIÓN**

El ángulo de elevación E se encuentra especificado en la figura N° 1 . 1., su signo es positivo mientras exista claridad y negativo durante la noche.

Cuando el microprocesador determina que este ángulo es negativo, el sistema detiene el seguimiento y regresa los motores a la posición de origen, puesto que ha llegado la noche.

El rango de variación del ángulo de Elevación es de cero grados al amanecer y noventa grados al medio día. Durante la tarde decrece hasta llegar a cero grados.

## DEFINICION DE LOS ANGULOS DE ELEVACION Y AZIMUT

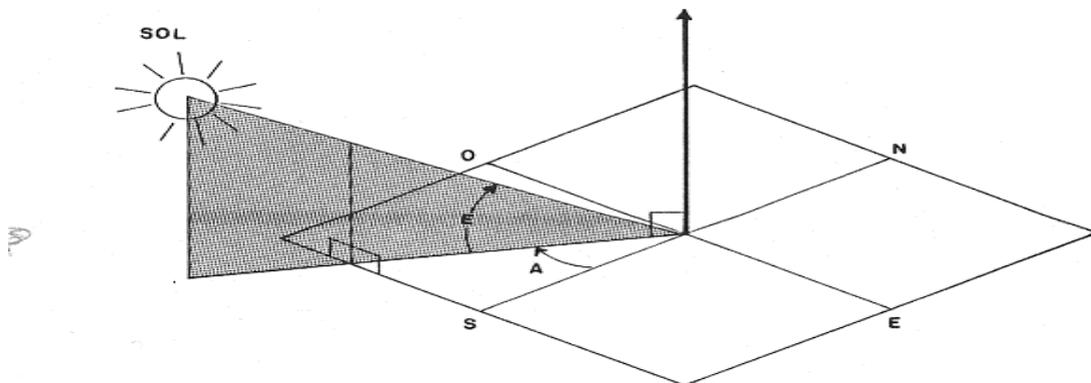


FIGURA 1.1

El cálculo del seno del ángulo de Elevación viene dado por la siguiente relación trigonométrica.

$$\text{Sen } E = \text{Sen } L \cdot \text{Sen } \delta - \text{Cos } L \cdot \text{Cos } H \cdot \text{Cos } \delta$$

Donde:

L es la latitud del lugar, en nuestro caso  $L = -2,19^\circ$ .

$\delta$  es el ángulo de declinación terrestre. (Delta).

H es el ángulo horario.

Por tanto, reemplazando:

$$\text{Sen } L = \text{Sen } (-2,19^\circ) = -0,038$$

$$\text{Cos } L = \text{Cos } (-2,19^\circ) = 0,999 = 1$$

$$\text{Sen } E = -0,038 \cdot \text{Sen } \delta - \text{Cos } \delta \text{ Cos } H.$$

Para el cálculo matemático del ángulo de elevación existen dos alternativas, la primera consiste en grabar en memoria EPROM, la función:

$$E = \text{Sen}^{-1} (-0,038 \cdot \text{Sen } \delta - \text{Cos } \delta \text{ Cos } H).$$

La desventaja se presenta debido a que si se considera que  $\delta$  tiene 364 variaciones durante el año y que el máximo valor de H es 6.21 radianes, esto implicaría una tabla de una extensión del orden de los 21,23 megabytes de direccionamiento y esto sólo para el cálculo del ángulo de elevación.

Por lo tanto se descarta la primera alternativa de grabar en memoria EPROM dichas expresiones, ya que el costo del sistema subiría de manera notable.

La alternativa a seguir consiste en utilizar el desarrollo de la serie de TAYLOR para las funciones Sen X y Cos X, luego aplicar un método numérico para el cálculo de Arco Sen E. El desarrollo del Sen X es el siguiente:

$$\text{Sen } X = X - \frac{X^3}{3!} + \frac{X^5}{5!} - \frac{X^7}{7!} + \dots \quad |X| \leq 1$$

Esta serie converge rápidamente para ángulos pequeños, por tanto se limitará X de la siguiente manera:

$$0 \leq X \leq \pi / 4$$

Esto permite trabajar con sólo tres términos de serie, según se puede apreciar en el siguiente análisis:

Si se evalúa Sen X para  $X = \pi / 4 = 0.7854$ , entonces:

$$\text{Sen } \pi/4 = 0,7854 - \frac{(0,7854)^3}{3!} + \frac{(0,7854)^5}{5!} - \frac{(0,7854)^7}{7!}$$

$$\text{Sen } \pi / 4 = 0.7854 - 0.0807 + 0.0025 - 0.000036$$

Si se considera únicamente los 3 primeros términos:

$$\text{Sen } \pi / 4 = 0,86859$$

Entonces es posible concluir lo siguiente:

$$\frac{X^7}{7!} \leq 0,00036 \quad \gamma \quad X/ |X| \leq \pi/4$$

Es decir que los términos superiores serán todavía inferiores a 0,000036 si  $|X| < \pi/4$ . En conclusión, si el error es cálculo no debe exceder a una milésima de radian, entonces es suficiente con trabajar con la siguiente serie:

$$\text{Sen } X = X - \frac{X^3}{3!} + \frac{X^5}{5!}$$

Los cálculos realizados para la obtención de la última expresión se encuentra detallado en el Capítulo III.

Se explicará también como se consigue obtener Sen X para  $|x| > \pi/4$

El desarrollo escogido para el cálculo de Cos X en base a un análisis semejante es el siguiente:

$$\text{Cos } X = 1 - \frac{X^2}{2!} + \frac{X^4}{4!} \quad 0 \leq X \leq \pi/4.$$

Como se puede observar, la asunción introducida para X, simplifica considerablemente el cálculo de Cos X y Sen X, ya que si  $X > \pi/4$ , se tendría que considerar un número mayor de términos de la serie para no sobrepasar el error establecido de una milésima de radian.

### 1.3. ÁNGULO DE AZIMUT

El ángulo de AZIMUT se encuentra especificado en la figura N° 1. 1.

El rango de variación es de  $-90^\circ$  hasta  $270^\circ$ ; es decir abarca un giro de  $360^\circ$ .

El cálculo del seno el ángulo de AZIMUT viene dado por la siguiente relación:

$$\text{Sen } A = \frac{\text{Sen } H \cdot \text{Cos } \delta}{\text{Cos } E}$$

Donde:

$$A = \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\text{Sen } H \text{ Cos } \delta}{\text{Cos } E} \right) ; \text{ si } \text{Cos } H \geq \frac{\text{Tan } \delta}{\text{Tan } L}$$

$$A = 180^\circ - \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\text{Sen } H \text{ Cos } \delta}{\text{Cos } E} \right) ; \text{ si } \text{Cos } H < \frac{\text{Tan } \delta}{\text{Tan } L}$$

Esto implica que  $-90^\circ \leq a \leq 270^\circ$

Puesto que el programa de control de posición para el ángulo de AZIMUT se simplifica considerablemente si dicho ángulo es únicamente positivo, el origen de dicho ángulo ( $A = 0$ ), se trasladó hacia la dirección

este y para no introducir errores se corrigió las últimas dos expresiones sumando  $90^\circ$  según se puede apreciar:

$$A = \text{Sen}^{-1} \frac{(\text{Sen } H \text{ Cos } \delta)}{\text{Cos } E} + 90^\circ, \quad \text{si } \text{Cos } H \geq \frac{\text{Tan } \delta}{\text{Tan } L}$$

$$A = 180 - \text{Sen}^{-1} \frac{(\text{Sen } H \text{ Cos } \delta)}{\text{Cos } E} + 90^\circ = 270^\circ - \text{Sen}^{-1}$$

$$\frac{(\text{Sen } H \text{ Cos } \delta)}{\text{Cos } E}, \quad \text{si } \text{Cos } H < \frac{\text{Tan } \delta}{\text{Tan } L}$$

De tal forma que el ángulo de AZIMUT variará entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ , por tanto positivo.

Una ventaja adicional de este cambio se presenta cuando el sistema regresa durante la noche a la posición de origen, en tales circunstancias el ángulo de AZIMUT queda apuntando hacia el este, coincidiendo con el hecho de que el sol nace por esa dirección en el amanecer.

En la figura N° 1. 2., se puede apreciar un panel orientado en dirección al sol. Se especifica el nuevo origen del ángulo AZIMUT.

El panel se encuentra perpendicular al sol, de tal forma que aprovecha al máximo la radiación solar.

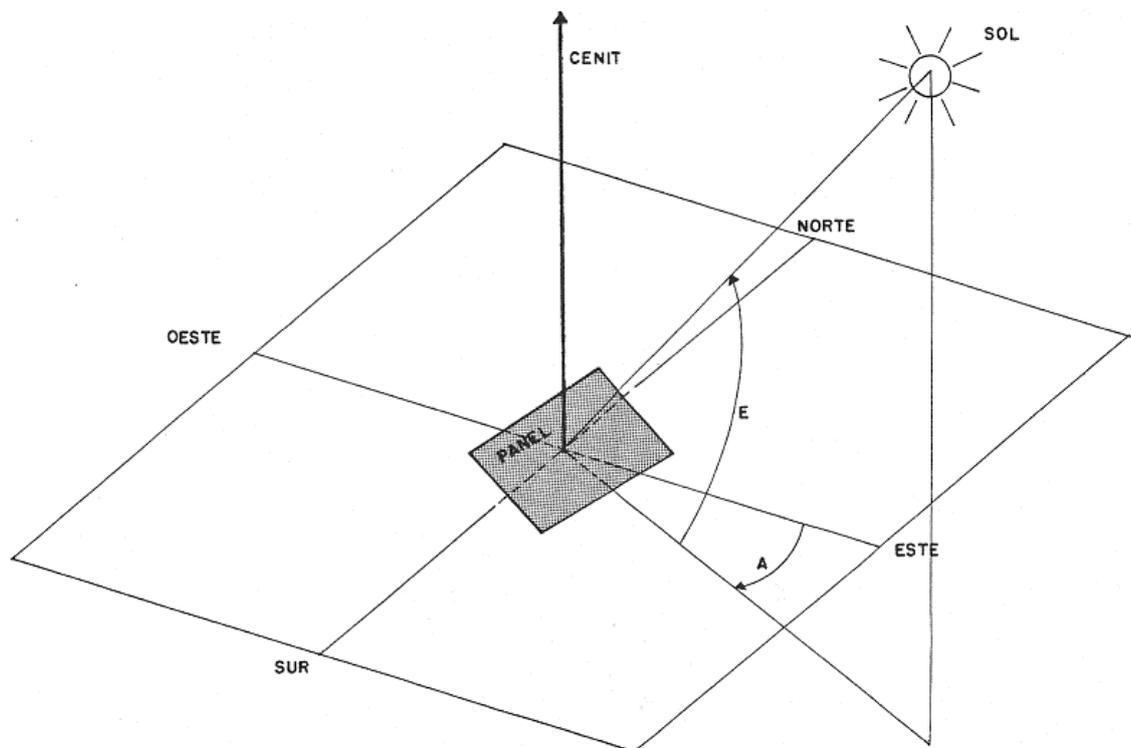


FIGURA 1.2 PANEL EN POSICION PERPENDICULAR AL SOL

Cabe señalar que  $\text{Cos } \delta$  y  $\text{Cos } E$  son siempre positivos ya que  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  y  $0^\circ \leq E \leq 90^\circ$ , por tanto el signo de  $\text{Sen } A$ , esto depende directamente de  $\text{Sen } H$ .

Para el cálculo de  $\text{Sen } A$  se recurre también a las series de TAYLOR, de manera similar a la obtención de  $\text{Sen } E$ .

Dichos cálculos se encuentran explicados en detalle en el Capítulo III.

## 1.4. ÁNGULO DE DECLINACIÓN TERRESTRE

Es perfectamente conocido el hecho de que la tierra se encuentra inclinada en el espacio en una dirección y que siempre mantiene dicha inclinación durante su viaje alrededor del sol, según se observa en la figura N° 1.3.

Justamente el origen de las cuatro estaciones radica en este hecho y esto explica porqué en los polos existe iluminación durante seis meses y oscuridad los otros meses del año.

Esta incidencia de la declinación terrestre con relación a la iluminación del sol y que es más notoria en los polos, afecta también a los diferentes puntos del globo terráqueo, en mayor o menor grado de acuerdo a la latitud del lugar y de acuerdo a la fecha.

En la figura N° 1.4. , se puede observar con respecto a la radiación solar de acuerdo a la época del año. No obstante el hecho de que la tierra mantiene siempre su declinación constante en su recorrido alrededor del sol, para efectos de la radiación, el ángulo de declinación varía en el rango de  $-23.5^{\circ}$  y  $+23,5^{\circ}$ .

### TRAYECTORIA DE LA TIERRA AL REDEDOR DE SOL

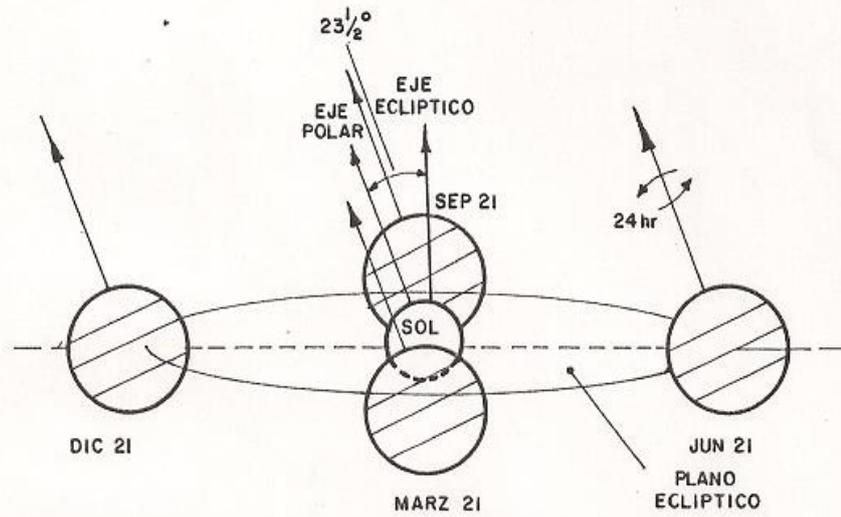


FIGURA 1.3

### VARIACION DEL ANGULO DE DECLINACION DURANTE EL AÑO

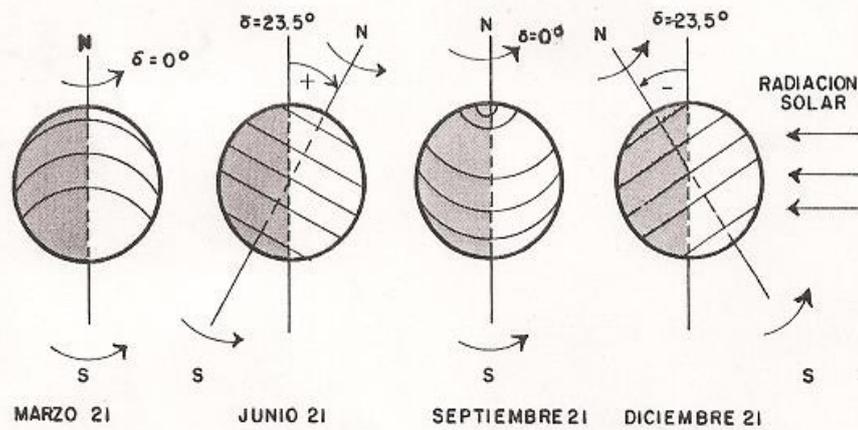


FIGURA 1.4

La declinación terrestre varía de manera sinusoidal, alcanzando su máximo valor el 21 de junio y su mínimo, el 21 de diciembre, correspondiente al Solsticio de Verano e invierno, respectivamente.

En los días 21 de Marzo y 21 de Septiembre, correspondientes a los Equinoccios de primavera y otoño, la declinación es nula.

Esta variación sinusoidal de la declinación terrestre se aprecia en la figura N° 1.5

#### VARIACION SINUSOIDAL DE LA DECLINACION TERRESTRE

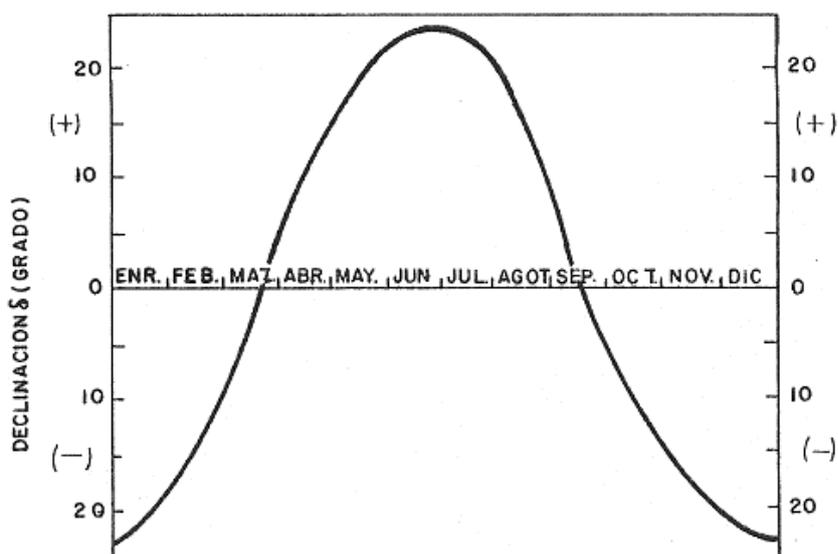


FIGURA N° 1.5.

La ecuación que permite el cálculo del ángulo de Declinación es la siguiente:

$$\delta \text{ (grados)} = 23,25 * \text{SEN}(N(72/73))$$

Donde:

N es el número del día del año. Se considera que N toma un valor nulo para el 22 de Marzo y de 364 para el 21 del mismo mes.

Puesto que para los cálculos matemáticos del microcomputador se requiere trabajar en radianes, la expresión utilizada en los cálculos es la siguiente:

$$\delta \text{ (rad)} = 0,409 \text{ Sen } (0,0172 N)$$

## 1.5. HORA LOCAL

El ángulo horario que aparece en las expresiones para el cálculo de Sen E y Sen A, viene dado por la siguiente expresión:

$$H(\text{grados}) = 15^\circ(T + K)$$

Donde:

- T es la hora local dada en grados; y,
- K es una constante que permite corregir de referencia de la hora local T y el meridiano correspondiente al sitio donde se encuentra ubicado el sistema de seguimiento, ya que no necesariamente coinciden.

Para determinar el valor de K, debe recordarse que la hora oficial de la República del Ecuador, viene dada con referencia al Huso Horario 5 correspondiente a la longitud  $75^{\circ}$ (oeste), mientras que la longitud de la ciudad de Guayaquil es  $79.53^{\circ}$ (oeste), por tanto existe una diferencia de  $4.53^{\circ}$  entre ambos meridianos, equivalente a 18 minutos, 7.2 segundos.

Esto se aprecia mejor con el siguiente ejemplo:

Al medio día el sol se encuentra directamente sobre las personas, es decir que éstas no proyectan ninguna sombra si se encuentran de pie.

Cuando la hora oficial del Ecuador es 12h00, en Guayaquil, el sol no se encuentra directamente sobre las personas; lo estará exactamente  $18'7.2''$  mas tarde, por tanto la constante K tiene signo negativo ya que existe un retraso en cuanto a la hora y su valor es  $-4.23^{\circ}$  correspondiente a la diferencia de ambos meridianos.



nomenclatura de COMPLEMENTO – 2 en las operaciones matemáticas del microcomputador.

Esta palabra de información así definida, será utilizada por los programas para almacenar también datos tales como:

- I. Ángulos en radianes
- II. Sen X, Cos x, Tan X.

Donde X puede ser el ángulo de elevación, de Azimut, de declinación, etc., de acuerdo al cálculo que se ejecute.

## **C A P I T U L O II**

### **DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se procede a realizar un análisis detallado en lo referente al hardware del sistema.

Se describe inicialmente a manera de Diagrama de Bloques el sistema de seguimiento, que está basado principalmente en el SDK 80-85, por tanto se procede a continuación a realizar un estudio detallado del mismo, en lo referente a su arquitectura, componentes, mapa de memoria y la expansión que es necesaria implementar para poder manejar las memorias RAM 2114 A-5 y el EPROM 2732-A, en el cual están grabados los programas desarrollados en la presente tesis.

Finalmente se analiza todo lo referente al equipo periférico, esto es, el reloj externo asociado a la interrupción RST 6.5, la interfase digital y la parte de potencia. Se describe además la forma como se realiza el acoplamiento de los motores de paso que mueven la placa que simula un panel solar.

## 2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA

El Diagrama de Bloques del Sistema se encuentra dibujado en la figura N° 2.1., se observan los diferentes bloques cuyas funciones van a ser detalladas a continuación.

Por medio del teclado se ingresa la fecha, hora, etc. El indicador visual correspondiente al campo de datos y direcciones despliega los mensajes de ingreso de datos, de error y finalmente la hora. Una vez que el sistema ha recibido toda esta información, comienza a ejecutar los programas grabados en la memoria EPROM 2732-A cuyo direccionamiento se lleva a cabo por medio de la expansión de memoria implantada con tal fin. Se observa en la parte inferior el reloj externo, el cual envía pulsos cada minuto al microprocesador a través de la señal de interrupción RST 6.5, lo que permite la actualización del reloj interno del sistema.

Se observa a la derecha la interfase digital que tiene la función de generar una secuencia digital para el control del movimiento así como también el sentido de giro de los motores de paso.

Esta interfase actúa finalmente sobre 8 transistores que manejan los motores según se puede observar en la figura N° 2.1.

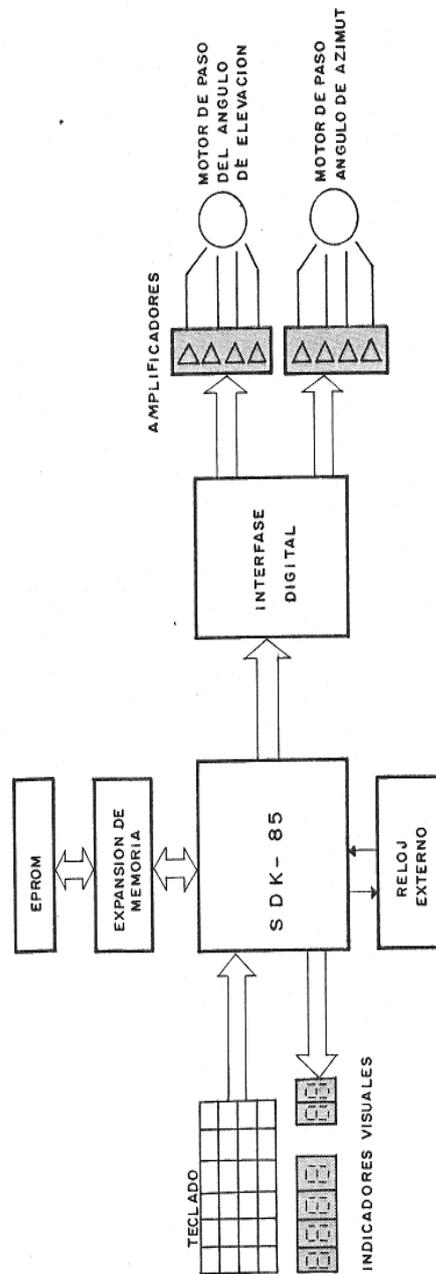


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA

### 2.3. ANÁLISIS DEL MICROCOMPUTADOR SDK 80-85

Para el desarrollo del sistema del seguimiento al sol se ha escogido el microcomputador SDK 80-85 debido a las importantes características y ventajas que introduce; tales como un alto nivel de integración, esto es, un sistema constituido, por pocos circuitos integrados, alta velocidad de operación, puertas de entrada y salida, interrupciones y especialmente la versatilidad y potencialidad del Software.

El SDK 80-85 está basado fundamentalmente en el microprocesador de 8 bits 80-85 A que opera con un cristal de 6,144 Mhz.

La unidad de procesamiento central 80-85 A y posee la particularidad de compartir la barra de datos con los 8 bits menos significativos de la barra de direcciones, mediante una multiplexación en tiempos. Esto permite un direccionamiento de memoria de 64Kbytes, no obstante estar constituido este circuito integrado por sólo 40 pines.

El Diagrama de Bloques del microcomputador SDK 8085 se observa en la figura N° 2.2.

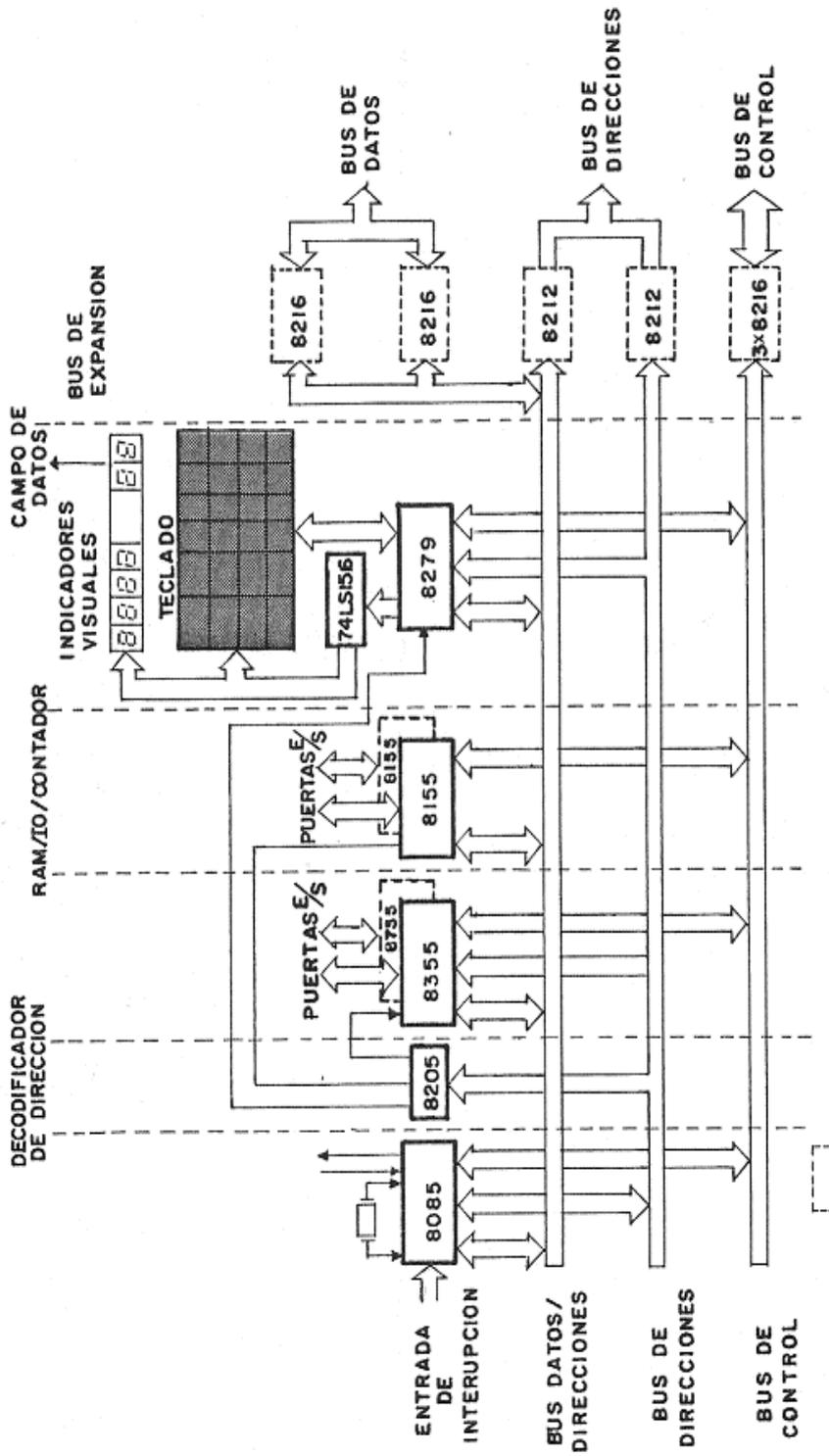


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SDK - 8085  
FIGURA 2.2

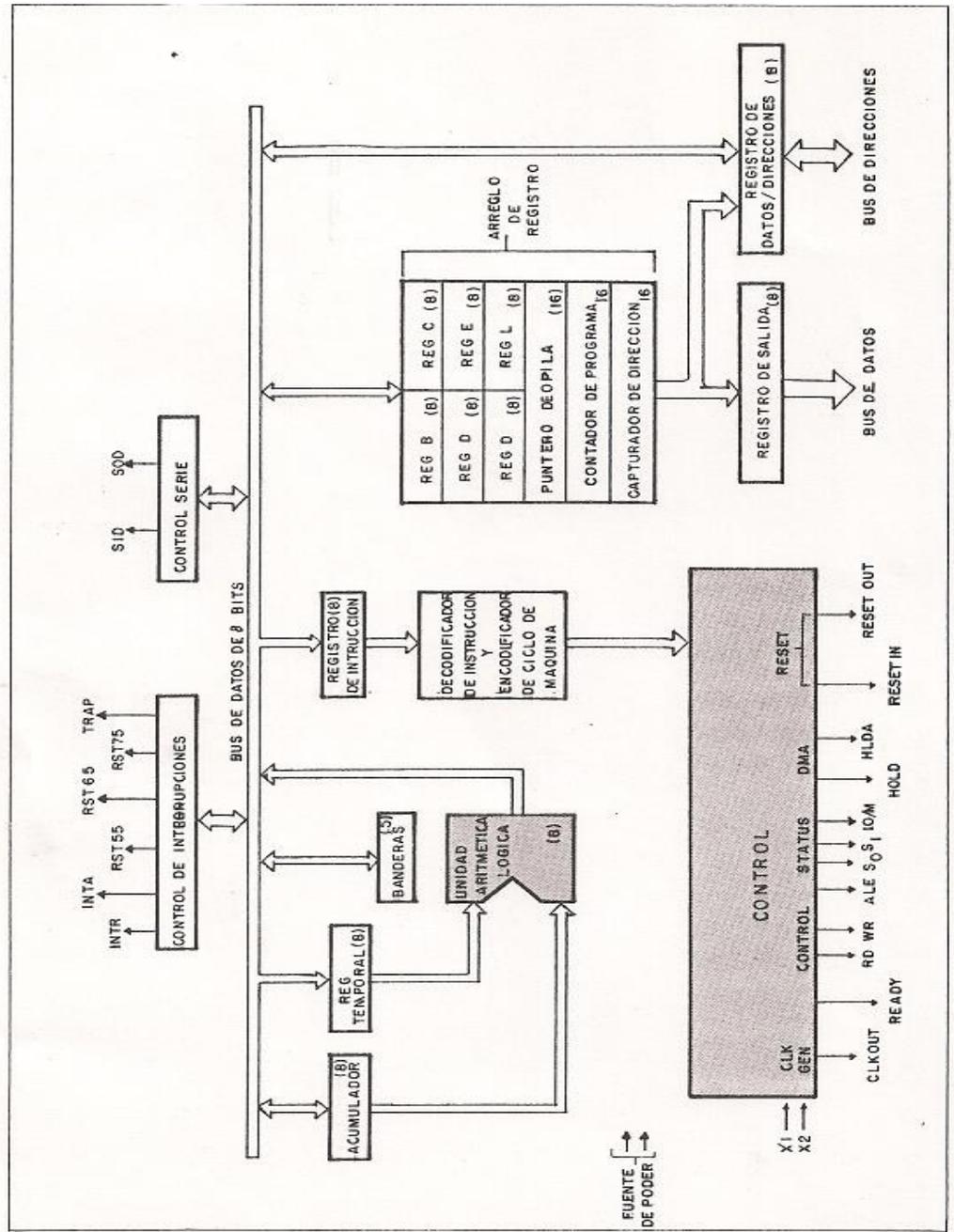
El sistema tiene como soportes básicos, una pastilla de memoria de lectura solamente (ROM) con puertas de entrada y salida 8355 (8755); una pastilla de memoria de acceso aleatorio (RAM) con puertas de entrada y salida 8155 y finalmente el circuito integrado 8279 que es un controlador de pantalla y teclado que permite acoplar el 8085A, con el teclado y a la vez controlar la unidad de despliegue visual constituida por seis indicadores visuales.

Cada uno de estos circuitos integrados son compatibles con el 8085A; es decir, tiene la capacidad de multiplexear la barra de datos con la barra de direcciones.

En la figura N° 2.3., se observa un Diagrama de Bloques del 8085A. Este microprocesador posee registros internos cuyo acceso es similar al de localidades de memoria.

Siete de ellos son de propósito general, esto implica que el programador puede almacenar temporalmente valores en dichos registros como resultado de operaciones lógicas o aritméticas. Para simplificar su programación se los ha denominado registros A, B, C, D, H, y L, conociéndose al primero como Acumulador, porque puede almacenar o acumular resultados provenientes de la unidad aritmética lógica (ALU), o de periféricos externos tales como sensores, interruptores, convertidores analógico-digitales, etc. El contenido del acumulador también puede ser

FIGURA Nº 2.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MICROPROCESADOR 8085 A



enviado hacia dispositivos externos tales como convertidores digital – analógicos, relays, impresoras, etc. El control de los motores de paso en el presente trabajo se ejecuta en base a esta última característica, a través de la instrucción OUT.

Otro registro de interés es el registro de las banderas; cinco en total: dos para transporte y tres para paridad, signo y para el cero. La importancia de este registro radica en que el 8085A puede ser programado para investigar el estado de cada una de ellas por medio de instrucciones condicionales.

Existen además tres registros denominados: registro de almacenamiento de instrucción, registro puntero de pila definido este en la memoria de acceso aleatorio; y finalmente el contador de programa, el cual almacena la localización de la próxima instrucción para ejecutar.

En lo referente a instrucciones, el 8085 posee 246 instrucciones diferentes, éstas podrían clasificarse de acuerdo a su naturaleza en cinco grupos:

1. Instrucciones de transferencia de datos.
2. Instrucciones lógicas y matemáticas.
3. Instrucciones de ramificación o de transferencia de control.
4. Instrucción de entrada/salida.

## 5. Instrucciones de interrupción y miscelánea.

En lo referente a la puesta en marcha del sistema, cuando es energizado el microcomputador, la entrada de RESET del microprocesador es encerrada automáticamente mediante una red R-C; esto implica que el controlador de programas se encera de tal forma que la primera instrucción a ejecutarse se encuentra en la dirección 0000 correspondiente a la memoria de lectura solamente 8355. en este circuito de 2K bytes de memoria, se encuentra grabado el programa monitor. Este integrado posee además 16 líneas de entrada y salida.

Los programas que son introducidos a través del teclado, se almacenan en la memoria de acceso aleatorio 8155, con capacidad de 256 bytes de almacenamiento, 22 líneas programables de entrada y salida así como también un contador programable de 14 bits.

## 2.4. EXPANSIÓN DE MEMORIA DEL MICROCOMPUTADOR SDK-80-85

La técnica de direccionamiento decodificado es utilizada para acceder las diferentes memorias de tal forma que sea el propio decodificador quien seleccione linealmente el componente deseado. En el caso del SDK 80-85, el decodificador empleado es el 8205 que puede seleccionar 8 integrados o memorias diferentes.

La capacidad de direccionamiento del SDK 80'85, es de  $2^{16} = 65.536$  bytes de memoria, que en terminología de computadora equivale a 64 K bytes, puesto que 1 K byte = 1024 bytes.

El decodificador 8205 permite direccional 8 K bytes; es decir, desde la localidad de memoria 0000 hasta la 3FFF. La tabla 2.1, muestra la salida de habilitación para cada dispositivo, al mismo tiempo se especifica el espacio de memoria abarcado por cada línea de selección (CS) junto con el dispositivo seleccionado.

**TABLA 2.1.**

**SEÑALES DE HABILITACIÓN DEL DECODIFICADOR B205**

<b>DISPOSITIVO SELECCIONADO</b>	<b>SALIDA</b>	<b>RANGO DE MEMORIA ACTIVA</b>
CS0	0000 – 07FF	ROM 8355 (MONITOR)
CS1	0800 – 0FFF	EPROM 8755 (EXPANSIÓN)
CS2	1000 – 17FF	NO CONECTADO
CS3	1800 – 1FFF	8279 (CONTROLADOR DE PANTALLA Y TECLADO)
CS4	2000 – 27FF	RAM 8155 No.1
CS5	2800 2FFF	RAM 8155 No. 2
CS6	3000 – 37FF	NO CONECTADO
CS7	3800 – 3FFF	NO CONECTADO

En la figura 2.4., se ha desarrollado el mapa memoria del microcomputador SDK 80-85. Los espacios marcados **abiertos**, son libres para expansión.

El primer integrado que puede ser seleccionado es el 8355 a partir de la dirección 0000; luego viene el espacio reservado para una memoria borrrable programable de lectura solamente, el EPROM 8755 de 2K bytes de almacenamiento.

El programa desarrollado en la presente tesis, abarca casi 3 K bytes de memoria, superior a la capacidad del 8755, por tanto este dispositivo no fue utilizado para la grabación final de los programas.

Los espacios de memoria asignados como abiertos correspondientes a las señales de dirección 2, 6 y 7 del decodificador 8205, son libres para expansión, pero se requiere que los circuitos conectados a tales localidades sean compatibles con el 80-85 en lo referente a la multiplexación de la barra de direcciones así como también compatibilidad de tiempos de acceso. Los circuitos que cumplan las exigencias anotadas, pueden ser conectados directamente a tales localidades sin la necesidad de recurrir a ninguna circuitería adicional.

El direccionamiento de selección 3, corresponde al controlador de teclado e indicadores visuales 8279. Las selecciones 4 y 5 son

destinadas a dos memorias de acceso aleatorio 8155, la segunda es

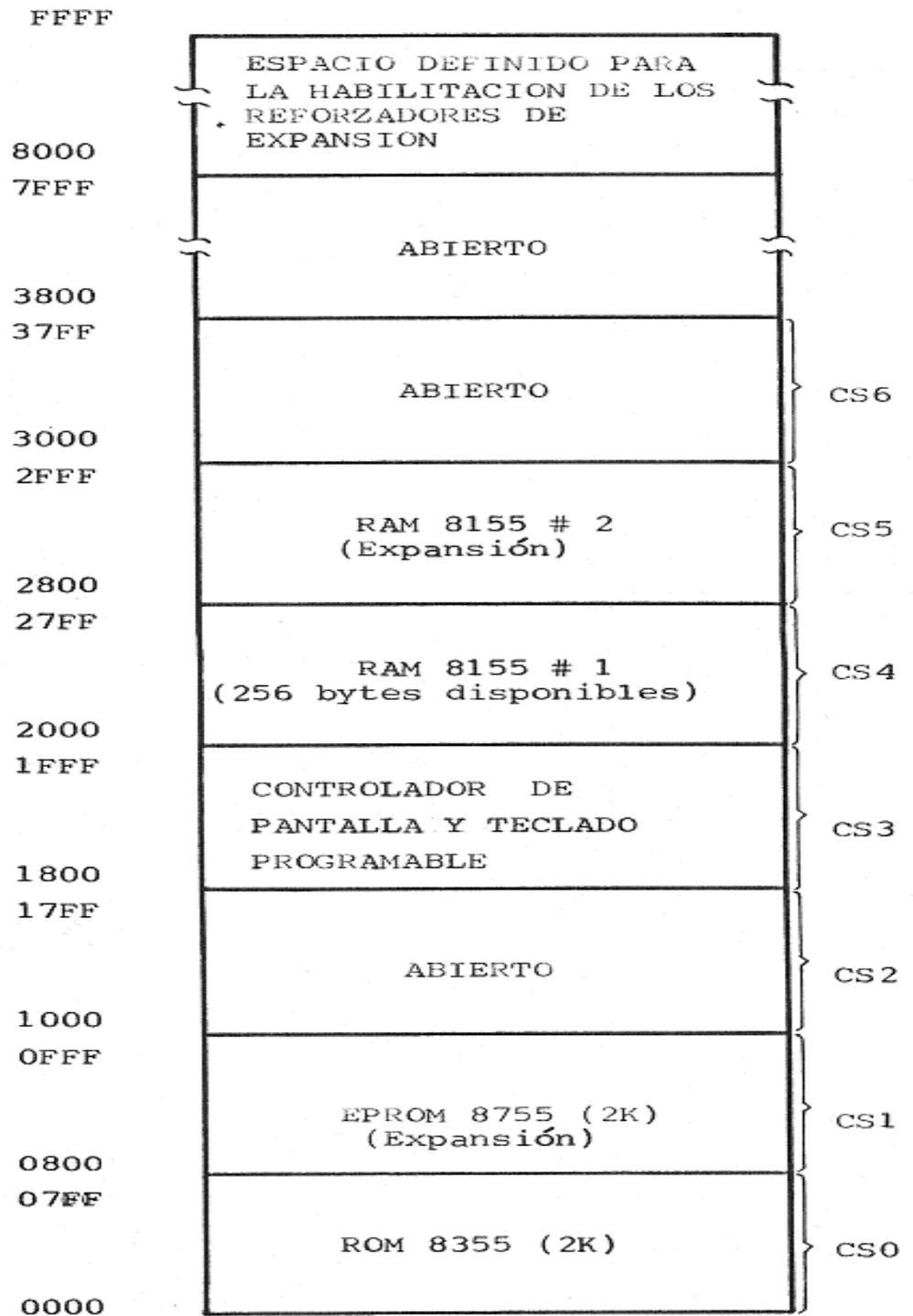


FIGURA 2.4 MAPA DE MEMORIA DEL SDK-8085

denominada de expansión. En el SDK 80-85 existe el espacio físico para la conexión de esta última memoria.

Adicionalmente son libres para expansión 18 K bytes disponibles desde la localidad 4000 hasta la 7FFF. Se requiere necesariamente introducir una circuitería adicional para acceder dicho espacio de memoria, ya que ni el decodificador 8205, ni la barra de expansión tienen acceso a dichas localidades.

Finalmente, existe el espacio de memoria donde son habilitados los reforzadores de expansión constituidos por cinco integrados 8216 que son reforzadores y elevadores de corriente bidireccionales de barra de 4 bits. Tres de ellos son destinados a reforzar la barra de control del 8085 A y los otros dos restantes hacen lo propio con la barra de datos.

Forman también parte del circuito de barra de expansión, dos circuitos integrados 8212, que son reforzadores unidireccionales de barra de 8 bits. El primero cumple la función de demultiplexar la barra de datos / direcciones, reforzando además de esta manera los 8 bits menos significativos de la barra de direcciones.

El segundo 8212 es el encargado de reforzar los 8 bits más significativos de la misma barra.

Cabe señalar que la expansión de memoria se habilita únicamente a partir de la dirección 8000, debido al hecho que se requiere que el bits  $A_{15}$  de la barra de direcciones sea igual a uno.

La expansión de memoria del SDK 80-85, se hace necesaria en parte, debido al hecho de que la memoria de acceso aleatorio disponible originalmente es de 2 x 256 bytes. Si se considera que parte de esta memoria es reservada por el programa monitor y otra parte es utilizada para la definición de la pila, se puede concluir que realmente se dispone de menos memoria útil. Además, la ejecución de un programa extenso, sujeto a cambios y mejoras durante su elaboración como es el caso del presente trabajo, requiere de una memoria de mayor capacidad, pues sólo cuando el programa trabaja eficazmente, es decir, se han eliminado todos los problemas de orden lógico, es cuando se puede proceder a grabar dicho programa en la memoria EPROM2732A.

Otro factor todavía de mayor fuerza que determina la necesidad de recurrir a la expansión de la memoria para el manejo del 2732A, es el hecho ya mencionado que el programa elaborado en la presente tesis ocupa aproximadamente 3K bytes, superior a la capacidad del EPROM 8755 (2K bytes), que puede ser conectado directamente al SDK 80-85, sin necesidad de recurrir a la expansión de la memoria.

Una ventaja que introduce la expansión de memoria es que permite la demultiplexación de la barra datos/direcciones, de tal forma que pueden

ser conectadas memorias conocidas y accesibles en el mercado tales como la 2114, 2716A, 2732A, etc., pues estas no son directamente compatibles con el 8085A, debido a que no multiplexan la barra datos/direcciones.

Adicionalmente, la circuitería de expansión suministra una mayor capacidad de manejo de corriente, tanto a la barra de datos como a la barra de direcciones por medio de los integrados 8212 y 8216, de tal manera que puede manejar integrados pertenecientes a diferentes familias lógicas y que requieren de mayor suministro de corriente como es el caso de la popular familia lógica TTL.

La expansión de memoria para lectura y escritura tendrá un tamaño de 2K palabras por 8 bits cada una. Se ha seleccionado la memoria 2114A-5, la cual posee una capacidad de 1K palabras por 4 bits cada una. Esto implica que se requieren cuatro de estos integrados para alcanzar la capacidad mencionada.

