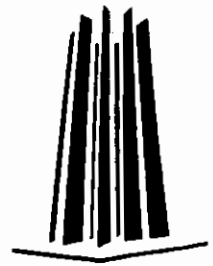


64



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CONSOLA  
(SISTEMA DE CONTROL)  
DEL PROTOTIPO FUNCIONAL DEL  
TELESCOPIO INFRARROJO-ÓPTICO MEXICANO  
(TIM)**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIATURA EN:

**INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

AREA:

**ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

PRESENTA:

**JAVIER ALAIN MORONES CAMACHO**

297085

MÉXICO, D. F.

2001



instituto de astronomía

**UNAM**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS

Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.



En atención a la solicitud de fecha 31 de enero del año en curso, por la que se comunica que el alumno JAVIER ALAIN MORONES CAMACHO, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CONSOLA (SISTEMA DE CONTROL) DEL PROTOTIPO FUNCIONAL DEL TELESCOPIO INFRARROJO-ÓPTICO MEXICANO (TIM)", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 1º de febrero del 2001  
EL SECRETARIO

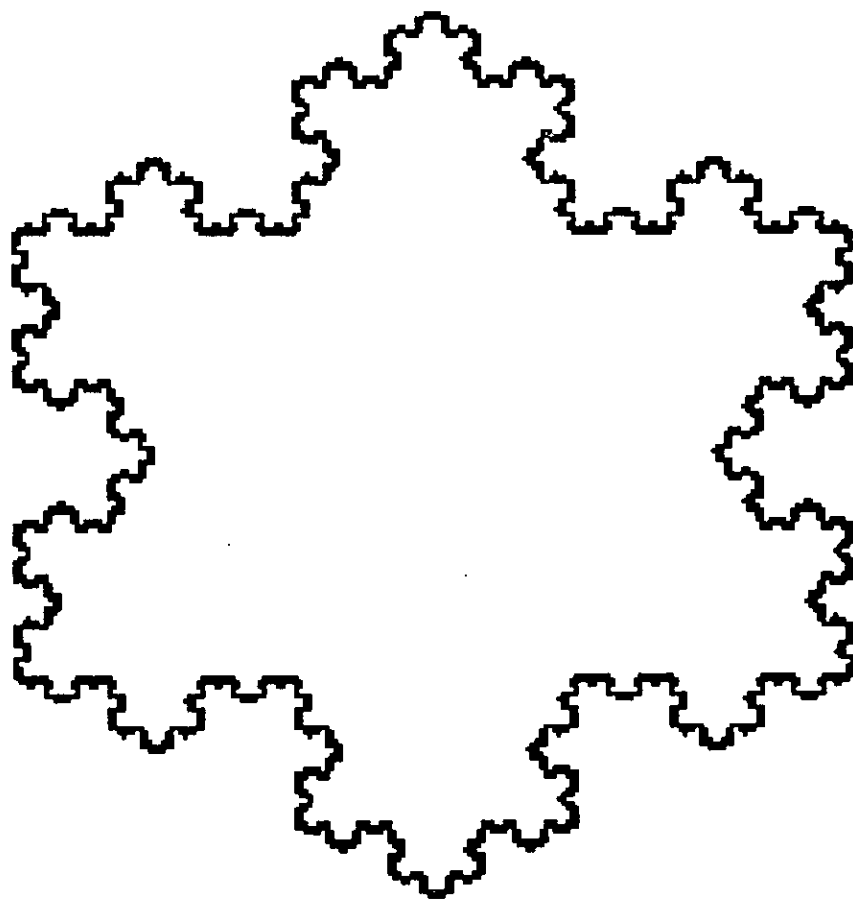
Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

*Recibido  
14-02-2001*

C p Asesor de Tesis.  
C p Interesado.

AIR/REC/vr

# AGRADECIMIENTOS



FRACTAL COPO  
DE NIEVE.

“LA SEMILLA QUE  
SEMBRAMOS HA  
COMENZADO A  
GERMINAR”

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Agradezco y dedico este trabajo a:

- Dios ...creador del cielo y la tierra, de todo lo visible e invisible ...
- Mis padres Alicia Camacho Camacho (†) y Javier Octavio Morones Escobar Quienes me dieron la vida y me han apoyado en todo momento (muy especialmente a ti mama que siempre estarás con migo).
- Mis abuelitas Maria Trinidad Camacho (Mi mami, que me ha cuidado y querido como mi mama) y a Alejandrina Escobar que me han dado todo su cariño y apoyo
- Mi hermana Wendy y a Javier (su novio).
- Mis tíos, Malena, Beto, Carlos, Estelita, Raúl, Taide, Rafael, Joy, Coco, Carolina(†).
- Mis primos Osiris, Daniel, Hiram, Carlos, Blanca, Iñigo, Cristián, Raúl, Maira, Roberto, Paty, Víctor, Ricardo, Julián y Rebeca.
- Mis sobrinas Carmina y Maira (la nueva generación), y a mi futuro sobrino o sobrina (hermano de Carmina).
- Sandra, mi novia, quien esta conmigo en las buenas y en las malas, dándome siempre su apoyo y amor.
- A la familia de Sandra, sus hermanas Claudia, Liliana, Andrea, y a sus papas Ignacio Corchado y Candelaria Salinas(†).
- Mis maestros Azucena, Georgina, Santos, Machuca, Tacuba, Josefina(†), quienes influyeron en el rumbo de mi educación, y muy especialmente a Isidora de la Cruz(†) y a mi "carismático y sabio amigo" Juan Méndez Moreno(†).

Mis amigos que emprendieron el camino de la investigación, del conocimiento, y de la superación:

- Héctor, Javier, Fermín, Monsoy, Juan Carlos, Román, Perla, Laura, Gerardo, Gabriel Wally, Ernesto Lupersio, Francisco Zaragoza, ... , todos del club de matemáticas y del grupo de matemáticas del Pierre Fermat.
- Chanel, Alejandra, Juan, Eduardo, David, Javier Juárez, Rosario Ledesma, Willie, Javier, ... , de jóvenes a la investigación.
- Rubén, José Isabel Parra, Juan Carlos Barcena, Chuy, Armando, Paty, Esteban, Fermín, Ángeles, Deneb, Ángel, Manuel, ... , los de las nuevas y futuras generaciones de la sociedad de Astronomía.

- Peter (mi conciencia), Agustín, Alejandra, Eduardo, Rosario, Claudia Tenorio, Julio, y al resto de la rama estudiantil, y de los capítulos del IEEE.
- Mary, Erika Cerón, Norma, Erika, Eduardo, Gaby, Alejandro J, Alejandro H, ... , y a mis otros amigos de las jornadas de Ingeniería.
- Gerardo, Fernando Ángeles, Arturo I., Abel, Fernando Garfias, Elfego, Gloria K., Miguel Ángel Herrera, Irene, Vladimir, Charly, Paco C., Liliana, Laura Parrao, Tona, Alejandro, Rubén, Erika S., Leonel, Chava, ..., del Instituto de Astronomía.
- Ernesto, Alejandro Camacho, Nad, Xail, Ángel Emilio, Angel (satanas), Alfonso, Fortino, Abril, Perla, Jessica, Yazmín, Abril B., Roy, Mauricio, Edgar, Erika, Alejandra, Amalia García, Ricardo Cantú, Carlos Machorro, Nini, ... , del consejo consultivo juvenil y de la fundación de apoyo a la juventud.
- Sandra P., Begonia, Maria Luisa, Neith, Sonia, Luis Ramón, David Reyes, Miguel Mena, Araceli Manríquez, Isabel, Benjamín Flores, Alfredo Gonzáles García Luna, Sarah, Juan Carlos Quintas, Miguel Sánchez Peña, Daygoro, Eva, Ernesto Manso, Jaime Heredia, Berenice Alcalde, Marco Antonio M., Tere Rojo, Olimpia, Rene, Dionisio Peña, Mario Ángel Flores, amigos de toda la vida.
- Silvia Flores Quijas, mi maestra de ingles a quien debo el perderle el tedio a este idioma, y por fin después de muchos años entenderlo y que me agradara, así como a mis compañeros de clase Oscar, Ovidio, Luz Maria, Nadia Xanic, José, Joaquín, Haydee, Rocío, Graciela, Angélica, Claudia...
- Iván, Julián, Mónica, Raúl B., Juan G., Silvia, Daniel A., Federique, Margarita, ... , amigos y compañeros de trabajo.
- Manuel, Henry, Alejandro, Rafael, Carlos, Vale,... , de mis amigos de Mecatrónica, Arcelia, Araceli, David, Alejandro y Erika... de Control.
- A mis alumnos, que siguen este camino y espero pronto superen a su maestro.

Espero no ofender a nadie al omitir su nombre, o ponerlo antes o después de otro, son muchas las personas que se han involucrado en mi vida, a todas ellas les dedico mi trabajo, y espero les inspire y sirva de apoyo a los futuros ingenieros.