Esta memoria ha sido seleccionada para ser directamente compatible con la familia lógica TTL en todos los aspectos, tales como manejo de carga, velocidad de respuesta, polarización, etc. Otro factor de elección lo constituye su popularidad a nivel comercial, así como también su costo relativamente bajo.

En la figura 2.5., se ilustra la configuración de pines y el símbolo lógico de la memoria 2114A-5. Los pines  $A_0 - A_9$  corresponden a las entradas de dirección, que permiten la selección de las 1024 palabras contenidas por dicha memoria.

Los pines  $I/O_1 - I/O_4$ , corresponden a la entrada y salida de datos. Debido a que cada palabra posee sólo cuatro bits, es necesario conectar dos pastillas 2114A-5 en paralelo para poder formar un banco de 1K por 8 bits.

Existen dos señales de control para dicho integrado. La señal de selección CS y la señal WE, ambas con lógica negativa.

Si se requiere trabajar con la memoria 2114A-5, ya sea en modo de lectura o escritura, es necesario que la señal de selección CS, se encuentre en nivel de voltaje bajo; es decir, verdadera desde el punto de vista lógico. En tales circunstancias, la memoria abandona el estado de alta impedancia y el modo de lectura o escritura depende del estado de la señal WE. Si esta señal se encuentra en nivel de voltaje bajo, entonces se produce el proceso de escritura en la memoria.

Si la señal WE es falsa, es decir, se encuentra en nivel de voltaje alto, entonces se produce el proceso de lectura de la memoria.

Cuando la señal CS se encuentra en nivel de voltaje alto, la memoria entra en el estado de alta impedancia, característica que le permite conectarse a la barra de datos.

Esto se aprecia en la figura 2.5., de la memoria 2114A-5.

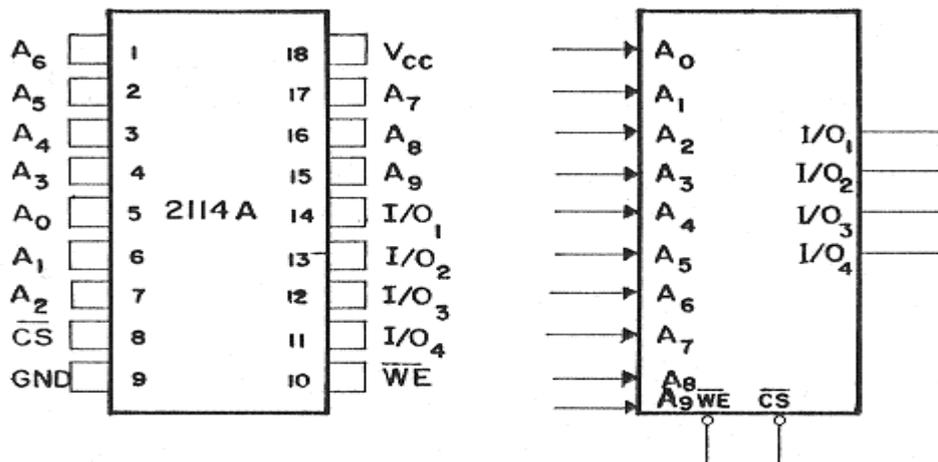


FIGURA N° 2.5. MEMORIA 2114A-5

Parte importante de la expansión de memoria la constituye también la memoria Borrable Programable Eléctricamente EPROM 2732<sup>a</sup>, en la que se encuentra grabado el programa desarrollado en la presente tesis. Su

capacidad de direccionamiento es de 4K palabras por 8 bits cada una de ellas, compatible con la familia lógica TTL.

Una importante característica introducida en esta memoria es que posee un control independiente de la etapa de salida, por medio de la señal OE/V<sub>pp</sub>, respecto de la señal de habilitación del integrado CE.

El modo de lectura se produce cuando ambas señales se encuentran en nivel bajo de voltaje.

En la figura 2.6., se ilustra la configuración de los pines y el símbolo lógico de la memoria 2732A.

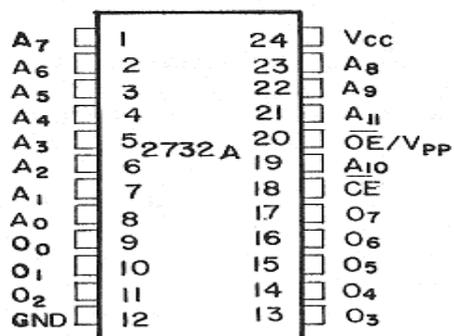
Los pines A<sub>0</sub> - A<sub>11</sub> corresponden a las 12 entradas de direccionamiento de las 4.096 localidades de memoria. Los pines 0<sub>0</sub>- 0<sub>7</sub> corresponden a la entrada y salida de datos.

La señal OE/V<sub>pp</sub> también cumple la función de recibir un pulso de voltaje durante el modo de grabación.

La memoria 2732A junto con las 2114A-5 forman en conjunto 6K bytes de expansión de memoria. Se requiere por lo tanto de un decodificador para la selección lineal de estos integrados.

El decodificador escogido para ello es el 74LS138, cuya configuración de pines y el símbolo lógico del integrado se encuentra en la figura 2.7.

CONFIGURACION DE PINES



SIMBOLO LOGICO

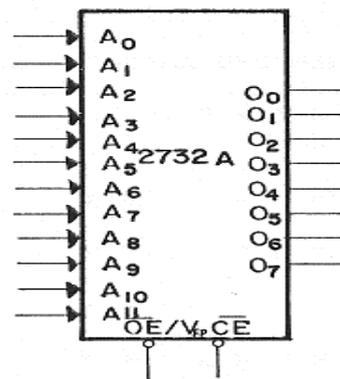
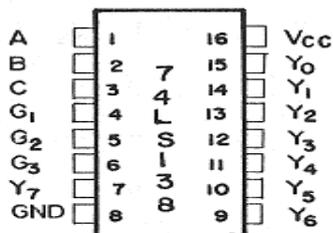


FIGURA 2.6 MEMORIA 2732 A

CONFIGURACION DE PINES



SIMBOLO LOGICO

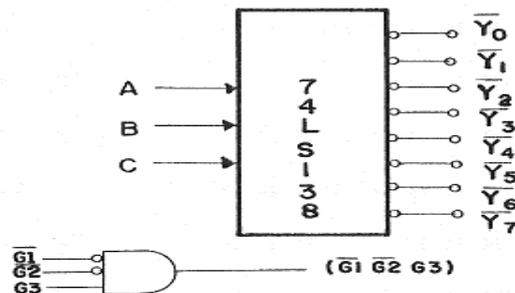


FIGURA 2.7 DECODIFICADOR 74LS138

El circuito integrado 74LS138, es un decodificador que genera una salida de 8 posibles. Acepta un código binario de 3 bits, denominados  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$ , que habilitan al integrado, en tales circunstancias se genera una salida exclusiva correspondiente al direccionamiento presente en las entradas C, B y A.

Las 8 salidas posibles  $Y_0 - Y_7$  operan con lógica negativa, por tanto, pueden ser conectadas directamente a los pines de Selección de Integrado (CS) de las distintas memorias.

En la tabla 2.2., se presenta el decodificador 74LS138. Este decodificador debe ser habilitado a partir de la dirección 8000 por lo tanto, el bit  $A_{15}$  debe formar parte de las señales de habilitación del mismo integrado.

Debido a que los dos bloques de memoria ram 2114A-5 poseen cada uno 1K byte de direccionamiento, se requiere un seleccionamiento del decodificador de bloques de 1K bytes de memoria.

En la tabla 2.3., se aprecia la representación de la barra de direcciones en las que se especifican las localidades de memoria que abarcará cada señal de habilitación del decodificador 74LS138.

El primer bloque de memorias 2114A-5, ocupará las direcciones 8000 – 83FF. El segundo bloque las direcciones 8400 – 87FF.







TABLA N° 2.4.  
SEGMENTO DE PROGRAMA TRASLADADO DE LA DIRECCION 8012 A LA 9012

DIRECCION (Ram)	INSTRUCCION (Hex)	CODIGO OP	DIRECCION (Eprom)	INSTRUCCION (Hex)
8012	1F	RAR	9012	1F
8013	4F	MOV C,A	9013	4F
8014	D2	JNC 8021	9014	D2
8015	21		9015	21
8016	80		9016	90

En principio se podría conectar la memoria 2732A de 4K bytes en las localidades adyacentes 8800 – 97FF, pero con la finalidad de facilitar la grabación final de los programas que originalmente son desarrollados y probados en las memorias 2114A-5, se han escogido las localidades 9000 – 9FFF para el direccionamiento de la memoria 2732A, ya que, para trasladar los programas escritos en las memorias 2114A-5 a partir de la dirección 8000.

En la tabla 2.4., se puede apreciar un segmento de programa escrito y ejecutado inicialmente en memoria ram, localidades 8012 – 8016, luego trasladado al EPROM 2732A, localidades 9012 – 9016.

Si se revisa nuevamente la tabla 2.3., se puede apreciar que los bits A<sub>15</sub>, A<sub>14</sub>, A<sub>13</sub>, permanecen constantes para el rango 8000 – 9FFF, por tanto, éstos pueden ser perfectamente utilizados como parte de la lógica

de habilitación del decodificador 74LS138. De esta forma, el producto formado por  $A_{15}$ ,  $A_{14}$ ,  $A_{13}$ , será conectado a la señal de habilitación  $G_1$ .

$$G_1 = (A_{15} A_{14} A_{13})$$

La señal de habilitación  $G_2$  será conectada al pin 10/M del microprocesador, lógicamente esta proveniente de la barra de expansión, lo cual permitirá la habilitación del decodificador siempre que el microprocesador seleccione en modo de memoria y además, dentro del rango 8000 – 9FFF.

$$G_2 = 10/M$$

Para la habilitación directa del decodificador al estar presentes las dos condiciones mencionadas, se requiere conectar a la fuente de 5 voltios, la tercera señal de habilitación  $G_3$ .

En base a lo analizado anteriormente, la salida de selección  $Y_0$  del decodificador direccionará el primer banco de memorias 2114A-5. La salida de selección  $Y_1$  direccionará el segundo banco de memorias.

Las salidas  $Y_2$  y  $Y_3$  quedan libres, por lo tanto es factible si se requiere posteriormente, agregar otros dos bancos de memorias 2114A-5. Puesto que las localidades escogidas para el EPROM 2732A abarcan 4K bytes de memoria, es necesario que el mismo se habilite cuando el

microprocesador direcciona en el rango de 9000 a 9FFF, es decir, la señal de habilitación CE de la memoria 2732A, corresponderá a la siguiente expresión lógica:

$$CE = (Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7)$$

Finalmente, de la tabla 2.3., se observa que el estado de los bits  $A_{12}$ ,  $A_{11}$  y  $A_{10}$ .

En este orden van progresando en forma binaria de 000 a 111, por tanto dichas señales pueden ir conectadas a las entradas C, B, A del decodificador. El esquema de conexión del decodificador 74LS138 viene dado en la figura 2.8.

Para la implementación se hizo uso de combinaciones de puertas lógicas Nand de tres entradas y de inversores en reemplazo de las puertas P y Q. El Diagrama del circuito de expansión de memoria se encuentra ilustrado en la figura 2.9.

A continuación podemos apreciar la figura 2.8 y la figura 2.9.

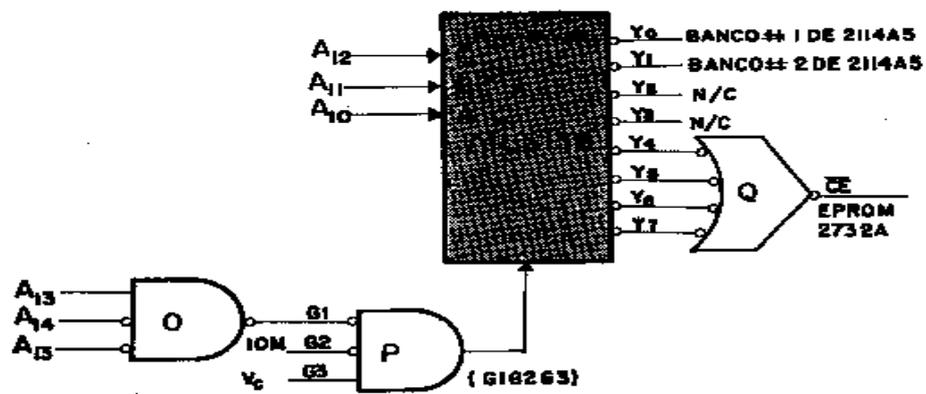


FIGURA N° 2.8. ESQUEMA DE CONEXION DEL DECODIFICADOR 74LS138

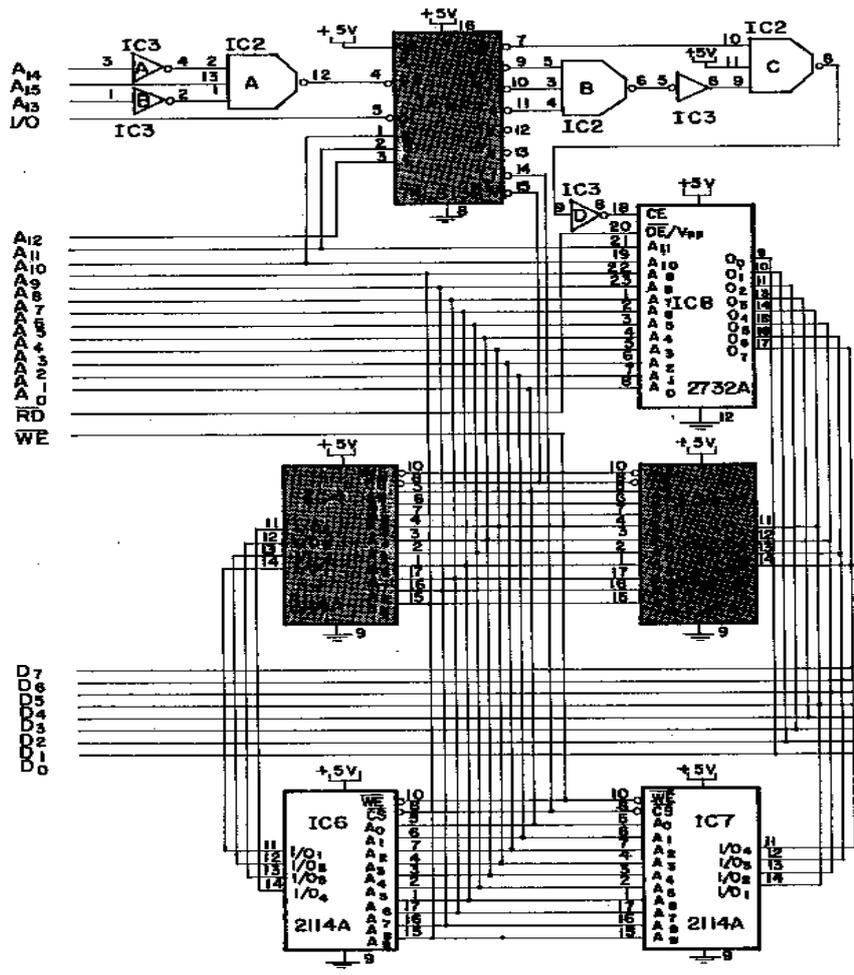


FIGURA 2.9 CIRCUITO DE EXPANSION DE MEMORIA

## 2.5. EQUIPO PERIFÉRICO

### 2.5.1. Entrada por interrupción

El reloj interno que permite el registro de la hora del día, necesaria para el cálculo de la posición del sol, está constituido por un contador T definido en las direcciones 2034 – 2035 correspondientes a la memoria 8155. Dicho contador se incrementa cada vez que se genera un pulso externo denominado MINUTO proveniente del circuito de reloj implementado para cumplir esta función.

Esta señal que se genera cada minuto, se conecta directamente a la señal de interrupción RST 6.5 del microprocesador 8085A, a través de la barra de expansión de memoria.

La señal RST 6.5 forma parte del sistema de interrupciones del microprocesador que está constituido además por las señales TRAP, RST 7.5, RST 5.5 e INTR.

Las tres primeras son destinadas a uso interno del SDK 8085 y la señal INTR requiere de una circuitería adicional para su utilización, por lo que se determinó la utilización de la señal RST 6.5 por simplicidad.

El sistema de interrupciones es muestreado en el flanco negativo de la señal de reloj del sistema, un ciclo antes de la finalización de la instrucción que se está ejecutando al momento de llegar a la interrupción en nivel alto, por lo menos 17 estados del reloj, esto debido a que la instrucción de mayor duración requiere de 18 estados.

Lo anterior no es válido para la señal RST 7.5 ya que esta interrupción es capturada por un F/F en el flanco de subida.

Cuando la señal MINUTO, conectada a la interrupción 6.5 se hace presente y además es reconocida, se produce en el microprocesador un salto a la dirección 0034 correspondiente al programa monitor grabado en el circuito integrado 8355.

La instrucción grabada en esa localidad es de salto a la dirección 20CB correspondiente a la memoria de acceso aleatorio 8155.

En esta localidad, el programa de seguimiento al sol graba durante la inicialización, la instrucción de salto a la localidad 99AO que corresponde a la Rutina de Interrupción, que se encarga de incrementar en un minuto, la hora interna del sistema, a la vez que actualiza los indicadores visuales de la hora. Una vez

atendida a la interrupción RST 6.5 el sistema retorna al programa principal.

Para la generación de la señal minuto, se utiliza un oscilador de onda cuadrada basado en el circuito integrado 4009 y una red R-C. La frecuencia de oscilación es de 0.033 Hz., es decir, se produce un flanco positivo cada 30 segundos. Se ha escogido 30 segundos en lugar de 60 segundos, debido a que esta frecuencia es luego dividida para dos por medio del circuito integrado 7474, según se observa en la figura 2.10.A.

#### 2.5.2. Salida de Enceramiento

Cada vez que una interrupción es reconocida por el microprocesador, se deshabilita el sistema de interrupciones; por lo tanto, si se hacen presentes nuevas interrupciones, éstas no serán reconocidas a menos que se tomen medidas al respecto.

Debido a lo anterior, al finalizar una rutina de servicio a una interrupción, se debe incluir la instrucción de Habilitación de Interrupciones EI, con la finalidad de habilitar nuevamente el sistema de interrupciones.

Este último análisis implica que la señal MINUTO conectada a la señal RST 6.5, no debe mantenerse en nivel alto durante mucho

tiempo debido a que al terminar la ejecución de la Rutina de Interrupción, el sistema vuelve inmediatamente a sensar las interrupciones y si dicha señal aún se encuentra en nivel de voltaje alto, ésta sería considerada como una nueva interrupción, lo que implicaría de nuevo la ejecución de la rutina mencionada, repitiéndose este proceso de manera indefinida. Lo cual produciría un efecto de cronómetro en los indicadores visuales de la hora, pues ésta estaría actualizada a una velocidad elevada.

Con la finalidad de evitar este problema, se ha incluido la Salida de Enceramiento SE, proveniente del pin  $A_0$  de la puerta 21.

Esta salida tiene como objetivo encerar la señal de reloj externo en la parte final de la rutina de interrupción, de tal forma que al retornar al programa principal, la señal RST 6.5 se encuentra en nivel bajo.

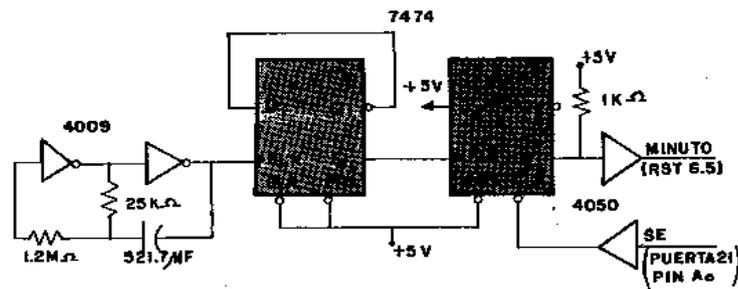
Para conseguir este objetivo, la señal de reloj proveniente del circuito oscilador es conectada a la señal de reloj del circuito integrado 7474 que es un dual F/F, tipo D.

Según se puede observar en la figura 2.10.A., la salida Q de éste F/F, se realimenta a la entrada D, de tal forma que la frecuencia de entrada es dividida para dos.

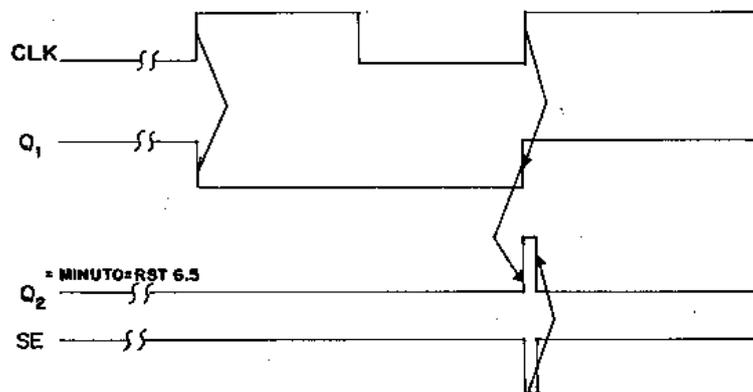
La salida  $Q_1$  se conecta a la señal de reloj del segundo F/F, cuya entrada D está punteada a la fuente de 5 voltios, de tal manera que se comporta este segundo F/F como un capturador de pulsos positivos.

La salida  $Q_2$  antes de ser conectada a la RST 6.5 pasa por el circuito integrado 4050 que es el encargado de acoplar las familias lógicas TTL y CMOS. La resistencia de valor 1K cumple la función de elevar el nivel de voltaje de salida en alto ( $V_{OH}$ ) del TTL.

La salida de enceramiento SE es conectada a la señal CLR del segundo F/F, de tal forma que cada vez que la señal minuto (RST 6.5) es de nivel alto, el microcomputador la encera a través de la Rutina de Interrupción, de esta forma se evita el problema antes mencionado. El Diagrama de Tiempos correspondiente se observa en la figura 2.10.B.



A. CIRCUITO DE RELOJ EXTERNO



B. DIAGRAMA DE TIEMPO DE LA SALIDA DE ENCERAMIENTO SE

FIGURA 2.10 CIRCUITO DE RELOJ Y DIAGRAMA DE TIEMPOS

Durante la puesta en marcha del sistema, el microprocesador fija en nivel bajo la señal SE, es decir mantiene encerado el F/F mencionado. Esto con el objetivo de evitar que durante el ingreso de datos tales como mes, día, etc., el oscilador envíe pulsos de interrupción. Una vez introducidos dichos datos, se deshabilita la señal SE, por tanto, el F/F queda habilitado.

### 2.5.3. Posicionamiento del motor de elevación

Los cálculos matemáticos que permiten la localización del sol en el firmamento tienen como objetivo principal controlar el movimiento de paneles solares o colectores térmicos de tal manera que éstos estén siempre perpendiculares al sol. De esta forma se consigue maximizar el aprovechamiento de la energía solar.

Se ha utilizado una pequeña placa metálica de dimensiones 10 x 6 cm<sup>2</sup>., con la finalidad de simular un panel solar. Esta placa es conectada por medio de un tornillo al motor de paso que controla el ángulo de elevación.

El motor bifilar de magneto permanente utilizado, se alimenta con una fuente de 12 voltios DC. Posee cuatro fases, cada una de 33 y el avance es de 1.8° por paso. Este tipo de motor es utilizado en las impresoras para computadoras. El rango de operación del ángulo de elevación puede variar entre 0° y 90°.

En la figura 2.11., se observa una fotografía del motor de paso utilizado para el control del ángulo de elevación. Así mismo, en el Apéndice C incluido en esta tesis, se encuentra información detallada sobre el funcionamiento de los motores de paso.

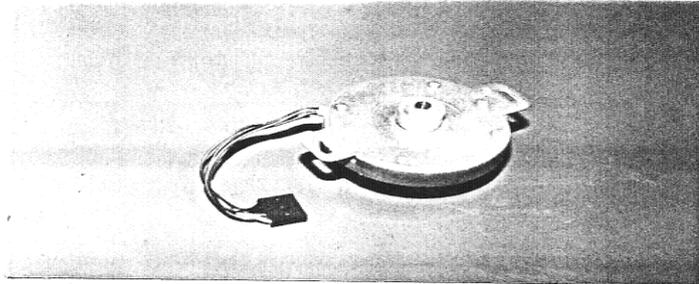


FIGURA N° 2.11. MOTOR DE PASO PARA EL CONTROL DEL ANGULO DE ELEVACION.

#### 2.5.4. Posicionamiento del motor de Azimut

El ángulo de Azimut definido en el Capítulo I de esta tesis, es por un segundo motor de paso. Este motor que abarca un radio de giro de 360 grados, está acoplado al motor que gobierna el ángulo de elevación de la placa metálica, según se puede apreciar en la figura 2.12.



FIGURA 2.12

ACOPLAMIENTO MECANICO DE LOS MOTORES  
DE ELEVACION Y DE AZIMUT.

El acoplamiento observado, permite un control preciso del movimiento de la placa, existiendo un control de giro en el sentido azimutal y otro en el de elevación, lo cual permite posicionar la placa de manera perpendicular al sol.

El motor de paso utilizado para el control del ángulo de Azimut es del tipo Bifilar, de magneto permanente; cuatro fases de 15 y un torque de 3,125 lb – pulg.

En las figuras 2.13., 2.14., y 2.15., se puede apreciar una secuencia del movimiento de la placa para tres diferentes horas del día.

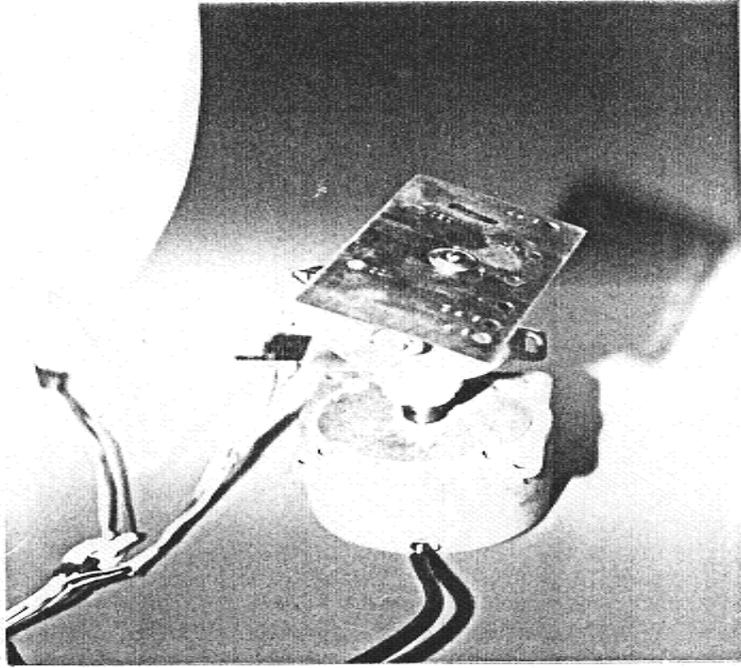


FIGURA 2.13

SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA

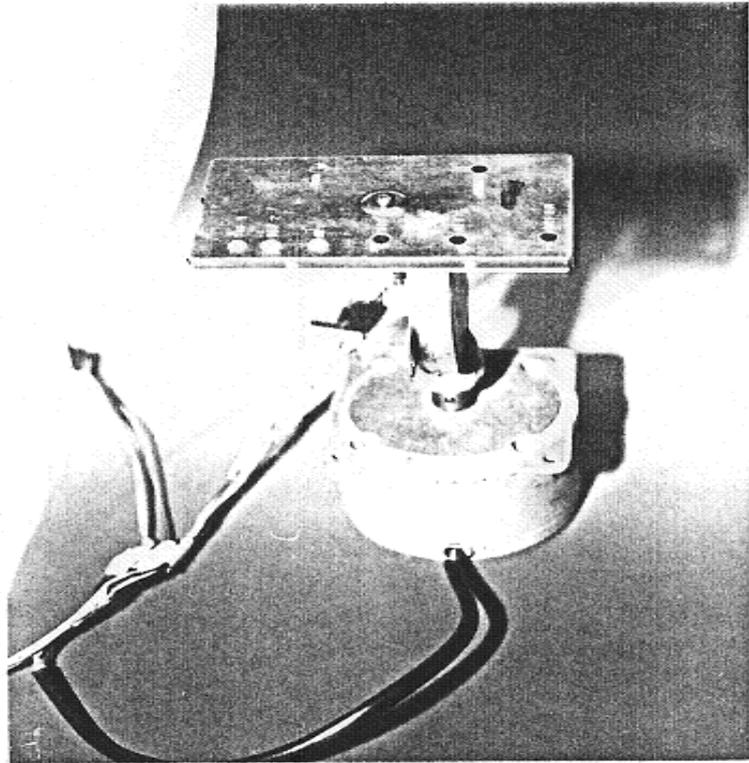


FIGURA 2.14

SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA

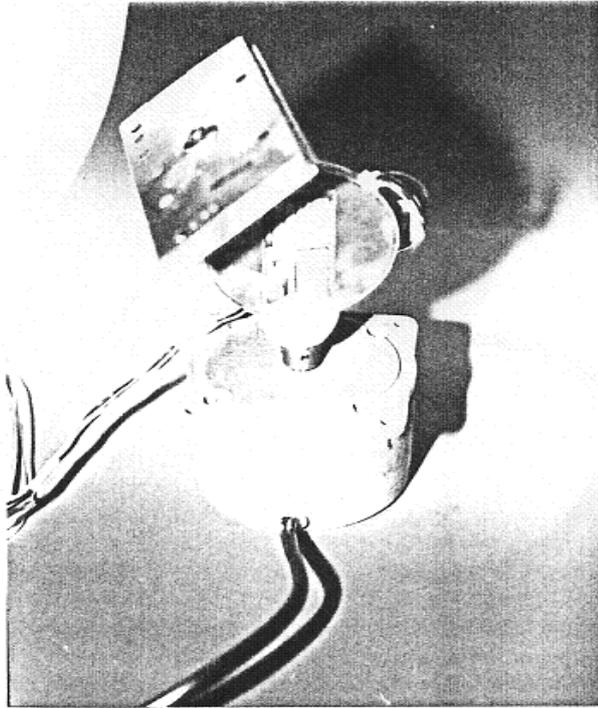


FIGURA 2.15

SECUENCIA DEL MOVIMIENTO DE LA PLACA

### 2.5.5. Interfase para los motores de paso

El movimiento de un motor de paso es controlado por la secuencia de pulsos aplicada a sus fases, de esta forma, es posible un control de:

- I. Avance discreto (paso a paso).
- II. Sentido de giro.
- III. Detención del movimiento.

En el Apéndice C, se determina que el avance discreto en un sentido de giro determinado viene dado por una secuencia, en este caso la secuencia A-B-C-D. Si se requiere detener el motor, es suficiente detener la secuencia. El cambio de giro se logra invirtiendo la secuencia mencionada.

En la figura 2.16., se observa un diagrama de tiempos para las fases A, B, C y D. Inicialmente el motor de paso se asume y se encuentra en el origen, luego se producen 7 pulsos en la secuencia A-B-C-D, lo cual implica 7 movimientos del motor en el sentido positivo; es decir, desplazada  $A + 12.6^\circ = 7 \times (1.8^\circ)$ .

FIGURA N° 2.16.

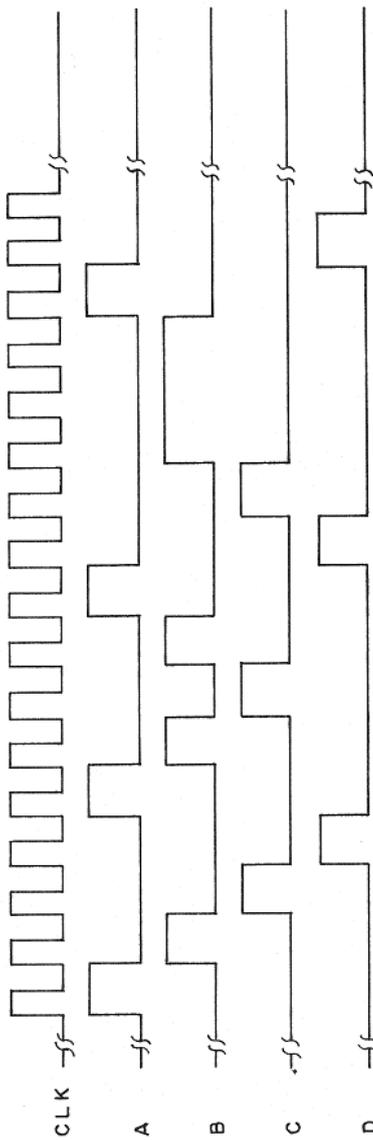


DIAGRAMA DE TIEMPOS DE LAS FASES A, B, C, D

A partir del octavo estado, se invierte la secuencia anterior durante cinco estados, lo cual implica que el motor ejecuta cinco movimientos pero en sentido negativo; es decir, regresa a  $+3.6^\circ$ .

Finalmente se producen dos pulsos más en la secuencia D-C-B-A, por lo tanto, el motor regresa al origen.

Para la generación de la secuencia de cada motor se ha utilizado un contador de décadas 74192 y un decodificador de BCD a decimal 7442. El contador 74192 es de cuenta ascendente o descendente, lo cual permite el control del sentido de la secuencia.

Puesto que la secuencia posee cuatro eventos, se requiere que el contador produzca ciclos de cuatro estados. La cuenta o secuencia escogida para el contador es 0-1-2-3. Esto se consigue, conectando la señal  $Q_c$  a la señal de encieramiento del contador, de tal forma que cada vez que el contador llega a cuatro ( $Q_c - 1$ ), éste se encera de inmediato.

Se requiere además que el contador en modo de cuenta descendente, sea capaz de generar la secuencia 3-2-1-0. Por ser un contador de décadas, de cero, pasa

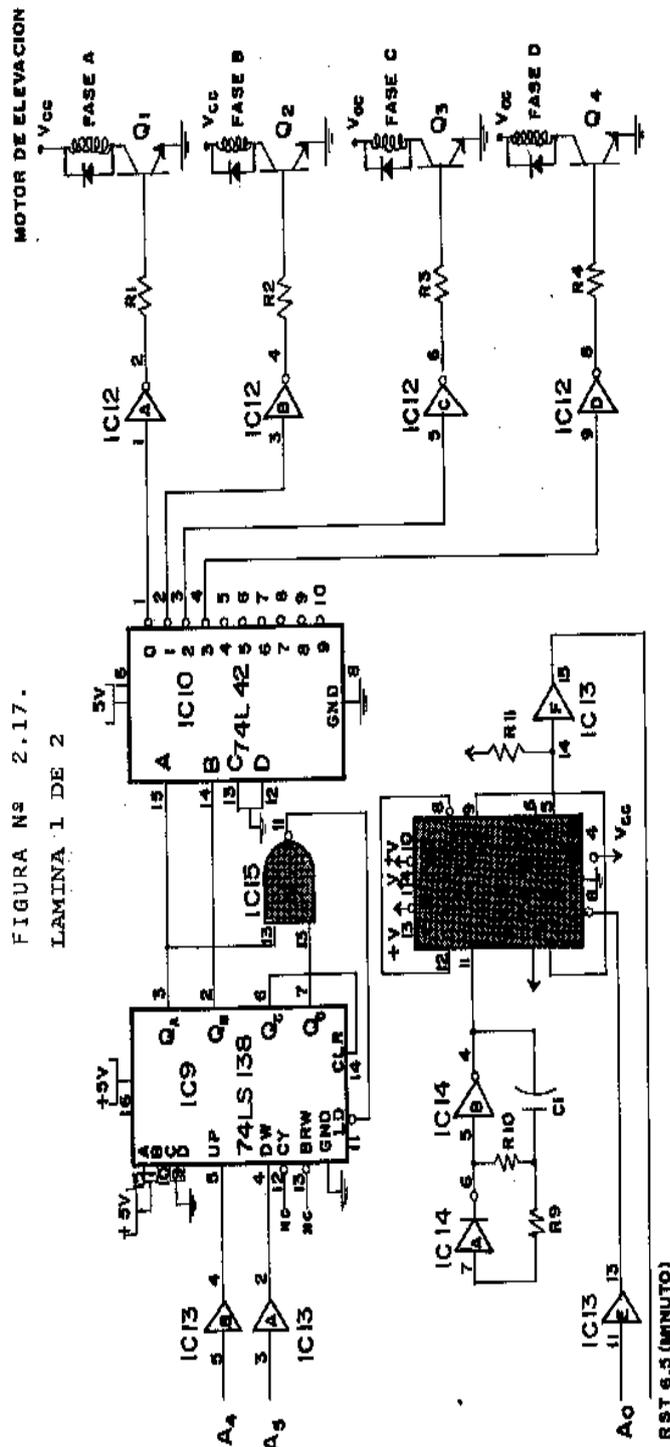
automáticamente a 9, diferente de 3, según se requiere; por lo tanto, se recurre a conectar  $Q_D$   $Q_A$  a una puerta Nand y esta a su vez a la señal de carga LD del mismo contador, de tal forma que cada vez que el contador pasa de 0 a 9, se carga el número 3, el cual está conectado a las entradas A, B, C, y D, según se puede apreciar en la figura 2.17.

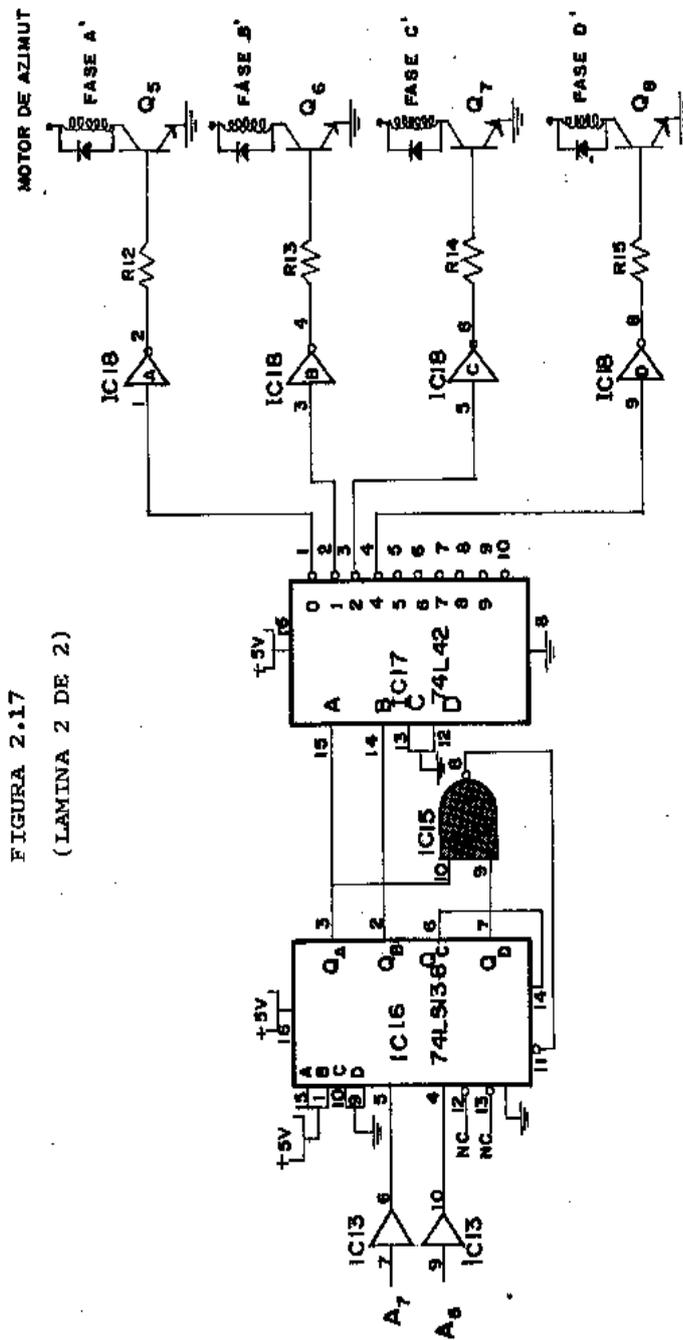
Las salidas  $Q_A$  y  $Q_B$  del contador son conectadas al decodificador 7442. Se conectan a tierra los dos bits más significativos  $Q_D$  y  $Q_C$ , puesto que se requiere controlar únicamente las salidas 0, 1, 2 y 3. De esta forma, en las cuatro salidas exclusivas del decodificador, se genera la secuencia deseada.

Puesto que estas cuatro salidas deben actuar sobre los transistores NPN que manejan el motor de paso, se requiere invertir la lógica del decodificador por medio de la puerta 7404, de esta manera se obtiene finalmente la secuencia mostrada en la figura 2.16.

Las señales de reloj del contador 74192 son las señales UP y DWN. En el estado de detención, ambas deben encontrarse en nivel de voltaje alto. Si se requiere el modo

de cuenta ascendente, los pulsos de reloj deben ser





INTERFASE DIGITAL

aplicados a la señal UP, permaneciendo en nivel alto, la señal DWN.

En cuenta descendente, la señal UP debe permanecer en nivel alto y los pulsos de cuenta se aplican a la señal DWN. La ventaja de la interfase introducida radica en que el microprocesador requiere únicamente de dos señales para el control de cada motor de paso.

Para el caso del motor de elevación, los bits  $A_7$  y  $A_6$  de la puerta 21 son los encargados de generar las señales UP y DWN. El motor de Azimut es controlado por los pines  $A_5$  y  $A_4$  de la misma puerta, según se puede observar en la figura 2.17.

Se puede apreciar que estas cuatro señales pasan previamente por el circuito integrado 4050, que es un seguidor elevador de corriente; es decir, permite acoplar las salidas CMOS del microcomputador con las entradas TTL de los contadores.

La interfase actúa finalmente sobre 8 transistores, los cuales suministran las corrientes necesarias para el control de cada fase, debido a que los TTL solamente son capaces de manejar corrientes del orden de los mA. Cada

transistor opera siempre en corte o en saturación, de tal formas que apagan o encienden las respectivas fases.

Para el manejo del motor de Azimut, se ha escogido el transistor TCG188, el cual puede suministrar corrientes de hasta 2 amperes, con un  $h_{fe} = 80$ .

El transistor multipropósito HEP SOO14 de 0.5<sup>a</sup> es destinado al motor de elevación, pues este requiere de menos corriente por fase. Para saturar el transistor TCG 188, se requiere de una corriente  $I_c$  tal que produzca una caída de 5 voltios en cada fase de 15, por tanto:

$$I_c = 5V / 15 = 0.33 \text{ A}$$

Puesto que:

$$H_{fe} = 80$$

Entonces:

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}} = \frac{0.33 \text{ A}}{80} = 4,1 \text{ mA}$$

Si se considera una caída de 0.6 V en la unión base – emisor y un  $V_{OH}$  típico de 3.6 V para la salida TTL:

$$I_b = \frac{(3,6-0,6)V}{R} = 4,1 \text{ mA}$$

$$R = \frac{4,1 \text{ mA}}{3V} = 1,36 \text{ K}\Omega$$

Para asegurar la saturación se escogió una resistencia menor de valor 1 K $\Omega$ . Se procede de manera similar para los transistores FEP SOO14. Se incluyeron 8 diodos de paso libre, uno por cada fase, esto para evitar el problema del di/dt elevado.

Adicionalmente, se han acoplado tres condensadores de paso libre con la finalidad de estabilizar el voltaje en la interfase ya que durante las transiciones del reloj y de los motores de paso, existen suministros transitorios de corrientes que pueden momentáneamente bajar el voltaje de la fuente y ocasionar problemas en la parte digital.

Los condensadores almacenan carga y tienden a suplir la baja de voltaje; esto permite el normal funcionamiento de la parte digital durante las transiciones. Los fabricantes de la familia lógica TTL, recomiendan conectar al menos un condensador de paso libre o también llamado de desacoplamiento de 0.01 a 0.1 microfaradio por cada cinco a diez pastillas del tipo puertas lógicas.

Un condensador por cada dos a cinco contadores o registros.

Estos condensadores deben tener los extremos o terminales, lo más cortos posibles, ser conectados entre la fuente y la tierra y lo más próximos a los integrados.

Se sugiere además el uso de un condensador de mayor valor, entre 1 y 10 microfaradios cuando se utiliza tarjeta o proto – borrador. Este condensador debe ir conectado al arribo de los cables de la tarjeta.

Estas reglas fueron aplicadas en la elección de los condensadores de desacoplamiento utilizados.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo principal el desarrollo de los programas que han sido introducidos con el fin de lograr el seguimiento al sol, de acuerdo con las consideraciones indicadas en los capítulos anteriores.