# ÍNDICE



**"FENÓMENO DE INGRAVIDEZ"**

**REMEDIOS VARO**

**"NO SE PUEDE PROGRESAR  
NI SER POSITIVO SI NO SE  
TOMA AQUEL CAMINO QUE  
REPRESENTE LAS MAYORES  
RESPONSABILIDADES"**

**ING. BERNARDO QUINTANA  
ARRIOJA**

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	iii
<b>ÍNDICE</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
1.1 RELACIÓN DE LA ASTRONOMÍA CON LA INGENIERÍA.	5
1.2 EL ASTRÓNOMO Y EL INSTRUMENTISTA	9
1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS	10
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS POR SU ÓPTICA	10
1.3.1.1 TELESCOPIOS REFRACTORES	10
1.3.1.2 TELESCOPIOS REFLECTORES	11
1.3.1.2.1 TELESCOPIO NEWTONIANO	12
1.3.1.2.2 TELESCOPIO DE HERSCHEL	13
1.3.1.2.3 TELESCOPIO CASSEGRAIN	13
1.3.1.2.4 TELESCOPIO GREGORIANO	14
1.3.1.2.5 FOCO NASMYTH	15
1.3.1.2.6 TELESCOPIO DE RITCHEY-CHRETIEN	15
1.3.1.3 ABERRACIONES	15
1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS POR SU MONTURA Y EJES DE MOVIMIENTO.	18
1.3.2.1 SISTEMAS DE COORDENADAS ESTELARES	18
1.3.2.1.1 COORDENADAS ECUATORIALES	18
1.3.2.1.2 COORDENADAS HORIZONTALES	19
1.3.2.2 TELESCOPIO ECUATORIAL	22
1.3.2.3 TELESCOPIO ALTA-AZIMUTAL	24
1.4 LOS OBSERVATORIOS MODERNOS Y LAS CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LOS TELESCOPIOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (OAN).	25
1.5 PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA	29
1.6 REFERENCIAS	30
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>EL TELESCOPIO INFRARROJO - ÓPTICO MEXICANO (TIM).</b>	31
2.1 TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA	32
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA.	32
2.2 HISTORIA DEL TIM	35
2.2.1 TELESCOPIO GALILEO	35
2.2.2 TELESCOPIO MAGALLANES	36
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VERSIÓN DEL TIM EN 1997	38
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL TIM EN 1998	41
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO DEL TIM	44
2.5 REFERENCIAS	45



<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>SISTEMAS DE CONTROL (CONSOLA) PARA EL PROTOTIPO DEL TIM</b>	46
3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TIM	47
3.2 CONTROL DE LOS EJES	63
3.2.1 CONTROL DEL AZIMUT	65
3.2.2 CONTROL DE LA ALTITUD	65
3.2.3 CONTROL DEL ROTADOR DE CAMPO	67
3.2.4 LA PALETA DE POSICIÓN MANUAL	69
3.2.5 COMUNICACIÓN ENTRE EL MICROCONTROLADOR, LA PALETA Y LA TERMINAL	69
3.3 REFERENCIAS	69
<b>CAPÍTULO I V</b>	
<b>EL PROGRAMA DE CONTROL</b>	70
4.1 EJEMPLO DE LA LOCALIZACIÓN DE UNA ESTRELLA	71
4.2 LISTADO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL	75
4.2.1 INTERFAZ DEL USUARIO	80
4.2.1 COMENTARIOS DEL PROGRAMA	80
4.3 REFERENCIAS	80
<b>CAPÍTULO V</b>	81
<b>PRUEBAS APLICACIONES Y CONCLUSIONES</b>	
5.1 PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA (PROBLEMAS, OBSERVACIONES Y COMENTARIOS)	
5.1.1 CODIFICADOR DE POSICIÓN.	82
5.1.2 INTERFAZ DE LA PC AL SISTEMA	84
5.1.3 TARJETA DEL HC11	84
5.1.4 TARJETA DEL LM628	84
5.2 APLICACIONES DEL SISTEMA EN OTROS CAMPOS	85
5.2.1 APLICACIONES DADO EL USO DE CONTROL DE MOTORES PARA POSICIONAMIENTO	85
5.2.1 APLICACIONES DADO EL USO DE MICROCONTROLADORES Y POR LA CONEXIÓN A LA PC	88
5.3 CONCLUSIONES	91
5.4 REFERENCIAS	92
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	93
<b>APÉNDICES</b>	
<b>APÉNDICE (A) EL MICROCONTROLADOR MC68HC(7)11</b>	A1
<b>APÉNDICE (B) EL CONTROLADOR DE MOTORES LM 628</b>	B1
<b>APÉNDICE (C) DATOS DEL FABRICANTE DE LOS CIRCUITOS UTILIZADOS</b>	C1
<b>APÉNDICE (D) DATOS DEL FABRICANTE DE LA TARJETA PCL-750</b>	D1
<b>APÉNDICE (E) DATOS DE LA TARJETA ENLACE</b>	E1
<b>APÉNDICE (F) LENGUAJE PASCAL Y DELPHI</b>	F1
<b>APÉNDICE (G) MATHLAB</b>	G1
<b>APÉNDICE (H) GLOSARIO</b>	H1

# CAPÍTULO

# 1

## INTRODUCCIÓN



**"BORDANDO EL MANTO TERRESTRE"**

**REMEDIOS VARO**

**"POR UNA FORMACIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA"**

**LEMA DE LA RAMA ESTUDIANTIL DEL IEEE DE LA ENEP ARAGÓN**

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1 RELACIÓN DE LA ASTRONOMÍA CON LA INGENIERÍA.

La Astronomía es una de las ciencias más antiguas que han acompañado al hombre, los astrónomos realizaban sus observaciones a simple vista, sin instrumentos, al paso del tiempo esta situación cambio, el avance en la tecnología propicio un desarrollo en la instrumentación que se utilizo y propicio la generación de los telescopios.

El telescopio dio la pauta para que el astrónomo requiriera instrumentos cada vez más precisos para poder dar resultados veraces, exactos y sobretodo con carácter profesional.

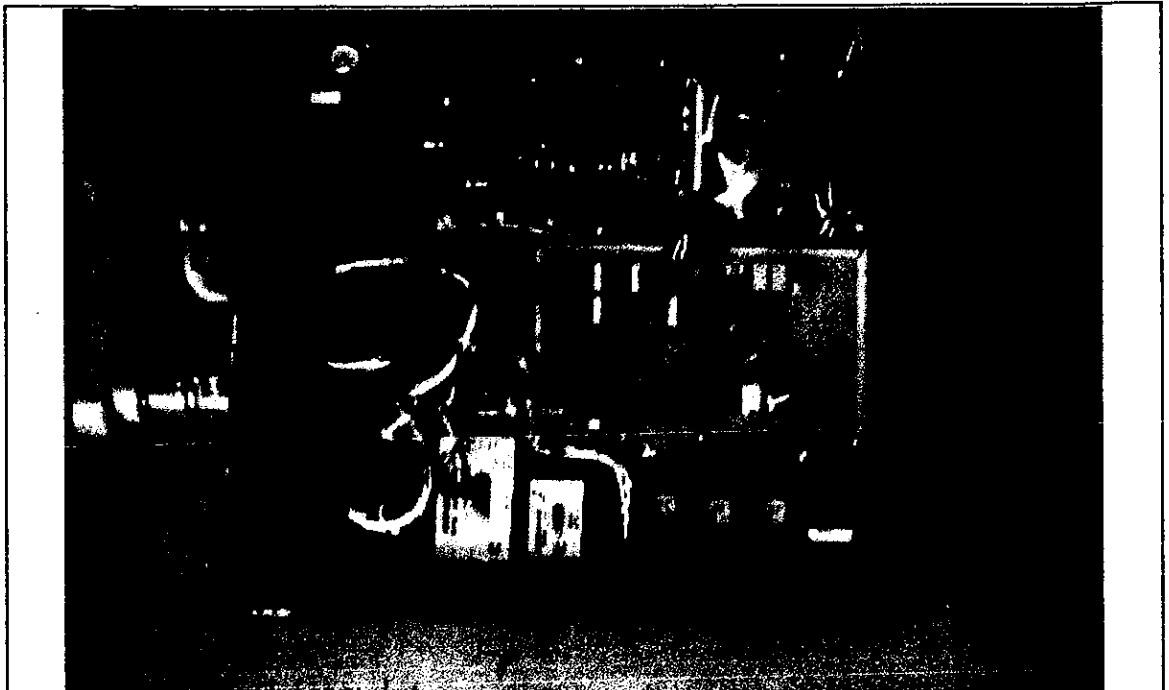
La mecánica, electrónica, y la computación moderna permiten crear superficies ópticas con errores micrométricos, sistemas de control con precisión de fracciones de segundo de arco, usar bases de datos más grandes, poder almacenar imágenes en la memoria de la computadora, corregir las aberraciones tanto en forma física como a través de software, así como el poder controlar remotamente el telescopio desde una estación a kilómetros de distancia.

La persona ideal para realizar estos trabajos y procesos es un Ingeniero, ya que el campo de trabajo es muy grande, y cubre las diferentes disciplinas, como son:

AREA	VINCULACIÓN
Mecánica	Calculo y/o diseño las estructuras físicas que soportan o forman a un telescopio o instrumento que lo acompañe.
Electrónica	Control o automatización, para desarrollar la forma de trabajo de los sensores, y de la electrónica periférica que contiene.
Comunicaciones	Procesando y enlazando los datos que genere el instrumento, así como para comunicar a las estaciones de trabajo con el telescopio.
Computación	Programando el equipo, desarrollando software astronómico, generando sistemas, y métodos numéricos computacionales para solucionar los diversos problemas numéricos, además de la adquisición, manejo, digitalización y procesamiento de imágenes, etc.
Civil	Determinando la cimentación adecuada para el centro de trabajo, así como la estructura y forma del edificio, realizando estudios del suelo, como resonancia, etc.

Esta es la manera como se relaciona la Astronomía con la Ingeniería, mientras más grandes sean las necesidades del astrónomo mayor será el acercamiento del ingeniero en este campo.

A continuación presento fotos que muestran esta relación en forma practica.