Los programas se encuentran grabados en el circuito integrado de memoria EPROM 2732A, en las localidades de memoria 9000 a 9BIA; es decir, se utilizan aproximadamente 3K de memoria en los programas.

El software está constituido por un maestro o principal y 25 rutinas de soportes, que pueden ser clasificadas de manera general en tres grupos:

1. Rutinas de adquisición de datos y manejo de los indicadores visuales del SDK – 85.
2. Rutinas de cálculos matemáticos y trigonométricos.
3. Rutinas de control de posición de los motores de paso.

Se reservan además 64 localidades de memoria RAM del círculo integrado 8155 para uso de las diferentes rutinas. En la tabla 3.1., se especifica la

dirección, el nemónico y las rutinas que reservan dichas posiciones de memoria.

Para la actualización del reloj interno de la hora que se basa de un contador denominado T, definido en la posición de memoria RAM, 2034-35, se utiliza la interrupción RST 6.5, la cual está asociada a una rutina de servicio denominada RUTINA DE INTERRUPCIÓN.

Se ha grabado en la memoria EPROM 2732 A, la única tabla utilizada por el sistema. Dicha tabla permite calcular el día N del año en base a la fecha ingresada considerando que N toma un valor nulo para el 22 de marzo y un valor de 364 para el 21 del mismo mes.

La tabla asocia a cada mes del año un número de días tal que se cumpla el patrón definido para N, ocupando 24 posiciones de memoria, siendo la dirección inicial 9902 y 9919 la final.

En la tabla 3.2., los días que aparecen en base decimal; los datos correspondientes que fueron grabados en código experimental se encuentran especificados en el Apéndice D.

El desarrollo del software del presente capítulo se inicia con el programa principal o general, luego se presentan los demás programas en orden cronológico de acuerdo a su elaboración.

LOCALIDAD DE MEMORIA	NEMONICO	RUTINA
2000-1	FIJO(Multiplicando)	MULTIPLICACION
2002-3	MOVIL(Multiplicador)	MULTIPLICACION
2004	CTAM(Contador )	MULTIPLICACION
2005	n (Potencia n)	EXPONENCIACION
2006	CTA-n(Contador de n)	EXPONENCIACION
2007	CTA-6(Cont. de Despl)	EXPONENCIACION
2008-9	X(Angulo en rad.)	SENX-P; COSX-P
200A-B	X' (Rrespaldo de X)	SENX-P; COSX-P
200C	SUBSEIS(Cont de Desp)	SEIS DESPLAZAM.
200D-E	$\delta$ (Declinación Solar)	VARIAS
200F-10	H (Angulo Horario)	VARIAS
2011-12	SEN $\delta$	VARIAS
2013-14	COS $\delta$	VARIAS
2015-16	SEN H	VARIAS
2017-18	COS H	VARIAS
2019-1A	SEN E	VARIAS
201B-1C	COS E	VARIAS
201D-1E	XX/2 (Sección de X)	SEN INVERSO X
201F-20	SEN 0	SEN INVERSO X
2026	N	NUMERADOR
2027	M	
2028	P	
2029	O	
202A	X	DENOMINADOR
202B	W	
202C	Y	
202D	Z	

TABLA 3.1  
 LOCALIDADES DE MEMORIA  
 DESTINADAS AL SOFTWARE  
 (LAMINA 1 DE 2)

LOCALIDAD DE MEMORIA	NEMONICO	RUTINA
202E-2F	COS H $\geq$ TAN $\delta$ / TAN L	SIGNO DE AZIM.
2030-31	HORA (BCD)	INTERRUPCION
2032-33	N (Día del Año)	CALC DELTA
2034-35	T (Hora Cod. Bin)	INTERRUPCION
2036-37	INDATO(Dato Ingres)	INGR. DATO
2038-39	A (Azimut Teórico)	POSIC. M. AZIM.
203A-3B	Areal(Azimut Real)	POSIC. M. AZIM.
203C-3D	Ereal(Elevac Real)	POSIC. M. ELEV.
203E-3F	E (Elevac. Teórico)	POSIC. M. ELEV.
20C2	PILA	PROG. PRINCIP.
20C8	Instrucción de Salto a Rutina de Interrup.	PROG. PRINCIP.

TABLA 3.1

LOCALIDADES DE MEMORIA  
DESTINADAS AL SOFTWARE  
(LAMINA 2 DE 2)

### **3.2. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL**

El Diagrama de Flujo General correspondiente al programa principal se inicia definiendo el puntero de la pila en la posición 20C2, inmediatamente se define como salidas los bits correspondientes a la puerta 21, que es la utilizada para el control de los dos motores de paso así como para la habilitación del reloj externo, inmediatamente se fijan en uno de los bits A7, A6, A5, y A4, con la finalidad de estar en la posición de sostenimiento en espera de pulsos de control.

A continuación se llama a la rutina INGRESO DIA – MES con la finalidad de ingresar al sistema la fecha actual y se procede de inmediato a llamar a la rutina INGRESO – HORA – MINUTO, que permite actualizar el registro interno de la hora.

Luego se habilita a la interrupción RST 6.5, utilizada para incrementar el reloj interno del sistema por medio de la rutina de interrupción.

Con la finalidad de evitar al usuario tener que introducir por teclado la dirección de salto de la rutina de interrupción, el programa procede previo a la habilitación de RST 6.5, a almacenar en la memoria RAM 8155, la dirección del salto correspondiente la rutina de interrupción, esto debido a que esta dirección, debe estar almacenada en la memoria RAM por especificaciones del programa monitor.

El siguiente paso consiste en almacenar ceros en los contadores Ereal Y Areal, que permitirán al sistema determinar la posición de ambos motores. Se almacena ceros inicialmente porque ambos motores se encuentran en las posiciones iniciales (revisar Manual del Usuario).

Para la determinación del ángulo de Elevación y del ángulo de Azimut, se requiere conocer el ángulo de Declinación Terrestre Delta; esto se realiza por medio de la rutina CÁLCULO ÁNGULO DELTA, luego de lo cual el sistema está en capacidad de realizar los cálculos para determinar el ángulo de Elevación y el ángulo de Azimut y por tanto posesionar los motores. Esto se lleva a cabo por medio de las rutinas POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACIÓN Y POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT, que son en si el corazón del desarrollo de software y que utilizan entre las dos, 16 de las 25 rutinas del sistema. El posicionamiento se lleva a cabo de manera alternativa, mientras exista luz visible, es decir mientras el ángulo de Elevación sea mayor que cero, en caso contrario el sistema vuelve a la posición de origen en espera de un nuevo amanecer.

El Diagrama de Flujo respectivo, se observa en la figura 3.1.

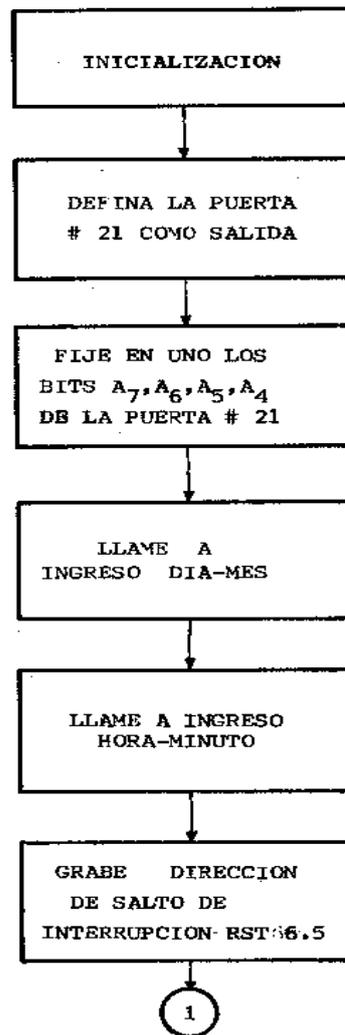


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL  
(LAMINA 1 DE 2)

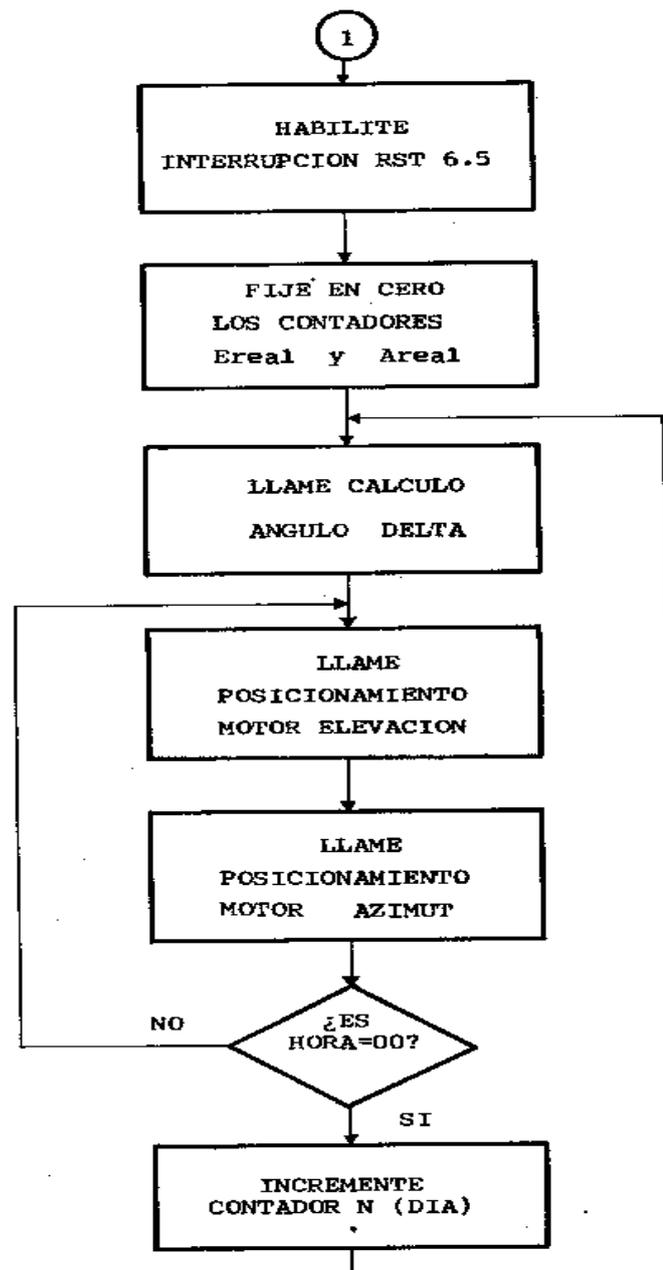


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL  
(LAMINA 2 DE 2)

Finalmente, cuando el sistema determina que son las cero horas, procede a incrementar el contador N de los días; pues, la declinación terrestre debe ser actualizada día a día. Esto le permite al sistema ser totalmente autónomo.

### **3.3. RUTINA INGRESO DE DATOS**

Esta rutina permite el ingreso del acumulador de datos tales como: el mes, el día, la hora, etc., por medio del teclado. Cada dato o tecla presionada será presentada de inmediato en el indicador visual correspondiente al campo de datos del microcomputador.

La salida de esta rutina se efectúa por medio de la tecla NEXT. Si hubiera error en la digitación, podrá de nuevo ser introducido el dato simplemente volviendo a digitar, ya que cada vez que se ingresa un dato, el dígito que aparece en el display de la derecha se desplaza al display de la izquierda y el dato ingresado aparece en el display derecho. Una vez hecha esta corrección se puede digitar la tecla NEXT.

Si se presiona la tecla NEXT no habiéndose previamente introducido ningún dato, el número que se almacena en el acumulador es el cero. La rutina de ingreso de datos se lo puede apreciar en la figura 3.2.

### 3.4. RUTINA INGRESO DIA/MES

Esta rutina está orientada a determinar el día (N) del año, ya que éste queda determinado con el ingreso del día y del mes, considerando que N toma un valor nulo para el 22 de marzo y un valor de 364 para el 21 del mismo mes.

Se solicita primero el ingreso del día, si éste es mayor que 31, entonces se genera momentáneamente un mensaje de error.

Una vez ingresado el día, el sistema lo convierte de BCD a su valor correspondiente en binario, con el fin de poder sumar más adelante el mes expresado en días pero en código binario y obtener N.

A continuación se solicita el ingreso del mes, en caso de que éste sea mayor que 12, se genera momentáneamente un mensaje de error.

Se verifica luego si el mes ingresado es el tercero; es decir el mes de marzo. De no ser así, en base al número del mes ingresado se procede a leer en la tabla 3.2., grabada en el EPROM, el día del año correspondiente a dicho mes, finalmente este valor es sumado al número del día ingresado previamente.

Si el mes ingresado corresponde al mes de marzo, se verifica si el día es menor que 22; en tal caso se procede a leer la tabla y a sumar el día ingresado pero si este es mayor o igual a 22, entonces basta con restarle el día ingresado el valor de 22 para obtener N.

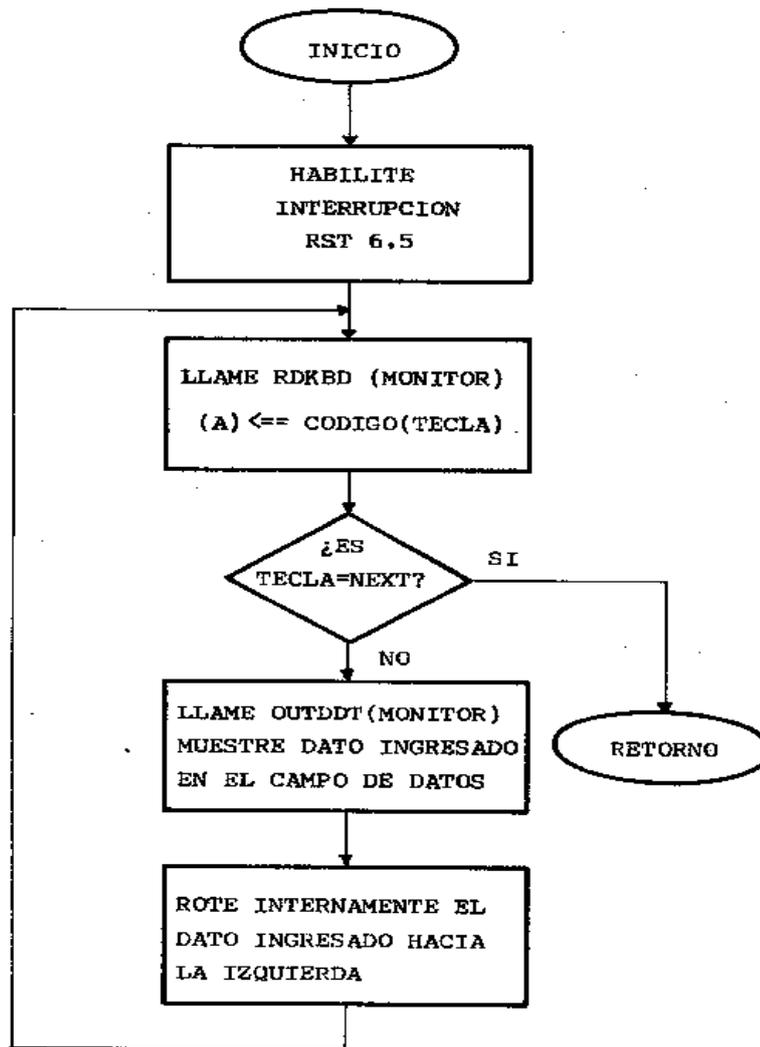


FIGURA 3.2 RUTINA INGRESO DATO

El diagrama de flujo de la rutina de ingreso DIA/MES se lo puede apreciar en la figura 3.3.

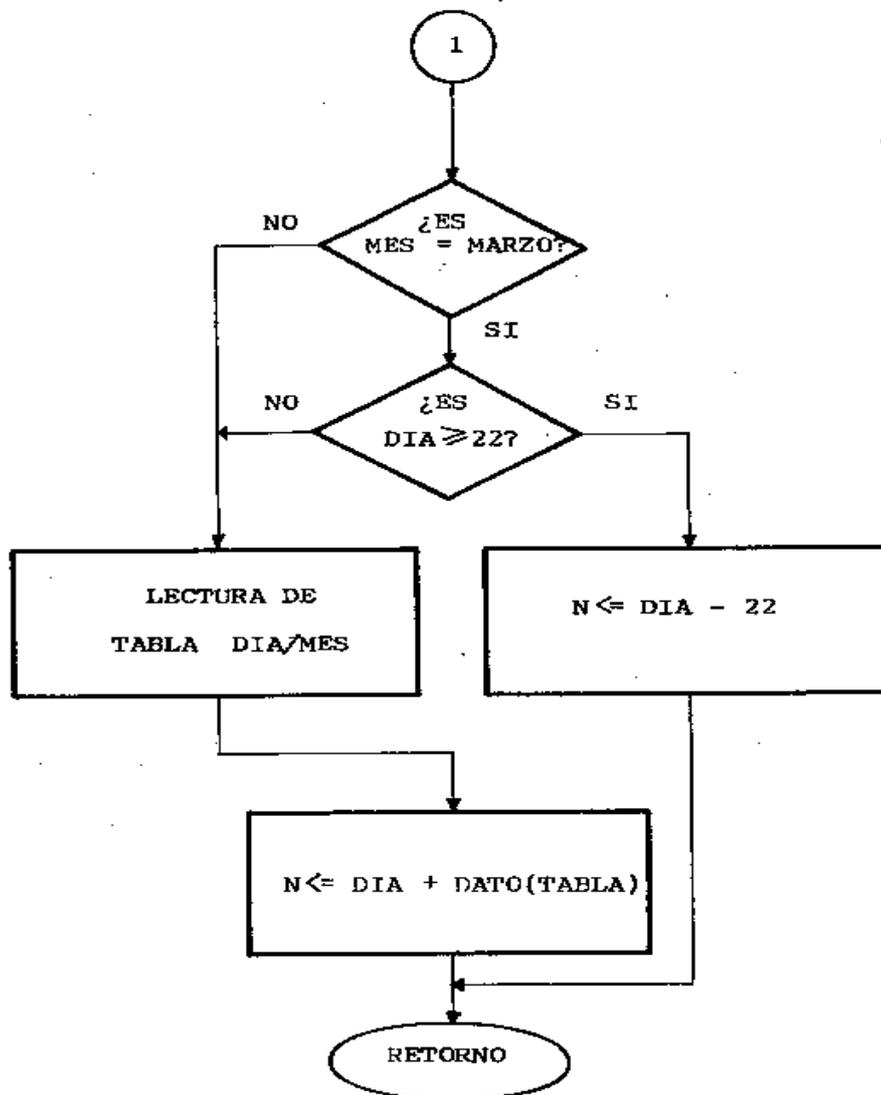


FIGURA 3.3

RUTINA INGRESO DIA/MES  
(LAMINA 2 de 2)

### 3.5. RUTINA INGRESO HORA/MINUTO

El objetivo de esta rutina consiste en el ingreso de la hora local expresada en horas y minutos, con la finalidad de inicializar el reloj del sistema.

En primer lugar se solicita el ingreso de la hora, luego se verifica que ésta no sea mayor a 24, si lo es genera un mensaje de error solicitando un nuevo ingreso.

Luego se llama a la rutina CONVERSION BCD A BINARIO; puesto que requiere trabajar con la hora en código binario; una vez convertida se encuentra disponible en el acumulador, al cual se rota dos veces hacia la izquierda fijando en ceros los últimos bits, con la finalidad de mantener el formato definido para T y además, poder sumar más adelante los minutos que faltan por ingresar.

Se procede a continuación a solicitar el ingreso de los minutos, una vez ingresados se verifica que éstos no sean mayores a 59. En caso afirmativo, se genera un mensaje de error.

Para efectuar la suma de estos minutos a las horas ya ingresadas, hay que convertirlos a horas y éstas expresadas en código binario. De esto se encarga la rutina CONVERSIÓN DE MINUTO A HORA; que es

llamada para dicho efecto. Se está entonces en capacidad de realizar la suma que es luego almacenada en la posición de memoria T, de la RAM 8155, fijándose de esta manera la hora del sistema.

Finalmente se procede a presentar en el campo de direcciones e la pantalla de SDK-85 la hora ingresada en BCD, almacenándose antes, dicho valor en memoria para ser utilizado posteriormente por la RUTINA DE INTERRUPCIÓN.

El Diagrama de Flujo de la RUTINA INGRESO HORA/MINUTO, se lo puede apreciar en la figura 3.4.

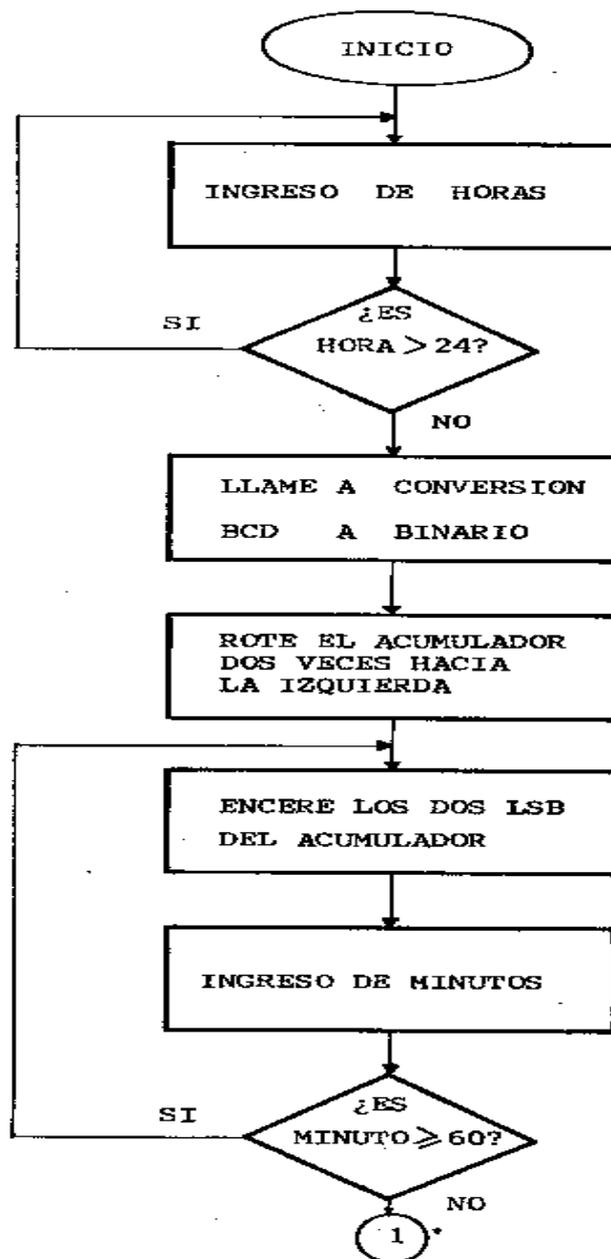


FIGURA 3.4 RUTINA INGRESO HORA-MINUTO  
(LAMINA 1 DE 2)

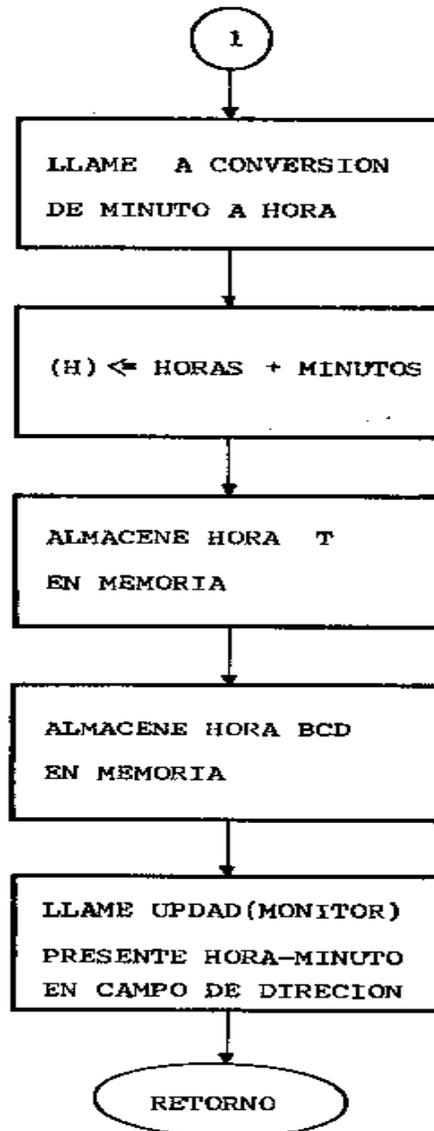


FIGURA 3.4 RUTINA INGRESO HORA-MINUTO  
(LAMINA 2 DE 2)

### **3.6. RUTINA GENERACIÓN DE MENSAJE DE ERROR**

Esta ha sido introducida con el objeto de presentar momentáneamente en el campo de direcciones SDK-85 un mensaje de error con las siglas Err.

Esta rutina es utilizada por las rutinas INGRESO DIA-MES e INGRESO HORA-MINUTO; en caso de existir errores de orden lógico en la digitación.

Inicialmente se programa el KEYBOARD DISPLAY CONTROLER 8279 para escritura y luego se envía en secuencia el mensaje de error. Luego se llama tres veces a la rutina Delay con el fin de generar un retardo de aproximadamente dos segundos, concluyendo así la rutina.

En el Diagrama de Flujo correspondiente se observa la RUTINA GENERACIÓN DE MENSAJE DE ERROR. Ver figura 3.5.

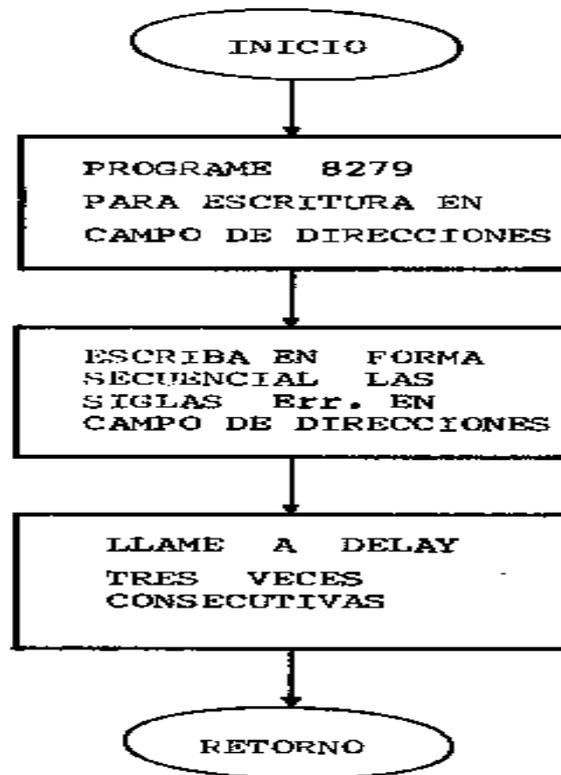


FIGURA 3.5 RUTINA GENERACION DE MENSAJE DE ERROR

### 3.7. RUTINA BLANQUEAR DISPLAY

Esta rutina que ocupa solamente 16 posiciones de memoria, permite blanquear el campo de datos del SDK-85.

Esta rutina es llamada momentos antes de solicitar el ingreso de datos por medio del teclado.

Se comanda primero el KEYBOARD DISPLAY CONTROLER habilitando la escritura en el campo de datos y luego se procede a enviar códigos FF con el fin de blanquear el campo de datos.

La RUTINA BLANQUEAR DISPLAY, se la puede apreciar en la figura 3.6.

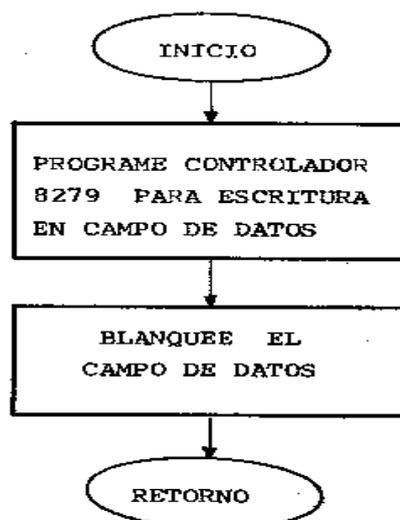


FIGURA 3.6 RUTINA BLANQUEAR DISPLAY

### 3.8. RUTINA CONVERSIÓN BCD A BINARIO

Como su nombre lo especifica, esta rutina convierte un número expresado en BCD almacenado en el acumulador al código binario. El resultado se encuentra disponible en el acumulador.

Esta rutina fue incluida por los requerimientos internos de trabajar en código binario. La conversión se lleva a cabo incrementando simultáneamente los registros H y B que han sido previamente encerados.

Cada vez que corresponde incrementar el registro B, se aplica la instrucción (DAA), que realiza el ajuste decimal correspondiente de tal manera que mientras el registro H se incrementa en el código binario, paralelamente se incrementa el registro B en código BCD, en ese momento el resultado en código binario se encuentra disponible en el registro H, por último se transfiere (H) al acumulador.

El diagrama de flujo respectivo, se observa en la figura 3.7.

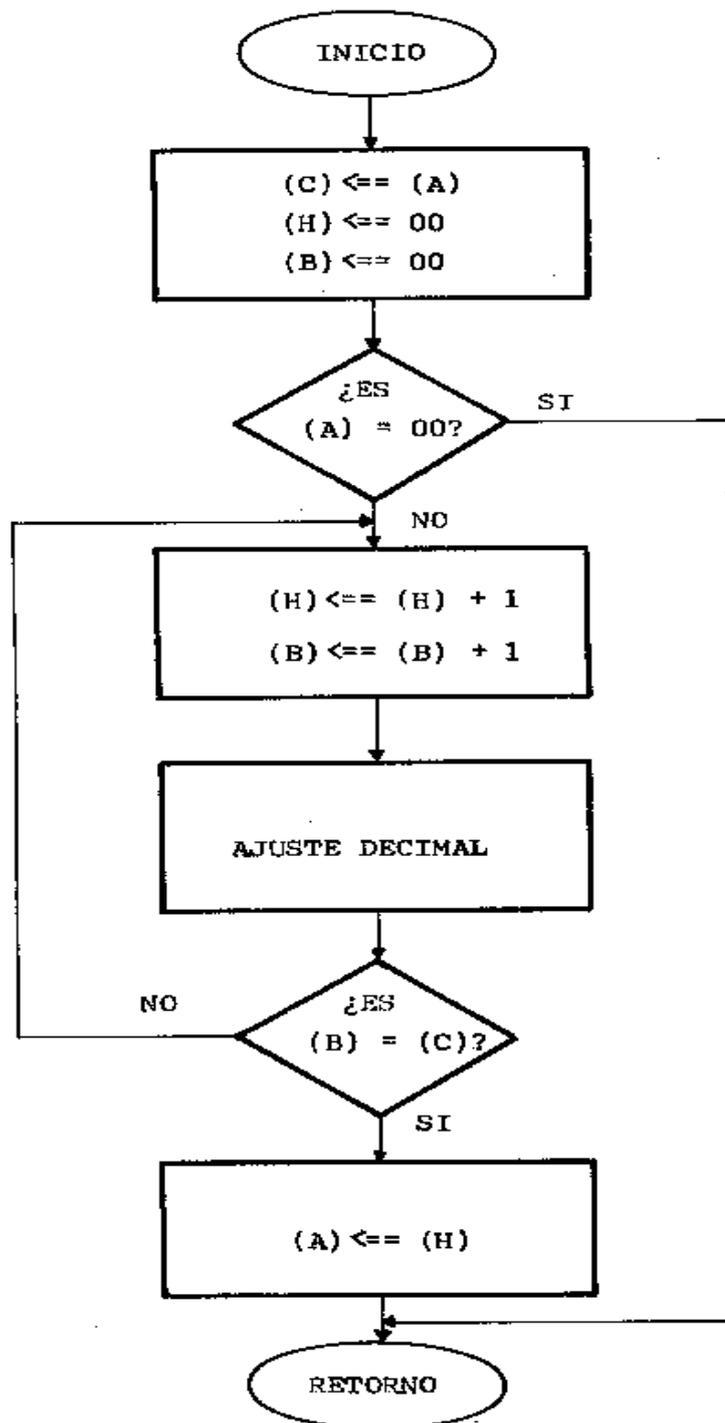


FIGURA 3.7

RUTINA CONVERSIÓN BCD A BINARIO

### 3.9. RUTINA CONVERSIÓN DE MINUTO A HORA

Esta rutina convierte la hora ingresada en minutos BCD a horas, en código binario, almacenando dichos resultados en los registros H y L.

La hora en minutos que se encuentra previamente en el acumulador, es guardada en el registro C y los registros H, L y B son encerados.

La relación:  $1 \text{ min} = 0.0166 \text{ (horas)}$ , permite realizar la conversión.

La hora en minutos que se encuentra inicialmente en el acumulador es almacenada en el registro C a la vez que se enceran los registros H, L y B. La multiplicación se la realiza a manera de adición; es decir, se suma al registro HL la cantidad 0.0016 incrementando simultáneamente el registro B con el respectivo ajuste decimal. Se detiene el proceso cuando el registro B es igual al registro C.

El diagrama de flujo correspondiente se observa en la figura 3.8.

La rutina CONVERSIÓN DE MINUTO A HORA es utilizada por la rutina INGRESO HORA – MINUTO, permitiéndole sumar las horas con los minutos.

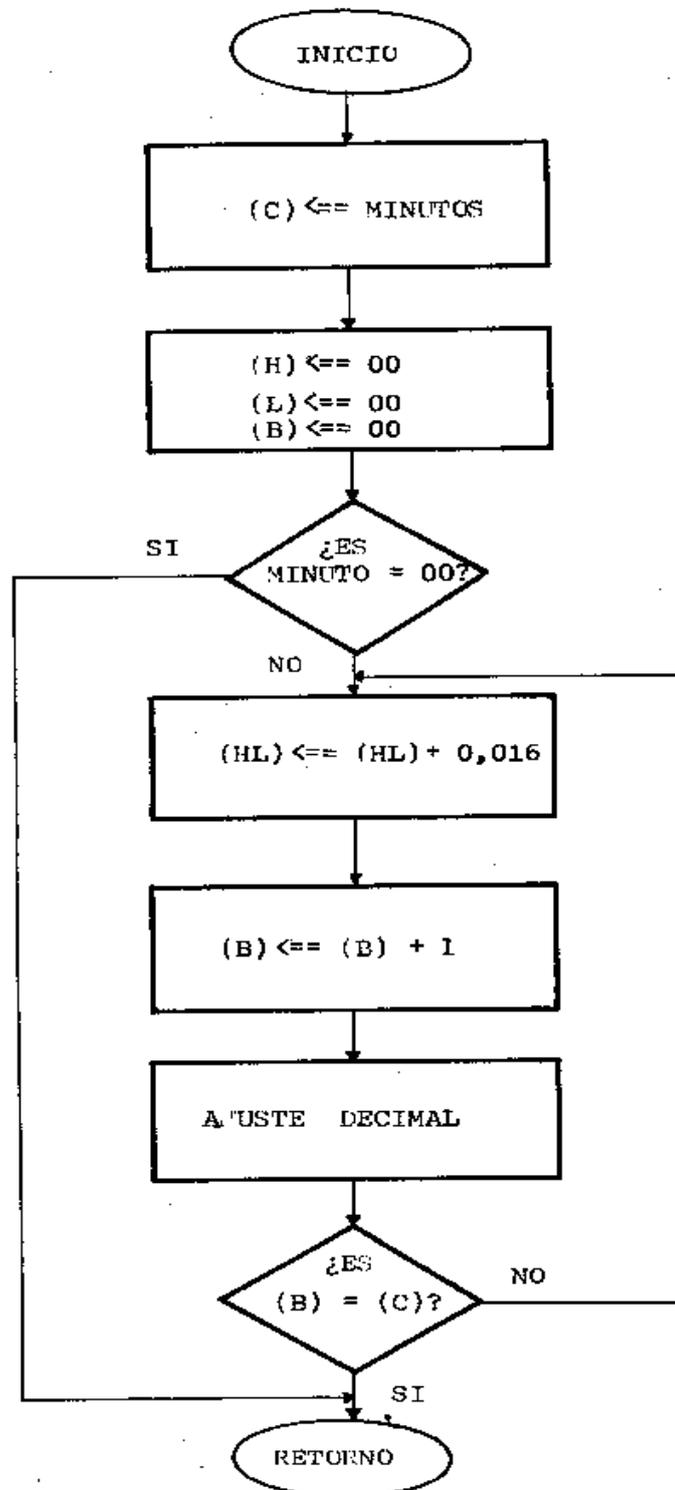


FIGURA 3.8  
RUTINA CONVERSION DE MINUTO A HORA

### 3.10. RUTINA DE INTERRUPCIÓN

Esta rutina incrementa en un minuto la hora, cada vez que la interrupción generada por el reloj externo, se hace presente. Adicionalmente, se actualiza la hora que es presentada continuamente en el campo de direcciones del microcomputador.

Se aplica la rutina de interrupción preservando en la pila todos los registros, inclusive el Program Status Word, puesto que al regresar a la instrucción que fue interrumpida, se debe hacerlo con todos los registros y banderas intactas. Una vez realizado este almacenamiento se carga la hora T, e inmediatamente se adiciona un minuto. Se pregunta a continuación si la parte decimal de la hora es mayor o igual que uno, es decir, si se han cumplido 60 minutos. De no ser así, se almacena en memoria la hora T actualizada.

El siguiente paso, consiste en cargar en los registros H, L, la hora en BCD, luego se suma un minuto, se efectúa la corrección decimal y se vuelve a almacenar dicho valor en memoria, actualizando simultáneamente la hora presente en el campo de direcciones del SDK-85.

A continuación se procede a enviar por medio del LSB de la puerta 21 un pulso de CLEAR al FLIP-FLOP del reloj externo con el fin de dejarlo listo

para capturar un nuevo pulso, luego se procede a habilitar la interrupción RST 6.5 por medio de la instrucción Enable Interrupts (EI).

Por último, por medio de sucesivos usos de la instrucción POP, se recupera los valores de los registros previamente guardados en la pila estando listos para regresar al programa principal.

Si la pregunta referente a la hora T, es acertada, entonces se procede a sumar una unidad a la parte entera de la hora T y a encerrar la parte decimal almacenándose luego en memoria la hora T actualizada.

Se procede a continuación a hacer lo mismo con la hora en BCD y decir que se suma una unidad a las horas y se enceran los minutos preguntándose siempre si se han cumplido las 24 horas. En tal caso, se encera completamente la hora T, así como la hora BCD.

Antes de retornar en cualquiera de ambos casos se lo hace generando el pulso (CLEAR), recuperándose los registros de pila y finalmente habilitando la interrupción RST 6.5.

El diagrama de flujo respectivo, se lo puede observar en la figura 3.9.

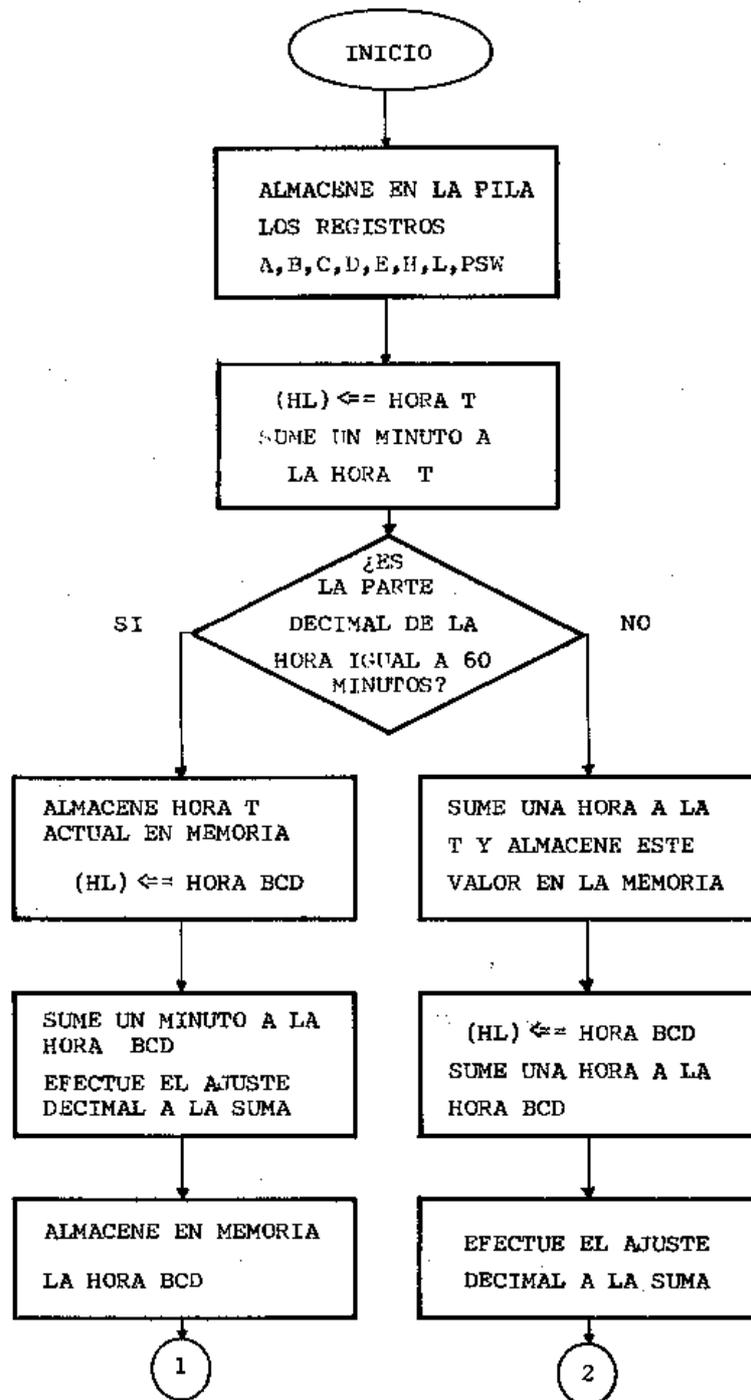


FIGURA 3.9 RUTINA DE INTERRUPCION  
(LAMINA 1 DE 2)

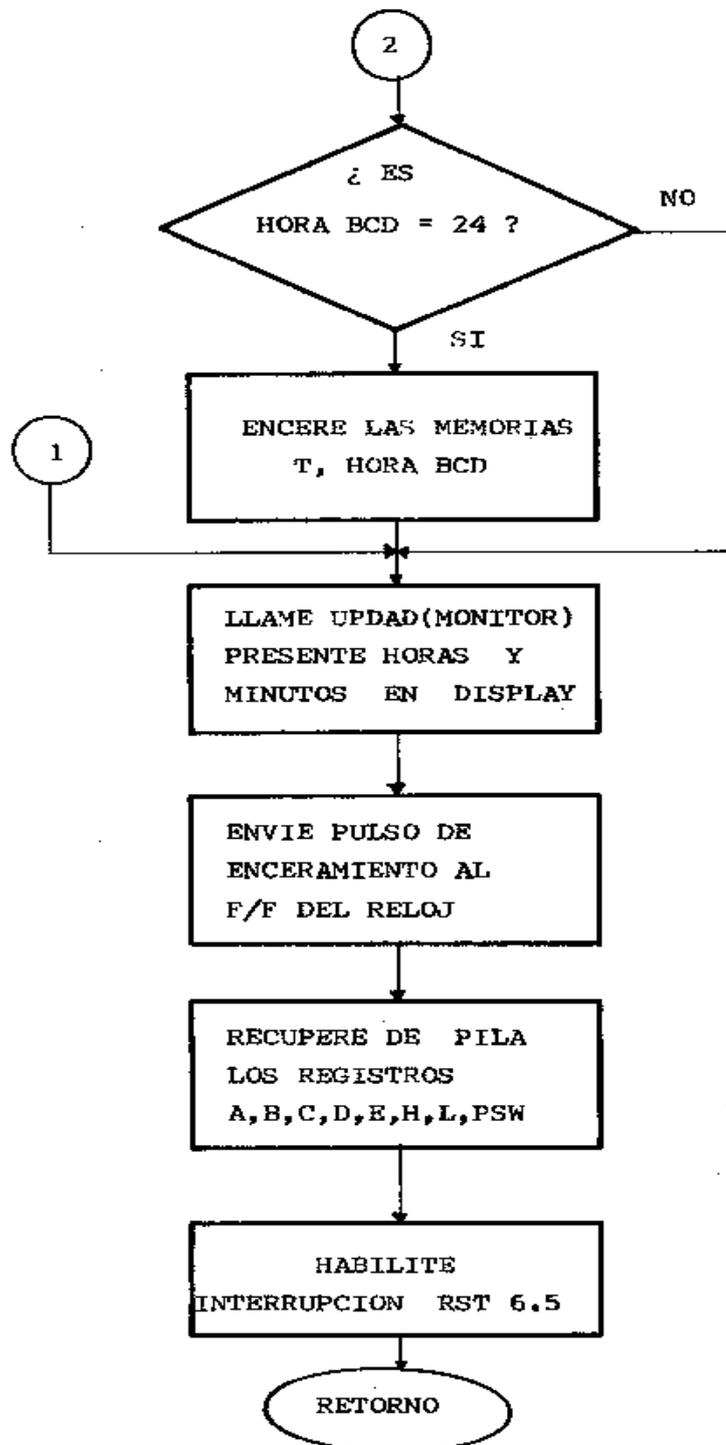


FIGURA 3.9 RUTINA DE INTERRUPCION  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.11. RUTINA SEIS DE DESPLAZAMIENTOS

La rutina SEIS DESPLAZAMIENTOS ha sido introducida con el fin de desplazar seis veces hacia la izquierda los registros contiguos D, E, H y L. Esta rutina permite hacer la corrección del punto decimal después de la ejecución de la rutina MULTIPLICACIÓN.