**FIG. 1. TARJETA DE CONTROL DEL EJE DE ASCENCIÓN RECTA DEL TELESCOPIO DE 2 m DE SAN PEDRO MARTIR (ELECTRONICA)**



**FIG. 2. INSTALACIÓN DEL ESPEJO DEL TELESCOPIO DE 2m (OPTICA Y MECANICA)**

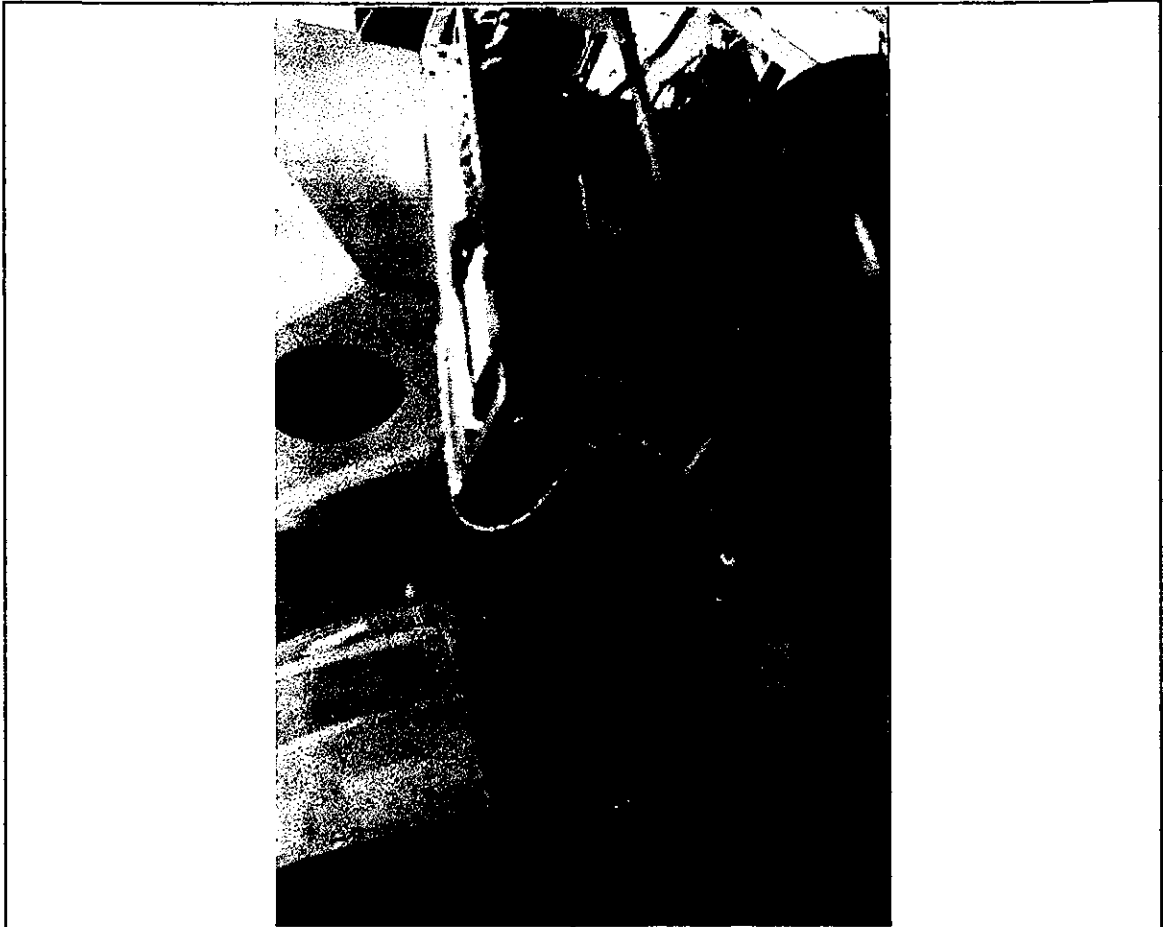


FIG. 3. CONTROL NEUMÁTICO DEL ESPEJO DE 2m  
(ÓPTICA, MECÁNICA Y COMPUTACIÓN)



FIG. 4. INSTALACIÓN DEL TELESCOPIO DE 84 cm (MECÁNICOS)

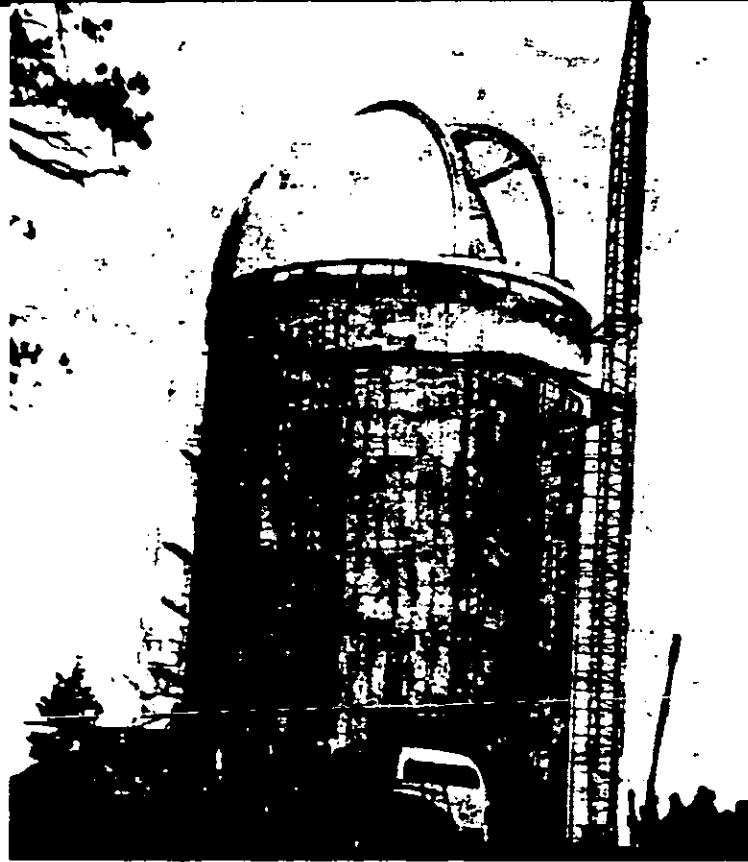


FIG. 5. CONSTRUCCION DE LA CUPULA DEL TELESCOPIO DE 2 m (CIVIL)

## 1.2 EL ASTRÓNOMO Y EL INSTRUMENTISTA.

Existen en la actualidad serias diferencias entre las personas que están relacionadas con la Astronomía.

- El Astrónomo es una persona que tiene conocimientos de Física, Química, Mecánica, óptica, etc., estudia el comportamiento, composición, evolución (entre otros) de los cuerpos celestes, en buena medida tienen conocimiento de como trabaja el equipo que ocupan.

- El instrumentista conoce completamente el funcionamiento de cada elemento o dispositivo que ocupa el astrónomo, ya sea el telescopio, el instrumento (como puede ser una cámara CCD, un detector infrarrojo, un interferómetro, un fotómetro, etc. )

- Existe también el aficionado, este se dedica a la parte artística de la astronomía, principalmente a la fotografía, y a la observación, se debe a ellos el descubrimiento de muchos cuerpos celestes, a pesar de no hacer un estudio sistemático y profundo de las estrellas.



FIG. 6. ASTRÓNOMOS DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA.



FIG. 7. INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR LOS ASTRÓNOMOS EN DIFERENTES CAMPOS (CONSTRUIDOS POR LOS INSTRUMENTISTAS)

## 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS

### 1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS POR SU ÓPTICA

Los telescopios ópticamente se separan en reflectores y refractores.

#### 1.3.1.1 TELESCOPIOS REFRACTORES

Los refractores utilizan lentes (al menos dos) para concentrar la luz en un punto, la primer lente se denomina objetivo por estar mas cerca del objeto y la segunda ocular por estar mas cerca del ojo.

El objetivo es una lente de tipo convergente, dependiendo de sí se permita el concentrar la luz en el foco y posteriormente llegue al ocular, este deberá ser de tipo convergente, pero si el ocular esta antes del foco, deberá ser del tipo divergente.

Por la disposición de las lentes el tamaño de los telescopios refractores, son muy largos, lo que puede producir flexiones y por consecuencia un corrimiento del foco, son poco prácticos, su tamaño no puede ser muy grande ya que dificultaría su manejo.



FIG. 8. TELESCOPIOS REFRACTORES



### 1.3.1.2 TELESCOPIOS REFLECTORES

Las aberraciones que presenta son las de cromatismo, y foco.

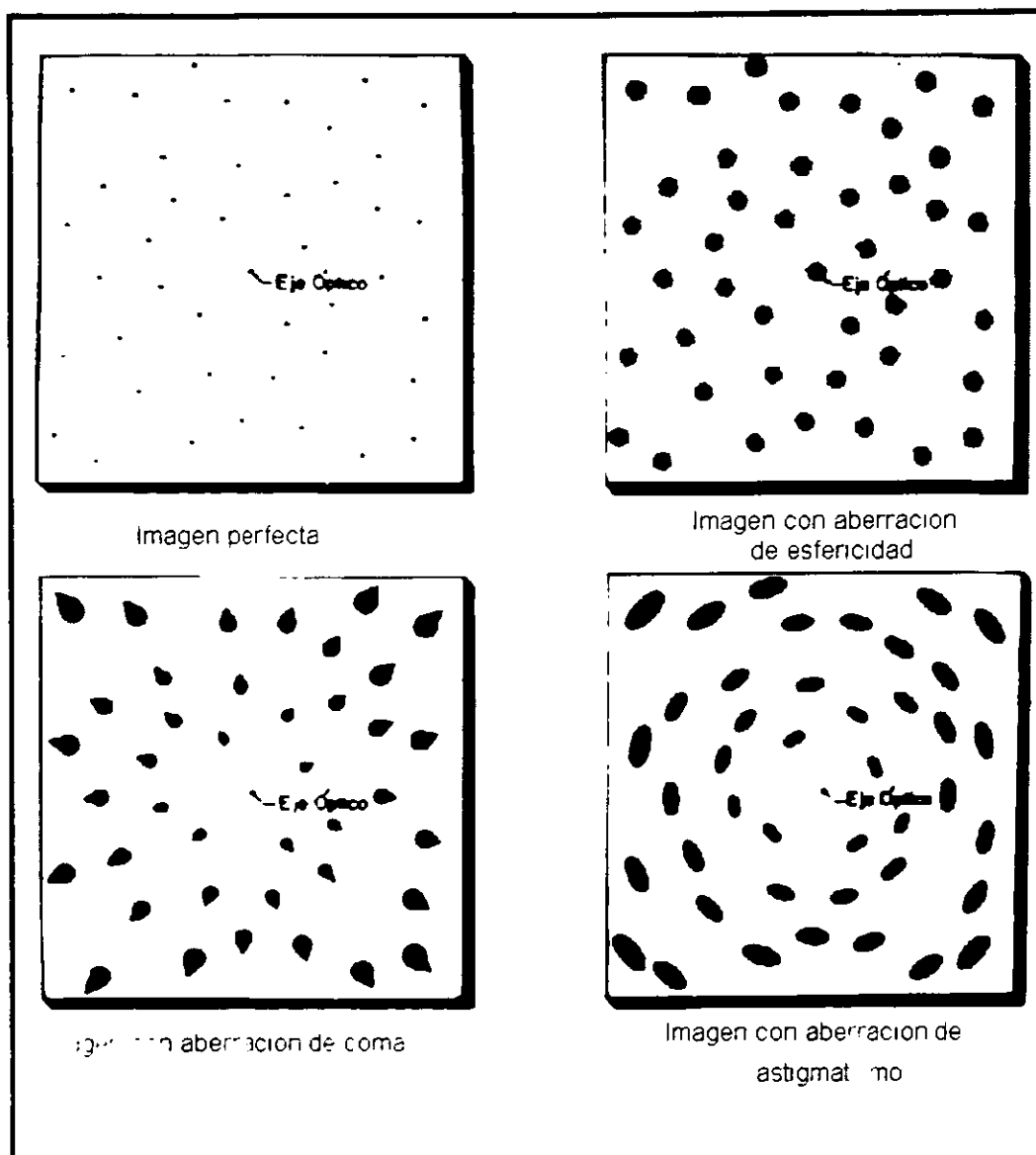
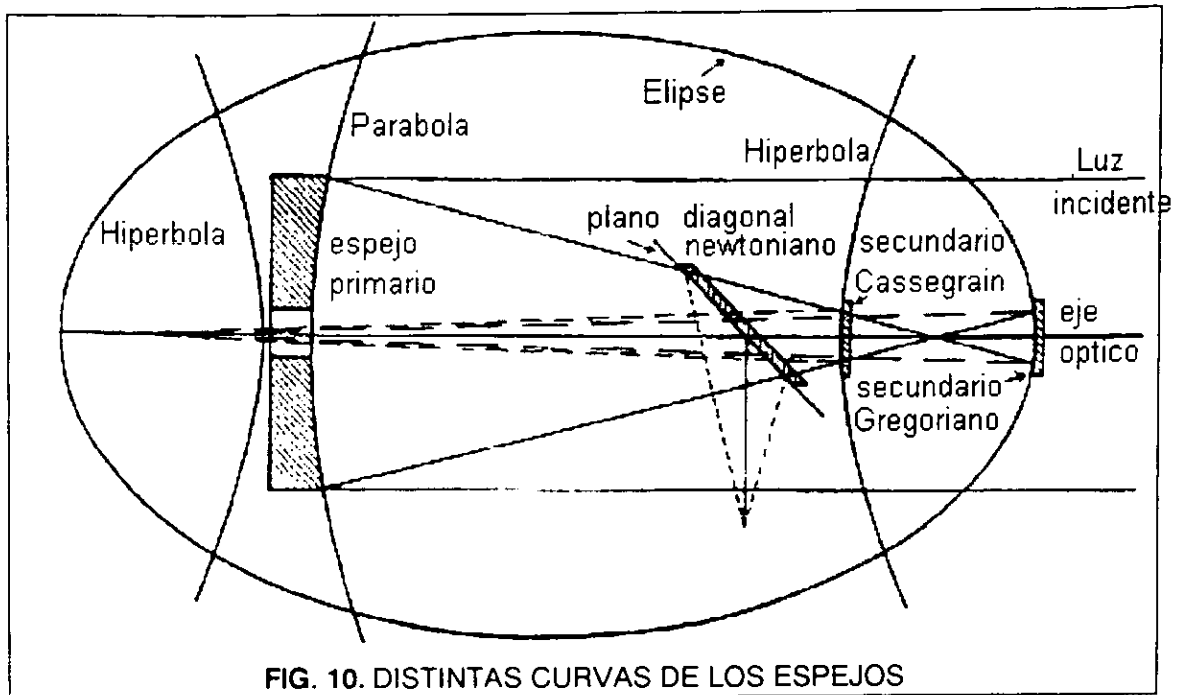


FIG. 9. IMAGENES CON Y SIN ABERRACIONES

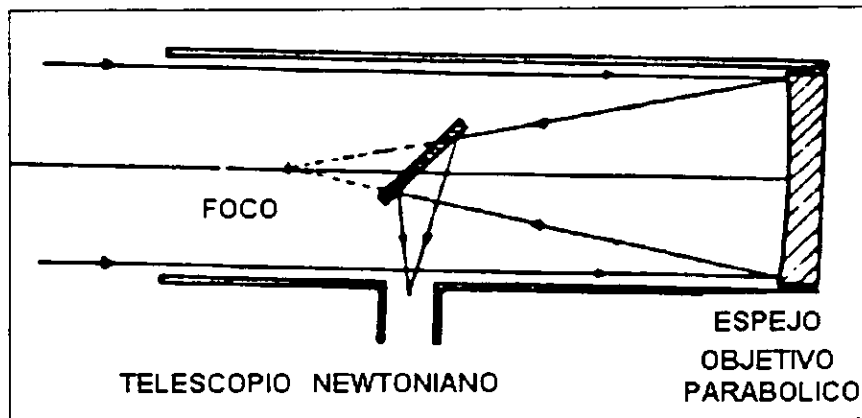
Los reflectores utilizan espejos. a la primer superficie que refleja la luz se le conoce como "Espejo Primario", a la siguiente "Secundario", etc.

Mientras más espejos se utilicen se incrementan las aberraciones y se pierde luz (datos).

Dependiendo de la forma y de la posición en que se coloquen proporcionaran diferentes características ópticas, y por consecuencia el nombre.



### 1.3.1.2.1 TELESCOPIO NEWTONIANO



El más simple es el Newtoniano. se compone por dos espejos, el Primario, generalmente parabólico refleja y concentra la luz en un punto llamado foco, posteriormente se refleja a un espejo secundario de superficie plana, desviando la luz con un ángulo de  $45^\circ$ , cerca del punto donde se concentra la luz (en el foco) se coloca un ocular o el instrumento con el que se trabajara.

Sus desventajas son:

Ópticas: Las aberraciones son las propias de una superficie parabólica, además de las atmosféricas y las térmicas.

Mecánicas: Es afectado por torsiones, ya que necesita un "tubo" de gran tamaño

El tubo es la estructura que sostiene las piezas que forman al telescopio.

### 1.3.1.2.2 TELESCOPIO DE HERSCHEL

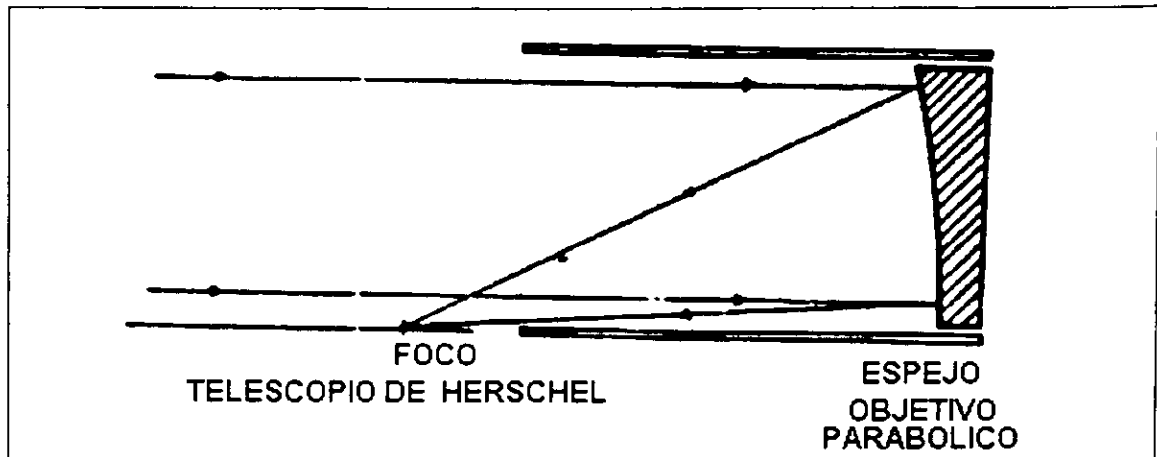


FIG. 12. TELESCOPIO DE HERSCHEL

Sir William Herschel diseñó una configuración para sustituir a la Newtoniana, esta era con una paraboloides fuera de eje, lo que mandaba la imagen a un lado, y no se requería del secundario a 45°.