Para ello almacena ceros en la posición de memoria SUBSEIS, reservada para esta rutina y que hace las veces de contador; luego se procede a desplazar primeramente el registro L hacia la izquierda por medio de la instrucción RAL; es decir, utilizando el acumulador. Este desplazamiento transfiere el MSB del registro L hacia la bandera de transporte, CY (CARRY).

Luego se hace lo propio con el registro H, de tal manera que a la vez que es rotado, recibe el MSS del registro L y transfiere su MSB al carry.

Se repite este proceso para los registros E y D: entonces se incrementa en uno el contador SUBSEIS y se pregunta si ha habido seis desplazamientos. De no ser así se repite todo el proceso. Finalmente, cuando se han ejecutado los seis desplazamientos, finaliza la rutina.

El diagrama de flujo de la RUTINA SEIS DESPLAZAMIENTOS, se puede apreciar en la figura 3.10.

en la figura 3.10.

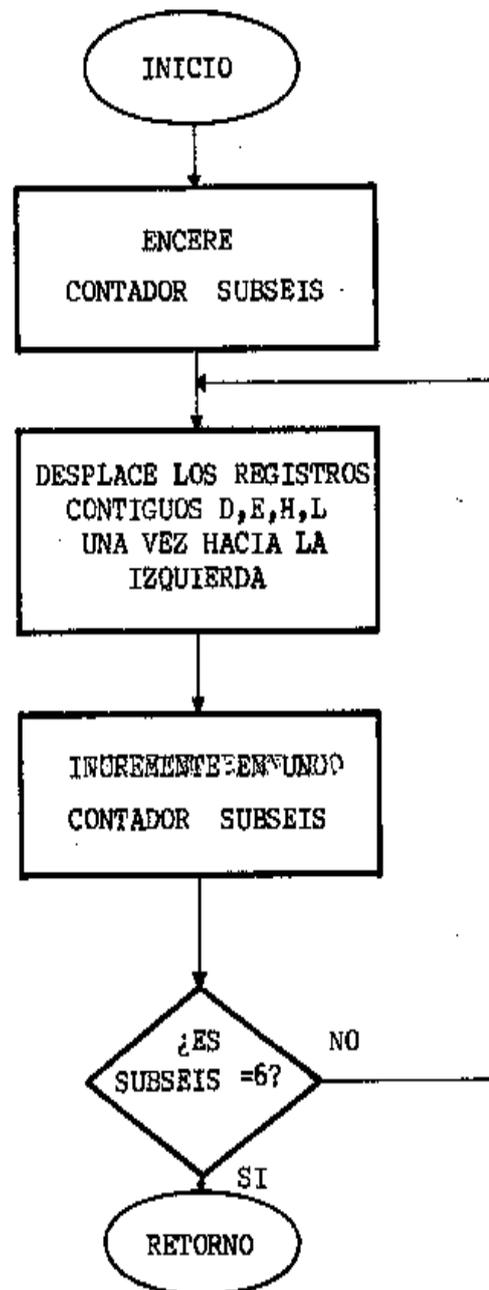


FIGURA 3.10 RUTINA SEIS DESPLAZAMIENTOS

### 3.12. RUTINA COMPLEMENTO A DOS

Debido al requerimiento de programa tales como Multiplicación, División, Exponenciación, etc., de trabajar con valores positivos para la variable X, fue necesario el desarrollo de este programa, con el objetivo de complementar números negativos antes de llamar a alguna de las rutinas mencionadas.

También en ciertos casos de acuerdo a la ley de los signos, al finalizar dichas rutinas puede ser necesario complementar el resultado haciendo uso de nuevo de la rutina COMPLEMENTO – 2.

Durante la instrucción SUB Reg, el microcomputador complementa automáticamente el sustraendo, por tanto, basta sustraer el registro A al número cero para obtener el complemento A:

$$(A) \leq 00 - (A) = 00 + (A)_c = (A)_c$$

Aplicando lo anterior se procede a calcular:  $(HL) \leq 00 - (HL) - (HL)_c$  según se observa en el diagrama de flujo de la figura 3.11., el resultado es almacenado en los registros H-L.

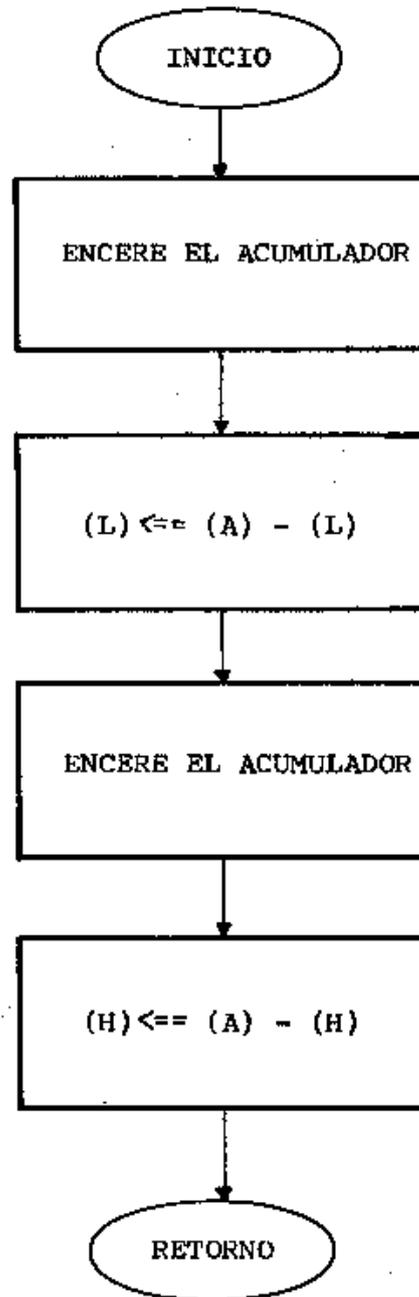


FIGURA 3.11 RUTINA COMPLEMENTO A DOS

### 3.13. RUTINA DE MULTIPLICACIÓN

La rutina de multiplicación es una de las rutinas más importantes debido a que es muy utilizada por los diversos programas.

El objetivo de esta rutina consiste en realizar la multiplicación de (16 x 16) bits, previamente almacenados en las posiciones de memoria RAM denominadas MULTFIJO y MULTMOVIL.

El producto constituido por 32 bits se almacena en los registros pares DE-HL. El algoritmo de la multiplicación es el de SUMA y DESPLAZAMIENTO ampliamente conocido.

En primer lugar se inicializa en 16 el contador CTA que es una posición de la memoria RAM definida para este fin, luego se llena de ceros los registros D-E y se carga en los registros BC el factor MULTMOVIL, es decir que dichos registros serán rotados hacia la derecha durante el programa, generando cada vez un transporte o bandera que determinará si se suma o se desplaza hasta completar los 16 desplazamientos del registro BC, en tales circunstancias el producto se encontrará presente en los registros DE-HL como se puede apreciar en el diagrama de flujo correspondiente en la figura 3.12.

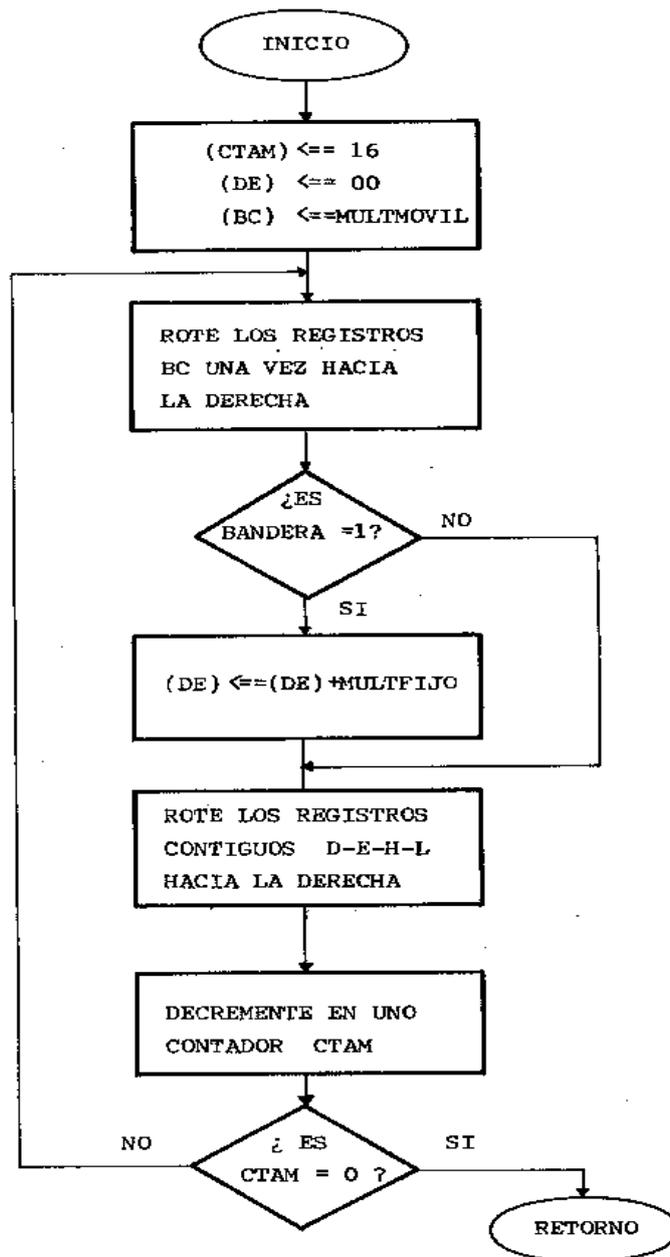


FIGURA 3.12 RUTINA DE MULTIPLICACION

Cabe recalcar el hecho de que esta rutina ha sido elaborada para trabajar con factores enteros y por lo tanto el producto es entero, pero con ajuste decimal, puede ser utilizada para multiplicar números decimales como se observará en la RUTINA DE EXPONENCIACIÓN.

### 3.14. RUTINA DE EXPONENCIACIÓN

La necesidad de utilizar el desarrollo de la Serie de Taylor para el cálculo de las funciones sinusoidales, justifica la introducción de la RUTINA DE EXPONENCIACIÓN.

Esta rutina toma un número almacenado en la posición de memoria denominada X y lo eleva a la potencia n previamente almacenada en la posición de memoria asignada con el mismo nombre. Esta rutina trabaja bien con números positivos menores que uno y con números mayores que uno tales que X elevado a la n no sea mayor que 255. No interesa que trabaje bien con números mayores que uno porque en los desarrollos de TAYLOR, X es siempre en valor absoluto, menor que uno, para garantizar la convergencia de la serie.

El número X debe cumplir con las especificaciones de formato definidas en el Capítulo I; es decir, seis bits para los enteros y diez bits para los decimales.

Se han definido para el desarrollo de estas rutinas dos contadores en posiciones de memoria RAM, en vista de que todos los registros de uso general son utilizados. El contador CTA-n que permite detener el programa al llegar a la potencia n y el contador CTA-6 que permite

realizar el ajuste decimal cada vez que se llama a la rutina MULTIPLICACIÓN, la cual en síntesis es llamada n veces.

A continuación se detalla el algoritmo matemático que permite utilizar la rutina MULTIPLICACIÓN, ya que como se dijo antes, ésta sólo trabaja con números enteros y X según se indicó arriba, es un número decimal. El mecanismo consiste en multiplicar el número X por 2 elevado a la potencia 10, esto equivale a correr la coma diez veces hacia la derecha, de tal forma que X se convierte en un número entero. Es posible entonces elevar X al cuadrado por medio de la rutina de la MULTIPLICACIÓN ya que ahora X es entero. Esta multiplicación introduce un error de 2 elevado a la potencia 20, por lo tanto para corregir este error es necesario dividir el producto para 2 elevado a la potencia 20, es decir desplazar la coma 20 veces hacia la izquierda, de tal manera que se corrige el error introducido.

El producto sin la corrección se encuentra almacenado en los registros DE-H1. Correr la coma 20 veces hacia la izquierda es equivalente a rotar los registros DE-HL seis veces hacia la izquierda ya que luego de estos desplazamientos, X elevado al cuadrado se encuentra listo en los registros DE, directamente con el formato establecido para X.

$$X^2 = \frac{X \cdot 2^{10} \cdot X \cdot 2^{10}}{2^{20}}$$

Todo el proceso descrito, se ejecuta  $n$  veces. El resultado se encuentra accesible en los registros HL.

El diagrama de flujo correspondiente, lo podemos observar en la figura 3.13.

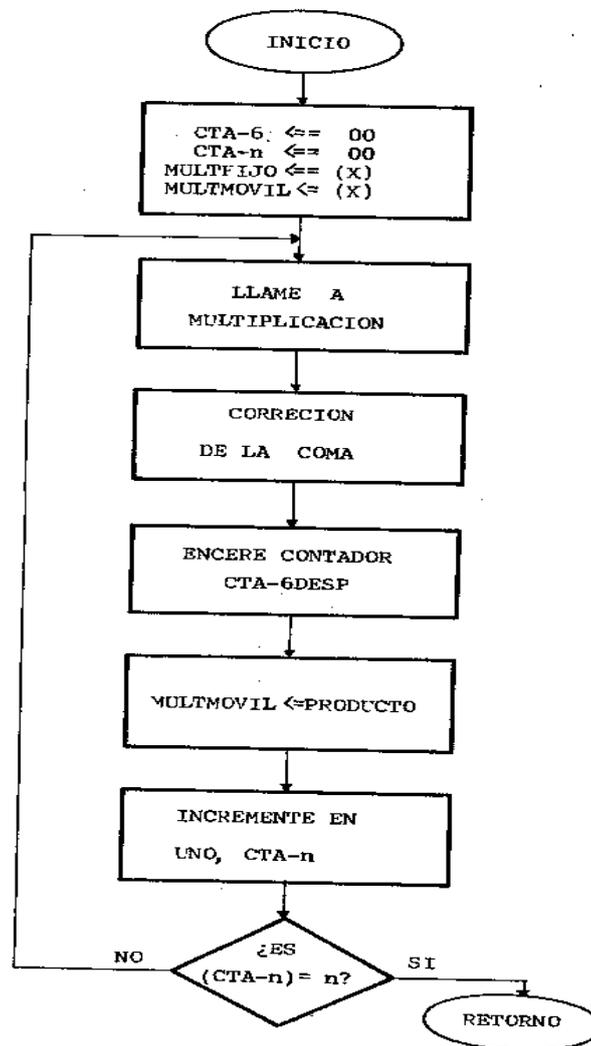


FIGURA 3.13 RUTINA DE EXPONENCIACION

### 3.15. RUTINA DE DIVISIÓN

La rutina de DIVISIÓN es utilizada para calcular la función tangente de

X:

$$\text{Tan } X = \text{Sen } X / \text{Cos } X$$

Esta rutina divide dos números previamente almacenados en la memoria, donde el numerador está almacenando las direcciones MNOP y el denominador en las direcciones WXYZ. El cociente es almacenado en los registros BC-DE.

El algoritmo utilizado para la división consiste en sustraer sucesivamente al dividendo, el divisor hasta que la diferencia sea negativa, por lo tanto se requiere que el numerador sea mayor que el denominador.

Si el numerador es menor que el denominador, se puede multiplicar este número por 2 elevado a la n de tal forma que este producto sea mayor que el denominador y si se quiere mayor precisión, ésta siempre se puede conseguir multiplicando el numerador por 2 elevado a una potencia mayor. Una vez efectuada la división, el cociente debe ser corregido; esto es, se debe correr la coma hacia la izquierda n veces.

$$\frac{MNOP}{WXYZ} = \left( \frac{MNOP \cdot 2^n}{WXYZ} \right) \cdot \frac{1}{2^n}$$

La desventaja de esta rutina es la lentitud, pero el cálculo de Tan X se efectúa una sola vez cada día y esto, al amanecer, por lo tanto, no se requiere mayor velocidad.

La ventaja de este algoritmo es en cambio la sencillez del programa. El diagrama de flujo correspondiente se lo puede observar en la figura 3.14.

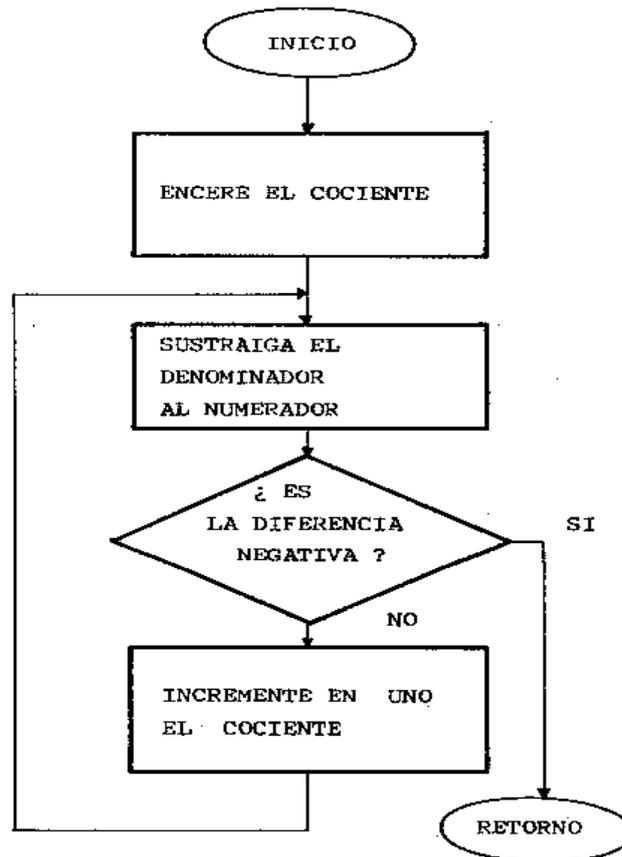


FIGURA 3.14 RUTINA DE DIVISION

### 3.16. RUTINA COS X PARCIAL

Para el cálculo del Cos X, se utiliza el desarrollo de la serie Taylor dado por:

$$\text{Cos } X = 1 - X^2/2 + X^4/24 - X^6/720 + \dots \text{ donde } |X| \leq 1$$

La desventaja se presenta en valores de X cercanos a la unidad, puesto que esto implica utilizar varios términos de la serie para no introducir errores significativos. Por este motivo, se ha limitado el valor de  $X \leq \pi/4$ , de esta forma se puede trabajar con los siguientes términos:

$$\text{Cos } X = 1 - X^2/2 + X^4/24$$

El error que se introduce al despreciar el término  $X^6/720$  evaluado en  $X = \pi/4$  es de 0.00032. Se evalúa en  $X = \pi/4$ , ya que el error es mayor si X es mayor y el error máximo se produce con X máximo, esto es  $X = \pi/4$ .

Esta rutina se denomina Cos X PARCIAL, porque es válida para  $0 \leq X \leq \pi/4$ . El problema de encontrar el Cos X para  $\pi/4 \leq X \leq \pi/2$  se resuelve aplicando la identidad trigonométrica  $\text{Cos } X = \text{Sen } (90 - X)$ , y el cálculo de Cos X para  $X \geq \pi/2$  lo resuelve la rutina Sen X PARCIAL.

Antes de llamar a esta rutina, el valor de X debe de estar previamente almacenado en la posición de memoria denominada X. Inicialmente se

almacena en la memoria denominada n el número 4, para estar listos para la rutina EXPONENCIACIÓN, de tal manera que se calcula  $X^4$  .

Puesto que una división no es más que una multiplicación, en vez de dividir X para 24, se procede a multiplicar X por  $1/24$ , por lo tanto se almacena X y  $1/24$  en las posiciones denominadas MULTIFIJO y MULTMOVIL y se procede a llamar a la rutina MULTIPLICACIÓN e inmediatamente se adiciona una unidad, procediendo luego a almacenar en pila el valor  $1+X^4/24$ .

Luego se procede a guardar en la memoria n el valor de 2, se llama a rutina EXPONENCIACIÓN y se obtiene  $X^2$ . Para dividir para 2 basta con desplazar una vez hacia la derecha el valor de X. Finalmente se procede a recuperar el valor guardado antes de la pila y a restarle el valor de  $X^2 /2$ , guardando esta diferencia en el registro HL. Esto se lo puede apreciar en el diagrama de flujo correspondiente a la figura 3.15.

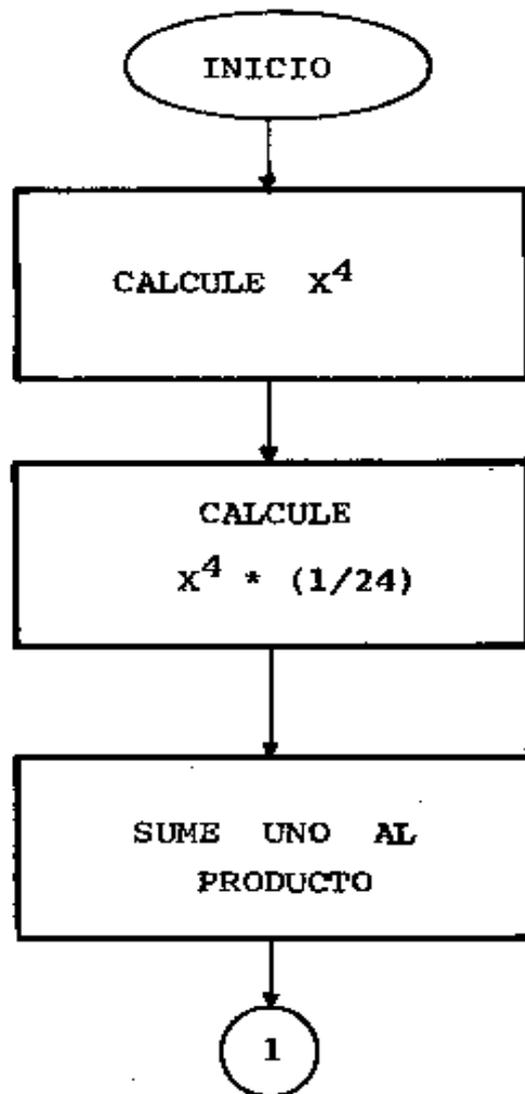


FIGURA 3.15 RUTINA COS-X PARCIAL  
(LAMINA 1 DE 2)

---

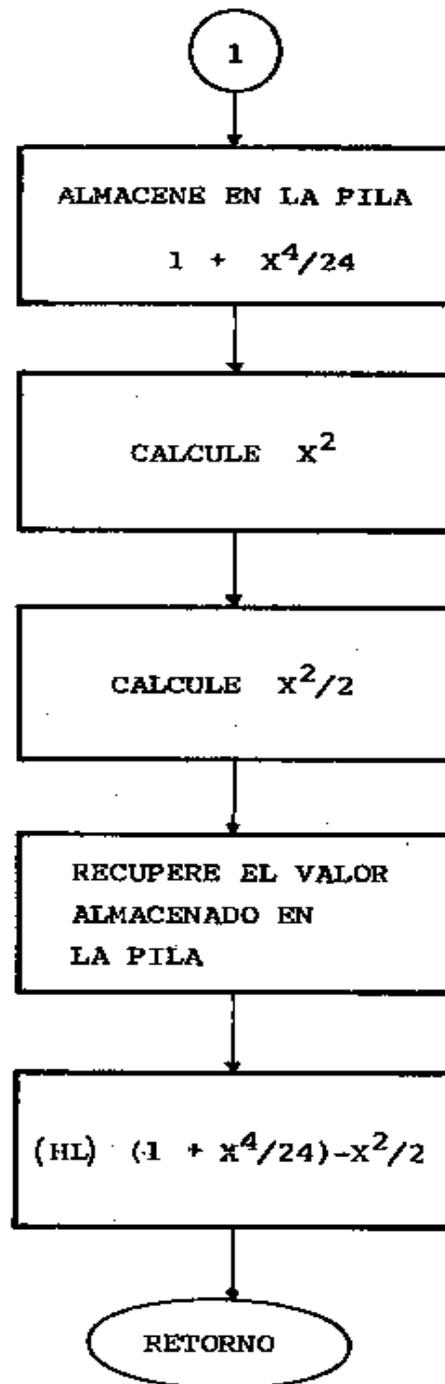


FIGURA 3.15 RUTINA COS-X PARCIAL  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.17. RUTINA SEN X PARCIAL

Este programa calcula el Sen X utilizando el siguiente desarrollo de la serie de TAYLOR.

$$\text{Sen } X = X + X^5/120 - X^3/6$$

De manera semejante la rutina anterior, se desprecian los términos de la serie que introducen errores menores a una milésima, puesto que  $0 \leq X \leq \pi/4$ .

Tanto la rutina Sen X PARCIAL y Cos X PARCIAL operan con valores positivos para X, pero si X es negativo, se puede considerar a X como positivo, aplicar Sen X o Cos X y luego complementar dicho resultado para el caso de Sen X ya que  $\text{Sen}(-X) = -(\text{Sen } X)$ .

La forma como se enfrenta este problema más adelante es aplicando:  $-X = 2\pi - X$ , de tal forma que se trabaja siempre con valores positivos para X. Antes de llamar a Sen X PARCIAL, debe almacenarse previamente el valor de X en la posición de memoria definida para dicho uso, esto es la posición X.

Se procede inicialmente a calcular  $X^5$ , luego se multiplica por 1/120, es decir por el número 0.0083, luego se adiciona X y se almacena en la pila este valor.

A continuación se calcula  $X^3$  y se divide para seis, es decir, se multiplica para 1/6. Finalmente se recupera de pila el valor  $X + X^5/120$  y se resta  $X^3/6$  a dicho valor almacenándose este resultado en los registros HL.

En el diagrama de flujos correspondiente se observa la figura 3.16.

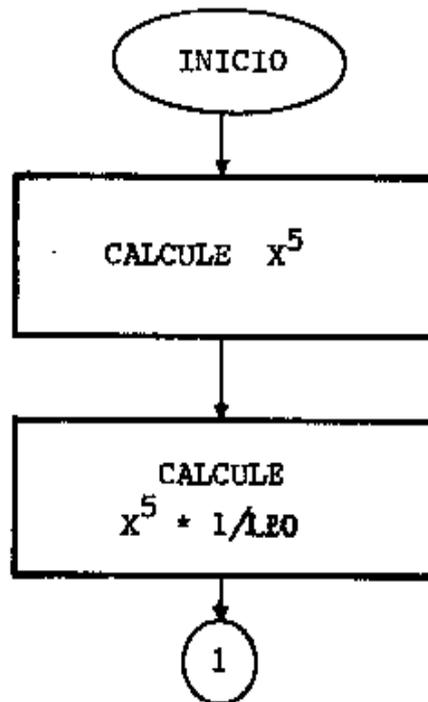


FIGURA 3.16 SEN-X PARCIAL  
(LAMINA 1 DE 2)

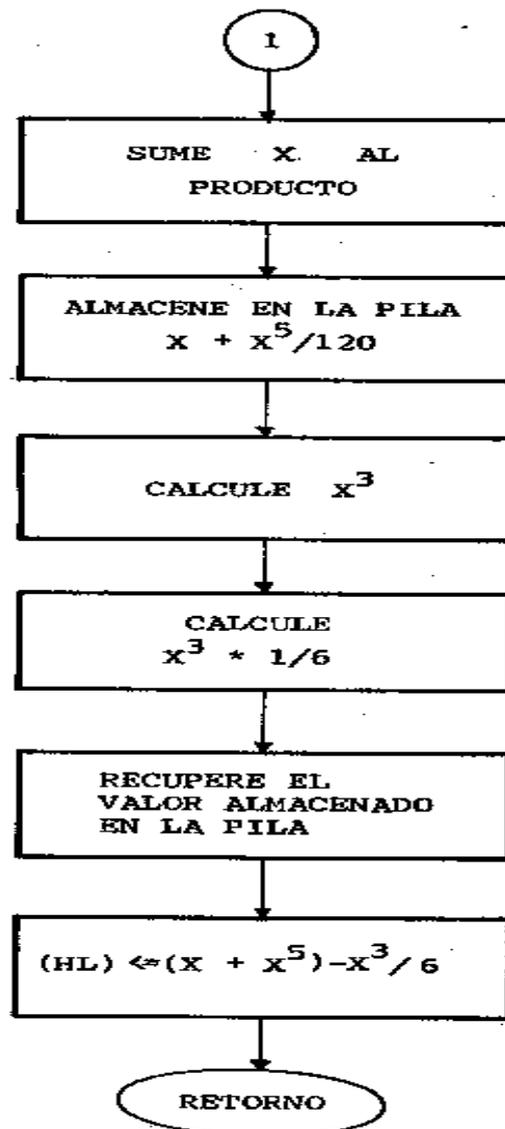


FIGURA 3.16 RUTINA SEN-X PARCIAL  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.18. RUTINA COS X

Esta rutina calcula el Cos X para valores  $0 \leq X \leq 2\pi$  y es utilizada para el cálculo del Seno del ángulo de elevación. Tiene como soportes fundamentales las rutinas Sen X PARCIAL y Cos X PARCIAL que trabajan para Sen X para cualquier valor de X conociendo únicamente el valor de Sen X y Cos X para  $0 \leq X \leq \pi/4$ .

El valor de  $X^1$  se encuentra almacenado previamente en la posición de memoria X; puesto que este programa modifica la posición X de la memoria.

El método a seguir es determinar primeramente en qué cuadrante se encuentra X, por ejemplo, si X se encuentra ubicada en el primer cuadrante, entonces se determina si  $X \leq \pi/4$ , si lo es, se llama a la rutina Cos X PARCIAL, si no, se calcula  $(\pi/2) - X$  y se utiliza la relación  $\text{Cos } X = \text{Sen } \{(\pi/2) - X\}$ , es decir, se calcula el Cos X en base a la rutina Sen X PARCIAL.

Si X se encuentra ubicada en el segundo cuadrante entonces hay que diferenciar si  $X \geq (3/4)\pi$ , esto se consigue haciendo que  $X = (HL) = \pi - X$ , en tal caso, se llama directamente a Cos X PARCIAL y luego se complementa porque el Cos X es negativo en el segundo cuadrante. En

caso de que  $\pi/2 \leq X \leq (3/4)\pi$ , entonces  $X = (HL) = \pi/2 - (\pi - X)$  y luego se procede a llamar a la rutina Sen X PARCIAL, finalmente se complementa este resultado. Se procede de manera similar para los cuadrantes III y IV, almacenándose el Cos X en los registros HL.

El diagrama de flujo correspondiente se lo observa en la figura 3.17.

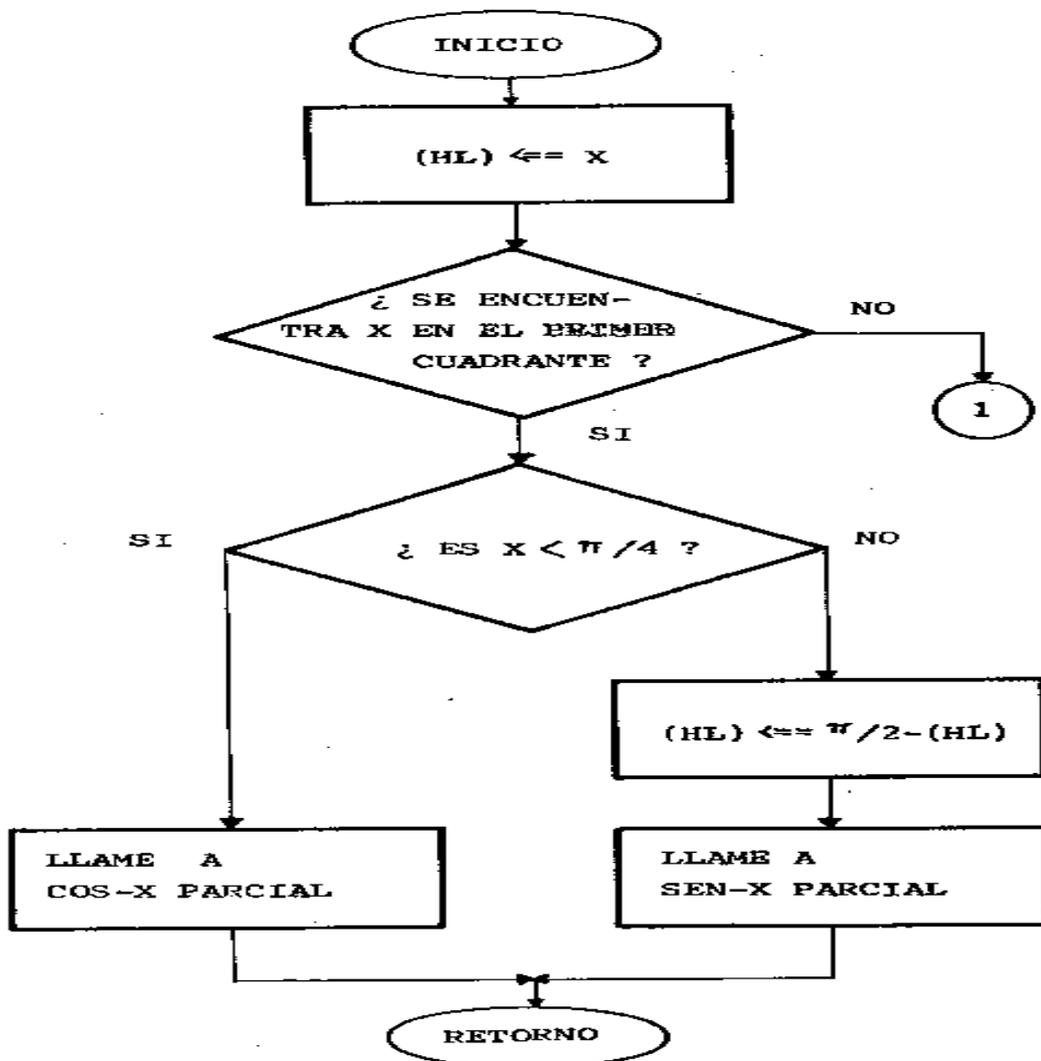


FIGURA 3.17 RUTINA COS X  
(LAMINA 1 DE 4)

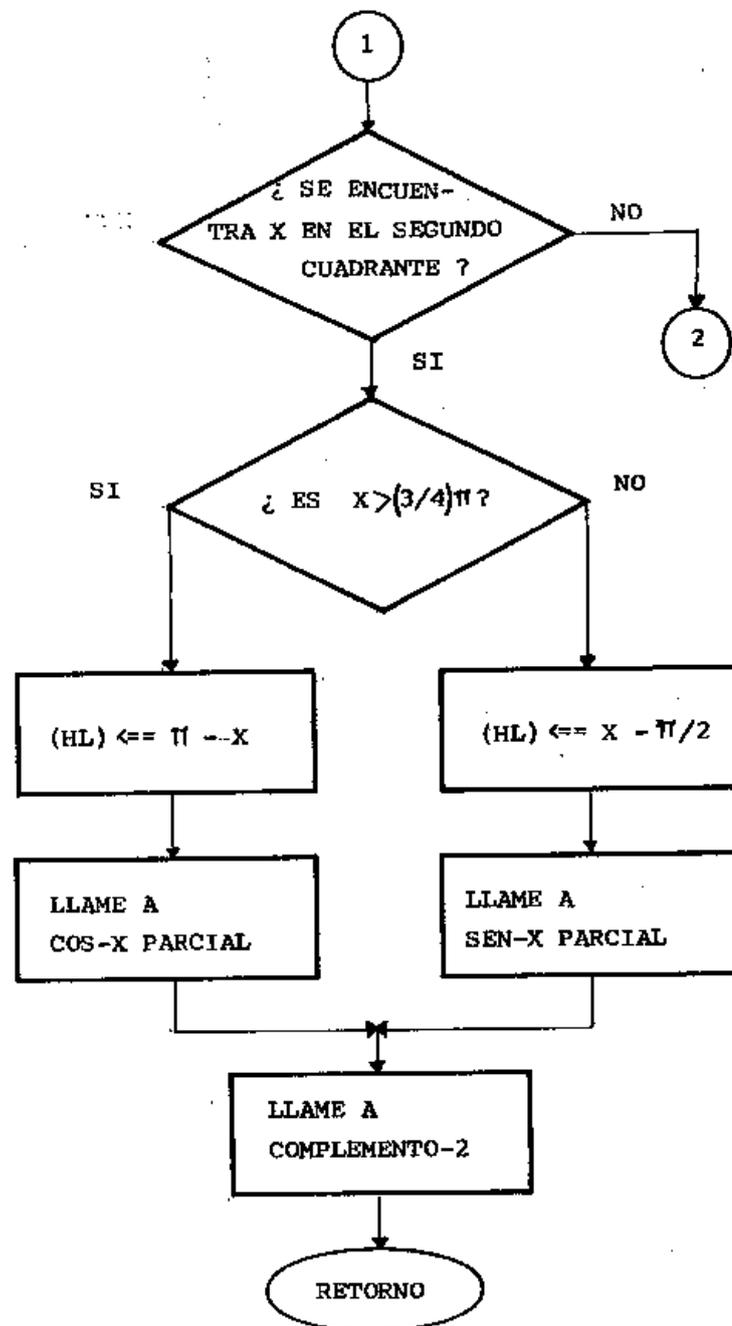


FIGURA 3.17 RUTINA COS X  
(LAMINA 2 DE 4)

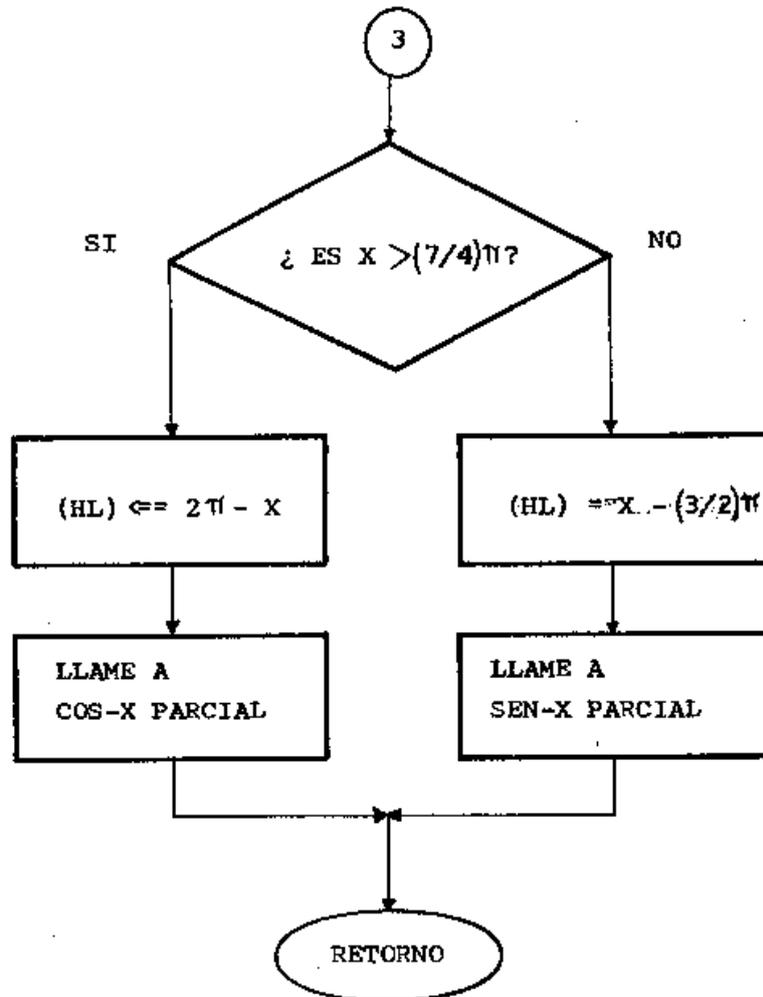


FIGURA 3.17 RUTINA COS X  
(LAMINA 4 DE 4)

### 3.19. RUTINA SEN X

Esta rutina permite calcular el Sen X tal que  $0 \leq X \leq 2\pi$  y es utilizada en el cálculo del seno del ángulo de elevación y del seno del ángulo Azimutal.

El valor de X debe estar previamente almacenado en la posición X y el resultado es almacenado en los registros HL. Sen X difiere de Sen X PARCIAL, ya que para este último  $0 \leq X \leq \pi/4$ . El resultado es almacenado en los registros HL y el valor de X se encuentra listo previamente en la posición de la memoria X. La presente rutina se basa fundamentalmente en las rutinas Sen X PARCIAL, Cos X y Cos X PARCIAL y se inicia determinando si  $X < \pi/4$ , en tal caso se llama directamente a la rutina Sen X PARCIAL. En caso contrario se calcula el ángulo complementario de X y se aplica a este ángulo la rutina Cos X PARCIAL.

En el caso de que  $X \geq 90^\circ$ , entonces se aplica la identidad trigonométrica:

$$\text{Sen } X = \text{Cos}(\pi/2 - X)\text{Cos}(\pi/2 + (2\pi - X)) = \text{Cos}((5/2)\pi - X).$$

Donde:

$$\pi/2 \leq ((5/2)\pi - X) \leq 2\pi$$

Es decir que se puede llamar al programa Cos X y evaluarlo en  $X' = (5/2\pi) - X$ , simplificándose de esta manera el desarrollo de esta rutina.

El diagrama de flujo correspondiente se lo observa en la figura 3.18.

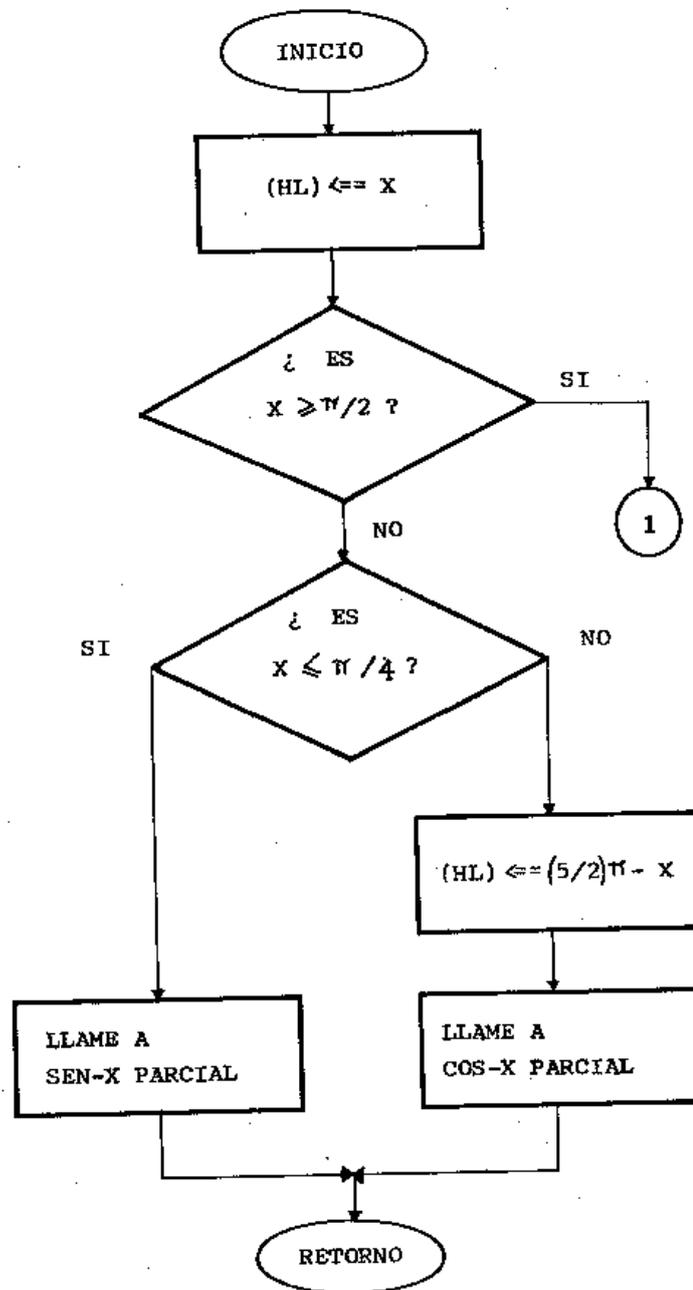


FIGURA 3.18 RUTINA SEN X  
(LAMINA 1 DE 2)

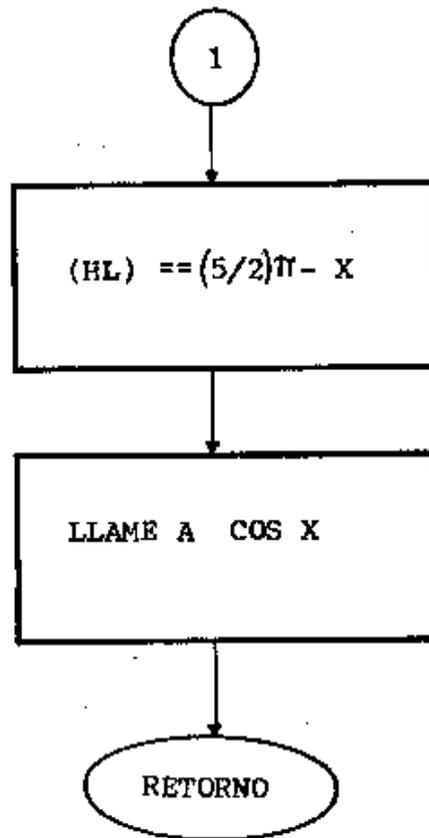


FIGURA 3.18  
RUTINA SEN X  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.20. RUTINA CALCULO ANGULO DELTA

Esta rutina realiza el cálculo de la declinación solar ó que viene dada por la siguiente expresión:

$$\delta \text{ (grados)} = 23.45^\circ \text{ Sen } N(72/73)$$

En los programas los cálculos son realizados en radianes, se transforma dicha expresión de grados a radianes obteniendo lo siguiente:

$$\delta \text{ (rad)} = 0.409 \text{ Sen } (0.0172 N)$$

Donde:

N es un número entero que representa el día del año y supuestamente este valor ha sido previamente calculado al amanecer.

Se realiza en primer lugar la multiplicación de N por 0.0172. Puesto que este último, es un número decimal, antes de llamar a la rutina MULTIPLICACIÓN, se lo multiplica por  $2^{14}$ , esto es para hacerlo entero y además para ganar en precisión puesto que con diez bits para los decimales, apenas es posible representar el número 0.017.

Luego de efectuada la multiplicación se debe dividir el producto para  $2^{14}$ , esto implica desplazar doce veces hacia la izquierda los registros DE-HL. El producto que se encuentra listo en los registros DE, es almacenado en la posición de memoria  $X^1$  puesto que  $\text{Sen } X$ , así lo requiere.

La multiplicación de 0.409 por  $\text{Sen } X$ , se efectúa previo a identificar el signo de  $\text{Sen } (0.0172 N)$ ; si es positivo, se efectúa directamente la multiplicación con la debida corrección; es decir, realizar seis desplazamientos a la izquierda a los registros DE-HL.

Si el  $\text{Sen } (0.0172 N)$  es negativo se lo complementa y luego se multiplica ya que la multiplicación es efectuada siempre con números positivos. A continuación, se realiza la corrección del punto decimal.

Puesto que las rutinas  $\text{Sen } X$  y  $\text{Cos } X$  trabajan con ángulos  $0 \leq X \leq 2$ , es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\delta = 2\pi - |\delta| \text{ Si } \delta < 0$$

de manera que  $\delta$  es siempre positivo. Finalmente se almacena éste valor en la posición de memoria asignada previamente.

El Diagrama de Flujo se lo observa en la figura 3.19.

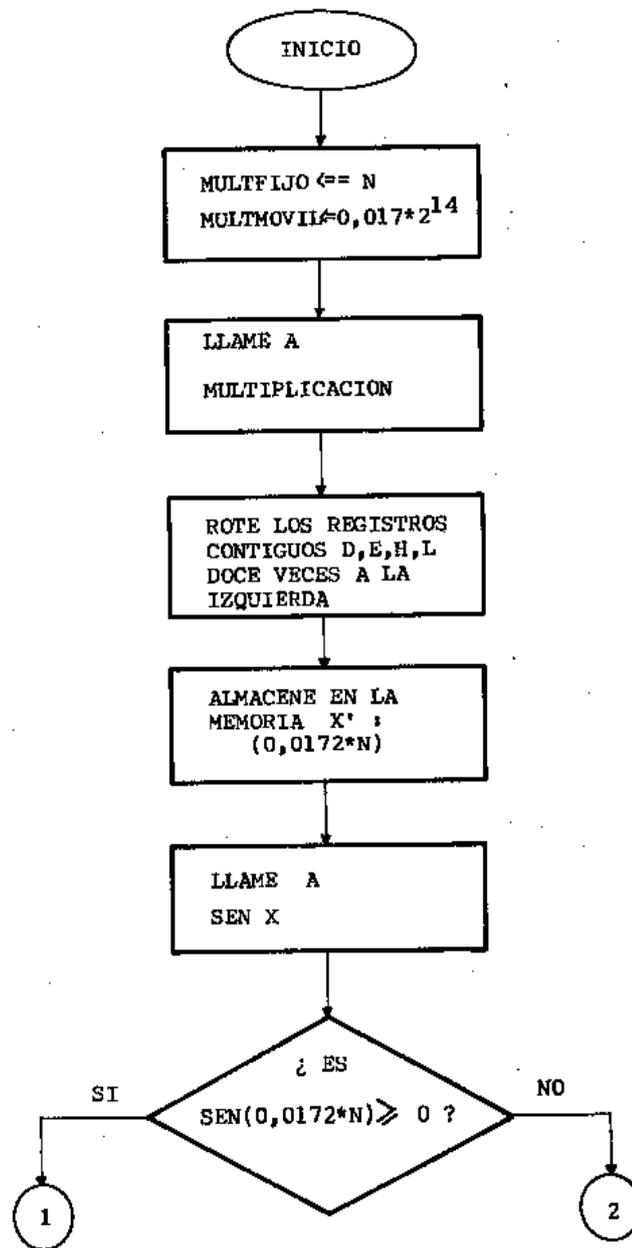


FIGURA 3.19 CALCULO ANGULO DELTA  
(LAMINA 1 DE 2)

AQUÍ VA 3.19. SEGUNDA HOJA

### 3.21. RUTINA CÁLCULO ÁNGULO HORARIO

El cálculo del ángulo horario se realiza desarrollando la siguiente expresión:

$$H_{(\text{rad})} = 0.2618 (T - 0.302)$$

Donde la hora local T viene dada en horas y el ángulo horario H viene dado en radianes. La constante 0.302 es una corrección que considera el retraso de 18' 7" de la ciudad de Guayaquil, con respecto a la hora oficial del Ecuador.

El valor de la hora T está constantemente siendo actualizado por la rutinas de INTERRUPCIÓN y se encuentra disponible en todo momento en la posición de memoria T.

La rutina se inicia cargando en los registros HL el valor T, luego se procede a realizar la diferencia T-0.302, almacenándose este resultado en la posición de memoria MULTFIJO.

El otro factor es decir 0.261, se almacena en la posición MULTMOVIL. Se procede finalmente a llamar a la rutina MULTIPLICACIÓN y luego se realiza la corrección del punto decimal, almacenándose este resultado en la dirección de memoria denominada H.

El Diagrama de Flujo correspondiente se encuentra en la figura 3.20.

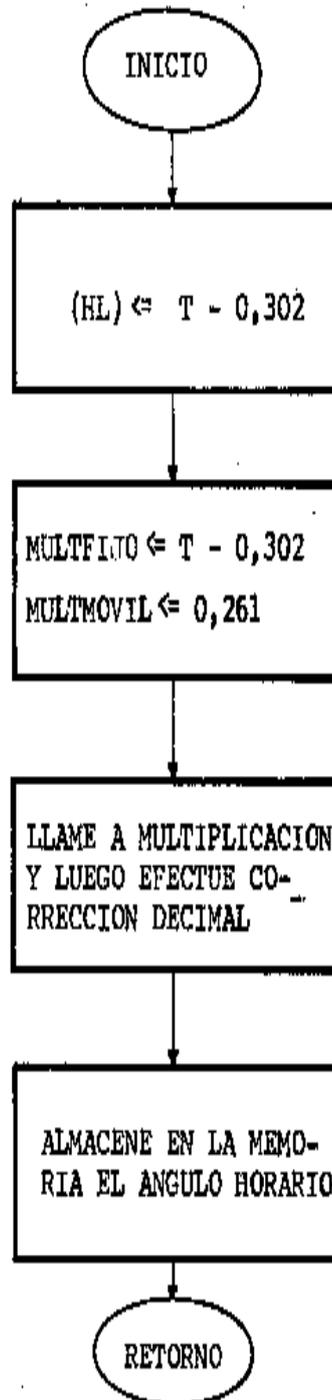


FIGURA 3.20 RUTINA CALCULO ANGULO HORARIO

### 3.22. RUTINA SENO DE ELEVACIÓN

Inicialmente la rutina SENO DE ELEVACIÓN llama a la rutina PREPSEN, que quiere significar rutina previa al Seno de E. Los objetivos de esta última rutina son los siguientes:

En primer lugar se calcula  $\text{Sen } \delta$ , almacenándose este resultado en la posición de memoria respectiva. En segundo lugar, se calcula el  $\text{Cos } \delta$ , se lo almacena, luego se calcula el  $\text{Sen } H$  y por último se procede a calcular el valor de  $\text{Cos } H$ , almacenándose también dichos valores en la memoria 8155.

Esta rutina asumen que se encuentran disponibles en memoria previamente los valores de  $\delta$  y  $H$ , actualizados.

Una vez listos en memoria los valores mencionados, la rutina SENO DE ELEVACIÓN puede continuar con su ejecución, que tiene por objeto calcular el valor del Seno del ángulo de elevación, que queda determinado por la siguiente expresión:

$$\text{Sen } E = -0.038 (\text{Sen } \delta) - \text{Cos } \delta \text{ Cos } H$$

El Diagrama de Flujo respectivo se lo observa en la figura 3.21.

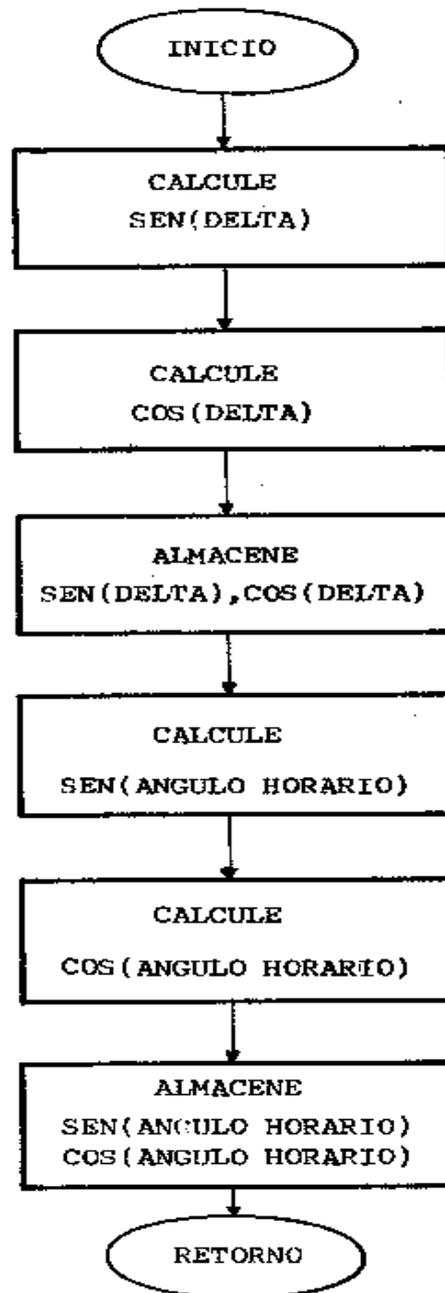


FIGURA 3.21 RUTINA PREPSEN

Se procede de inmediato a calcular el signo de  $\text{Sen } \delta$ . Si es positivo, se multiplica por 0.038, se complementa este resultado y se lo almacena temporalmente en la pila mediante la instrucción PUSH.

En caso de ser negativo, se complementa  $\text{Sen } \delta$  antes de ser multiplicado por 0.038, en este caso ya no se complementa el producto sino que es almacenado directamente en la pila. Luego se procede a realizar el producto  $\text{Cos } \delta \text{ Cos } H$ , según se observa en la figura 3.22., teniendo siempre presente que la rutina de multiplicación trabaja con números enteros positivos, lo que implica complementar el factor o los factores negativos previamente y también la corrección del punto decimal luego de cada multiplicación.

La aplicación de la rutina COMPLEMENTO A DOS, le asigna el signo negativo al producto de acuerdo a la ley de signos.

El  $\text{Sen } E$  se encuentra al finalizar esta rutina disponible en los registros HL.

El Diagrama de Flujo correspondiente se encuentra en la figura 3.22, que consta de tres partes.

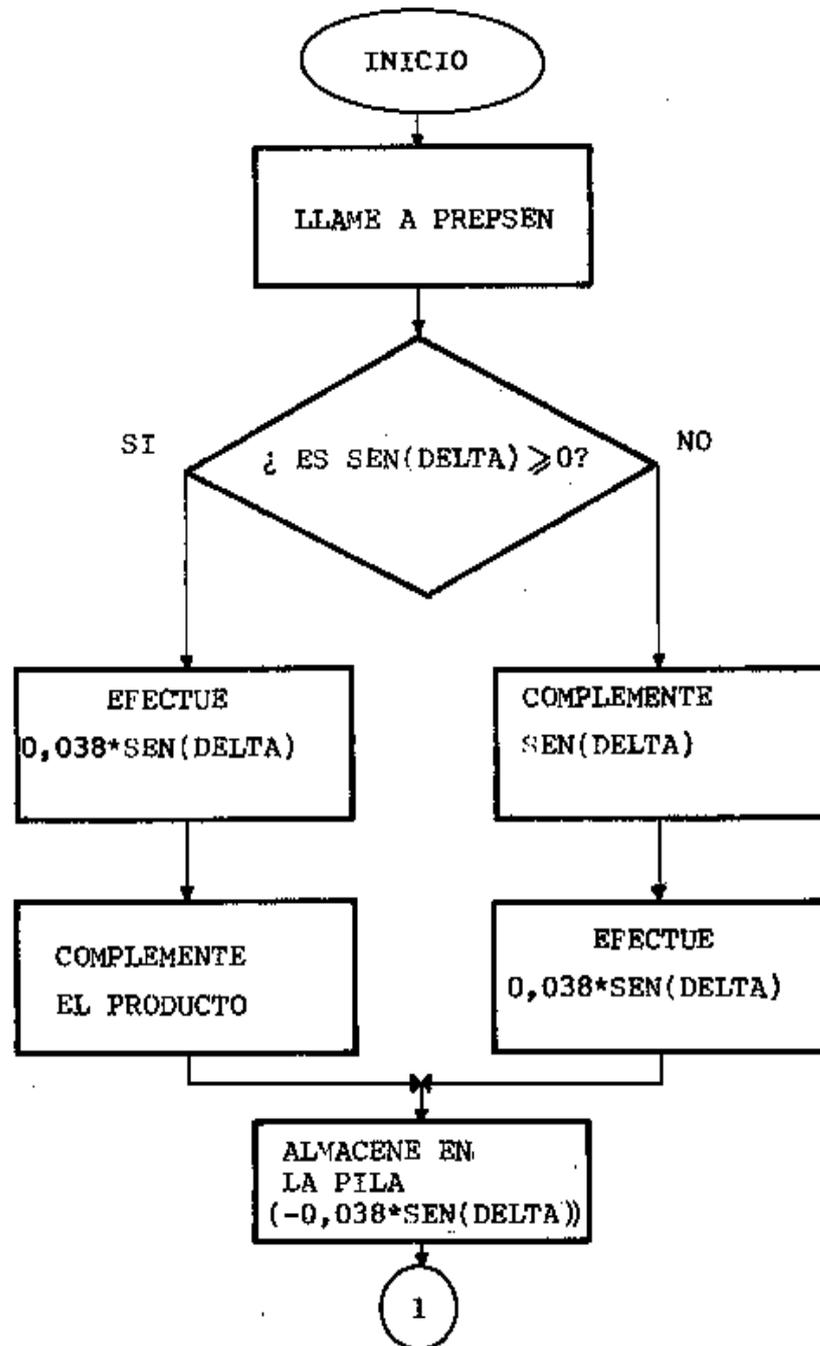


FIGURA 3.22 RUTINA SENO DE ELEVACION  
(LAMINA 1 DE 3)

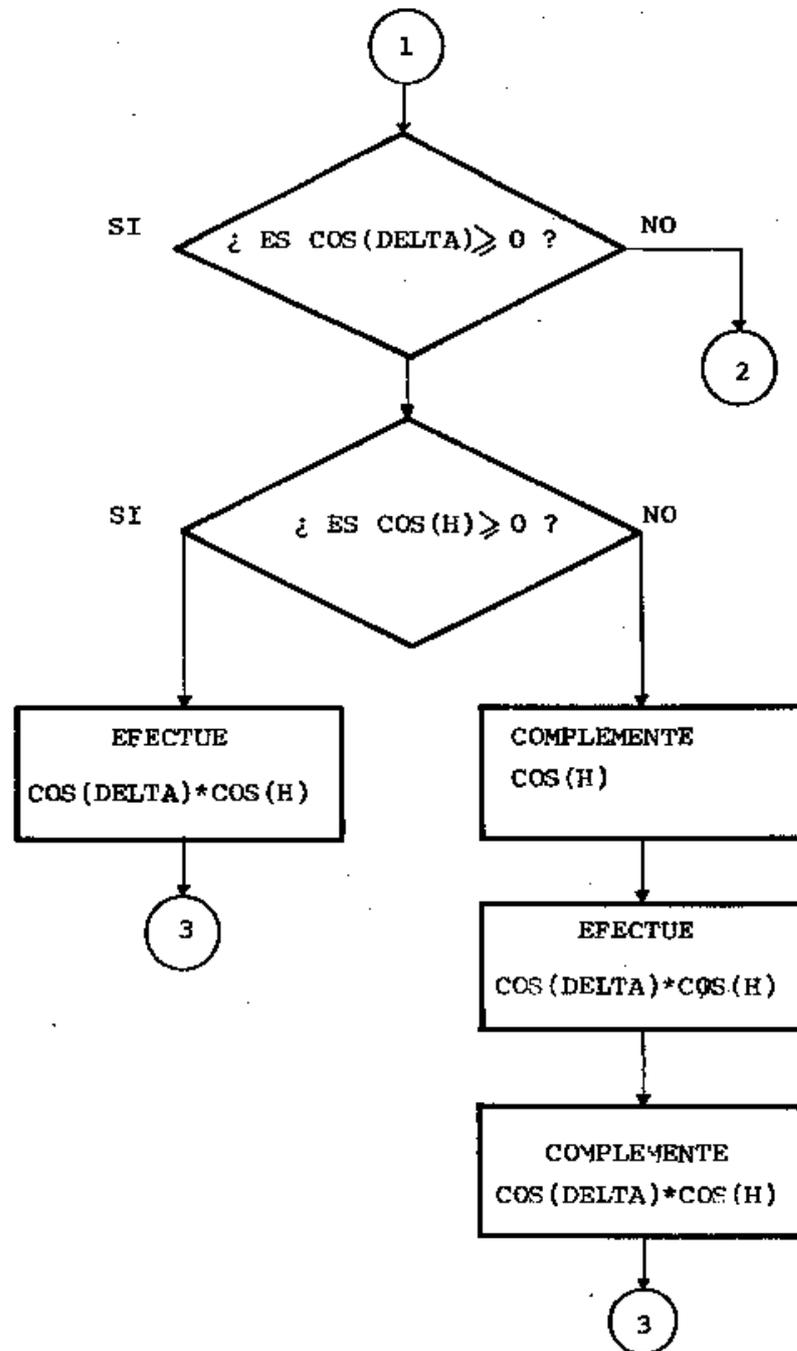


FIGURA 3.22 RUTINA SENOS DE ELEVACION  
(LAMINA 2 DE 3)

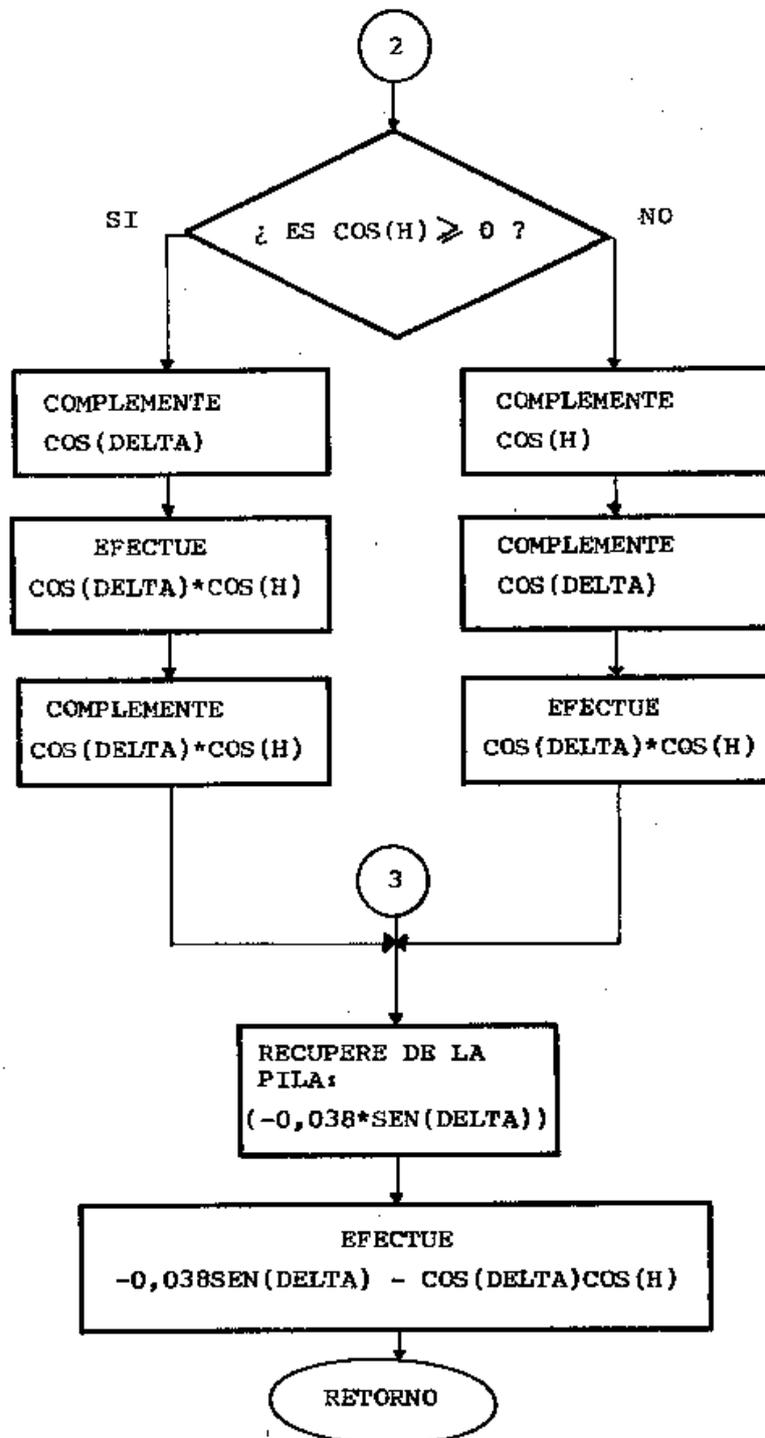


FIGURA 3.22 RUTINA SENOS DE ELEVACION  
(LAMINA 3 DE 3)

### 3.23. RUTINA CÁLCULO SENO DE AZIMUT

Esta rutina como su nombre lo indica, se encarga de calcular el seno del ángulo de Azimutal. La expresión matemática utilizada es la siguiente:

$$\text{Sen A} = \text{Cos } \delta \cdot \text{Sen H} / \text{Cos E}$$

Donde los términos  $\text{Cos } \delta$ ,  $\text{Sen H}$  y  $\text{Cos E}$ , deben haber sido previamente calculados y almacenados en las respectivas posiciones de la memoria.

El análisis anterior de esta ecuación indica que tanto  $\text{Cos E}$  como  $\text{Cos } \delta$  son siempre positivos, por lo tanto, quien determina el signo de  $\text{Sen A}$  es el  $\text{Sen H}$ .

La rutina realiza primero la multiplicación, por ello, en primer lugar determina el signo  $\text{Sen H}$ , si es positivo, se llama a la rutina MULT – DIV que realiza la multiplicación, luego almacena este producto en las posiciones MNOP, directamente; es decir, sin la corrección del punto decimal, por lo que el producto se encuentra multiplicado por  $2^{20}$ , esto con el fin de que el numerador sea mucho mayor que el denominador para obtener mayor precisión en la división. Luego almacena ceros en WX y  $(\text{Cos E} \times 2^{10})$  en YZ que son las direcciones definidas por la rutina DIVISIÓN como el denominador. Estando listo el dividendo y el divisor,

se procede a llamar a la rutina DIVISIÓN, luego de lo cual, el cociente se encuentra en los registros BCDE.

Puesto que el numerador está multiplicado por  $2^{20}$  y el denominador por  $2^{10}$  ; es decir, correr la coma hacia la izquierda 10 veces partiendo del LSB del cociente, que se encuentra almacenado en el registro E, por lo tanto el resultado de la división se encuentra almacenado y con la respectiva corrección del punto decimal en los registros DE.

Por último, la rutina MULTI-DIV almacena este resultado en los registros HL, para luego volver a la rutina CÁLCULO SENO DE AZIMUT.

En caso de que al inicio, el signo del Sen H sea negativo, se complementa este valor, se llama a la rutina y finalmente se complementa por segunda vez dicho valor, puesto que Sen A en este caso es negativo. El valor de Sen A se almacena en los registros HL.

El Diagrama de Flujo de la rutina MULT-DIV se observa en la figura 3.23 y el Diagrama de Flujo de la rutina CÁLCULO SENO DE AZIMUT, se observa en la figura 3.24.

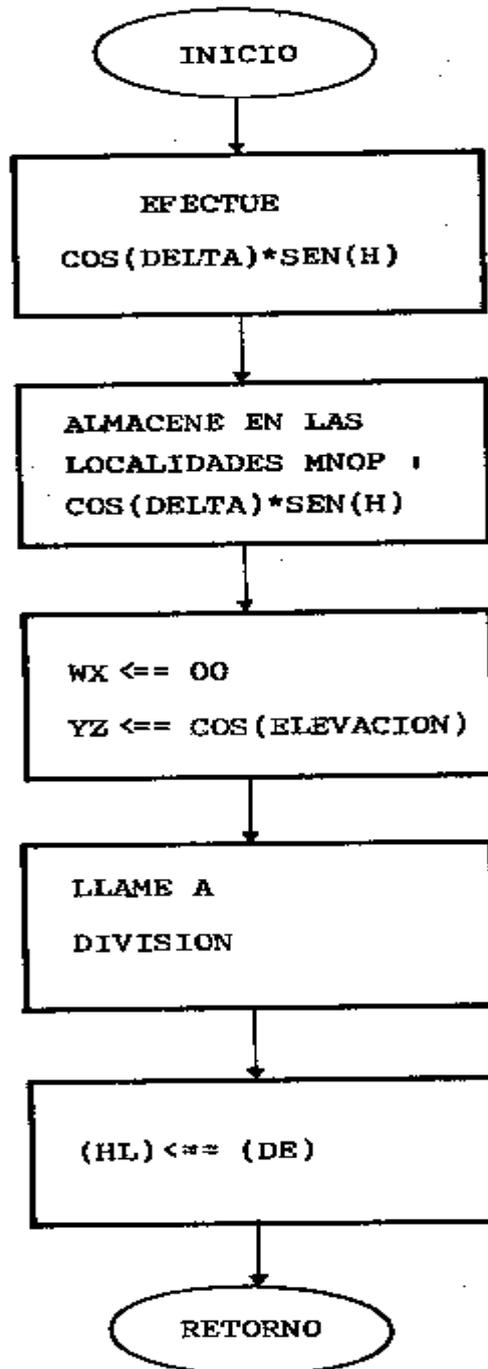


FIGURA 3.23 RUTINA MULT-DIV

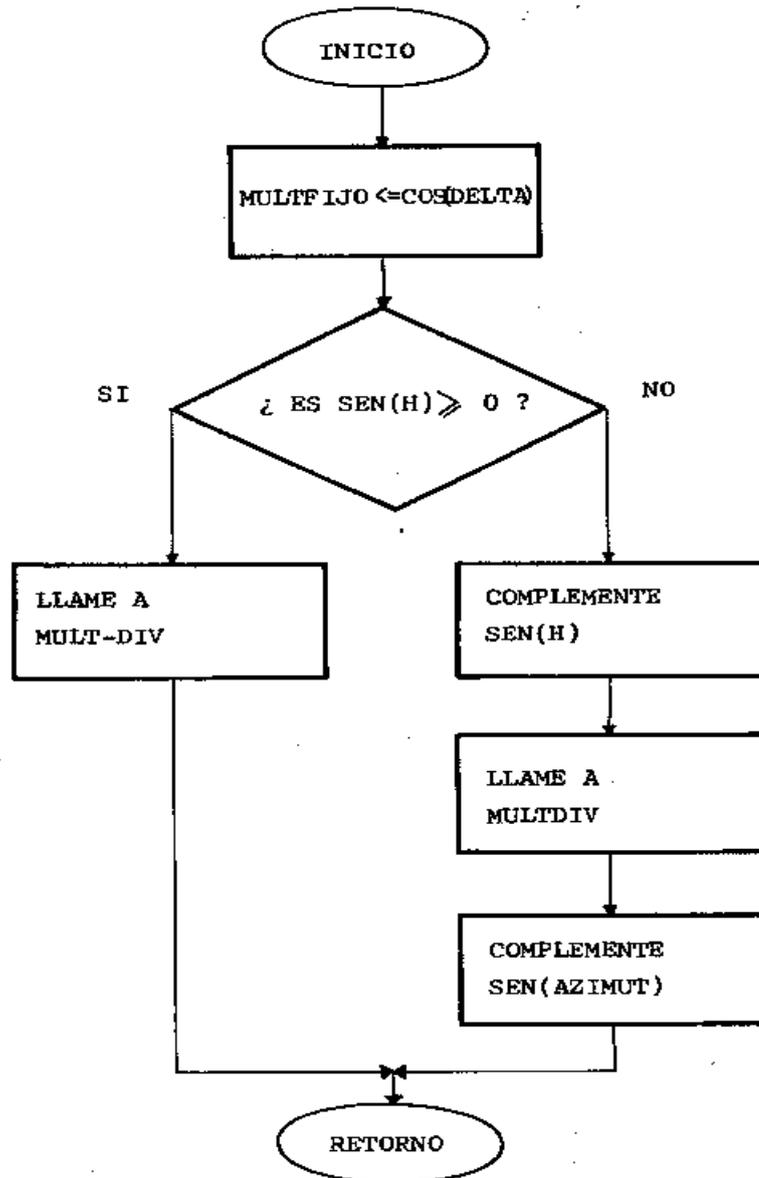


FIGURA 3.24 RUTINA CALCULO  
SENO DE AZIMUT

### 3.24. RUTINA SENO INVERSO X

Una vez introducidas las rutinas para el cálculo de Sen AS y Sen E, se requiere desarrollar una rutina para el cálculo del seno inverso de X, puesto que el posicionamiento de los motores se realiza en base de los ángulos de Elevación y Azimut; inclusive para el cálculo de Sen A se requiere conocer E.

El método inicial a seguir consiste en dado Sen E, buscar una X tal que  $|\text{Sen E} - \text{Sen X}| \leq 0.001$ , esto implica incrementar X desde cero hasta que dicha diferencia esté dentro del margen de error dado.

Se realizó un análisis de tiempo y se determinó que este programa introduciría una lentitud del orden de segundos para valores de X cercanos a uno, ya que si se considera un incremento  $X = 0.001$ , esto implica aproximadamente  $2^{10}$  cálculos para dichos valores.

El método numérico que se aplicó finalmente, consiste en trabajar con  $F(X) = \text{Sen X} - \text{Sen E}$ .

Puesto que  $0 \leq X \leq \pi/2$ , la función Sen X es creciente y por lo tanto lo es F(X), siendo ésta una función que tiene una sola raíz.

Se comienza evaluando  $F(X)$  en  $X = (\pi/2)/2$ . Si  $F(X)$  es positiva, esto implica que la raíz es menor que  $\pi/4$ , por tanto, se procede a evaluar  $F(X)$  en  $\pi/4 - \pi/8$ ; si  $F(X)$  es negativa, esto implica que la raíz es mayor que  $\pi/8$ , por tanto la siguiente evaluación es  $X = \pi/8 + \pi/16$ .

Este método converge rápidamente a la raíz en tan solo diez interacciones, para cualquier valor de  $\text{Sen } E$ .

Para el desarrollo de este programa, se reservan las posiciones de memoria denominadas  $XX/2$  y  $\text{Sen } \theta$ . El valor de  $\text{Sen } E$  ó  $\text{Sen } A$  se encuentra almacenado en los registros HL antes de ser llamada esta rutina. Finalmente el valor del arco  $\text{Sen } X$  se almacena en los registros HL.

El Diagrama de Flujo correspondiente se encuentra en la figura 3.25.

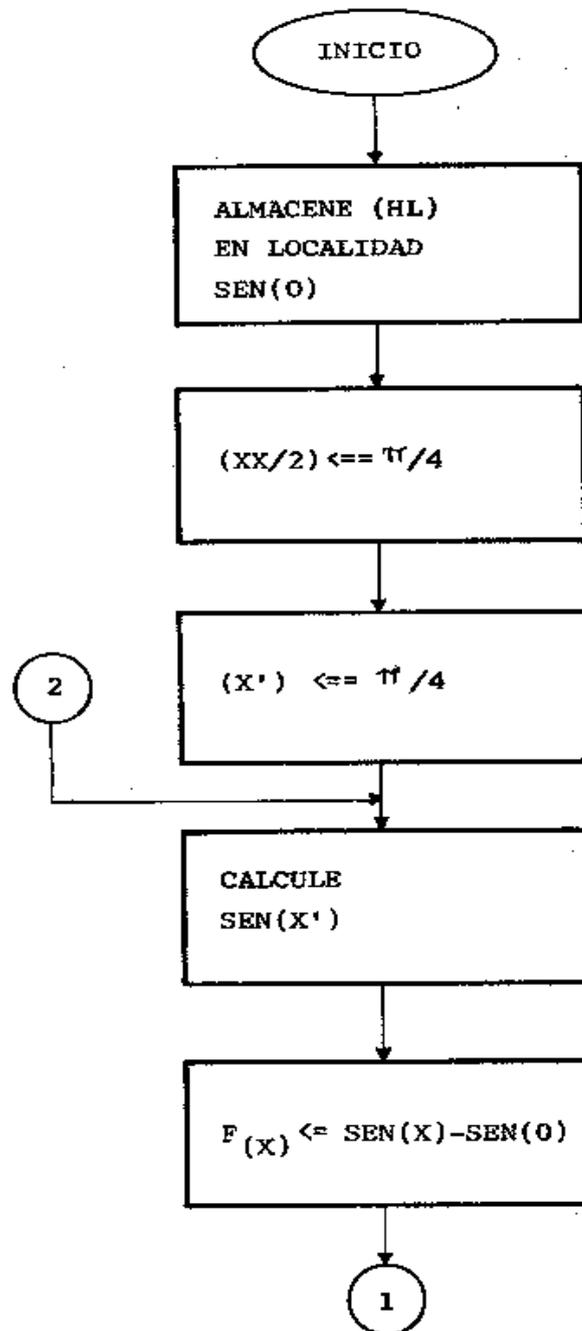


FIGURA 3.25 RUTINA SENO INVERSO X  
(LAMINA 1 DE 2)

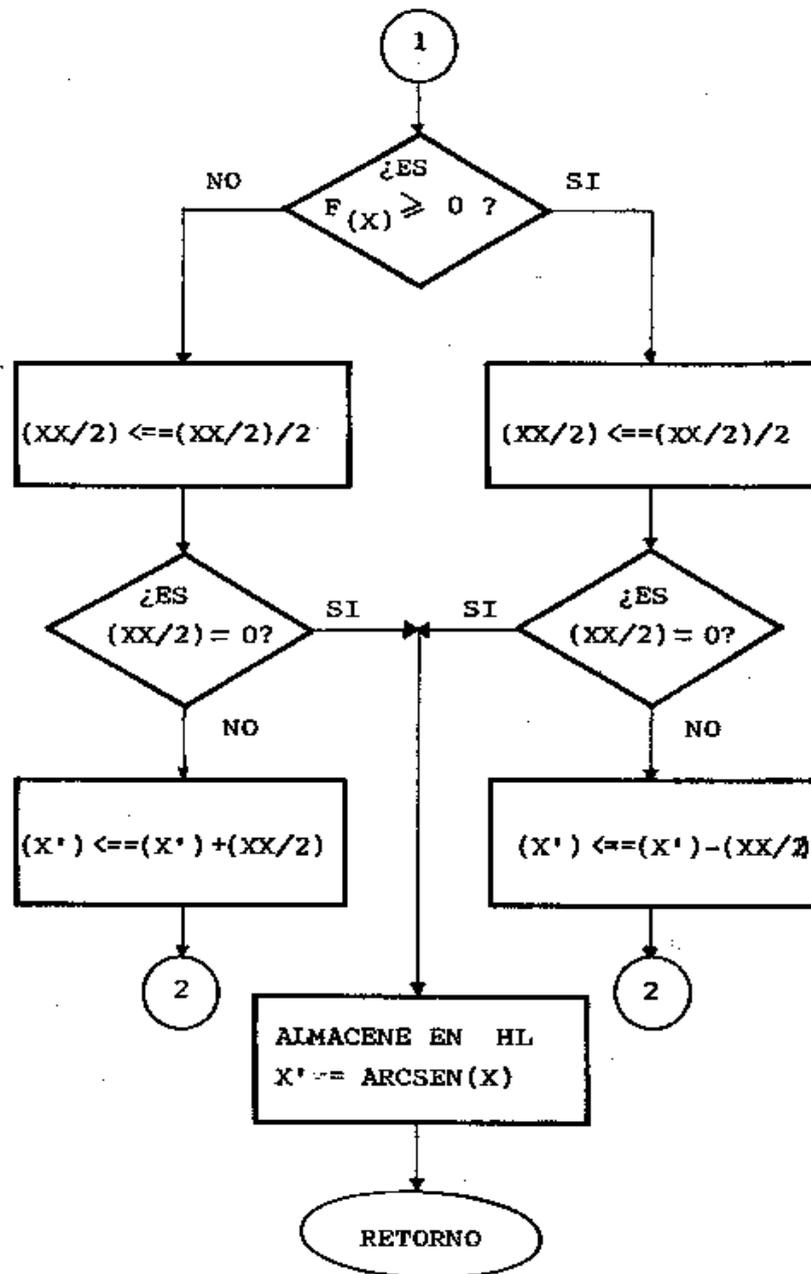


FIGURA 3.25 RUTINA SENOS INVERSO X  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.25. RUTINA SIGNO AZIMUT

En el Capítulo I, se determinó que el Ángulo de Azimut viene dado por la siguiente expresión:

$$A = \text{Sen}^{-1}(\text{Sen } \delta \text{ Cos } H / \text{Cos } E) \text{ si } \text{Cos } H \geq \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$$

ó

$$A = 270 - \text{Sen } \delta (\text{Sen } \text{Cos } H / \text{Cos } E) \text{ si } \text{Cos } H < \text{Tan } \delta / \text{Tan } L.$$

Esta rutina se encarga de determinar si  $\text{Cos } H \geq \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$  ó si  $\text{Cos } H < \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$ . Si se cumple la primera desigualdad entonces almacena 0000 en la dirección de ram denominada  $\text{Cos } H \geq \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$  y si  $\text{Cos } H < \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$  almacena en dicha posición el valor FFFF.

Antes de ser llamada esta rutina, se debe haber calculado previamente  $\text{Sen } \delta$ ,  $\text{Cos } \delta$  y  $\text{Cos } H$ .

La rutina signo de Azimut se inicia llamando a la rutina CÁLCULO  $\text{Tan } \delta$ , cuyo Diagrama de Flujo correspondiente se encuentra en la figura 3.26. Según se observa se determina primeramente el signo de  $\text{Sen } \delta$ ; si es mayor o igual a cero, se procede a calcular:  $\text{Tan } \delta = \text{Sen } \delta / \text{Cos } \delta$ , por medio de la rutina DIVISIÓN. En caso de ser  $\text{Sen } \delta$  negativo, primero

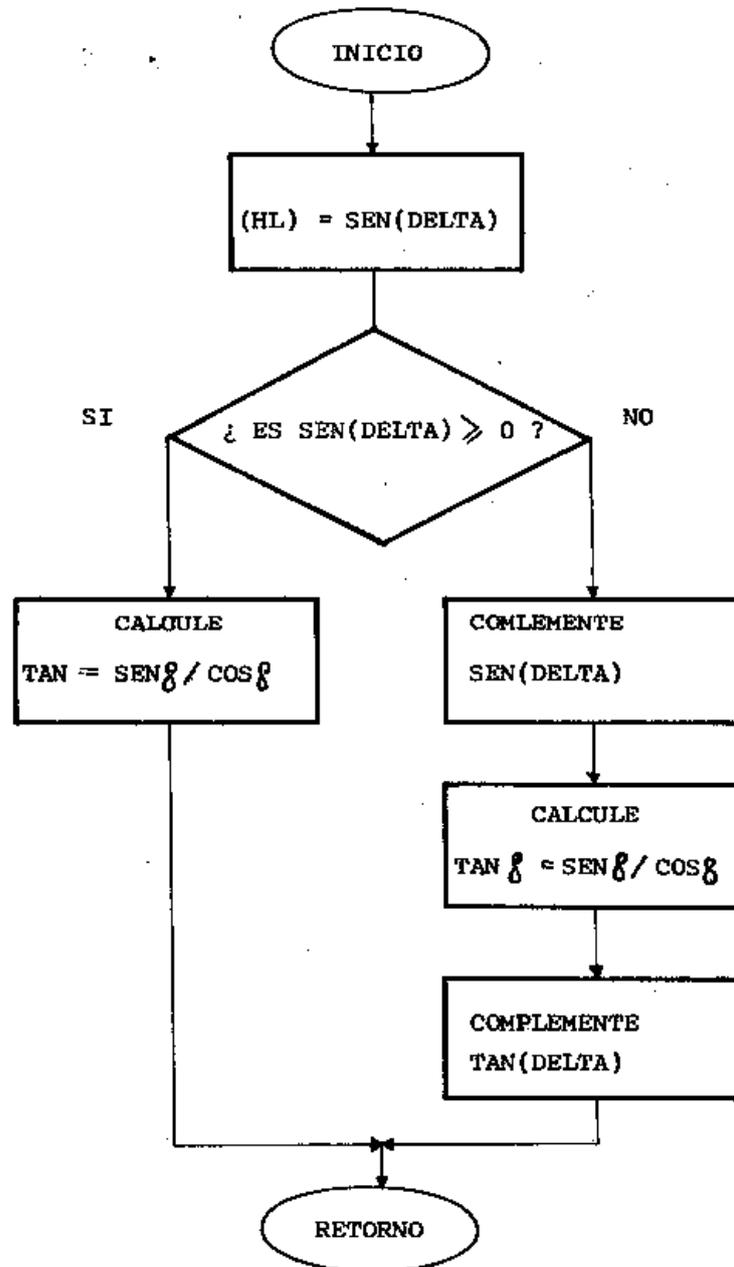


FIGURA 3.26 RUTINA CALCULO TAN(DELTA)

se complementa, luego se divide y se vuelve a complementar este resultado.

Una vez ejecutada esta rutina, la rutina SIGNO DE AZIMUT determina el signo de  $\text{Tan } \delta$  en caso de ser positivo se procede a dividir  $\text{Tan } \delta$  para  $- | \text{Tan } L |$ , esta división en realidad se realiza multiplicando  $\text{Tan } \delta$  por el inverso de  $- | \text{Tan } L |$ . El signo menos es debido a que  $\text{Tan } L = \text{Tan } - 2.19 = -0.038$ , pero sabemos que la rutina MULTIPLICACIÓN trabaja con números positivos. Se procede luego a complementar este producto. Si  $\text{Tan } \delta$  es negativo se complementa primero  $\text{Tan } \delta$ , luego se realiza la multiplicación.