Esta configuración era muy incómoda para el observador, y de difícil construcción, por lo que se dejó de usar.

### 1.3.1.2.3 TELESCOPIO CASSEGRAIN

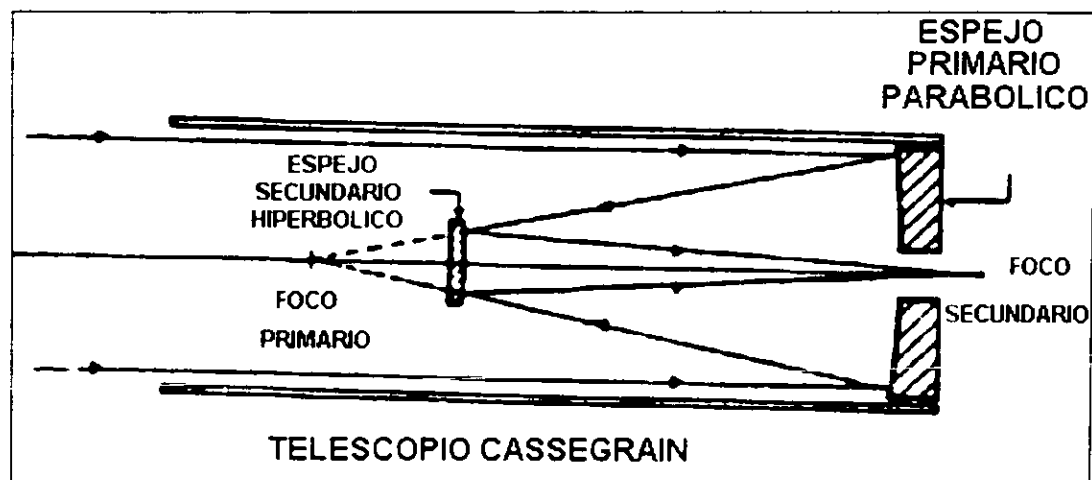


FIG. 13. TELESCOPIO CASSEGRAIN

El telescopio Cassegrain tiene un espejo primario parabólico esférico o hiperboloides, con un orificio en el centro, este espejo refleja la luz a un espejo secundario

que tiene una forma correctiva, la luz que llega al secundario la envía hacia un orificio que presenta el primario, en este punto se coloca el ocular o el instrumento.

Una ventaja muy importante es que se reduce el largo del tubo, disminuyendo su volumen, permitiendo construir telescopios con mayor tamaño en sus superficies ópticas, como persisten las torsiones se ideó una estructura que idealmente reduce o desaparece las flexiones llamada Serrurier.

Sus desventajas son:

Las aberraciones son las propias de la superficie que se utilice, a pesar de tener un corrector persisten algunas, además se le suman las del espejo secundario.

Generalmente son telescopios de gran tamaño, al inclinarse para localizar una estrella el espejo sufre una deformación.

Se le suman las aberraciones atmosféricas y las térmicas.

Es afectado por torsiones, a pesar que necesita un "tubo" de menor tamaño, el que se flexione, causa que el foco se mueva y no coincida distorsionando la imagen.

#### 1.3.1.2.4 TELESCOPIO GREGORIANO

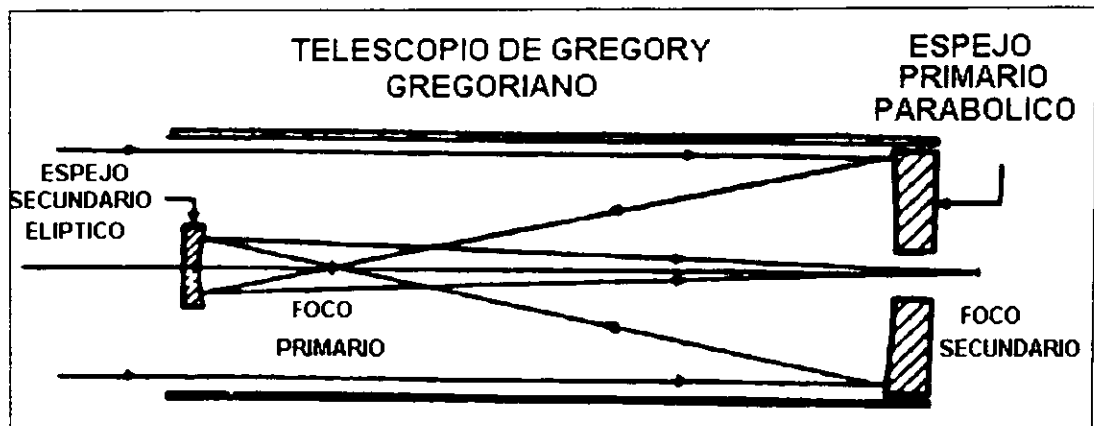


FIG. 14. TELESCOPIO GREGORIANO

El telescopio Gregoriano (por el matemático escocés James Gregory) es básicamente la misma configuración de un telescopio Cassegrain, con la diferencia que se invierte la imagen al variar la distancia entre el primario y el secundario.

El diseño original planteaba un espejo primario elíptico, pero la superficie ideal para este es una hiperboloide y un secundario elipsoide.

### 1.3.1.2.5 FOCO NASMYTH

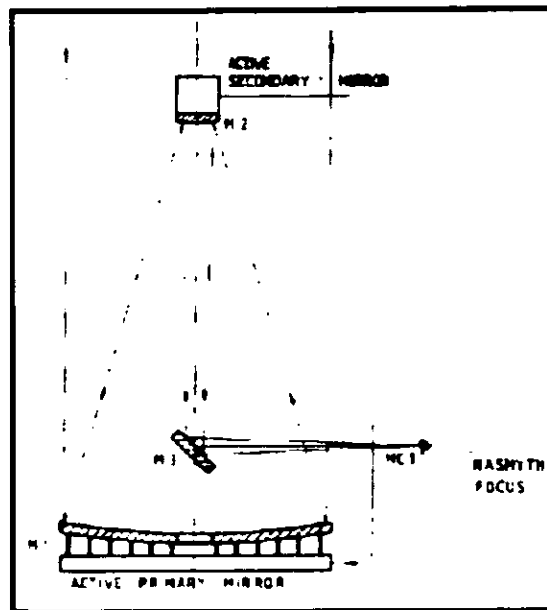


FIG. 15. FOCO NASMYTH

En el telescopio Cassegrain o en el Gregoriano, antes de que pase la luz por el orificio que presenta el espejo primario (ya reflejada del secundario) se coloca un dispositivo que refleja la luz a un costado del telescopio, permitiendo colocar el instrumento de lado, cuando este es muy grande.

### 1.3.1.2.6 TELESCOPIO DE RITCHEY - CHRÉTIEN

Este diseño fue presentado por Henri M. Chrétien, y fabricado por George W. Ritchey, los dos espejos son hiperboloides, por lo que ambos espejos presentan aberración de esfericidad, pero opuesta de tal forma que se cancele, de esta misma forma se corrige la coma.

### 1.3.1.3 ABERRACIONES

Las aberraciones son las deformaciones que presenta una imagen al pasar por la atmósfera, y al ser reflejada por una superficie óptica.

Dependiendo de la forma que tenga un espejo, se presentara la deformación.

En el telescopio se pueden corregir estas compensando con la forma del espejo secundario o deformando el primario.

A continuación se presenta la forma en que se deforma una imagen con respecto a el espejo.

Cuando se deben a una mala calidad en la superficie del espejo, se pueden corregir por medio de actuadores, como se hizo en el telescopio de 2 m de San Pedro Mártir.

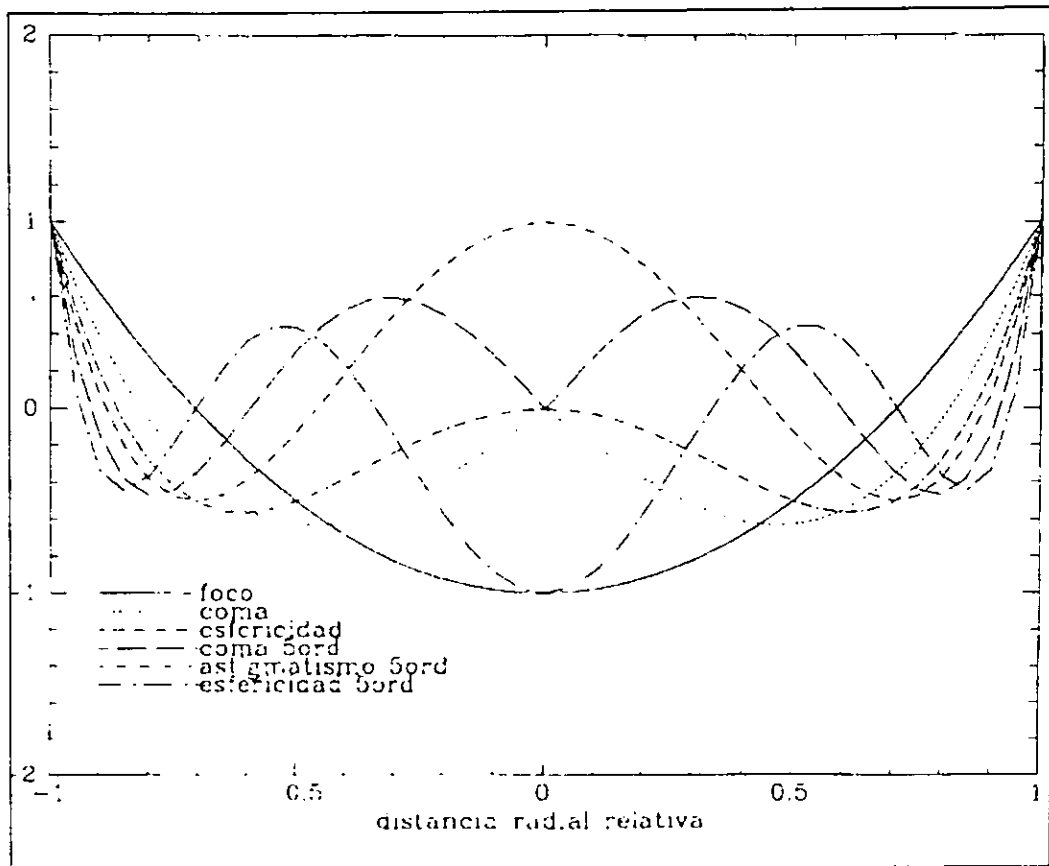


FIG. 16. CURVATURA DE LAS ABERRACIONES

Las aberraciones se pueden catalogar por medio del polinomio de Zernike respectivo, estos polinomios son ecuaciones que al variar su grado nos presentan una superficie de revolución como se puede observar a continuación en la tabla y en el modelo.