Por último se determina si  $\text{Cos } H \geq \text{Tan } \delta / \text{Tan } L$  es verdadero o falso.

Existen tres posibles combinaciones:

1.  $\text{Cos } H$  y  $\{\text{Tan } \delta / \text{Tan } L\}$  positivos
2.  $\text{Cos } H$  y  $\{\text{Tan } \delta / \text{Tan } L\}$  negativos
3.  $\text{Cos } H$  y  $\{\text{Tan } \delta / \text{Tan } L\}$  signos diferentes.

Todas estas alternativas están consideradas en el Diagrama de Flujo correspondiente a la figura 3.27.

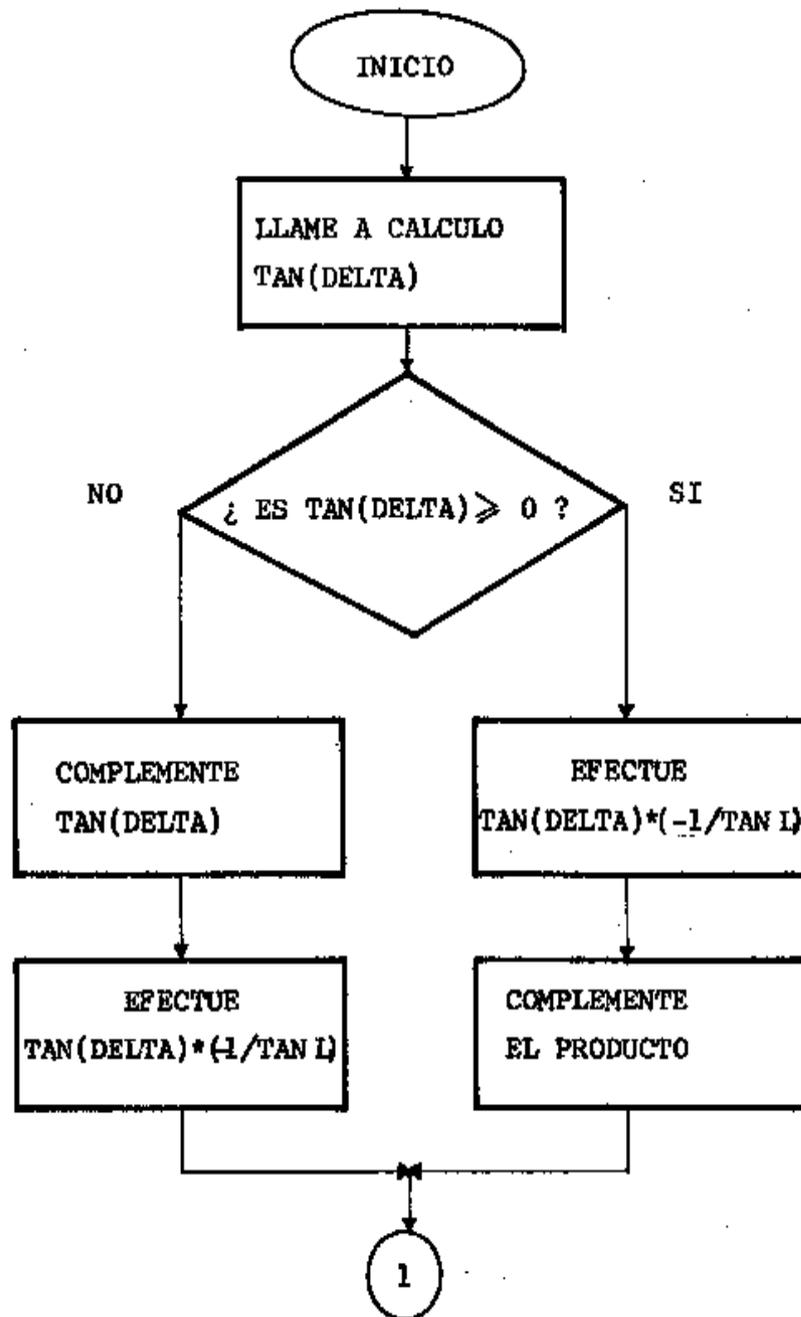


FIGURA 3.27 RUTINA SIGNO AZIMUT  
(LAMINA 1 DE 2)

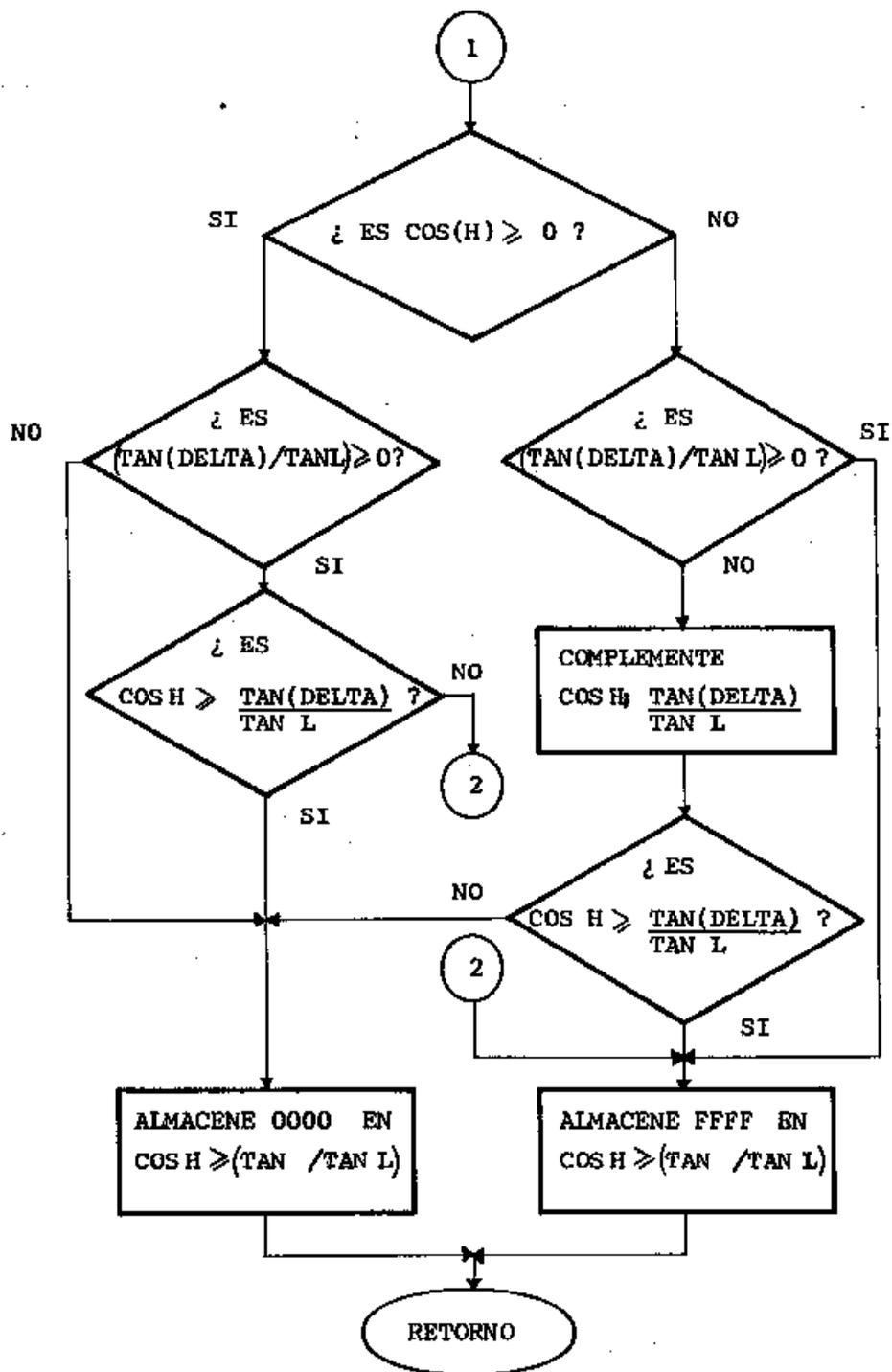


FIGURA 3.27 RUTINA SIGNO AZIMUT  
(LAMINA 2 DE 2)

### 3.26. RUTINA DE POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACIÓN

Esta rutina, tiene como objetivo controlar el ángulo de elevación, por medio del posicionamiento del motor de paso correspondiente.

Este ángulo, según se ha analizado anteriormente, depende de la hora, declinación terrestre, latitud, etc.

El paso del motor es de 1.8 grados, por lo tanto el error de posición es de  $\pm 1.8$  grados. El control se lleva a cabo básicamente calculando la diferencia entre la posición calculada o deseada y la posición actual. Si esta diferencia en valor absoluto es mayor a 1.8 grados que es la banda de error permitido, se procede a posicionar el motor hasta que dicha diferencia sea menor o igual a 1.8 grados, entonces se retorna al programa principal.

Según se observa en la figura 3.28., este programa llama primeramente a la rutina CÁLCULO DE ÁNGULO HORARIO, luego se procede a llamar la rutina de CÁLCULO SENO DE ELEVACIÓN. Si el  $\text{Sen } E$  es negativo, esto implica que el sol no ha salido aún, por lo tanto, se asume que  $\text{Sen } E = 0$ , en caso contrario se procede a calcular Seno inverso de  $E$  por medio de la RUTINA SENO INVERSO X. Una vez calculado el ángulo de elevación teórico, se procede a calcular el error entre la posición deseada y la posición actual. El método utilizado para

determinar la posición real o actual del motor de elevación consiste en definir en la memoria 8155 un contador denominado  $E_{real}$ . Inicialmente debe posicionarse físicamente el motor de elevación en  $E = 0$ , esto puede realizarse antes de encender el sistema.

El programa principal se encarga de encerrar el contador  $E_{real}$ , al amanecer, sincronizando de esta manera la marcha del motor y del contador. Cada vez que el motor es adelantado en un paso es decir en 1.8 grados simultáneamente es incrementado el contador  $E_{real}$  en 1.8 grados = 0.0314 radianes, de tal manera que el contenido  $E_{real}$  indica la posición actual del motor de paso.

Si el movimiento es un decremento en 1.8 grados, el contador también se decrementa en 0.0314 radianes. Por lo tanto, el cálculo del error se realiza restando el ángulo de elevación calculado del contador  $E_{real}$ .

A continuación, la rutina pregunta si el error es positivo o negativo, esto para determinar el sentido de la corrección si hubiere necesidad de ello.

Si el error es positivo, se procede a calcular si el error es mayor o igual a 1.8 grados, si no lo es, el motor se encuentra dentro de la banda de error permitida y por lo tanto no se requiere efectuar ninguna corrección, pero en caso de que el error sea mayor o igual a 1.8 grados, entonces hay que incrementar en un paso el motor de elevación, es decir en 1.8

grados; simultáneamente se incrementa el contador  $E_{real}$  en 0.0314 radianes.

El movimiento es producido por medio de la generación de un pulso de cuenta hacia arriba al contador 74LS192 que gobierna al motor de elevación, este pulso es generado por medio del bit A7 de la puerta 21. Luego de esto, se procede a dejar transcurrir aproximadamente 10 ms, este retardo con el propósito de esperar que el motor realice el movimiento, si no se procede de esta forma, en vista de la rapidez del microprocesador, podría llegar otro pulso de corrección de posición antes de que haya terminado de efectuar el primer movimiento, de tal forma que no reaccionaría ante el segundo pulso de corrección. De este punto, se retorna al inicio de la rutina con la finalidad de volver a calcular la posición deseada y realizar la o las correcciones correspondientes hasta que el error de posición sea menor a 1.8 grados, en tales circunstancias se retorna al programa principal.

En caso de que las correcciones requeridas sean del tipo negativas, es decir que impliquen disminución del ángulo de Elevación, se procede de manera similar, con la salvedad que se decrementa el contador  $E_{real}$ , por cada movimiento negativo del motor y además, el pulso de corrección se genera por medio del bit A6 de la puerta 21, según se observa en la figura 3.28., donde se puede apreciar la rutina de posicionamiento motor elevación.

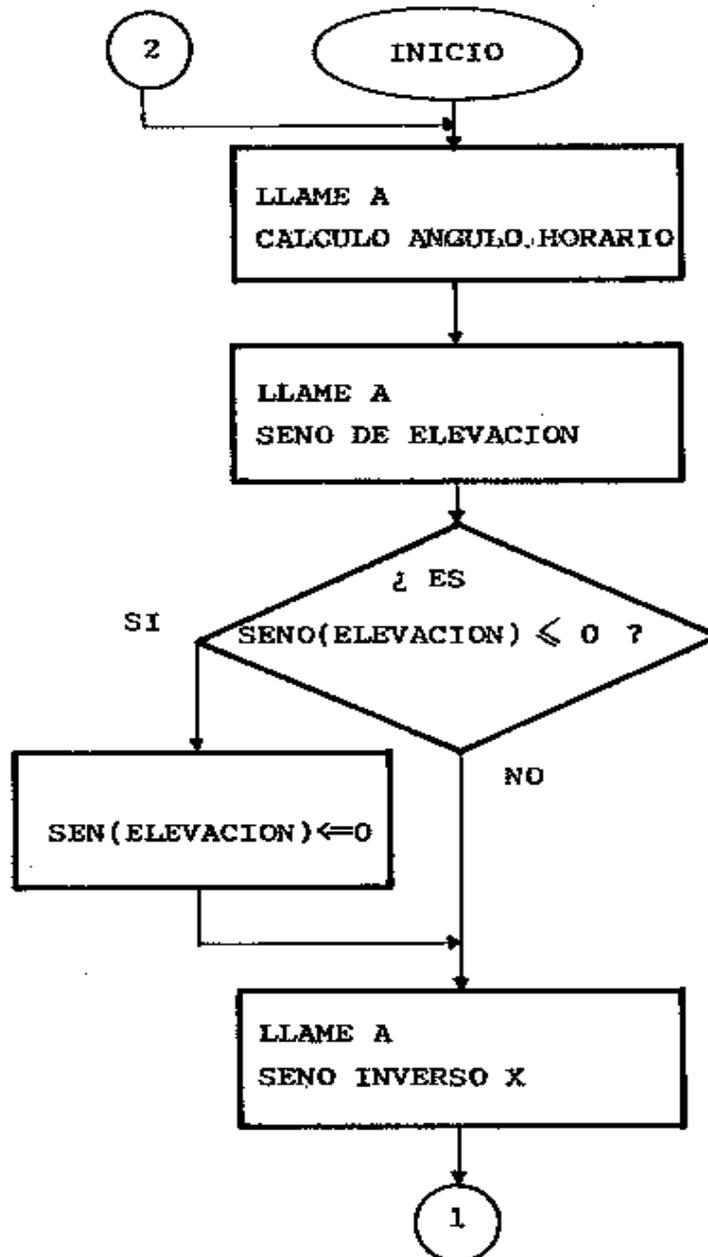


FIGURA 3.28

RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACION  
(LAMINA 1 DE 2)

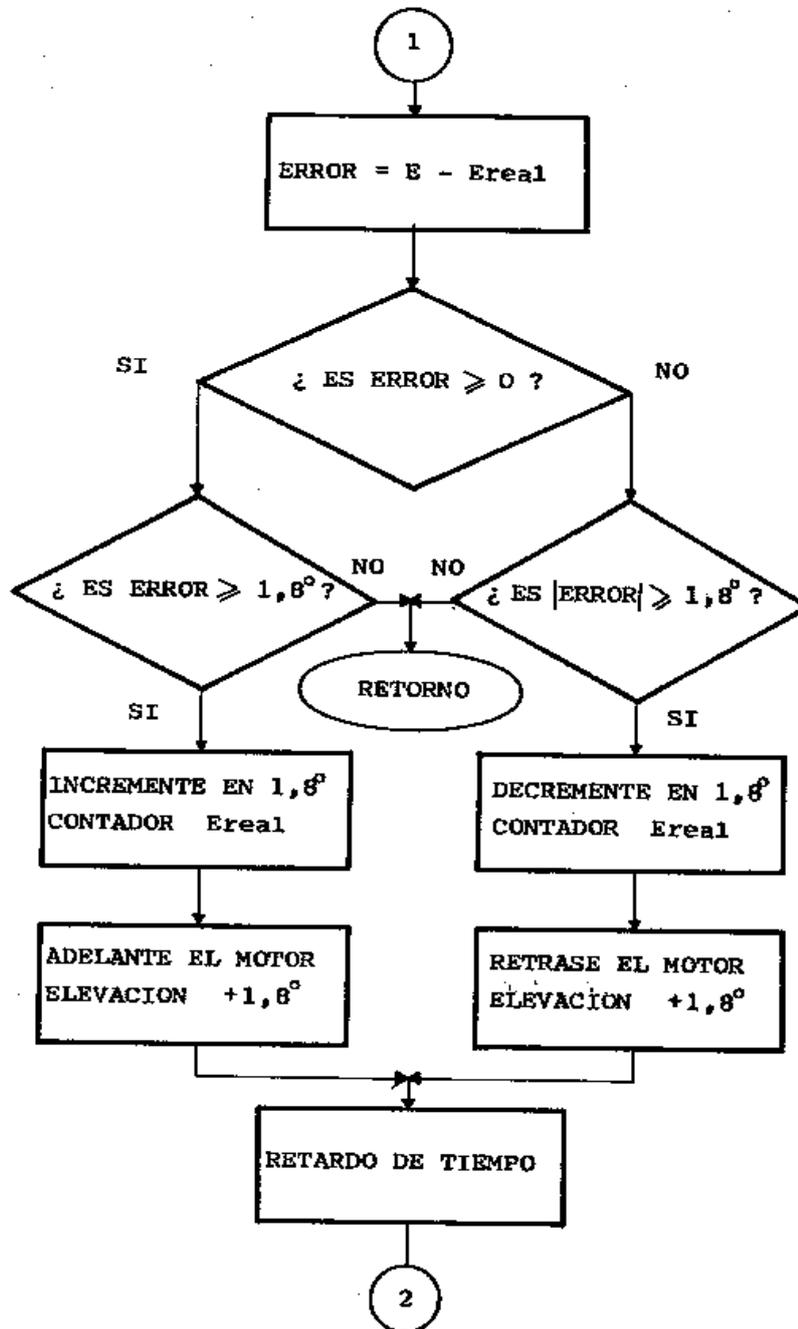


FIGURA 3.28  
 RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACION  
 (LAMINA 2 DE 2)

### 3.27. RUTINA DE POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT

Esta rutina tiene como objetivo controlar el ángulo de Azimut por medio del posicionamiento del motor de paso correspondiente.

El principio utilizado para el control es similar al utilizado en el control del ángulo de Elevación, por lo tanto se busca encontrar el error entre la posición deseada y la posición actual, definiéndose para ello un contador en la memoria 8155 denominada  $A_{real}$ , que permitirá al sistema conocer la ubicación del motor Azimut.

El programa se inicia llamando a la rutina CÁLCULO ÁNGULO HORARIO, luego a la rutina CÁLCULO SENO DE ELEVACIÓN, puesto que se requiere conocer E para luego calcular Cos E necesario para el cálculo de Sen A.

Si Sen E es negativo o cero; es decir, que aún no sale el sol en el firmamento, entonces no hace falta mover el motor de Azimut; es decir, se lo mantiene en la posición inicial, por ello, se asigna en tales circunstancias  $A \leftarrow 00$  directamente.

En caso de que Sen E es mayor que cero, se procede a calcular Seno inverso de E llamándose a rutina Seno INVERSO X, luego se calcula el Cos E por medio de la rutina Cos X. Se procede entonces a calcular

Sen A por medio de la rutina Seno de Azimut. Como se recordará, esta rutina permite conocer:

$$-1 \leq \text{Sen } A \leq +1$$

Esto implica que en ciertos casos, A puede ser un ángulo negativo, lo que introduce dificultades en el control de posición del motor, por lo tanto, para que A sea siempre positivo, se traslada el origen del ángulo Azimutal en -90 grados y para compensar este cambio, se suma siempre 90 grados menos el ángulo Azimutal calculado por el microcomputador; por lo tanto, si  $\text{Cos } H \geq \{ \text{Tan } \delta / \text{Tan } L \}$ , entonces  $A \leftarrow \{ \text{Sen}^{-1} A \} + 90^\circ$  y si  $\text{Cos } H < \{ \text{Tan } \delta / \text{Tan } L \}$ , luego  $A \leftarrow 180^\circ - \text{Sen } A + 90 = 270 - \{ \text{Sen}^{-1} A \}$ . Puesto que se ha determinado A, el sistema puede pasar a determinar el  $\text{Error} = A - A_{\text{real}}$  y precisar el signo de esta diferencia lo cual permitirá determinar el sentido de la corrección, es decir, adelanto o atraso, si el error, en valor absoluto es mayor que 1.8 grados.

La corrección se realiza de manera similar a la realizada en la rutina anterior con la diferencia que los pulsos para mover el motor se envían a través de los bits A5 y A4 de la puerta 21, siempre con la generación de un retardo antes de regresar al inicio, debido a la lentitud del motor en comparación con la velocidad del microcomputador.

Se finaliza la rutina cuando el error es menor a 1.8 grados retornando al programa principal. Esto lo apreciamos en la figura 3.29.

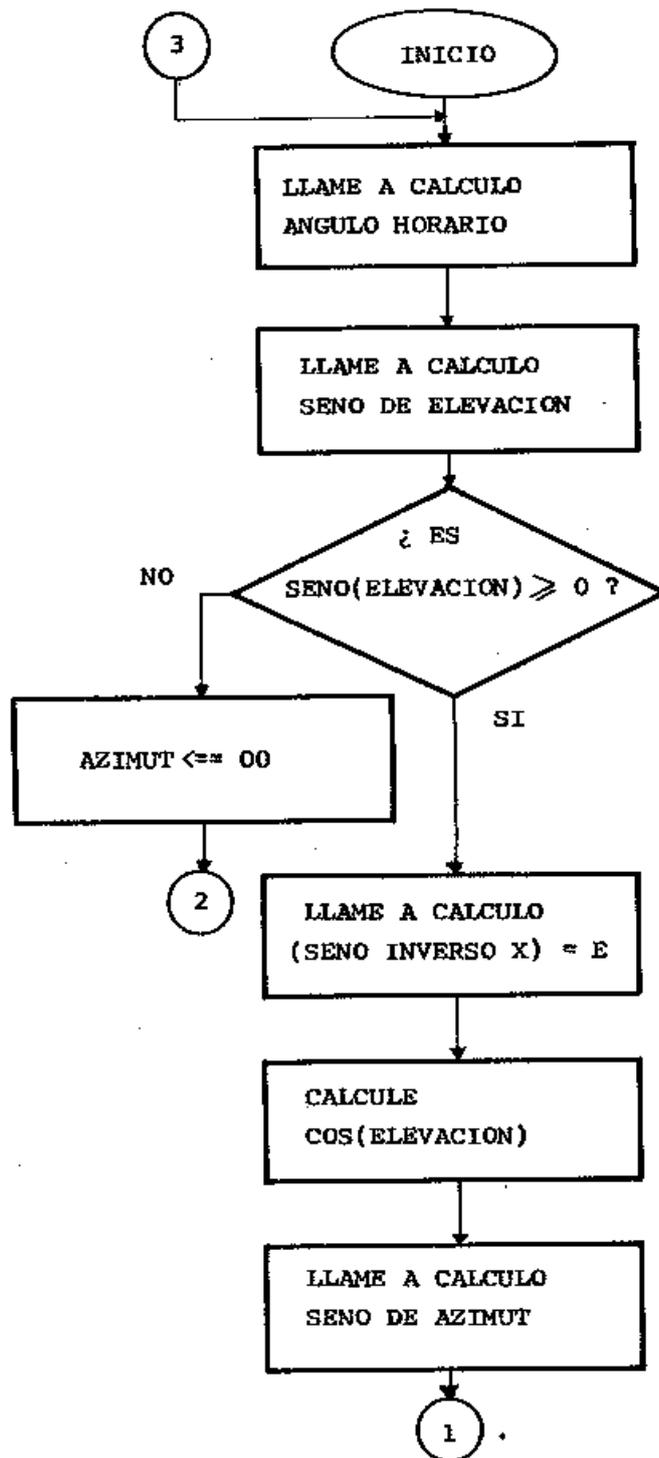


FIGURA 3.29  
 RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT  
 (LAMINA 1 DE 3)

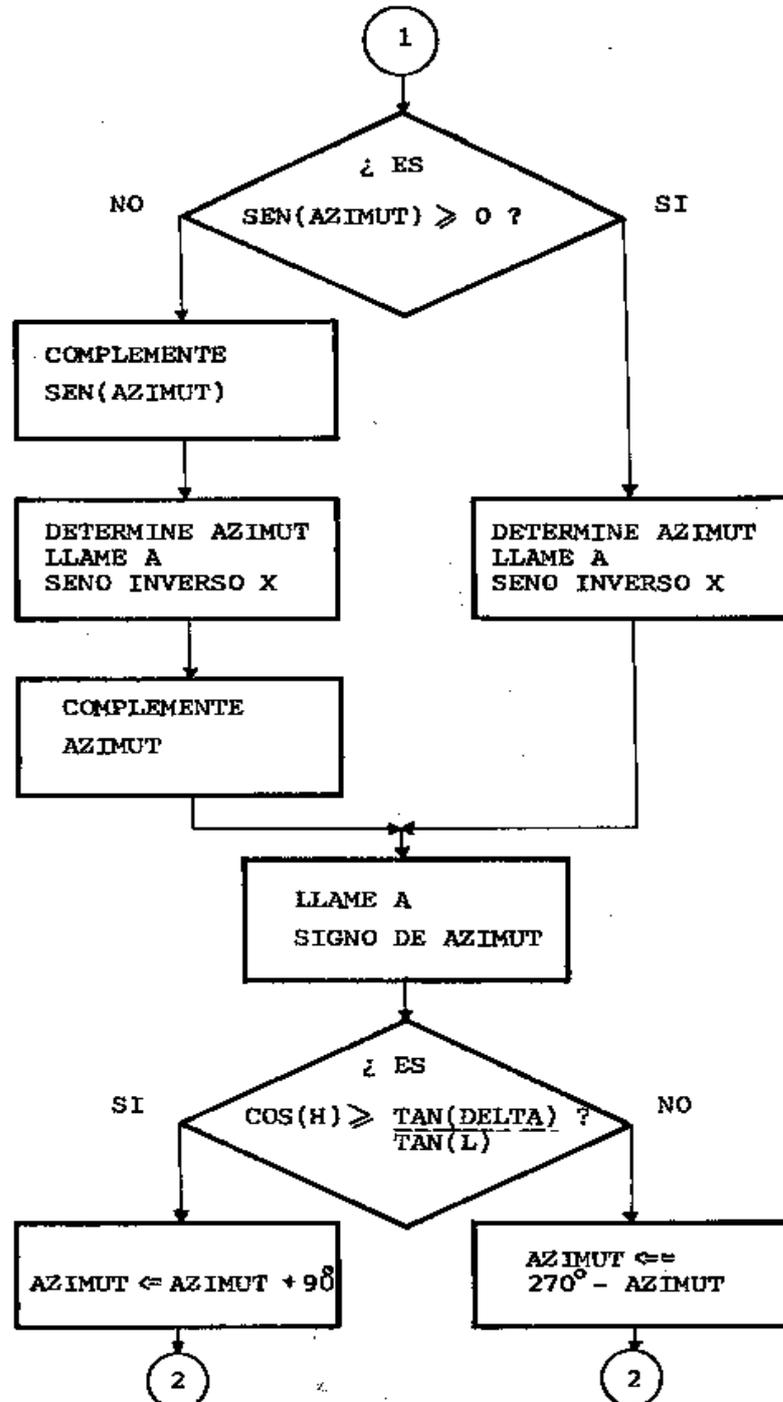


FIGURA 3.29  
 RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT  
 (LAMINA 2 DE 3)

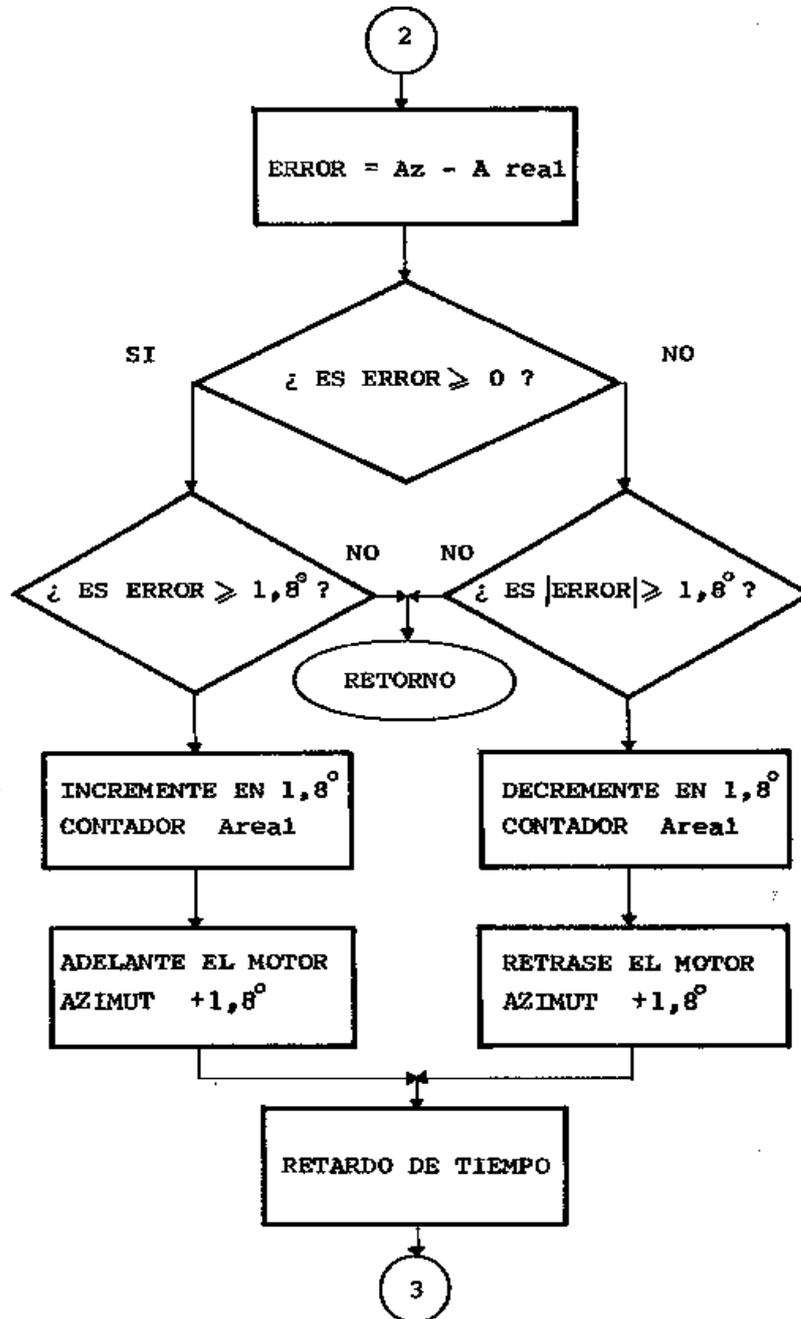


FIGURA 3.29  
 RUTINA POSICIONAMIENTO MOTOR AZIMUT  
 (LAMINA 3 DE 3)

## **CAPÍTULO IV**

### **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El correcto funcionamiento de los distintos programas desarrollados a lo largo del presente trabajo y que tienen como objetivo, alcanzar un eficiente seguimiento al sol, requiere estar debidamente avalizado.

Este capítulo está destinado a la evaluación de los diferentes programas desarrollados en el Capítulo III. Programas tales como: RUTINA Cos – X, Sen – X, etc., tienen implícitas otras rutinas que son llamadas por dichos programas, por lo tanto, el correcto funcionamiento de las rutinas mencionadas arriba, implica la satisfactoria operación de aquellas otras que forman parte las mismas y por tanto, no se requiere detallar sus respectivas pruebas.

En la corrida del programa maestro, las pruebas finales efectuadas a las rutinas Posicionamiento Motor Elevación y Azimut, son realizadas con el sistema operando íntegramente es decir, con la interfase digital acoplada así como también los dos motores de paso.

Estas pruebas son desarrolladas bajo techo, en el interior del laboratorio, mientras que la prueba final es efectuada en la terraza de la ESPOL, a pleno sol, con el fin de verificar de manera real, el óptimo funcionamiento del sistema de seguimiento al sol.

## 4.2. TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

Se especifica inicialmente, la tabla 4.1., concerniente a la prueba experimental de la rutina Cos – X PARCIAL.

Esta rutina calcula el Cos – X para  $0 \leq X \leq \pi / 4$  y llama a las rutinas Multiplicación y Exponenciación, por tanto, la exitosa ejecución de la rutina Cos – X PARCIAL implica el correcto funcionamiento de las dos rutinas mencionadas, por lo tanto, sus correspondientes tablas, no han sido especificadas.

En la tabla mostrada se puede observar que el error introducido por la rutina Cos – X PARCIAL, es del orden de una milésima, lo cual satisface plenamente las exigencias de precisión establecidas.

La siguiente tabla especificada es la 4.2., referente a la rutina Sen – X PARCIAL, que calcula el Sen – X para  $0 \leq X \leq \pi / 4$ .

Según se puede apreciar, se cumple el hecho de que para ángulos pequeños, el Sen – X tiende a X y se puede observar además la gran

exactitud entre los valores teóricos y los experimentales, pues el error es menor a una milésima.

Se presenta a continuación de la tabla 4.3., que muestra la evaluación de la rutina Cos – X.

Según se mencionó en el capítulo anterior, esta rutina calcula el Cos – X para  $0 \leq X \leq 2/\pi$  .

Para la tabla indicada se han escogido dos valores de X por cada cuadrante con el fin de verificar las 8 posibilidades que existen para la variable X. Según se puede observar en la tabla 4.3., el Cos – X para valores de X pertenecientes al II y III cuadrante, son negativos; es decir, que el bit de signo es igual a uno en anotación de complemento -2.

Se puede apreciar que la exactitud determinada se encuentra en el orden de una milésima.

En la tabla 4.4., se puede ver que la evaluación de la función Sen – X que abarca  $0 \leq X \leq 2/\pi$  .

Se utilizó el mismo criterio empleado en la tabla anterior para los valores de X. Se observa que Sen – X es negativo en los cuadrantes III y IV, según se debía esperar.

El error encontrado es del orden de una milésima.

La evaluación de las rutinas CÁLCULO ÁNGULO HORARIO, SENO DE ELEVACIÓN, SENO INVERSO – X, en este orden, se encuentra implícita en la tabla 4.5.

Se ha fijado el ángulo DELTA = -19.60 grados, lo que equivale a fijar el número del día N. Luego se evalúa el ángulo de elevación para diferentes horas de la mañana y tarde. Se incluye también las 12.302 horas, puesto que en tales circunstancias, el ángulo de elevación alcanza su máximo valor. Se incluye el valor de la hora  $T^{(hex)}$  correspondiente.

La evaluación realizada implica realmente el análisis de la primera parte de la rutina POSICIONAMIENTO MOTOR ELEVACIÓN, pues, ésta llama inicialmente, a las tres rutinas mencionadas anteriormente.

En la tabla 4.5., se puede apreciar que el error es del orden de una décima de grado. Se observa además que el ángulo de elevación experimental es de cero grado en las horas 5.00 y 19.00. Esto se debe a que el sol en tales circunstancias se encuentra oculto. (Eteórico  $\leq 0$  y  $A = 0^\circ$ ).

La evaluación de la rutina Seno de Azimut, que implica el análisis de la rutina División, se encuentra especificado en la tabla 4.6. Los valores

encontrados son referidos al origen inicial del ángulo Azimut. Por lo tanto, la rutina de Posicionamiento respectiva, se encarga de sumar los noventa grados correspondientes al traslado del eje de Azimut, según se analizó en el Capítulo I.

Cuando  $A = 00$ , no se suman los noventa grados.

El error encontrado es del orden esperado, es decir, de una décima de grado.

Las siguientes tablas presentadas se refieren a pruebas finales efectuadas al sistema de seguimiento, es decir, la prueba del programa principal, que se basa en las rutinas de ingreso de datos y de posicionamiento de los motores.

La medición de los ángulos de elevación y azimut, se efectúan contabilizando el número de pasos que efectúa cada motor, teniendo presente que cada paso equivale a 1.8 grados.

En la tabla 4.7., se evalúa al sistema de seguimiento el día 17 de noviembre, fecha escogida de manera aleatoria e ingresada por teclado. Puesto que la prueba se efectuó en el mes de octubre, éste experimento fue realizado bajo techo.

Se procedió a determinar los ángulos de elevación y azimut experimentales, contabilizando el número de movimientos efectuados por cada motor. Esto se realizó simplemente por observación, ya que se puede apreciar con facilidad cada movimiento discreto del motor.

Se especifica en la tabla 4.7., los ángulos de azimut y elevación teóricos; es decir, calculados por medio de las respectivas ecuaciones, luego se compara estos datos con los experimentales.

Según se puede apreciar, el error es siempre inferior a 1.8 grados, como se esperaba, esto, tanto para el ángulo de elevación como para el ángulo de azimut.

La tabla 4.8., fue elaborada de manera similar, con la diferencia que la evaluación se realizó para el día 17 de diciembre. De igual manera, se evalúa para diferentes horas del día.

Se puede observar que el error introducido es inferior a 1.8 grados.

Debido a que se requiere conocer si el sistema opera bien durante todo el año, y es irrelevante esperar tanto tiempo para efectuar pruebas totales, se ha introducido la tabla 4.9., en la que se evalúa el sistema durante los doce meses y se compara los ángulos de elevación y azimut experimentales con los respectivos ángulos calculados teóricamente, por lo tanto, este experimento se realizó también, bajo techo. Se escogió el

día 21 de cada mes, por ser un día de interés debido a que los solsticios y equinoccios tienen lugar el día 21.

Se puede apreciar en la tabla 4.9., que el error se encuentra siempre dentro del margen de error permitido, es decir  $\pm 1.8^\circ$ .

Finalmente se especifica en la tabla 4.10., los resultados de la prueba efectuada en la terraza de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, el día 28 de septiembre del año 1987.

En ésta tabla se compara los ángulos de elevación y azimut experimentales con los respectivos ángulos reales, también medidos de manera experimental ese mismo día y que en la tabla son considerados como teóricos.

Inicialmente se posicionó el motor de azimut, apuntando hacia el oeste y se fijó en cero grado el ángulo de elevación. Posteriormente se efectuaron las mediciones indicadas en diferentes horas del día.

Las mediciones finales resultaron altamente exitosas, según se puede apreciar al observar el error de puntería determinado.

TABLA Nº 4.1.

EVALUACION RUTINA Cos-X PARCIAL						
ANGULO X (grados)	ANGULO X (radian-Hex)	COS-X(Teórico) (Hex)	COS-X(exp) (Hex)	COS-X(Teór.) (base 10)	COS-X(exp) (base 10)	ERROR (base 10)
0	0000	0400	0400	1,000	1	0
1	0011	03FF	0400	0,9998	1	0,0002
3	0035	03FE	03FF	0,9986	0,9990	0,0004
5	0059	03FC	03FD	0,9961	0,9971	0,001
8	008E	03F6	03F7	0,9902	0,9912	0,001
16	011D	03D8	03D9	0,9612	0,9619	0,0007
28	01F4	0388	0388	0,8829	0,8828	0,0001
30	0218	0377	0377	0,8660	0,8662	0,0002
35	0271	0346	0347	0,8191	0,8193	0,0002
45	0324	02D3	02D4	0,7071	0,7070	0,0001

TABLA Nº 4.2.

EVALUACION RUTINA SEN-X PARCIAL						
ANGULO X (grados)	ANGULO X (radian-Hex)	SEN-X(Te6r) (Hex)	SEN-X(Exp.) (Hex)	SEN-X(Te6r.) (Base 10)	SEN-X(Exp.) (Base 10)	ERROR (Base 10)
0	0000	0000	0000	0,000	0,000	0,0000
1	0011	0011	0011	0,0174	0,0166	0,0008
3	0035	0035	0035	0,0523	0,0517	0,0006
5	0059	0059	0059	0,0871	0,0869	0,0002
8	008E	008E	008E	0,1392	0,1386	0,0005
16	011D	011A	011A	0,2756	0,2754	0,0002
28	01F4	01E0	01E1	0,4695	0,4697	0,0002
30	0218	0200	0200	0,5	0,5	0,0000
35	0271	024B	024B	0,5735	0,5732	0,0003
45	0324	02D3	02D4	0,7071	0,7071	0,0001

TABLA N° 4.3.

## EVALUACION RUTINA COS-X

ANGULO X (grados)	ANGULO X (rad-Hex)	COS-X(Teór.) (Hex)	COS-X(exp.) (Hex)	COS-X(Teór.) (Base 10)	COS-X(exp.) (Base 10)	ERROR (Base 10)
28	01F4	0388	0388	0,8829	0,8829	0,0001
74	052A	011B	011A FF71	0,2756	0,2754	0,0002
98	06D7	-(008E)	-(008F) FCB9	-0,1391	-0,1396	0,0005
145	0A1F	-(0346)	-(0347) FC78	-0,8191	-0,8193	0,0002
208	0E85	-(0388)	-(0388) FFA8	-0,8829	-0,8828	0,0001
265	1280	-(0059)	-(0058)	-0,0872	-0,0869	0,0002
274	1320	0047	0047	0,0697	0,0693	0,0004
330	1709	0377	0377	0,8660	0,8662	0,0002

TABLA N° 4.4.

EVALUACION RUTINA SEN-X						
ANGULO X (grados)	ANGULO X (req-Hex)	SEN-X(Teór.) (Hex)	SEN-X(exp.) (Hex)	SEN-X(Teór.) (Base 10)	SEN-X(exp.) (base 10)	ERROR (Base 10)
28	011D	011A	011A	0,2756	0,2754	0,0002
74	052A	03D8	03D9	0,9613	0,9609	0,0004
98	06D7	03F6	03F7	0,9902	0,9912	0,001
145	0A1F	024B	024C FE20	0,5736	0,5742	0,0006
208	0E85	-(01E1)	-(01E0) FC03	-0,4695	(0,4695)	0,0000
265	1280	-(03FD)	-(03FD) FC02	0,9962	0,9971	0,0009
274	1320	-(03FE)	-(03FF) FDFF	0,9975	0,9980	0,0005
330	1709	-(0200)	-(0201)	(0,5)	0,5005	0,0005

TABLA N° 4.5.

EVALUACION DEL SENO INVERSO (SEN-E)									
HORA T (grados)	HORA T (Hex)	DECLINACION (Grados)	ELEVACION(exp.) (Hex)	ELEVACION (teór.) (grados)	ELEVACION(exp.) (grados)	ERROR (grados)			
5,00	1400	-19,60	0000	(-)	0,00	0,00			
6,40	1999	-19,60	0024	2,11	2,01	0,09			
8,00	2000	-19,60	01BA	24,69	24,78	0,09			
10,00	2800	-19,60	03A4	52,07	52,15	0,08			
12,30	3135	-19,60	0512	72,68	72,62	0,02			
15,76	3F0F	-19,60	028A	36,41	36,37	0,04			
17,00	4400	-19,60	0156	19,12	19,13	0,01			
19,00	4C00	-19,60	0000	(-)	0,00	0,00			

TABLA Nº 4.6.

EVALUACION RUTINA SENO DE AZIMUT							
HORA T (grados)	HORA T (Hex)	DECLINACION (grados)	AZIMUT (exp) (Hex)	AZIMUT (teór.) (grados)	AZIMUT (exp) (grados)	ERROR (grados)	
5,00	1400	-19,60	0000	(E<0)	0000	0,00	
6,40	1999	-19,60	07A4	109,55	109,44	0,11	
8,00	2000	-19,60	07B8	110,52	110,56	0,02	
10,00	2800	-19,60	0886	119,69	119,59	0,10	
12,30	3135	-19,60	0C8C	180°	179,98	0,12	
15,76	3F0F	-19,60	113A	246,80	246,75	0,05	
17,00	4400	-19,60	1170	249,96	249,87	0,09	
19,00	4C00	-19,60	0000	(E<0)	0000	0,00	

TABLA Nº 4.7.  
EVALUACION DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO  
(día 17 de noviembre)

HORAS	MINUTOS	ELEVACION (Hex)	ELEVACION (teór.) (Hex)	ELEVACION (exp.) (Hex)	AZIMUT (teór.) (Hex)	AZIMUT (exp) (Hex)	ELEVACION ERROR (grados)	AZIMUT ERROR (grados)
5	00	00	00	0,00	0,00	0,0	0	0
6	24	2,11	1,8	199,55	199,8	199,8	0,31	0,25
8	00	24,69	23,4	200,51	199,8	199,8	1,29	0,71
10	00	52,07	52,2	209,69	208,8	208,8	0,13	0,89
12	19	72,68	72	270	270	270	0,68	0,00
15	45	36,41	36	336,8	336,6	336,6	0,41	0,20
17	00	19,12	18	339,99	340,6	340,6	1,12	0,61
18	00	4,99	3,6	340,48	34,20	34,20	1,39	1,2

TABLA N° 4.8.