Fragmento de la tabla de los polinomios de Zernike.

Z1

$$Z2 = 2 \cos(\theta)$$

$$Z3 = 2 \sin(\theta)$$

$$Z4 = \sqrt{3} (2r^2 - 1)$$

$$Z5 = \sqrt{6} r^2 \sin(2\theta)$$

$$Z6 = \sqrt{6} r^2 \cos(2\theta)$$

$$Z7 = \sqrt{8} (3r^3 - 2r) \sin(\theta)$$

$$Z8 = \sqrt{8} (3r^3 - 2r) \cos(\theta)$$

$$Z9 = \sqrt{8} r^3 \sin(3\theta)$$

$$Z10 = \sqrt{3} r^3 \cos(3\theta)$$

$$Z11 = \sqrt{5} (6r^4 - 6r^2 + 1)$$

$$Z12 = \sqrt{10} (4r^4 - 3r^2) \cos(2\theta)$$

$$Z13 = \sqrt{10} (4r^4 - 3r^2) \sin(2\theta)$$

$$Z14 = \sqrt{10} (r^4) \cos(4\theta)$$

$$Z15 = \sqrt{10} (r^4) \sin(4\theta)$$

$$Z20 = \sqrt{20} r^5 \cos(5\theta)$$

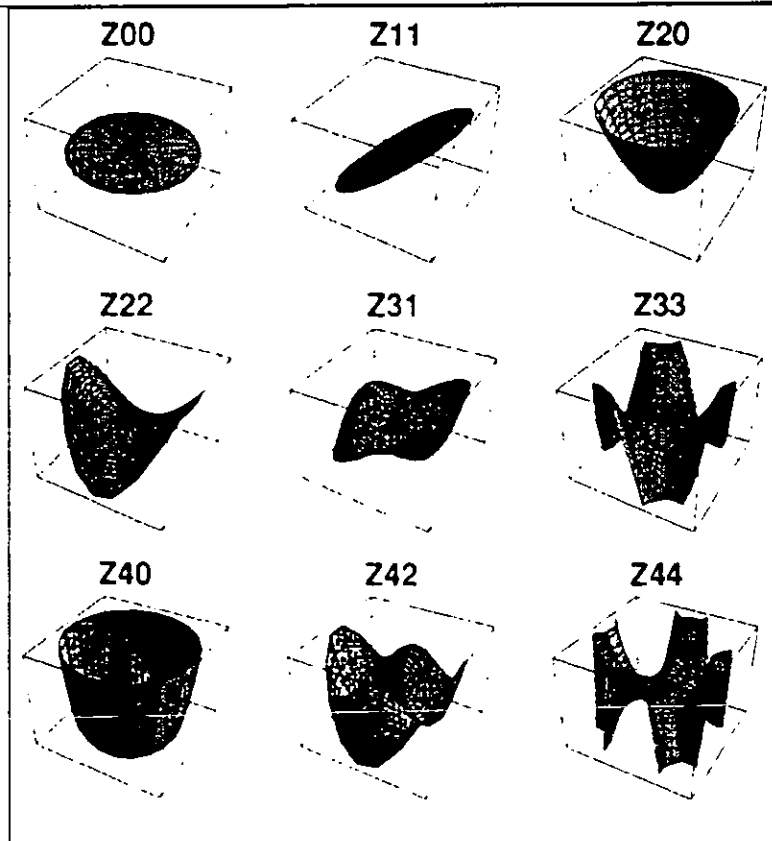


FIG. 17. GRAFICA DE LOS POLINOMIOS DE ZERNIKE

## 1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS POR SU MONTURA Y EJES DE MOVIMIENTO.

Para clasificar a los telescopios de esta forma es necesario conocer primero como se comportan los objetos celestes en su movimiento aparente y cuales son las coordenadas estelares

### 1.3.2.1. SISTEMAS DE COORDENADAS ESTELARES

Los sistemas de coordenadas se pueden clasificar de muchas formas, de las cuales destacaré las ecuatoriales y las horizontales, apoyándome en las coordenadas geográficas.

#### 1.3.2.1.1 COORDENADAS ECUATORIALES

Las coordenadas ecuatoriales se caracterizan por ser establecidas por una persona que esta posicionada en cualquier punto superficial de la tierra, al que se le denominara "Observador" u "Origen", ya que la esfera celeste es virtualmente infinita, se considera insignificante el tamaño de la tierra, y el observador será solo un punto denotado "O".

El punto de referencia en este sistema esta dado por el "Polo Norte Celeste" denotado por "P", y el "Polo Sur Celeste" por "P'", formando el eje "P-P'" llamado "Eje del mundo".

Esta esfera tiene un ecuador llamado "Ecuador Celeste" E-E' el cual forma un plano que divide a la esfera perpendicularmente al eje del mundo, y con los puntos P-E-P'-E' se forma el meridiano celeste.

Sobre este plano se localiza un punto llamado "Punto Gama", o "Punto Vernal", o "Punto Aries", o punto Equinoccial", el cual marca el cero en el ecuador celeste, se denota " $\gamma$ ", se determina a partir de que por ese punto se localiza al sol durante los equinoccios, así como el meridiano de Greenwich, este forma el "circulo horario al punto Gama P- $\gamma$ -P'".

A una Estrella la llamaremos "S", determinamos "OS" como la visual al astro.

Para determinar una estrella, lo hacemos con tres coordenadas, y estas son:

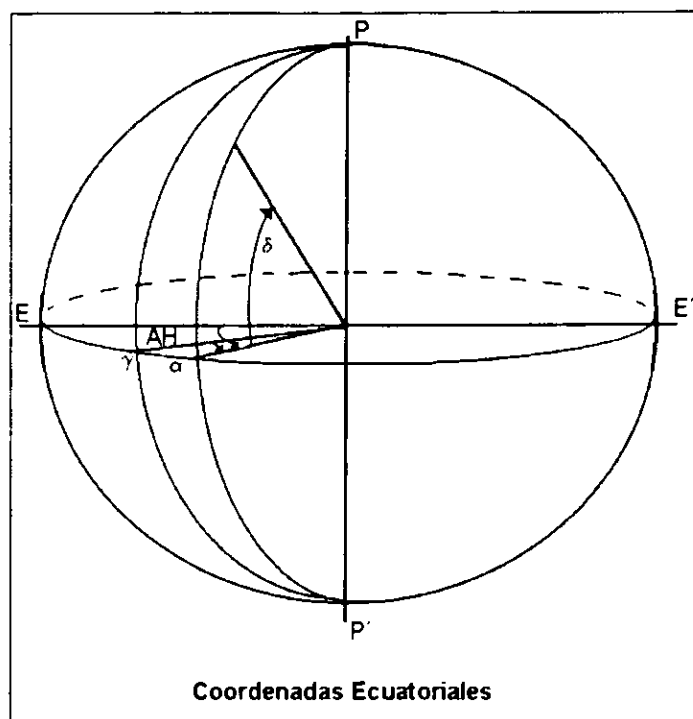
a) Declinación ( $\delta$ ) (Dec): ángulo formado por la distancia angular del astro al ecuador celeste, se mide sobre el circulo horario del astro de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el polo norte celeste, y de  $0^\circ$  a  $-90^\circ$  al polo sur celeste.

b) Ascensión Recta ( $\alpha$ ) (AR): Es el ángulo diedro formado por el circulo horario del punto ( $\gamma$ ) y el circulo Horario del astro.

c) Ángulo Horario ( AH ) : Es el ángulo diedro formado por el meridiano celeste y el circulo horario del astro, se mide de 0 a 12 Hrs. hacia el oeste, y de 0 a -12 Hrs. hacia el este.

La figura 18 ilustra como se localizan estos puntos en la esfera celeste.





**FIG. 18. COORDENAS ECUATORIALES**

### 1.3.2.1.2 COORDENADAS HORIZONTALES

Las coordenadas horizontales definen de la misma forma que las coordenadas ecuatoriales al "Observador" u "Origen", y al punto denotado "O".

El punto de referencia en este sistema esta dado por el "Cenit" denotado por "Z", este punto es el punto mas alto que se encuentra arriba del observador, el punto contrario es el Nadir "Z'", "Z-Z'" es la vertical del lugar.

El observador al ver hacia el frente o atrás vera el horizonte, el horizonte celeste se denota por H, y H', en H se coloca al polo norte terrestre, esto determina un plano que divide a la esfera celeste.

A una Estrella la llamaremos "S" determinamos "OS" como la visual al astro.

Para determinar una estrella, lo hacemos con tres coordenadas, y estas son:

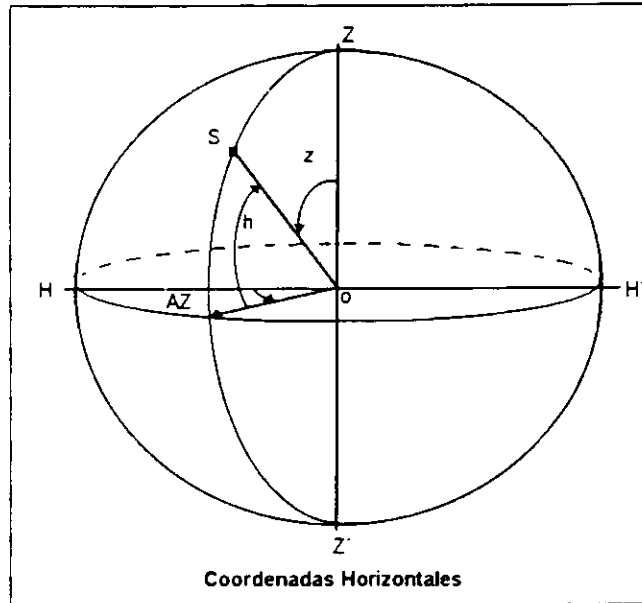
a) Altura (h): Es el ángulo formado por la visual al astro con el plano H-H', se mide sobre el circulo vertical del astro de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  del horizonte al cenit.

b) azimut (AZ): Ángulo diedro formado por el circulo vertical del astro y el meridiano celeste H-Z-H'-Z'.

c) Distancia Cenital (z): Es el ángulo formado por la visual al astro y la vertical al lugar.

$$z = 90^\circ - h$$

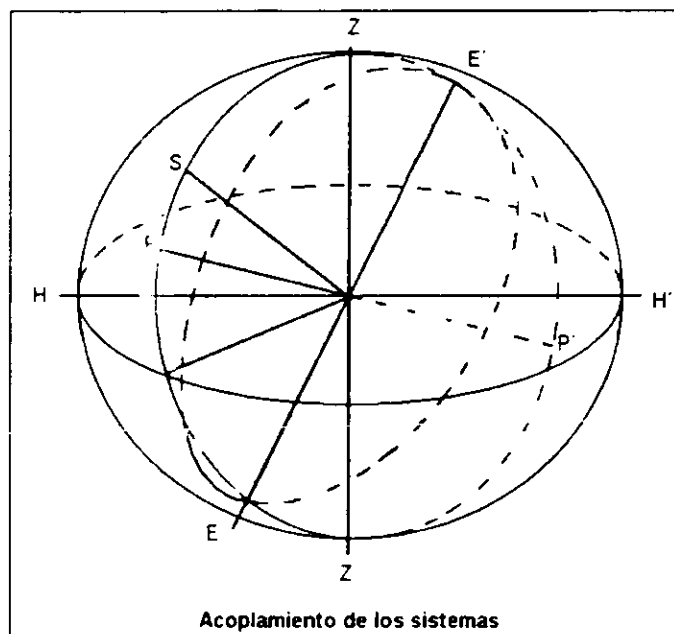
La siguiente figura ilustra como se localizan estos puntos en la esfera celeste.



**FIG. 19. COORDENADAS HORIZONTALES**

Existe una relación muy grande entre estas coordenadas, y las geográficas, de estas últimas utilizaremos la latitud ( $\phi$ ), y la longitud del lugar (L).

Para fusionar ambas coordenadas, el ángulo en el que se colocara el eje del mundo será la latitud del lugar donde se observa.



**FIG. 20. COORDENADAS HORIZONTALES Y ECUATORIALES**

Además podemos determinar si la estrella esta al sur o al norte del ecuador celeste con la ecuación siguiente:

$$\lambda = \delta \pm z$$

Será (+) si esta al sur y (-) si esta al norte.

Para determinar estos ángulos podemos proyectarlos a un plano como muestra el dibujo siguiente

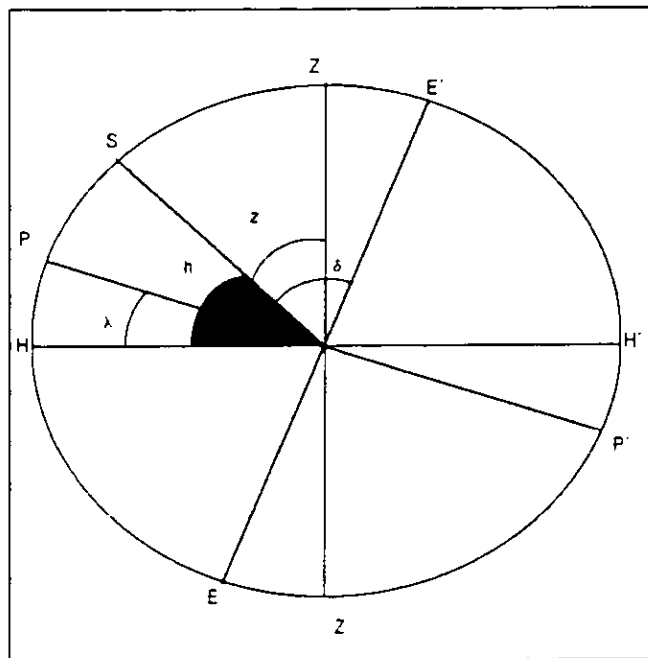


FIG. 21. POSICIÓN DE LA ESTRELLA EN EL PLANO

Existen diversas relaciones para encontrar alguno de estos parámetros, para un telescopio del tipo alta azimutal usaremos las ecuaciones siguientes:

$$\text{sen}(h) = \text{sen}(\delta) * \text{sen}(L) + \text{cos}(\delta) * \text{cos}(L) * \text{cos}(\lambda)$$

$$\text{sen}(AZ) = \frac{-\text{cos}(\delta) * \text{sen}(L)}{\text{sen}(h)}$$

$$\text{cos}(AZ) = \frac{\text{sen}(\delta) * \text{cos}(\lambda) - \text{cos}(\delta) * \text{cos}(L) * \text{sen}(\lambda)}{\text{sen}(h)}$$

Donde la primer ecuación nos proporciona la altitud de la estrella, la segunda y tercera el azimut,

El juego de signos del seno y coseno nos proporcionan la posición diciendonos en que octante se mueve (cuadrante si lo proyectamos en un plano) como lo muestra el dibujo siguiente.

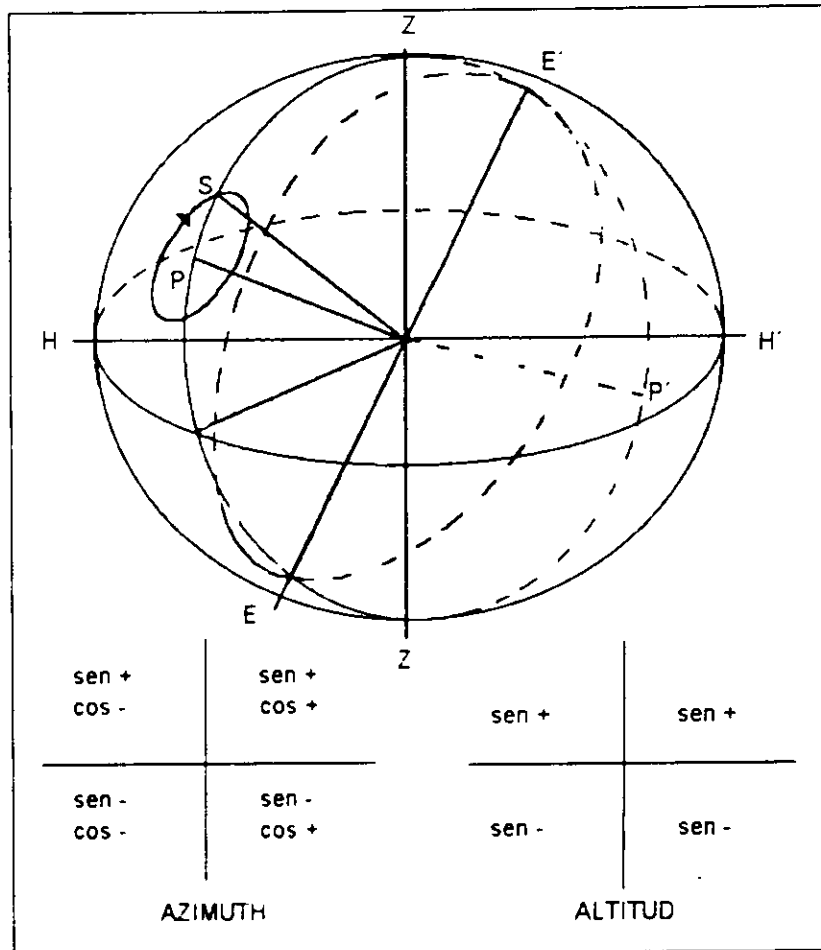


FIG. 22. POSICIÓN DE LA ESTRELLA EN EL OCTANTE.

Debo aclarar que algunas de las coordenadas generalmente se expresan en horas, minutos y segundos (unidades de tiempo), mientras que otras son en grados, minutos y segundos (unidades de arco), se deben realizar las respectivas conversiones, con la siguiente tabla

#### TIEMPO EN ARCO

$$1 \text{ Hrs} = 15^\circ$$

$$1 \text{ min} = 15'$$

$$1 \text{ seg.} = 15''$$

#### ARCO EN TIEMPO

$$1^\circ = 4 \text{ min}$$

$$1' = 4 \text{ seg.}$$

$$1'' = 0.06 \text{ seg.}$$

Existen muchos tipos de monturas, pero principalmente las podemos catalogar por sus ejes como son la Alta - Azimutal y la Ecuatorial.