EVALUACION DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO  
(día 17 de diciembre)

HORAS MINUTOS	ELEVACION (teór) (grados)	ELEVACION (exp) (grados)	$ \Delta E $ (grados)	AZIMUT (teór.) (grados)	AZIMUT (exp) (grados)	$ \Delta A $ (grados)
5 00	0	0	0,00	0	0	0
6 24	2,11	1,8	0,31	199,67	199,8	0,13
8 00	24,69	23,4	1,29	200,60	201,60	1,00
10 00	52,07	52,2	0,13	209,69	210,60	0,91
12 18	72,68	72	0,68	270	270,00	0,00
15 46	36,41	36	0,41	336,8	336,60	0,20
17 00	19,12	18	1,12	339,9	340,60	0,70
18 00	4,9	3,6	1,30	340,5	342,00	1,5

TABLA Nº 4.9.  
EVALUACION DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO DURANTE EL AÑO

DIA	MES	HORA	MINUTO	E (teór.) (grados)	E (exp.) (grados)	Δ E   (grados)	Az (teór) (grados)	Az (exp) (grados)	Δ Az   (grados)
21	I	9	30	45,28	45,00	0,28	-63,30	-63	0,30
		17	00	19,08	18,00	1,08			
21	II	9	30	47,33	46,8	0,53	-75,40	75,6	0,20
		17	00	19,58	18,0	1,58			
21	III	9	30	47,99	46,8	1,19	-83,8	-84,6	0,80
		17	00	19,54	180	1,54			
21	IV	9	30	46,06	45,0	1,06	250,94	250,20	0,74
		17	00	18,65	18,0	1,65			
21	V	9	30	43,18	43,20	0,6	239,54	239,4	0,14
		17	00	17,50	16,20	1,3			
21	VI	9	30	41,78	41,40	0,38	235,45	235,8	0,26
		17	00	16,95	16,20	0,75			
21	VII	9	30	44,11	43,20	0,91	240,89	239,4	0,6
		17	00	17,45	16,20	1,25			

sigue...

Viene... Tabla N° 4.9.....

21	VIII	9	30	46,02	45,0	1,02	250,70	250,20	0,5
		17	00	18,64	18°	0,64			
21	IX	9	30	47,98	46,8	1,18	-83,10	-84	0,9
		17	00	19,54	18,0	1,54			
21	X	9	30	47,30	46,8	0,50	-75,15	-75,6	0,45
		17	00	19,57	18,0	1,57			
21	XI	9	30	45,17	45,0	0,17	-62,87	-63,0	0,13
		17	00	19,06	18,0	1,06			
21	XII	9	30	44,15	43,2	0,95	-58,87	-59,4	0,53
		17	00	17,77	18,9	1,77			

TABLA Nº 4.10.  
 EVALUACION REAL DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO  
 (dia 28 de septiembre)

HORAS	MINUTOS	E(real) (grados)	E(exp) (grados)	A E (grados)	A(real) (grados)	A(exp) (grados)	ΔA  (grados)
9	00	38,8	39,6	0,8	182,96	183,6	0,64
10	00	57,1	57,6	0,5	182,96	183,6	0,64
10	30	62,1	61,2	0,9	182,96	183,6	0,64
11	15	74	73,8	0,2	182,96	183,6	0,64
11	45	83,3	82,8	0,5	182,96	183,6	0,64
12	18	90	90	0	182,96	183,6	0,64
12	45	81	82,8	1,8	357,04	356,4	0,64
13	00	79,7	79,2	0,5	357,04	356,4	0,64
15	00	48,2	48,6	0,4	357,04	356,4	0,64
16	30	25,2	27,00	1,8	357,04	356,4	0,64
17	00	19,6	18,00	1,6	357,04	356,4	0,64

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. El método utilizado en la presente tesis para la determinación de la posición del sol en el firmamento, aún cuando implica una mayor dificultad que se traduce en la elaboración de extensos programas para los diversos cálculos, no obstante brinda la posibilidad de un seguimiento del sol aún en días nublados o de lluvias, puesto que el sistema no requiere de fotosensores para su funcionamiento.
  
2. Las perspectivas que presentan las cada vez más interesantes y múltiples aplicaciones de los microprocesadores, los hacen más atractivos a los ojos de expertos y de aficionados. La potencialidad y flexibilidad inherente al microprocesador 8085 A, permite al sistema de seguimiento desarrollado, la posibilidad de introducir funciones adicionales entre las que se puede mencionar las siguientes:
  - a. La ampliación del control de varios paneles simultáneamente, mediante la introducción de pequeños cambios en la programación.

- b. Existe la posibilidad de la inclusión de subrutinas que permitan llevar a los paneles a una posición de máxima seguridad ante las inclemencias del tiempo.
  - c. El sistema de seguimiento desarrollado para la ciudad de Guayaquil, bajo cambios en la programación puede ser aplicable a cualquier ciudad o país del globo terráqueo, si se incluyen rutinas que soliciten el ingreso de las coordenadas del lugar.
3. En aplicaciones de control de posición de mecanismos que requieren demandas de potencia inferiores a un Hp, la utilización de motores de paso se hace más conveniente que el uso de motores DC, puesto que en el caso de los primeros, no se requiere de potenciómetros, encodificadores o de otros transductores necesarios para la realimentación, puesto que los motores de paso operan en lazo abierto.
4. El alto costo del sistema, superior a los 700 dólares, determina la poca factibilidad de aplicaciones en nuestro medio de sistemas de seguimiento del sol; más aún, si se considera el hecho de que en nuestro país, por estar prácticamente en la línea ecuatorial, la trayectoria del sol no presenta cambios considerables a lo largo del año y por lo tanto se puede recurrir a otros medios menos eficientes para realizar el seguimiento y que involucren costos mucho más bajos.

5. Es conveniente en este tipo de sistemas de posicionamiento, conectar los ejes de los motores de paso a tornillos, sin fin, acoplados a engranajes los cuales moverían al panel de tal forma que éste tenga un freno mecánico, una vez que cambia de posición. De esta forma, no se requeriría la aplicación de energía a los motores para mantener a los paneles en determinada posición, aún cuando existan vientos, lluvias u otros factores que tienden a mover los paneles.

Esta técnica recomendada aumentaría la eficiencia y confiabilidad del sistema.

## **RECOMENDACIONES**

1. Incentivar en los laboratorios de sistemas digitales y microprocesadores, diseños sobre: Aplicaciones prácticas de los motores de paso.
2. Involucrar a los estudiantes en diseños de sistemas digitales que efectúen desarrollos matemáticos de la serie de Taylor, que les permitan un mayor dominio del sistema binario y técnicos digitales.
3. Desarrollar un sistema de seguimiento del sol, basado en fotosensores y efectuar un estudio comparativo con el presentado en esta tesis.

## **A P É N D I C E S**

## APENDICE A

### CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

El presente apéndice tiene como objetivo efectuar una descripción referente a la construcción de los distintos circuitos diseñados así como también la elaboración de un presupuesto global del sistema.

Se parte fundamentalmente del soporte básico del sistema, es decir, el KIT SDK-8085, el cual incluye originalmente de fabrica los siguientes circuitos integrados: 8085<sup>a</sup>, 8155, 8355, 8205 y un 741S156 con un costo de 360 dólares.

El primer paso para la ampliación de memoria fue la adquisición conexión de los siguientes circuitos: cinco 8216, dos 8212, un 74LS74 y un 74SOO. Todos ellos fueron directamente conectados al KIT por medio de zócalos, puesto que existen los espacios físicos para su conexión.

A continuación se procedió a construir el circuito de expansión de memoria especificado en la figura 2.9. La técnica utilizada para ello es la de conexión por alambre enroscado, debido a las facilidades de ensamblaje que presenta, así como también, en cuanto a la posibilidad de efectuar cambios o modificaciones en las conexiones.

Para la construcción del circuito de interfase digital se utilizó un PB-104 que facilitó la labor de interconexiones.

En la figura A.1., se presenta una fotografía del circuito de expansión de memoria construido. Adicionalmente, en la figura A.2., se presenta una fotografía de una vista posterior del mismo circuito, en la que se pueden apreciar las conexiones utilizando la técnica de alambre enroscado.

En la figura A.3., se presenta una fotografía correspondiente a la interfase digital implementada.

En la figura A.4., se presenta una fotografía global del sistema de seguimiento, en la cual se incluye la fuente de alimentación utilizada.

Luego encontraremos una lista donde se especifica los materiales utilizados con sus respectivos costos (aproximados).

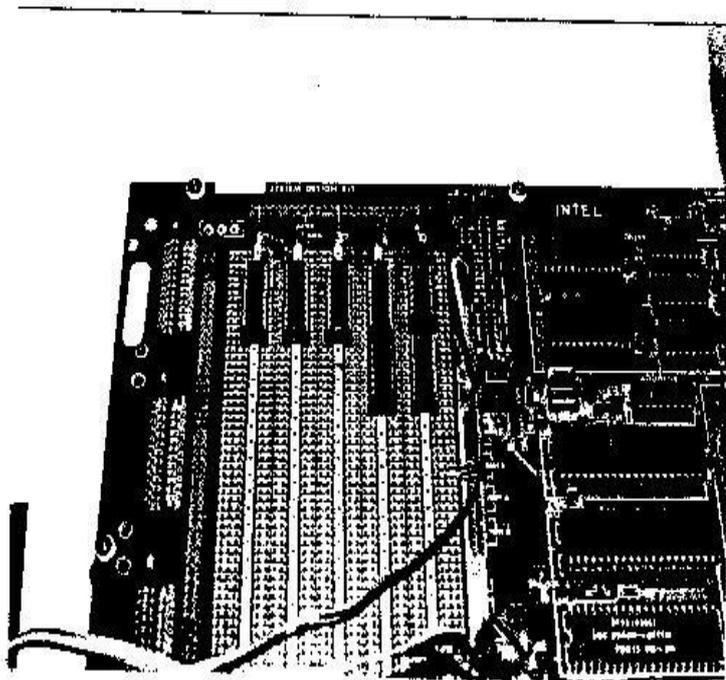


FIGURA A.1 CIRCUITO DE EXPANSION DE LA MEMORIA.

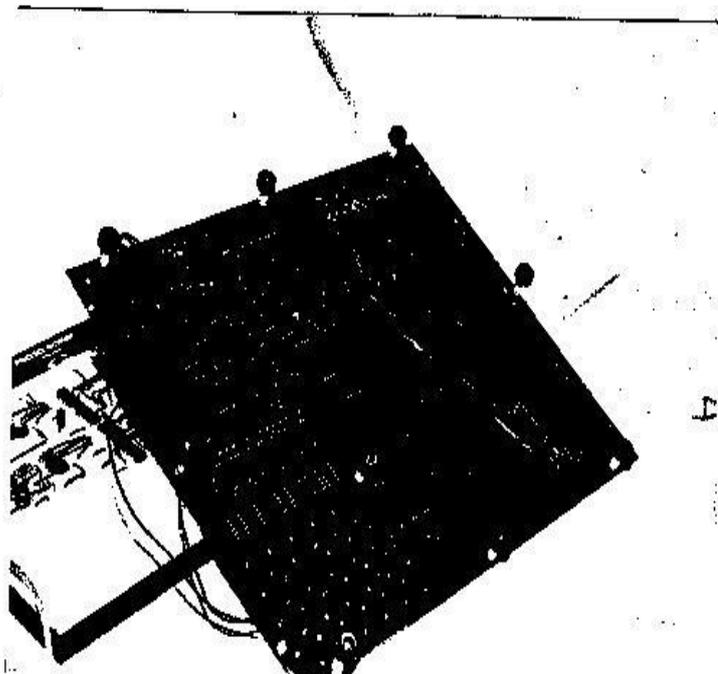


FIGURA A.2 TECNICA DE ALAMBRE ENROSCADO.

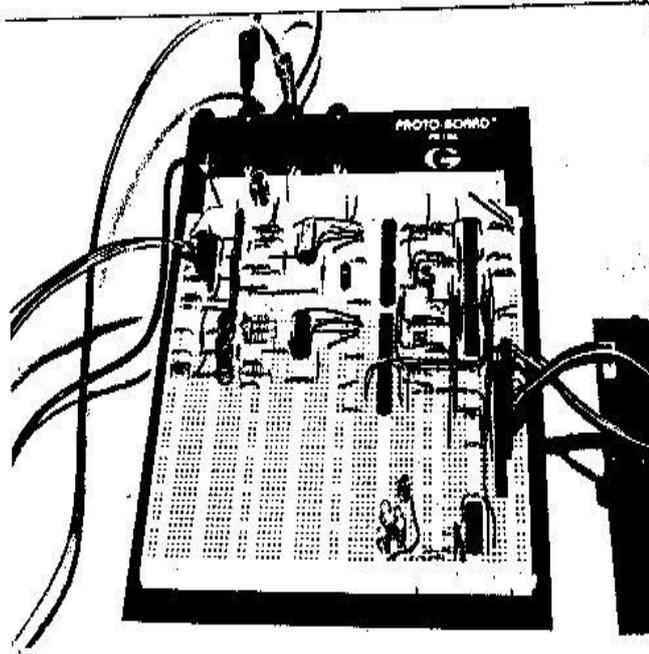


FIGURA A.3 INTERFASE DIGITAL

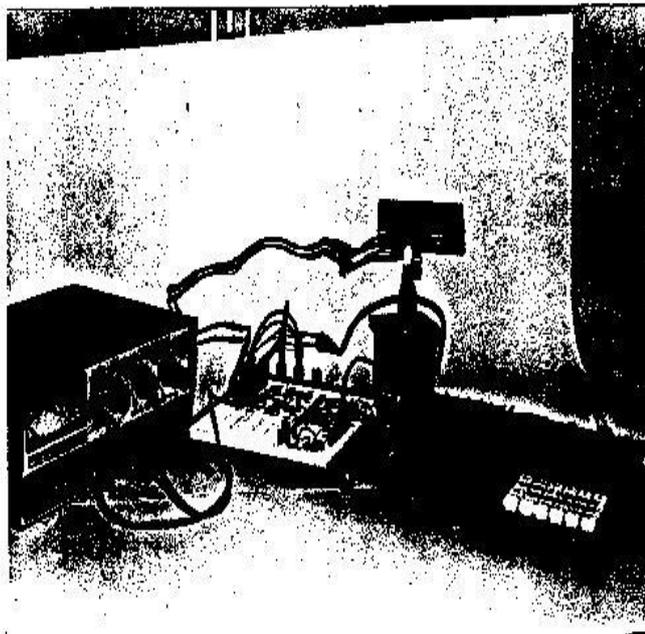


FIGURA A.4 SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL

CANT.	DESCRIPCION	Nº DE CATALOGO	PRECIO UNIT. (DOLARES)
2	Puertas de entrada y salida de 8 bits.	8212	1,95
2	Zócalos para circuito integrado de 24 pines int.	24 pin LP	0,31
5	Reforzadores y elevadores de corriente de cuatro bits.	8216	1,59
5	Zócalos para circuito integrado de 16 pines.	16 pin LP	0,17
1	Dual F/F tipo D	74LS74	0,59
1	Quad puertas AND	74S00	0,35
2	Zócalos para circuito integrado de 14 pines	14 pin LP	0,17
4	Memorias RAM de 1024 palabras de 4 bits cada una.	2114A-5	1,50
4	Zócalos para circuito integrado de 18 pines.....	18 pin WW	0,99
1	Decodificador Binario	74LS138	0,89
1	Zócalo para circuito integrado de 16 pines.....	16 pin WW	0,55
1	Hex inversores	74LS04	0,49

1	Tres puertas NAND de tres entradas	74LS10	0,49
2	Zócalos para circuito integrado de 14 pines	14 pin WW	0,65
1	Memoria programable de 4096 pa- labras..	2732A	3,95
1	Zócalo para circuito integrado de	24 pin WW	0,55
2	Decodificadores BCD a decimal	7442	0,49
2	Hex inversores	7404	0,19
1	Quad puerta NAND	7400	0,35
2	Dual F/F tipo D	7474	0,59
2	Contador de décadas de cuenta as- cendente-descendente.	74LS192	0,79
1	Hex seguidor elevador de corrien- te .	4050	0,29
1	Hex inversor	4009	0,39
4	Transistor NPN 2 (A)	TCG188	1,20
4	Transistor NPN 1/2 (A)	HEP SQ014	1,10
8	Diodo	IN5404A	0,80
10	Resistencias Varias		0,05
10	Condensadores de Tantalio 22uF 35V.		0,20
8	Condensadores eléctricos de 16 uF 16 V.		0,15
1	Condensador de Tantalio de 100 uF 16 V.		0,18

2	Motores de paso costo estimado	300.00
1	KIT SDK-8085	<u>360,00</u>

TOTAL : 768,42

\*\*\*\*\*

## APÉNDICE B

### MANUAL DEL USUARIO

En el presente apéndice se detalla de manera breve y concisa, el procedimiento a seguir, para la puesta en operación del sistema de seguimiento al sol, desarrollado en la presente tesis.

A continuación se enumera de manera secuencial, los pasos a seguir:

1. Encienda la fuente de poder.
2. En caso de que no aparezca el mensaje 80-85 en los indicadores visuales, presione la tecla RESET.
3. Una vez que aparezca el mensaje 80-85, digite las siguientes teclas en el orden dado:

GO

9

A

A

A

EXEC

De inmediato aparece el mensaje mes. En caso contrario, repita desde el paso 2.

4. Posicione el motor de Azimut de tal manera que la placa apunte en dirección oeste.
5. Posicione el motor de elevación a cero grados. Esto equivale a colocar la placa en posición perpendicular al plano tangente al lugar.
6. Introduzca el mes (codificado del 1 al 12) (ver nota 1), luego presiones la tecla NEXT.

De inmediato aparece el mensaje Día. Si se genera momentáneamente el mensaje Err esto se debe a que el mes ingresado es mayor que 12. Vuelva a introducir el mes.

7. Ingrese el número del día (codificado del 1 al 31), luego presione la tecla NEXT.

Aparece de inmediato el mensaje Hora. Si se genera momentáneamente el mensaje Err, debido a que se ingresó un día mayor que 31, proceda a ingresar de nuevo el día.

8. Introduzca la hora oficial de la República del Ecuador (codificada del 0 al 24), luego presione la tecla NEXT. Aparece inmediatamente el mensaje Minn. Si se genera momentáneamente el mensaje Err, debido a que la hora ingresada fue mayor que 24, vuelva a ingresar la hora.
9. Introduzca los minutos correspondientes a la hora oficial del Ecuador (codificados del 1 al 59), luego presione la tecla NEXT.

Al instante aparece la hora ingresada en los indicadores visuales de la izquierda, expresada en horas y minutos.

Si se genera momentáneamente el mensaje Err, esto se debe a que los minutos ingresados fueron mayores que 59, proceda a ingresar de nuevo los minutos,

A partir de este momento, el sistema operará de manera autónoma, indefinidamente y estará presentando la hora continuamente por medio de los indicadores visuales.

**NOTA 1:**

Cuando se procede a digitar datos, tales como mes, día, hora, éstos datos aparecen en los indicadores de la derecha, según van siendo digitados. Sólo cuando se presionas la tecla NEXT, estos datos son ingresados internamente. Por lo tanto, si se desea efectuar alguna corrección antes de digitar dicha tecla, esta corrección puede hacerse directamente tan sólo volviendo a digitar el dato; luego se procede a ingresarlo a través de la tecla NEXT.

## **APÉNDICE C**

### **EL MOTOR DE PASO**

El presente apéndice ha sido introducido con la finalidad de efectuar una descripción del motor de paso, en lo referente a su constitución interna así como también en cuanto a su modo de operación.

El análisis se hace necesario debido a que el sistema de seguimiento desarrollado, utiliza dos motores de paso para el posicionamiento de la placa que simula el panel solar; además información referente a los motores mencionados, no se encuentra generalmente al alcance de la mayoría debido a la relativamente baja difusión.

El motor de paso es básicamente un motor de posicionamiento que posee la habilidad de rotar en forma discreta en cualquier dirección, así como también detenerse y volver a girar una y otra vez en diferentes posiciones mecánicas de rotación.

Su rotor se mueve en incrementos angulares precisos, por cada cambio o paso en la excitación de entrada. Este desplazamiento se repite cada vez que existe un cambio en el comando de entrada. (circuito de

control). Las aplicaciones típicas de estos motores están relacionadas al control de:

1. POSICIÓN
2. VELOCIDAD
3. DISTANCIA
4. DIRECCIÓN

Todas ellas son posibles debido a que por cada desplazamiento (paso), su eje se mueve hacia una posición perfectamente conocida, existiendo un error en la posición del eje (independiente de la distancia, dirección o movimiento) que equivale a la precisión de un avance discreto. Esta precisión es generalmente del orden del 5% de un paso.

El número de pasos que requiere el eje para ejecutar una revolución completa puede variar, y éste es un factor determinante para la aplicación deseada.

Los motores de paso, típicamente se encuentran disponibles en rangos dados en pasos por revolución, del orden de 200, 180, 144, 72, 24 y 12. Esto es, un desplazamiento angular (resolución) por paso de  $1.8^\circ$ ,  $2.0^\circ$ ,  $2.5^\circ$ ,  $5.0^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $30^\circ$ , respectivamente.

La fuente de alimentación de estos motores es normalmente DC, y suelen estar constituidos por dos, tres o cuatro fases. El circuito de

control provee la inteligencia necesaria, así como también la clave principal para la actuación del motor.

El grado de complejidad de un circuito de control, puede variar, desde un simple traductor de pulsos hasta un controlador de alto nivel, capaz de generar aceleración automática y amortiguación electrónica del rotor.

Una gran ventaja que introducen los motores de paso en aplicaciones de control de velocidad, es la de no requerir trabajar en lazo cerrado para alcanzar tal objetivo. Esto, debido que en este tipo de aplicaciones, no se requiere, de potenciómetros de posición, encodificadores u otro tipo de transductores, necesarios para la realimentación.

Las características mencionadas, le proporcionan al motor de paso, en principio, una gran atracción con relación a los sistemas DC de servo – motores, que operan necesariamente en lazo cerrado. Sin embargo, los motores de paso disponibles, se encuentran limitados a menos de un Hp; potencia muy inferior a la requerida en aplicaciones típicas de control de velocidad.

A continuación se procederá a analizar el motor de Paso de Magneto Permanente Estandarizado, el cual se basa fundamentalmente en la Ley de Atracción y Repulsión de Polos Magnéticos de distinto o igual signo.

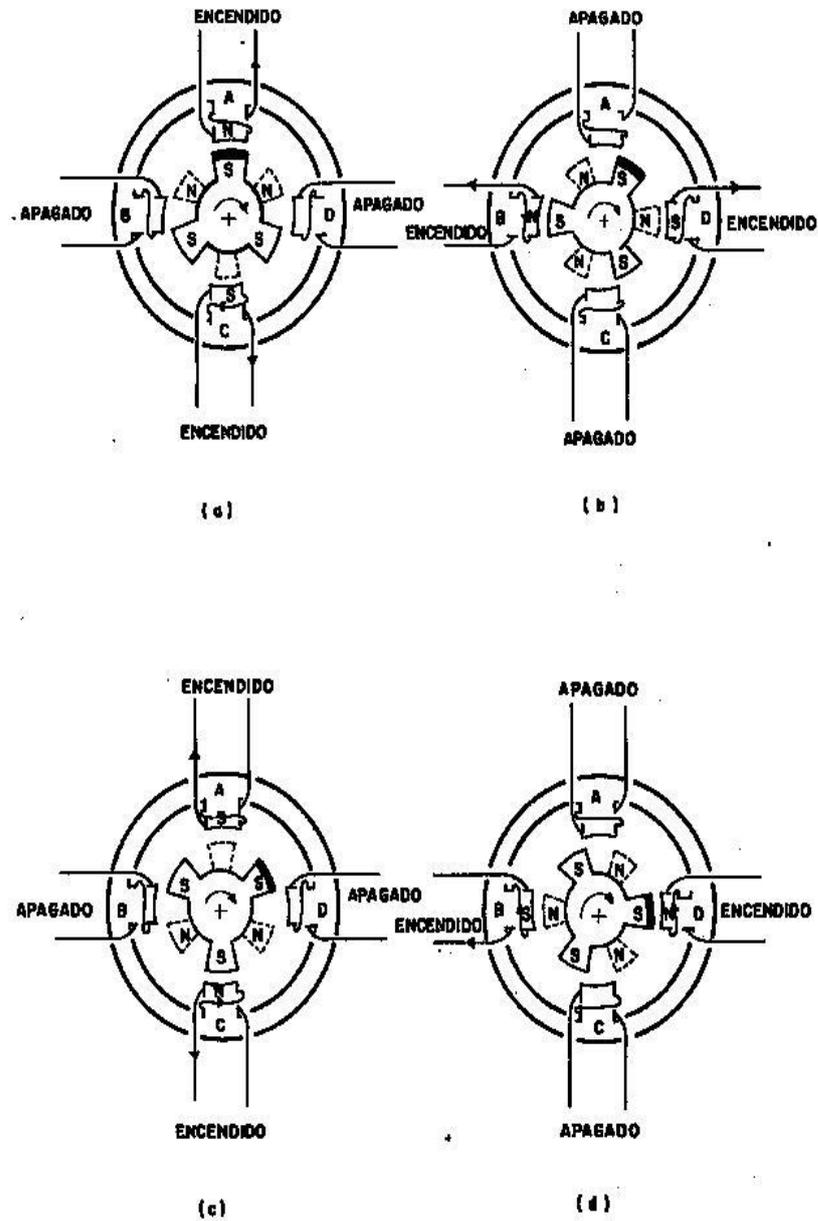
El rotor está constituido por un magneto de orientación axial, que posee un número de polos norte igual al número de polos sur, según se puede apreciar en la figura C.1.a.

El estator posee en cambio bobinas que pueden generar polos magnéticos de diferente signo, dependiendo del sentido de la corriente aplicada.

En la figura C.1.a., se observa que las fases B y D, se encuentran apagadas, mientras que las fases A y C están encendidas; así, la fase A, que genera un polo norte, atrae al polo sur adyacente del rotor, mientras que la fase C que genera un polo sur, atrae al polo norte correspondiente al rotor. En tales circunstancias, es el rotor que se encuentra estático, debido a que las fuerzas magnéticas no producen ningún torque, más bien tienden a mantener firmemente al rotor en esa posición.

A continuación se apagan las fases A y C al mismo tiempo que se encienden las fases B y D, esto implica la generación de los polos especificados en la figura C.1.b. Se produce entonces un movimiento del rotor. Cosa similar ocurre con la fase D, que atrae al polo norte respectivo y repele al polo sur adyacente, pertenecientes al rotor. Luego de efectuar el movimiento, el rotor se fija en la posición mostrada, debido a que la suma de momentos es nula.

FIGURA. C1  
SECUENCIA DE OPERACION  
DEL MOTOR DE PASO



Para generar otro avance del rotor, se requiere apagar las fases B y D y encender de nuevo las fases A y C, con la diferencia que esta vez,

generan polos contrarios a los creados en la activación anterior, según se puede apreciar en la figura C.1.c.

De esta forma, la fase A atrae al polo norte cercano y repele al polo sur contiguo, mientras que la fase C hace lo propio con los polos norte y sur adyacentes. Así, el motor realiza un movimiento y se fija en la posición mostrada en la figura mencionada.

Finalmente, se procede a apagar por segunda ocasión, las fases A y B, a la vez que se encienden de nuevo las fases B y D, con inversión de los polos en relación al último encendido, según se puede apreciar en la figura C.1.d. Esto implica, efectuando un análisis similar a los anteriores, un nuevo avance del rotor.

Según se ha podido apreciar, el rotor ha efectuado un giro de 90 grados y ha requerido para ello de tres eventos o pasos, por lo tanto, para efectuar un giro de 360 grados, se requiere aplicar doce pasos, lo que implica que el motor analizado, es de doce pasos por revolución, es decir que el motor se desplaza 30 grados por paso.

Si se repite la secuencia anterior, el motor continuará girando en el mismo sentido. Es posible invertir el sentido de giro, simplemente con la inversión de la secuencia descrita. También es posible obtener una mayor resolución, es decir, avances más pequeños del rotor, cuando se construyen los motores de paso con un número mayor de devanados y

de dientes, tanto para el estator como para el rotor y así obtener una resolución de hasta 1.8 grados, que equivale a 200 pasos por revolución, con un mínimo número de terminales de salida del motor. Este número puede variar entre 3 y 8 dependiendo de las conexiones internas de fabricación.

El diagrama de conexión del Motor de Paso Bifilar de Magneto Permanente, que es del tipo utilizado en la presente tesis, se encuentra dibujado en la figura C.2.

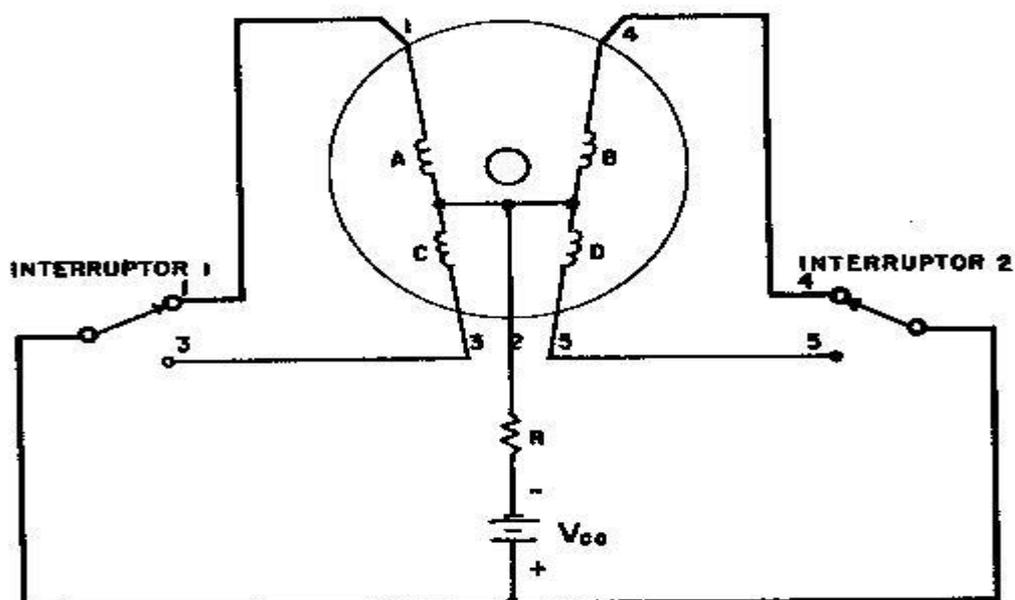
La resistencia observada es únicamente para limitar la corriente por fase. Permite además al motor, operar con fuentes de alimentación de diferentes magnitudes con la restricción de escoger la resistencia de manera tal, que no se exceda la corriente máxima permitida por fase.

En la tabla presentada en la parte interior de la misma figura, se especifica la secuencia de operación del motor mostrado. Cada interruptor puede ser conformado por dos transistores que actúen en corte o en saturación.

Cabe mencionar que la corriente que ingresa por cada fase, es siempre de un mismo signo, mientras que en el gráfico C.1., se observó que la corriente que ingresaba cada fase, cambiaba de sentido alternativamente. Esta diferencia se debe a que el motor Bifilar de

Magneto Permanente difiere del motor anteriormente analizado en que cada polo posee dos devanados entrelazados.

**FIGURA. C2**  
**MOTOR DE PASO BIFILAR**  
**Y SECUENCIA DE INTERRUPCION**



PASO	INTERRUPTOR	INTERRUPTOR
1	1	5
2	1	4
3	3	4
4	3	5
1	1	5

La secuencia presentada en la tabla mencionada, puede ser simplificada de la siguiente forma:

(A) INTERRUPTOR 1 POSICIÓN 1

(B) INTERRUPTOR 2 POSICIÓN 4

(C) INTERRUPTOR 3 POSICIÓN 3

(D) INTERRUPTOR 2 POSICIÓN 5

Esta secuencia denominada A-B-C-D, es la que ha sido utilizada para el control de posición de los motores de paso utilizados en la presente tesis.

## **APÉNDICE D**

### **PROGRAMAS DEL SISTEMA**

En el presente apéndice se incluye un listado del programa completo elaborado en ésta tesis.

Este programa fue finalmente grabado en la memoria borrable programable 2732A.

La dirección inicial es la 9000 y la dirección final la 9B1A, lo que implica 2842 palabras.

El listado incluye dirección, instrucción grabada en código Hexadecimal, puesto que se trabajó con lenguaje de máquina. Se especifica el nombre de la instrucción y finalmente el comentario relacionado, ya sea con unas o varias instrucciones.

En las siguientes páginas se adjuntas el listado de los programas.

```

*****
#DIRECCION#  CODIGO EX *****
#          #          # ETIQUETA #CODIGO OP# OPERANDOS #          #
#          #          #          #          #          #          #
*****
#          #          #          #          #          #          #
# 9006 # 3E # 10 #          # MULT # MVI A #          # 10 # Inicialize contador CTA #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9007 # 32 # 04 # 20 #          # STA #          # 2004 #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9005 # 16 # 00 #          #          # MVI D #          # 00 # Encere registros D,E #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9007 # 1E # 00 #          #          # MVI E #          # 00 #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9009 # 2A # 02 # 20 #          # LHLD #          # 2002 # Cargue multiplicador #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 900C # 4D #          #          #          # MOV C,L #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 900D # 44 #          #          #          # MOV D,H #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 900E # 7B #          #          #          # MULT 2 # MOV A,D #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 900F # 1F #          #          #          # RAR #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9010 # 47 #          #          #          # MOV B,A #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9011 # 79 #          #          #          # MOV A,C #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9012 # 1F #          #          #          # RAR #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9013 # 4F #          #          #          # MOV C,A #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9014 # 02 # 21 # 90 #          # JMC #MULT 1 #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9017 # 3A # 00 # 20 #          # LDA #          # 2000 #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 901A # 83 #          #          #          # ADD E #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 901B # 5F #          #          #          # MOV D,A #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 901C # 3A # 01 # 20 #          # LDA #          # 2001 #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 901F # 83 #          #          #          # ADC D #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9020 # 57 #          #          #          # MOV D,A #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9021 # 37 #          #          #          # MULTI # STC #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9022 # 3F #          #          #          # CMC #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9023 # 7A #          #          #          # MOV A,D #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9024 # 1F #          #          #          # RAR #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9025 # 57 #          #          #          # MOV D,A #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
*****

```



*****									
* MEMORIC * *									
* DIRECCION*	CODIGO	EX	*****						
*	*	*	* ETIQUETA *	* CODIGO OP *	OPERANDO	*	* COMENTARIOS *		
*	*	*	*	*	*	*	*****		
* 985F	* 7D	* *	* EXP 1	* MUV	A,L	*	* Correccion decimal		
* 9860	* 17	* *		* RAL		*			
* 9861	* 6F	* *		* MUV	L,A	*			
* 9862	* 7C	* *		* MUV	A,H	*			
* 9863	* 17	* *		* RAL		*	* Desplaze seis veces hacia la		
* 9864	* 67	* *		* MUV	H,A	*	* izquierda los registros		
* 9865	* 7B	* *		* MUV	A,E	*	* contigos B-E-H-L		
* 9866	* 17	* *		* RAL		*			
* 9867	* 5F	* *		* MUV	E,A	*			
* 9868	* 7A	* *		* MUV	A,D	*			
* 9869	* 17	* *		* RAL		*			
* 986A	* 57	* *		* MUV	D,A	*			
* 986B	* 3A	* 07	* 20	* LDA		2007	* Cargue contador 6DESP		
* 986E	* 3C	* *		* INR	A		* Incremente contador 6DESP		
* 986F	* 32	* 07	* 20	* STA		2007			
* 9872	* 47	* *		* MUV	B,A	*			
* 9873	* 3E	* 06	* *	* MVI	A	06			
* 9875	* 98	* *		* SUB	B				
* 9876	* C2	* 5F	* 98	* JMI		EXP1	* Salte si CTAX = 6		
* 9879	* 3E	* 08	* *	* MVI	A	08			
* 987B	* 32	* 07	* 20	* STA		2007	* Encere contador CTA seis de p		
* 987E	* EB	* *		* XCHG		*			
* 987F	* 22	* 02	* 20	* SHLD		2002	* Actualizar multiplicador		
* 9882	* 3A	* 06	* 20	* LDA		2006	* Cargue contador CTAX		
* 9885	* 3C	* *		* INR	A		* Incremente ETAX		

*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MNEMONICO				
		ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS	
*****						
98E3	6F			MOV L,A		
98EC	81			POP D		(DE) <= 1 + (I /24)
98ED	7B			MOV A,E		
98EF	95			SUB L		
98F0	6F			MOV L,A		
98F0	7A			MOV A,D		
98F1	9C			SBB H		HL <= (I + I /24) - X /2
98F2	67			MOV H,A		
98F3	C9			RET		
9100	3E 05			MVI A,05		Salte si CTAEIS < 6
9102	32 05 20			STA 2005		
9105	CD 40 90			CALL EXP		Calcule X
9108	22 00 20			SHLD 2008		Multiplicando <= X
910B	3E 00			MVI A 00		
910D	32 02 20			SHLD 2002		Multiplicader <= 1/120
9110	3E 00			MVI A 00		
9112	32 03 20			STA 2003		
9115	CD 00 90			CALL MULT		Calcule X ,(1/120)
9118	CD 4C 91			CALL SEISO		Correccion de la cosa
911B	3A 08 20			LDA 2008		
911E	83			ADD E		(DE) <= X + X /120
911F	5F			MOV E,A	2009	
9110	3A 09 20			LDA		
9113	80			ADC D		
9114	57			MOV D,A		

*****									
* * * * * MNEMONICO * * * * *									
*DIRECCION*	CODIGO EX			*****			*****		
* * *	* * *	* * *	* * *	*ETIQUETA*	*CODIGO OP*	OPERANDOS	COMENTARIOS		
* * *	* * *	* * *	* * *	* * *	* * *	* * *	* * *		
*****									
* 9114	* 57	* 5	* *	* MOV	* D,A	* *	* *		
* 9115	* 05	* *	* *	* PUSH	* D	* *	* Guarde (DE) en la pila		
* 9116	* 3E	* 03	* *	* MVI	* A	* 03	* n (= 03		
* 9118	* 32	* 05	* 20	* STA	* *	* 2005	* *		
* 9119	* CD	* 40	* 90	* CALL	* EXP	* *	* Calcule X		
* 911E	* 22	* 00	* 20	* SHLD	* *	* 2000	* Multiplicando (= X		
* 9111	* 2E	* AA	* *	* MVI	* A	* AA	* *		
* 9113	* 32	* 02	* 20	* STA	* *	* 2002	* Multiplicador (= 1/6		
* 9116	* 3E	* 00	* *	* MVI	* A	* 00	* *		
* 9118	* 32	* 03	* 20	* STA	* *	* 2003	* *		
* 911B	* CD	* 00	* 90	* CALL	* MULT	* *	* Calcule X .(1/16)		
* 911E	* CD	* 4C	* 91	* CALL	* SEIS0	* *	* Correccion de la coma		
* 9111	* C1	* *	* *	* POP	* B	* *	* *		
* 9112	* 79	* *	* *	* MOV	* A,C	* *	* *		
* 9113	* 93	* *	* *	* SUB	* E	* *	* *		
* 9114	* 6F	* *	* *	* MOV	* L,A	* *	* *		
* 9115	* 70	* *	* *	* MOV	* A,B	* *	* *		
* 9116	* 9A	* *	* *	* SUBB	* D	* *	* *		
* 9117	* 67	* *	* *	* MOV	* H,A	* *	* (HL) (= X + X /120 - X /6		
* 9119	* C9	* *	* *	* RFT	* *	* *	* *		
* 9119	* 00	* *	* *	* NOP	* *	* *	* *		
* 911A	* 00	* *	* *	* NOP	* *	* *	* *		
* 911B	* 00	* *	* *	* NOP	* *	* *	* *		
* 914C	* 3E	* 00	* *	* SEIS 0	* MVI	* A	* 00	* Inicializa contador CTAD	
* 914E	* 32	* 00	* 20	* STA	* *	* 200C	* *		
*****									

*****							
DIRECCION	CODIGO EX	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS		
9151	7D	SEIS I	MOV	A,L			
9152	17		RAL		Desplace hacia la izquierda		
9153	6F		MOV	L,A	los registros DE-HL		
9154	7C		MOV	A,H			
9155	17		RAL				
9156	67		MOV	H,A			
9157	7B		MOV	A,E			
9158	17		RAL				
9159	5F		MOV	E,A			
915A	7A		MOV	A,D			
915B	17		RAL				
915C	57		MOV	D,A			
915D	3A	8C	20	LDA	200C		
9160	3C			INR	A	Incremente el contador CTA-D	
9161	32	8C	20	STA	200C		
9164	47			MOV	B,A		
9165	3E	06		MVI	B6		
9167	98			SUB	D		
9168	C2	51	91	JNZ	SEIS I	Salte si CTA0 es cero	
9169	C9			RET			
9173	2A	0A	28	COS X	LHLD	280A	(HL) <= X
9176	1E	4B		CXP	MVI	E	4B
9178	16	06			MVI	D	06
917A	7D			SEIS II	MOV	A,L	
917B	93	88			SUB	E	



```

*****
#DIRECCION# CODIGO EX #ETIQUETA #CODIGO OP# OPERANDO # COMENTARIOS #
# # # # # # # #
*****
# 917C # 7C # # # # # MOV A,H # #
# # # # # # # # # # #
# 917D # 9A # # # # # SUBB D # #
# # # # # # # # # # #
# 917E # D2 # 97 # 91 # # JNC #COS X1 # Salte si X > 90
# # # # # # # # # # #
# 9181 # 1E # 24 # # # # MVI E # 24 #
# # # # # # # # # # #
# 9183 # 16 # 03 # # # # MVI D # 03 #
# # # # # # # # # # #
# 9185 # 7D # # # # # MOV A,L # #
# # # # # # # # # # #
# 9186 # 93 # # # # # SUB E # #
# # # # # # # # # # #
# 9187 # 7C # # # # # MOV A,H # #
# # # # # # # # # # #
# 918D # 9A # # # # # SUBB D # #
# # # # # # # # # # #
# 9189 # D2 # 93 # 91 # # JNC #COS X2 # Salte si X > 45
# # # # # # # # # # #
# 918E # 22 # 00 # 20 # # SHLD # 2000 #
# # # # # # # # # # #
# 918F # CB # 00 # 90 # # CALL #COSFX # Calcule Cos I
# # # # # # # # # # #
# 9192 # C9 # # # # # RET # #
# # # # # # # # # # #
# 9193 # CD # 1A # 92 # COS X2 # CALL #SENCOM # Calcule Sen (90-X)
# # # # # # # # # # #
# 9196 # C9 # # # # # RET # #
# # # # # # # # # # #
# 9197 # 1E # 90 # # COS X1 # MVI E # 90 #
# # # # # # # # # # #
# 9199 # 16 # 0C # # # # MVI D # 0C #
# # # # # # # # # # #
# 919B # 7D # # # # # MOV A,L # #
# # # # # # # # # # #
# 919C # 93 # # # # # SUB E # #
# # # # # # # # # # #
# 919D # 7C # # # # # MOV A,H # #
# # # # # # # # # # #
# 919E # 9A # # # # # SUBB D # #
# # # # # # # # # # #
# 919F # D2 # C5 # 91 # # JNC #COS X3 # Salte si X > 100
# # # # # # # # # # #
# 91A2 # 7D # # # # # MOV A,E # #
# # # # # # # # # # #
# 91A3 # 93 # # # # # SUB L # #
# # # # # # # # # # #
# 91A4 # 6F # # # # # MOV L,A # #
# # # # # # # # # # #
*****

```

*****									
MEMORICO									
*DIRECCION*	CONIBO	EX	*****						
*	*	*	*ETIQUETA*	*CONIBO*	*OP*	*OPERAND*	*COMENTARIOS*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*****									
* 91A5	* 7A	*	* MOV	* A,B	*	*	*	*	*
* 91A6	* 9C	*	* SUBB	* H	*	*	*	*	*
* 91A7	* 67	*	* MOV	* H,A	*	*	*	*	*
* 91A8	* 1E	* 24	* MOV	* E	*	24	*	*	*
* 91A8	* 16	* 83	* MVI	* D	*	83	*	*	*
* 91AC	* 7D	*	* MOV	* A,L	*	*	*	*	*
* 91AD	* 93	*	* SUB	* E	*	*	*	*	*
* 91AE	* 7C	*	* MOV	* A,H	*	*	*	*	*
* 91AF	* 9A	*	* SUBB	* D	*	*	*	*	*
* 91B8	* 82	* 8D	* JNC	* COS X4	*	*	* Saite si > 45	*	*
* 91B3	* 22	* 88	* SHLD	* 2000	*	*	*	*	*
* 91B6	* CD	* 80	* CALL	* COSPX	*	*	* Calcule Cos 180-X	*	*
* 91B9	* CD	* 30	* CALL	* CNPI	*	*	* Complemente	*	*
* 91BC	* C9	*	* RET	*	*	*	*	*	*
* 91BD	* CD	* JA	* CALL	* SENC	*	*	* Calcule Sen (180-X)	*	*
* 91C8	* CD	* 38	* CALL	* CNPI	*	* COS X4	*	*	*
* 91C3	* C9	*	* RET	*	*	*	*	*	*
* 91C4	* 88	*	* NOP	*	*	*	*	*	*
* 91C5	* 1E	* 09	* MVI	* E	*	09	* COS X3	*	*
* 91C7	* 16	* 12	* MVI	* D	*	12	*	*	*
* 91C9	* 7D	*	* MOV	* A,L	*	*	*	*	*
* 91CA	* 93	*	* SUB	* E	*	*	*	*	*
* 91CB	* 7C	*	* MOV	* A,H	*	*	*	*	*
* 91CC	* 9A	*	* SUBB	* D	*	*	*	*	*
* 91CD	* 82	* F6	* JNC	* COS X5	*	*	* Saite si > 270	*	*

*****							
MNEMONICO							
*DIRECCION*	CODIGO EX			*ETIQUETA	*CODIGO OP*	OPERANDO	COMENTARIOS
*	*	*	*	*	*	*	*
*****							
91D0	1E	98			MVI E	0C	
91D2	16	0C			MVI D		
91D4	7D				MOV A,L		
91D5	93				SUB D		
91D6	6F				MOV L,A		
91D7	7C				MOV A,H		
91D9	9A				SUBB D		
91D9	87				MOV H,A		
91DA	1E	24			MVI E	24	
91DC	16	03			MVI D	03	
91DE	7D				MOV A,L		
91DF	93				SUB E		
91E0	7C				MOV A,H		
91E1	9A				SUBB D		
91E2	D2	EF	91		JNC	COS X6	Salte si X > 225
91E5	22	0B	20		SHLD	2000	
91E8	CD	A0	98		CALL	COSPX	Calcule Cos (X-100)
91E8	CD	30	92		CALL	CMPI	
91EE	C9				RET		
91EF	CD	1A	92	COS X6	CALL	SENC	Calcule Sen (X-100)
91F2	CD	30	92		CALL	CMPI	
91F5	C9				RET		
91F6	1E	21		COS X5	MVI E	21	(DE) (<= 360
91F8	16	19			MVI D	19	
91FA	7B				MOV A,E		
*****							

*****						
*DIRECCION*	CODIGO	EX	MEMORICO			
*	*	*	*ETIQUETA	*CODIGO OP*	OPERANDO	*COMENTARIOS
*	*	*	*	*	*	*
*****						
91FB	95				SUB L	
91FC	6F				MOV L,A	
91FD	7A				MOV A,D	
91FF	9C				SUBB H	
91FE	67				MOV H,A	(HL) (= 360-X)
9200	1E	24			MVI E	24
9202	16	83			MVI D	83
9204	7D				MOV A,L	
9205	93				SUB E	
9206	7C				MOV A,H	
9207	9A				SUBB D	
9208	02	12	92		JNC	*COS X7
9208	22	88	28		SHLD	2888
920E	CD	80	98		CALL	COSPX
9211	09				RET	
9212	CD	1A	92	COS X7	CALL	SENC
9215	09				RET	
921A	3E	48		SENC	MVI A	48
921C	95				SUB L	(A) (= 98
921D	6F				MOV L,A	
921E	3E	86			MVI A	86
9220	9C				SUBB H	
9221	67				MOV H,A	(HL) (= 98 -X)
9222	22	88	28		SHLD	2888
9225	CD	80	91		CALL	SENPX
*****						

```

*****
#          #          #          #          #          #          #          #
# DIRECCION# CODIGO EX #          #          #          #          #          #
#          #          # ETIQUETA # CODIGO OP# OPERANDO #          # COMENTARIOS
#          #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9228 # C9 #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9229 # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922A # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922B # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922C # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922D # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922E # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 922F # FF #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9238 # 3E # 80 #          # CMPX # MVI A #          # 80 # (A) <= 80
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9232 # 95 #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9233 # 6F #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9234 # 3E # 80 #          # MVI A #          # 80 #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9236 # 9C #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9237 # 67 #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9238 # C9 #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9248 # 2A # 8A # 20 # SEN I # LHLD #          # 208A # (HL) <= X
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9243 # 1E # 48 #          # MVI E #          # 48 #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9245 # 16 # 86 #          # MVI D #          # 86 #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9247 # 7D #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9248 # 93 #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9249 # 7C #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 924A # 9A #          #          #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 924B # 02 # 6F # 92 #          # JNC #SEN: X1 # Salte si X > 98
#          #          #          #          #          #          #          #
# 924E # 1E # 24 #          # MVI E #          # 24 #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9250 # 16 # 83 #          # MVI D #          # 83 #
#          #          #          #          #          #          #          #
*****

```



```

*****
*                               MNEMONICO                               *
* DIRECCION CODIGO EX ***** ETIQUETA CODIGO OP OPERANDO COMENTARIOS *****
*                               *      *      *      *      *      *      *
*                               *      *      *      *      *      *      *
* 92C0  CD  4C  91  CALL  SE1SD  DE (<= (0.038), Sen Delta
* 92D0  EB  *      *      *      *      *      *      *
* 92D1  CD  30  92  CALL  CMPX  Complemente (HL)
* 92D4  ES  *      *      *      *      *      *      *
* 92D5  ES  EC  92  JNP   SENE2  *
* 92D6  CD  30  92  CALL  CMPX  Complemente (HL)
* 92D8  22  00  20  SHLD  2000  *
* 92DE  2E  27  *      *      *      *      *      *      *
* 92E0  26  00  *      *      *      *      *      *      *
* 92E2  22  02  20  SHLD  2002  *
* 92E5  CD  00  90  CALL  MULT  *
* 92E8  CD  4C  91  CALL  SE1SD  DE (<= (0.038), Sen Delta
* 92EB  05  *      *      *      *      *      *      *
* 92EC  2A  13  20  SENE2 LHLB  2013  *
* 92EF  7C  *      *      *      *      *      *      *
* 92F0  17  *      *      *      *      *      *      *
* 92F1  DA  20  93  JC    SENE3  Salte si Cos Delta < 0
* 92F4  2A  17  20  LHLB  2017  *
* 92F7  7C  *      *      *      *      *      *      *
* 92F8  17  *      *      *      *      *      *      *
* 92F9  DA  0F  93  JC    SENE4  Salte si Cos H < 0
* 92FC  22  00  20  SHLD  2000  *
* 930F  2A  13  20  LHLB  2013  *
* 930E  22  02  20  SHLD  2002  *
* 9305  CD  00  90  CALL  MULT  Multiplicacion de cos Delta
*                               *      *      *      *      *      *      *
*****

```

*****						
MEMORANDO						
DIRECCION	CODIGO EX	ETIQUETA		CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS
*****						
9308	CD	4C	91	CALL	SEISO	
9309	EB			XCHG		
930C	CS	61	93	JMP	SENE5	Salte para la resta
930F	CD	38	92	CALL	CMPX	Complemente (HL)
9312	22	88	28	SRLD	2808	
9315	2A	13	28	LRLD	2813	
9318	22	82	28	SRLD	2882	
931B	CD	88	98	CALL	MULT	
931E	CD	4C	91	CALL	SEISO	Multiplicacion de Cos Delta por Cos H
9321	EB			XCHG		
9322	CD	38	92	CALL	CMPX	Complemente (HL)
9325	CS	61	93	JMP	SENE5	Salte para la resta
9328	2A	17	28	LRLD	2817	
9328	7C			MOV A,H		
932C	17			RAL		
932D	DA	49	93	JC	SENE6	Salte si Cos H < 0
9330	22	88	28	SRLD	2888	
9333	2A	13	28	LRLD	2813	
9336	CD	38	92	CALL	CMPX	Complemente (HL)
9339	22	82	28	SRLD	2882	
933C	CD	86	98	CALL	MULT	Multiplicacion de Cos Delta por Cos H
933F	CD	4C	91	CALL	SEISO	
9342	EB			XCHG		
9343	CD	38	92	CALL	CMPX	Complemente (HL)
9346	CS	61	93	JMP	SENE5	Salte para la resta
*****						

*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MNEMONICO			OPERANDO	COMENTARIOS
		ETIQUETA	CODIGO OP			
*****						
9328	2A 17 28	LHLD	2017			
932B	7C	MOV A,H				
932C	17	RAL				
932D	DA 49 93	JC	SENE6		Salte si Cos H < 0	
9338	22 00 28	SHLD	2000			
9333	2A 13 28	LHLD	2013			
9336	CD 38 92	CALL	CMFX		Complemente (HL)	
9339	22 02 28	SHLD	2002			
933C	CD 00 98	CALL	MULT		Multiplicacion de Cos Delta por Cos H	
933F	CD 4C 91	CALL	SEISD			
9342	EB	XCHG				
9343	CD 38 92	CALL	CMFX		Complemente (HL)	
9346	C3 61 93	JMP	SENE5		Salte para la resta	
9349	CD 38 92	CALL	CMFX		Complemente (HL)	
934C	22 00 28	SHLD	2000			
934F	2A 13 28	LHLD	2013			
9352	CD 38 92	CALL	CMFX		Complemente (HL)	
9355	22 02 28	SHLD	2002			
9358	CD 00 98	CALL	MULT		Multiplicacion Cos Delta por Cos H	
935B	CD 4C 91	CALL	SEISD			
935E	EB	XCHG				
935F	00	MOP				
9360	00	MOP				
9361	CD 38 92	CALL	CMFX		(HL) = 0.038 Sen Delta	
9364	D1	POP D				
*****						

```

*****
#DIRECCION# CODIGO EX ***** MNEMONICO #
# # # ETIQUETA #CODIGO OP# OPERANDO # COMENTARIOS #
# # # # # # # # # # #
*****
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9365 # 7D # # # # # MOV A,L # # (Cos Delta).(Cos H) #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9366 # 83 # # # # # ADD E # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9367 # 6F # # # # # MOV A,H # # Ejecucion de la resta #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9368 # 7C # # # # # MOV A,H # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9369 # 8A # # # # # ADDC D # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936A # 67 # # # # # MOV H,A # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936B # C9 # # # # # RET # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936C # # # # # # # # # # # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936D # # # # # # # # # # # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936E # # # # # # # # # # # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 936F # # # # # # # # # # # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9370 # 2A #13 # 2B # SEN A # LHL D # 2013 # Carga Cos Delta #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9373 # 22 # 00 # 2B # # SHLD # 2000 # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9376 # 2A # 15 # 2B # # LHL D # 2015 # Carga Sen H #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9379 # 7C # # # # # # MOV A,H # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 937A # 17 # 83 # 93 # # RAL # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 937B # 0A # 9B # 93 # # JC # #SEN A1 # Salte si Sen H < 0 #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 938E # CD # # # # # # CALL # MULTD # LLame MULTDIV #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9381 # C7 # # # # # # RET # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9382 # 00 # 30 # 92 # SEN A1 # NOP # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9383 # CD # 90 # 93 # # CALL # CMPI # Complemente (HL) #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9386 # CD # 30 # 92 # # CALL # MULTD # LLame MULTDIV #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 9389 # CD # # # # # # CALL # CMPI # Complemente (HL) #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 938C # C9 # # # # # # RET # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
# 938D # # # # # # # # # # # # # # # # #
# # # # # # # # # # # # # # # # #
*****

```

*****							
DIRECCION	CODIGO EX	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS		
*****							
938E							
938F							
9390	22	02	20	MULT	SHLD	2002	Multiplique Cos Delta por Sen H
9393	CD	00	90		CALL	MULT	Almacene el producto en la memoria RNDP
9396	22	20	20		SHLD	2020	
9399	EB				XCHG		
939A	22	26	20		SHLD	2620	
939D	26	00			MVI H	00	
939F	2E	00			MVI L	00	
93A1	22	2A	20		SHLD	202A	Almacene ceros en W1
93A4	2A	10	20		LALD	201B	Almacene Cos E en VZ
93A7	22	2C	20		SHLD	2C20	
93AA	CD	90	95		CALL	DIVK	Realice division
93AB	EB				XCHG		
93AE	C9				RET		
93B5	2A	11	20	CTAND	LALD	2011	Cargue Sen Delta
93B8	7C				MOV A,H		
93B9	17				RAL		
93BA	0A	C3	93		JC	CTAND	Salte si Sen Delta < 0
93BD	ED	00	93		CALL	TAND	Calcule Tan Delta
93C0	C9				RET		
93C1	00				NOP		
93C2	00				NOP		
93C3	CD	30	92	CTAND1	CALL	CNFI	Complemente H1
93C0	CD	00	93		CALL	TAND	Calcule Tan Delta
*****							



*****							
* MEMORICO *							
*DIRECCION*	COBIGO	EX	*****				
* ETIQUETA *	*CODIGO OP*	OPERANDO	* CONENTARIOS *				
*****							
* 940B	* 22	* 8B	* 2B	* SHLD	* 2000		
* 940R	* 26	* 69		* MVI H	* 69		
* 940D	* 2E	* 43		* MVI L	* 43		
* 940F	* 22	* 82	* 2B	* SHLD	* 2002		
* 9412	* CD	* 8D	* 9B	* CALL	* HULT	* Multiplique Tan Delta por	
* 9415	* CD	* 4C	* 91	* CALL	* SEISD	* 1/tan L	
* 9418	* EB			* XCHG			
* 9419	* CD	* 38	* 92	* CALL	* CMPX	* Complemente HL	
* 941C	* C9			* RET			
* 9420	* CD	* 38	* 92	* CALL	* CMPX	* Complemente HL	
* 9422	* 22	* 8B	* 2B	* SHLD	* 2000		
* 9425	* 26	* 69		* MVI H	* 69		
* 9427	* 2E	* 43		* MVI L	* 43		
* 9429	* 22	* 82	* 2B	* SHLD	* 2002		
* 942F	* CD	* 8B	* 9B	* CALL	* HULT		
* 942F	* CD	* 4C	* 91	* CALL	* SEIS D	* Multiplique Tan Delta por	
* 9432	* EB			* XCHG		* 3/Tan L	
* 9433	* C9			* RET			
* 9436	* CD	* 8B	* 94	* CALL	* TD/TL	* Calcule Tan Delta /Tan L	
* 9439	* E5			* PUSH H			
* 943A	* 2A	* 17	* 2B	* LHLD	* 2817		
* 943D	* 7C			* MOV A,H			
* 943E	* 17			* RAL			
* 943F	* DA	* S2	* 94	* JC	* SIGNAO	* Salte si Cos H < 0	
* 9442	* D1			* POP D			





*****										
*DIRECCION*	CD	EX	MNEMONICO							
*E*	*E*	*E*	*ETIQUETA*	*CODIGO DP*	OPERANDO	*COMENTARIOS*				
*E*	*E*	*E*	*E*	*E*	*E*	*E*				
*****										
* 94B2	* CD	* 4C	* 91	* CALL	* SEISB	* (DE) (<= 8.489. Sen (0.072 N)				
* 94B5	* EB	* *	* *	* XCHG	* *	* *				
* 94B6	* 22	* OD	* 28	* SHLD	* 2000	* Almacene Delta				
* 94B9	* C9	* *	* *	* RET	* *	* *				
* 94BA	* 00	* *	* *	* NOP	* *	* *				
* 94BB	* 00	* *	* *	* NOP	* *	* *				
* 94BC	* CD	* 30	* 92	* CALL	* CMPI	* Complemente (HL)				
* 94BF	* 22	* 00	* 2H	* SHLD	* 2000	* *				
* 94C2	* 21	* B2	* 01	* LXI H	* 01A2	* Multiplicador (<= 0.489				
* 94C5	* 22	* 02	* 2H	* SHLD	* 2002	* *				
* 94CB	* CD	* 00	* 9H	* CALL	* MULT	* *				
* 94CB	* CD	* 4C	* 91	* CALL	* SEISB	* DE (<= 0.489. Sen (0.072 N)				
* 94CE	* EB	* *	* *	* XCHG	* *	* *				
* 94CF	* 3E	* 21	* *	* MVI A	* 21	* *				
* 94D1	* 95	* *	* *	* SUB L	* *	* *				
* 94D2	* 5F	* *	* *	* MOV L,A	* *	* *				
* 94D3	* 3E	* 19	* *	* MVI A	* 19	* *				
* 94D5	* 7C	* *	* *	* SUBB H	* *	* *				
* 94D6	* 67	* *	* *	* MOV H,A	* *	* *				
* 94D7	* 22	* OD	* 2H	* SHLD	* 2000	* Delta (= 360 - Delta				
* 94DA	* C9	* *	* *	* RET	* *	* *				
* 94DF	* 2A	* 34	* 20	* CALL	* 2034	* Calcule angulo Horario H				
* 94E2	* 11	* 35	* 01	* LXI D	* 0135	* *				
* 94E5	* 7D	* *	* *	* MOV A,L	* *	* *				
* 94E6	* 93	* *	* *	* SUB E	* *	* *				
*****										

*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MEMORICO			OPERANDO	COMENTARIOS
		ETIQUETA	CODIGO OP			
*****						
9526	47		MOV	DAH		BC <= E - E real
9527	17		RAL			
9528	DA	61	JC		POSE 2	Salte si error es negativo
952B	21	28	LX1		8828	
952E	79		MOV	A,C		
952F	95		SUB	L		
9530	78		MOV	A,B		
9531	9C		SUBB	H		
9532	17		RAL			
9533	DA	86	JC		POSE 3	Salte si error es menor que 1,8
9536	2A	3C	LHLD		283C	
9537	3E	28	MVI	A	28	
9538	85		RRF	L		
953C	8F		MOV	L,A		
953D	3E	88	MVI	A	88	Incremente E real en
953F	8C		ADC	H		
9540	67	3C	MOV	H,A	28	
9541	22	7F	SHLD		283C	
9544	3E	21	MVI	A	7F	
9546	D3		OUT		21	Pulso de adelanto del actor
9548	88		NOP			
9549	88		POSE 7	NOP		
954A	88		NOP			
954B	88		NOP			
954C	3E	FF	MVI	A	FF	

```

*****
*                               *
*                               *
* DIRECTION: CODIGO EX          *
*                               *
* ETIQUETA  CODIGO OP  OPERANDO *
*                               *
*                               *
*****
*                               *
* 954E  03  21  *          * OUT  21  * Fije salida de control en alto *
*                               *
* 9550  21  FF  FF  *          * LLI H  FFFF  * Lazo de retardo *
*                               *
* 9553  20  *  *  * POSE 4  * DCR L  *          *
*                               *
* 9554  C2  53  95  *          * JNZ  POSE 4  * Salte si no es cero *
*                               *
* 9557  25  *  *  *          * DCR H  *          *
*                               *
* 9558  C2  53  95  *          * JNZ  POSE 4  * Salte si no es cero *
*                               *
* 9559  C3  MC  95  *          * JMP  POSI E  * Vuelva al inicio del programa *
*                               *
* 9561  3E  20  *  * POSE 2  * MVI A  20  *          *
*                               *
* 9563  B1  *  *  *          * ADC C  *          *
*                               *
* 9564  3E  80  *  *          * MVI A  80  *          *
*                               *
* 9566  80  *  *  *          * ADC B  *          *
*                               *
* 9567  17  *  *  *          * RAI  *          *
*                               *
* 9568  D2  83  95  *          * JNC  POSE 6  * Salte si error > -1.0 *
*                               *
* 9569  2A  3C  20  * POSE 8  * LHL D  203C  *          *
*                               *
* 956E  11  20  80  *          * LLI D  8020  *          *
*                               *
* 9571  7D  *  *  *          * MOV A,L  *          *
*                               *
* 9572  93  *  *  *          * SUB E  * Decremento E real en 1.0 *
*                               *
* 9573  6F  *  *  *          * MOV L,A  *          *
*                               *
* 9574  7C  *  *  *          * MOV A,H  *          *
*                               *
* 9575  9A  *  *  *          * SUBB B  *          *
*                               *
* 9576  67  *  *  *          * MOV H,A  *          *
*                               *
* 9577  22  3C  20  *          * SHLD  203C  *          *
*                               *
* 957A  3E  80  *  *          * MVI A  80  *          *
*                               *
* 957C  03  21  *  *          * OUT  21  * Pulso de retraso del motor *
*                               *
* 957E  C3  4B  95  *          * JMP  POSE 7  * Salte incondicionalmente *
*                               *
*****

```

*****							
*DIRECCION*	COBIS0	EX	*****		MNEMONICO	*****	
*	*	*	*ETIQUETA*	*CODIGO	OF*	OPERAND0	* COMENTARIOS
*	*	*	*	*	*	*	*
*****							
* 9581	* 00	* *	* *	* *	* N0P	* *	* *
* 9582	* 00	* *	* *	* *	* N0P	* *	* Salte incondicionalmente
* 9583	* CA	* 80	* 95	* POSE 6	* JZ	* POSEB	* *
* 9584	* C9	* *	* *	* POSE 3	* RET	* *	* *
* 9590	* 01	* 00	* 00	* DIV1	* LXI B	* 0000	* Encere (0E)
* 9593	* 11	* 00	* 00	* DIV2	* LXI D	* 0000	* Encere (0E)
* 9596	* 3A	* 20	* 20	* LDA	* 2020	* *	* Cargue P
* 9599	* 2A	* 2C	* 20	* LHLD	* 2029	* *	* Cargue YZ
* 959C	* 95	* *	* *	* SUB L	* *	* *	* *
* 959D	* 32	* 28	* 20	* STA	* 2020	* *	* P (<= P-Z)
* 95A0	* 3A	* 29	* 20	* LDA	* 2029	* *	* Cargue B
* 95A3	* 9C	* *	* *	* SUBB H	* *	* *	* *
* 95A4	* 32	* 29	* 20	* STA	* 2029	* *	* B (<= B - (Y + Cx)
* 95A7	* 3A	* 26	* 20	* LDA	* 2026	* *	* Cargue M
* 95AA	* 2A	* 2A	* 20	* LHLD	* 202A	* *	* Cargue WX
* 95AD	* 9D	* *	* *	* SUBB L	* *	* *	* *
* 95AE	* 32	* 26	* 20	* STA	* 2026	* *	* N (<= M - (X + Cy)
* 95B1	* 3A	* 27	* 20	* LDA	* 2027	* *	* Cargue M
* 95B4	* 9C	* *	* *	* SUBB H	* *	* *	* *
* 95B5	* 32	* 27	* 20	* STA	* 2027	* *	* H (<= M - (M + Cy)
* 95B8	* 0A	* C0	* 95	* JC	* DIV1	* *	* Salte si es negativo
* 95BB	* 13	* *	* *	* INX D	* *	* *	* Incremente (0E) en uno
* 95BC	* 7B	* *	* *	* MOV A,E	* *	* *	* *
* 95BD	* A7	* *	* *	* ANA A	* *	* *	* *
* 95BE	* C2	* 96	* 95	* JNZ	* DIV2	* *	* Salte si (E) no es cero

*****							
MEMORICG							
DIRECCION	CODIGO		EX	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS
*****							
95C1	9A				MOV	A,D	
95C2	A7				ANA	A	
95C3	C2	96	95		JNZ	DIV2	Salte si (D) no es cero
95C6	03				INRX	B	Incremente (BC) en uno
95C7	C3	96	95		JMP	DIV2	Salte incondicionalmente
95CA	00				NOP		
95CB	C9				DIV 1	RET	
96B7	CD	DF	94	POSMA	CALL	CALCN	Calcule angulo horario
96BC	CD	80	92		CALL	SEN E	Calcule Seno Elevacion
96BF	7C				MOV	A,H	
9610	17				RAL		
9611	DA	83	96		JE	POSMA1	Salte si Sen E < 0
9614	CD	EB	96		CALL	ARSENX	Calcule angulo Elevacion
9617	22	8A	20		SHLD	200A	
961A	CD	78	91		CALL	COS X	Calcule Cos Elevacion
961D	22	18	20		SHLD	2010	
9620	CD	78	93		CALL	SEN A	Calcule Sen Azimut
9623	7C				MOV	A,H	
9624	17				RAL		
9625	D2	36	96		JNC	POSMA2	Salte si Sen A > 0
9628	CD	30	92		CALL	ENPX	
962B	CD	EB	96		CALL	ARSENX	Calcule angulo Azimut
962E	CD	30	92		CALL	ENPX	
9631	C3	39	96		JMP	POSMA3	Salte Incondicionalmente
9634	00				NOP		



*****						
*DIRECCION*	CODIGO	EX	MEMORICO			
			*ETIQUETA*	*CODIGO OP*	OPERANDO	COMENTARIOS
*****						
* 9694	* 3E	* DF		* NVI A	* DF	
* 9696	* 03	* 21		* OUT	* 21	* Pulso de adelanto del motor
* 9698	* 00		* POSMA5	* NOP		
* 9699	* 00			* NOP		
* 969A	* 00			* NOP		
* 969B	* 3E	* FF		* NVI A	* FF	
* 969D	* 03	* 21		* OUT	* 21	
* 969F	* 21	* FF	* FF	* LX1 H	* FFFF	
* 96A2	* 26		* POSMA8	* DCR		
* 96A3	* C2	* A2	* 96	* JNZ	* POSMA8	* Lazo de retardo
* 96A6	* 25			* DCR H		
* 96A7	* C2	* A2	* 96	* JNZ	* POSMA8	
* 96AA	* C3	* B9	* 96	* JNP	* POSMA	* Salte al inicio de la rutina
* 96AD	* 00			* NOP		
* 96AE	* 00			* NOP		
* 96AF	* C0	* 30	* 92	* POSMA6	* CALL	* CMPX
* 96B2	* 11	* 20	* 00	* LX1 D	* 0020	
* 96B5	* 7B			* MOV A,L		
* 96B6	* 93			* SUB E		
* 96B7	* 7C			* MOV A,H		
* 96B8	* 9A			* SUB D		
* 96B9	* 17			* RAL		
* 96BA	* DA	* DA		* JC	* POSMA7	* Salte si (-Error) < 1.8
* 96BD	* 2A	* 3A	* 20	* LHLD	* 203A	
* 96C0	* 11	* 20	* 00	* LX1 D	* 0020	
*****						

*****							
Mnemónico							
#DIRECCION#	CODIGO	EX	*****	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS
#	#	#	#	#	#	#	#
*****							
* 96C3	* 7D	* *	* *	* *	* MOV	A,L	
* 96C4	* 93	* *	* *	* *	* SUB	E	
* 96C5	* 6F	* *	* *	* *	* MOV	L,A	
* 96C6	* 7C	* *	* *	* *	* MOV	A,H	
* 96C7	* 9A	* *	* *	* *	* SUBB	D	
* 96C8	* 67	* *	* *	* *	* MOV	H,A	A real (= A real - 1.0
* 96C9	* 22	* 3A	* 20	* *	* SHLD	# 203A	
* 96CC	* 3E	* EF	* *	* *	* MVI	A EF	
* 96CE	* D3	* 21	* *	* *	* GGT	# 21	* Pulso de retraso al motor
* 96D8	* C3	* 98	* 96	* *	* JMP	* POSM9	* Salte incondicionalmente
* 96D5	* 21	* 60	* 00	* POSM1	* LXI	M # 0000	* Azimut (= 0000
* 96D6	* C3	* 6D	* 96	* *	* JMP	* POSM5	* Salte incondicionalmente
* 96D7	* 00	* *	* *	* *	* NOP		
* 96DA	* C9	* *	* *	* POSM7	* RET		
* 96E0	* 22	* 1F	* 20	* ARCSNX	* SHLD	# 201F	* ( SEN B) (<= (HL)
* 96E3	* 21	* 24	* 83	* *	* LXI	# 0324	* (X/2) (<= 45
* 96E6	* 22	* 21	* 20	* *	* SHLD	# 2021	* I'X' (<= 45
* 96E9	* 22	* 0A	* 20	* ARC3	* SHLD	# 200A	* Calcule Sen Y'X'
* 96EC	* C0	* 40	* 92	* *	* CALL	* SEN X	
* 96EF	* EB	* *	* *	* *	* XCHG		
* 96F0	* 2A	* 1F	* 20	* *	* SHLD	# 201F	* F(x) (<= Sen X - Sen B
* 96F3	* 73	* *	* *	* *	* MOV	A,E	
* 96F4	* 95	* *	* *	* *	* SUB	L	
* 96F5	* 7A	* *	* *	* *	* MOV	A,E	
* 96F6	* 9C	* *	* *	* *	* SUBB	H	
*****							



*****						
MNEMONICO						
DIRECCION	CODIGO EX		*****			
	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS		
*****						
971A	67		MOV H,A			(HL) <= (XX) + (XX/2)
971B	C3	E9 96	JMP	ARC 3		Salto incondicional
971E	00		NOP			
971F	2A	21 20	LHLD	2021		(HL) <= XX/2
9722	7C		MOV A,H			
9723	37		STC			
9724	3F		CMC			
9725	1F		RAR			
9726	67		MOV H,A			
9727	7D		MOV A,L			
9728	1F		RAR			
9729	6F		MOV L,A			HL <= XX/2 /2
972A	22	21 20	SHLD	2021		(XX/2) <= (XX/2)/2
972D	A7		ANA A			
972E	CA	40 97	JZ	ARC 2		Salte si es cero
9731	EB		XCCH			
9732	2A	0A 20	LHLD	200A		(HL) <= (XX')
9735	7D		MOV A,L			
9736	93		SUB E			
9737	6F		MOV L,A			
9738	7C		MOV A,H			
9739	9A		SHDD D			
973A	67		MOV H,A			(HL) <= (XX') - (XX/2)
973B	C3	E9 96	JMP	ARC 3		Salte incondicional
973E	00		NOP			
*****						

*DIRECCION*	CODIGO	EX	MNEMONICO	OPERANDO	COMENTARIOS
971A	67		MOV H,A		(HL) (<= (XX) + (XI/2)
971B	C3	E9	JMP	ARC 3	Salto incondicional
971E	00		NOP		
971F	2A	21	LHLD	2021	(HL) (= XI/2
9722	7C		MOV A,H		
9723	37		STC		
9724	3F		CMC		
9725	1F		RAR		
9726	67		MOV H,A		
9727	7D		MOV A,L		
9728	1F		RAR		
9729	6F		MOV L,A		HL (<= XI/2 /2
972A	22	21	SHLD	2021	(XX/2) (<= (XX/2)/2
972B	A7		ANA A		
972E	CA	4B	JZ	ARC 2	Salte si es cero
9731	EB		ICMG		
9732	2A	DA	LHLD	200A	(HL) (<= (X'Z')
9735	7D		MOV A,L		
9736	93		SUB E		
9737	6F		MOV L,A		
9738	7C		MOV A,H		
9739	9A		SUBB B		
973A	67		MOV H,A		(HL) (<= (X'X') - (XI/2)
973B	C3	E9	JMP	ARC 3	Salte incondicional
973E	00		NOP		



*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MNEMONICO			COMENTARIOS	
*	*	ETIQUETA	CODIGO DP	OPERANDO	*	
*	*	*	*	*	*	
*****						
9779	47	MOV B,A				
977A	3E	MVI A	B3			
977C	9B	SUBI B				
977D	CA	JNZ	ING 3		Salto si mes = marzo	
9780	11	LXI D	9980		Almacene en DE direccion de Tabla del Mes en Dias	
9783	78	MOV A,B				
9784	CD	CALL	BCC-BIN		Convierta el mes de BCD a binario	
9787	37	STC				
9788	3F	CMC				
9789	17	RAL				
978A	83	ADD E			Multiplique mes por 2	
978B	5F	MOV E,A			(DE) (= Direccion de Mes	
978C	88	MOP				
978D	88	MOP				
978E	1A	LDAI D				
978F	4F	MOV C,A				
9790	13	INRI D				
9791	1A	LDAI D			(DE) (= Valor de tabla	
9792	47	MOV B,A				
9793	E1	POP H				
9794	7C	MOV A,H				
9795	81	ADD C			(HL) (= Dia + Mes expresado en dias	
9796	6F	MOV L,A				
9797	3E	MVI A	B8			
9799	88	ADC B				



```

*****
#          #          #          #          #          #          #          #
# DIRECCION# CODIGO EX #          # MEMONICO #          #          #          #
#          #          #          # ***** #          #          #          #
#          #          # ETIQUETA # CODIGO OP# OPERAND#          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
*****
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9811 # 7A #          #          # MOV A,D #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9812 # C1 #          #          # POP B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9813 # 6B #          #          # ADD B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9814 # 47 #          #          # MOV B,A #          # (B) (= Dato actual + dato #
#          #          #          #          #          #          #          # anterior
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9815 # C5 # 6E # 83 #          # PUSH B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9816 # ED #          #          # CALL # OUTBOT # Muestre en el Display de #
#          #          #          #          #          #          #          # Datos el dato ingresado
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9817 # C1 #          #          # POP B #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9818 # 76 #          #          # MOV A,B #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9818 # 32 # 36 # 20 #          # STA # 2836 # Almacene dato en INDAT #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 981E # 17 #          #          # RAL #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          # Desplaze el dato seis
#          #          #          #          #          #          #          # veces hacia la izquierda
#          #          #          #          #          #          #          #
# 981F # 17 #          #          # RAL #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9820 # 17 #          #          # RAL #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9821 # 17 #          #          # RAL #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9822 # 0E # F6 #          # MVI C # FD #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9824 # A1 #          #          # MVA C #          # Encere los 4 LSB #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9825 # 47 #          #          # MOV D,A #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9826 # C3 # 86 # 9B #          # JMP # INSDA2 # Salte incondicionalmente #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9829 # C1 #          #          # POP B #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 982A # 3A # 36 # 28 #          # LDA # 2836 # Cargue el dato en el #
#          #          #          #          #          #          #          # acumulador
#          #          #          #          #          #          #          #
# 982D # C9 #          #          # RET #          #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9830 # 3E # 9B #          # Error # MVI A # 9B # Habilite Campo de Direcciones #
#          #          #          #          #          #          #          # para escritura
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9832 # 32 # 8B # 19 #          # LDA # 198B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9835 # 3E # 6B #          # MVI A # 6B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 9837 # 32 # 8B # 1B #          # LDA # 198B #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
# 983A # 3E # FA #          # MVI A # FA #          #          #          #
#          #          #          #          #          #          #          #
*****

```

*****							
DIRECCION*	CODIGO EI	MAYORONICO			COMENTARIOS		
*	*	*ETIQUETA	*CODIGO OP*	OPERANDO	*		
*****							
989F	47			MOV C,A	Ajuste decimal		
98C0	47			MOV D,A			
98E1	91			SUB C			
98C2	C2	B9	98	JNZ	BCD2	Salte si no es cero	
98C5	7C			MOV A,H			
98C6	C9			RET			
98EA	3E	98		HORA	MVI A	98	Habilite Campo de direcciones
98CC	32	80	19	STA	1900		
98CF	3E	98		MVI A	98	H	
98D1	32	80	18	STA	1800		
98D4	3E	3A		MVI A	3A		
98D6	32	80	18	STA	1800		
98D9	3E	FA		MVI A	FA	r	
98DB	32	80	18	STA	1800		
98DE	3E	80		MVI A	80	A	
98E0	32	80	18	STA	1800		
98E3	C9			RET			
98E5	3E	98		MVI B	98	Habilite campo de direcciones	
98E7	32	80	19	STA	1900		
98EA	3E	8C		MVI A	8C	M	
98EC	32	80	18	STA	1800		
98EF	3E	8C		MVI A	8C		
98F1	32	80	18	STA	1800		
98FA	3E	BF		MVI A	BF	I	
98F6	32	80	18	STA	1800		
*****							



*****							
DIRECCION	CODIGO EX	ALFABETICO		ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS
*	*	*	*	*	*	*	*
*****							
9918	3E						Mes = L2
9919	32						
991A	C9						
9920	4F			*MIN-HORA	MOV C,A		(C) (= MIN (BCD))
9921	21	00	00		LXI H	0000	Encere registros HL
9924	86	00			MVI B	00	Encere registros B
9926	A7				ANA A		
9927	CA	3A	99		JZ	MIN-HORA 1	Salte si es cero
992A	3E	11		*MIN-HORA2	MVI A	11	
992C	B5				ADD L		
992D	6F				MOV L,A		
992E	3E	00			MVI A	00	
9930	8C				ADC H		(H) (= (H) + 1/60)
9931	67				MOV H,A		
9932	78				MOV A,B		
9933	3C				INR A		(B) (= (B) + 1
9934	27				DAA		Ajuste decimal
9935	47				MOV B,A		
9936	91				SUB C		
9937	C2	2A	99		JWZ	MIN-HORA 2	Salte si (B) = (C)
993A	E9			*MIN-HORA1	RET		
9940	CD	CA	90	ING H-M	CALL	HORA	Genere mensaje Hora
9943	CD	00	90		CALL	INGDAT	Ingreso de Datos
9946	67				MOV H,A		
9947	3E	24			MVI A	24	
*****							

*****							
*DIRECCION*	CODIGO	EX	*ETIQUETA*		*CODIGO OP*	OPERANDO	COMENTARIOS
*	*	*	*	*	*	*	*
*****							
9918	3E						Mes = 12
9919	32						
991A	CV						
9928	4F			*MIN-HORA	MOV D,A		(C) (= MIN (BCD))
9921	21	00	00		LXI H	0000	Encere registros HL
9924	86	00			MVI B	00	Encere registros B
9926	A7				ANA A		
9927	CA	3A	99		JZ	MIN-HORA 1	Salte si es cero
992A	3E	11		*MIN-HORA 2	MVI A	11	
992C	B5				ADD L		
992D	6F				MOV L,A		
992E	3E	00			MVI A	00	
9930	8C				ADC H		(H) (= (H) + 1/60)
9931	67				MOV H,A		
9932	78				MOV A,B		
9933	3C				INR A		(B) (= (B) + 1)
9934	27				DAA		Ajuste decimal
9935	47				MOV B,A		
9936	91				SUB C		
9937	C2	2A	99		JNZ	MIN-HORA 2	Salte si (B) = (C)
993A	E9			*MIN-HORA 1	RET		
9940	CD	CA	90	ING H-M	CALL	HORA	Genere mensaje Hora
9943	CD	00	90		CALL	INGDAT	Ingreso de Datos
9946	67				MOV H,A		
9947	3E	24			MVI A	24	
*****							

*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MNEMONICO			COMENTARIOS	
		ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO		
*****						
* 9949	* 94	*	*	* SUB H	*	
* 994A	* 02	* 54	* 99	* JNC	* ING H-M1	* Salte si hora < 24
* 994D	* 0D	* 38	* 9B	* CALL	* Error	* Genere mensaje error
* 9950	* 03	* 48	* 99	* JMP	* ING H-M	* Solicite nuevo ingreso de la hora
* 9953	* 00	*	*	* NOP	*	*
* 9954	* 3A	* 36	* 20	* LDA	* 2836	* Recupere hora
* 9957	* 67	*	*	* MOV H,A	*	* Preserve Hora en la pila
* 9958	* 35	*	*	* PUSH H	*	*
* 9959	* 0D	* 00	* 9B	* CALL	* BCD-BIN	* Convierta hora (BCD) a hora (binario)
* 995C	* 17	*	*	* RAL	*	* Correccion de coma
* 995D	* 17	*	*	* RAL	*	*
* 995E	* BE	* FC	*	* MVI C	* FC	*
* 995F	* 00	*	*	* NOP	*	*
* 9960	* A1	*	*	* ANA C	*	*
* 9961	* 47	*	*	* MOV B,A	*	*
* 9962	* 05	*	*	* PUSH B	*	* Almacene Hora (Binario)
* 9963	* 0D	* 60	* 9B	* CALL	* BLANQUEAR	*
* 9966	* 0D	* E5	* 9B	* CALL	* MINUTO	* Genere mensaje minuto
* 9969	* 0D	* 00	* 9B	* CALL	* ING DAT	* Ingreso Dato
* 996C	* 67	*	*	* MOV H,A	*	*
* 996D	* 3E	* 60	*	* MVI A	* 60	*
* 996F	* 94	*	*	* SUB H	*	*
* 9970	* 02	* 79	* 99	* JNC	* ING H-M2	* Salte si minuto < 60
* 9973	* 0D	* 30	* 9B	* CALL	* Error	* Genere mensaje Error
* 9976	* 03	* 66	* 99	* JMP	* ING H-M3	* Solicite nuevo ingreso de minuto
*****						



*****									
MACHOTIC									
DIRECCION	CODIGO EX			ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS		
*****									
9986	2A	34	28	LHLD		2834			Cargue la hora T
99A9	3E	11		MVI A		11			
99AD	85			ADD L					
99AC	6F			MOV L,A					
99A8	3E	88		MVI A		88			
99AF	8C			ADC H					T (= T + 1 minuto
99B8	67			MOV H,A					
99B1	7D			MOV A,L					
99B2	FE	FC		CPI		FC			
99B3	88			NDP					
99B4	C2	E8	99	JNZ		INTRI			Salte si no es cero
99B7	7C			MOV A,H					
99B8	E6	B3		ANI		B3			
99BA	FE	B3		CPI		B3			
99BC	C2	E8	99	JNZ		INTRI			Salte si no es cero
99BF	7C			MOV A,H					Incrementa parte de T'
									en la hora
99B8	F6	B3		ORI		B3			
99C2	3C			INR A					
99C3	E6	FC		ANI		FC			Enmascare la parte decimal
99C5	67			MOV H,A					
99C6	2E	88		MVI L		88			Encere la parte decimal
99CB	22	34	28	SHLD		2834			Almacene Hora T
99CB	2A	38	28	LHLD		2838			Cargue hora BCD
99CE	7C			MOV A,H					
99CF	8E	81		MVI C		81			

*****						
DIRECCION	CODIGO EX	MEMORICO	ETIQUETA	CODIGO OP	OPERANDO	COMENTARIOS
*****						
99D1	B1			ADD C		Suma 1 hora a la Hora (BCD)
99D2	27			DAA		
99D3	67			MOV H,A		
99D4	2E	80		MVI L	80	
99D6	7C			MOV A,H		
99D7	FE	24		CPI	24	
99D9	C2	F4	99	JNZ	INTR2	Salte si no son las 24 horas
99DC	26	88		MVI H	88	
99DE	22	38	28	SHLD	2838	(T) (= Cero horas
99E1	22	34	28	SHLD	2834	Horas (BCD) (= Cero horas
99E4	C3	F7	99	JMP	INTR3	Salte para despliegue usual
99E7	88			NOP		
99E8	22	34	28	SHLD	2834	Almacena en memoria hora 1
99EB	2A	38	28	LHLD	2838	Cargue Hora (BCD)
99EE	7D			MOV A,L		
99EF	8E	B1		MVI C	B1	
99F1	B1			ADD C		Suma a la hora (BCD) en minuto
99F2	27			DAA		Ajuste Decimal
99F3	6F			MOV L,A		
99F4	22	38	28	SHLD	2838	Almacena Hora (BCD) actual
99F7	EB			XCHG		
99FB	CD			CALL	LPDAB	Presente Hora (BCD) en el
99FB	3E	FE		MVI A	FE	campo de direcciones
99FB						Envie pulso de encerramiento
99FB						al FLY-FLOP de la hora
99	B3	21		OUT 21		
99	88			NOP		
*****						

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. JAN F. KREIDER AND FRANK KREITH DRS. **SOLAR ENERGY HAND BOOK.**
2. JOHN A. DUFFIE AND WILLIAM A. BECKMAN. **SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES.**
3. INTEL CORPORATION MCS-80, 85 FASMILY USER. **MANUAL MARCH 1970 BYTE PUBLICATIONS INC. 142-149- OCTOBER, 77.**
4. JAVIER EGUREN, **ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS AUTÓNOMOS.**
5. SEMINARIO SOBRE **ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTÁICA,** FIEC, FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN, ESPOL.