### 1.3.2.2 TELESCOPIO ECUATORIAL.

Este telescopio tiene dos ejes, Ascensión Recta (A.R.,  $\alpha$ ) y Declinación (Dec.  $\delta$ ).

Utiliza las coordenadas ecuatoriales, de donde toma su nombre.

El eje de A.R. esta graduado en 24 horas, 60 minutos de hora, 60 segundos de hora y fracciones de segundo de hora, sus coordenadas se transforman a unidades de arco con la tabla anterior.

El eje de Dec. se mide en  $360^\circ$ , 60 minutos de arco y 60 segundos de arco.

Este tipo de telescopio es preferido por la facilidad que presenta su control, ya que solo se necesita posicionar un eje en dirección a la estrella fijándolo, y el resto de la noche se moverá el otro eje, siguiendo la estrella.

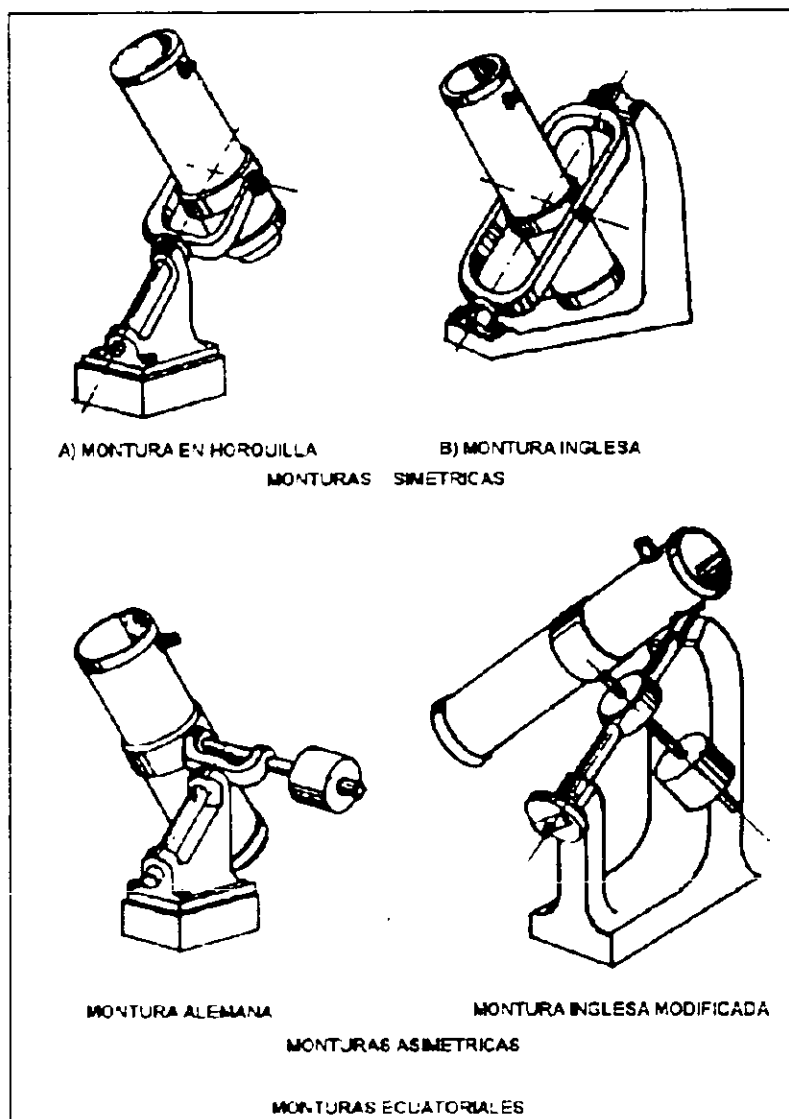


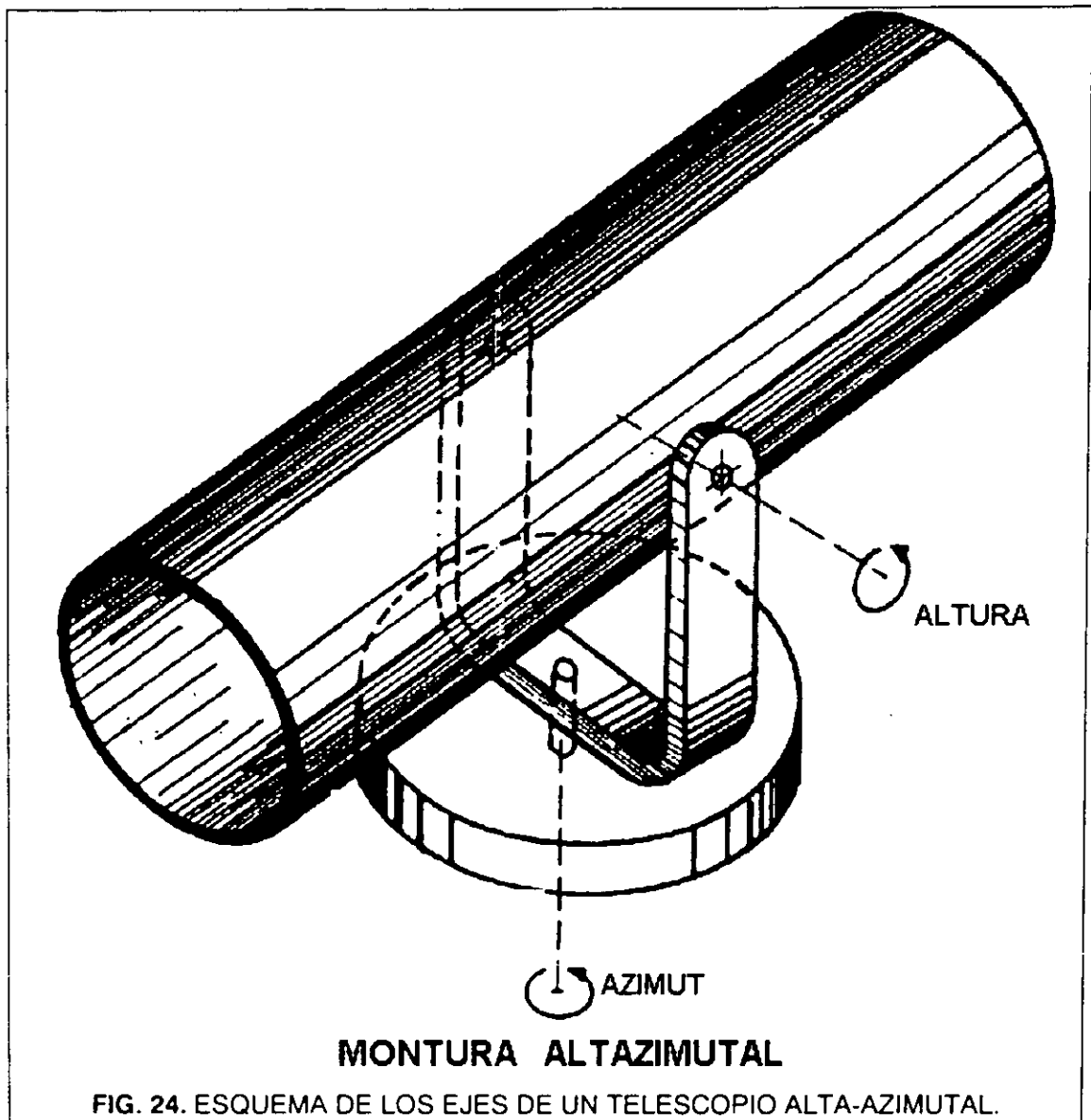
FIG. 23. MONTURAS ECUATORIALES  
 1.3.2.3 TELESCOPIO ALTA - AZIMUTAL

Este telescopio tiene dos ejes, Altitud y Azimut.

Utiliza las coordenadas Horizontales, de donde toma su nombre.

El Azimut o Acimut se mide en la dirección de las manecillas del reloj,.

La Altitud es positiva cuando el objeto esta sobre horizonte y negativa cuando esta por debajo.



#### **1.4 LOS OBSERVATORIOS MODERNOS Y LAS CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LOS TELESCOPIOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (OAN).**

Para entender la evolución de los Observatorios mostrare un poco de la historia de la Astronomía en México a partir de el siglo pasado, no comentare la época prehispánica, ya que los puntos que nos interesan son de índole tecnológico, sus observaciones eran solo a simple vista, y no dejan de ser importantes sus aportaciones.

En 1874 México participa en la observación del paso de Venus por el disco del sol, mandando una expedición a Japón comandada por el Ingeniero Francisco Díaz Cobarruvias, el observatorio se encontraba en palacio nacional, y solo daba el servicio para calcular la hora.

En 1876 (estando en el periodo Juarista) se propone la construcción del Observatorio en Chapultepec, inaugurandose en 1878, durando poco tiempo por la intervención francesa, en 1883 se traslada a Tacubaya en la casa del Arzobispado, para esta época se contaba con un fotoheliografo, y algunos telescopios.

En 1878 México participa en la elaboración de la carta del cielo, tomando la zona de los  $-16^{\circ}$  a los  $-10^{\circ}$

En 1905 Cobarruvias y su equipo se trasladan a España para estudiar un eclipse de sol, repitiéndose en 1923.

Entre 1910 y 1914 se inicia la elaboración del anuario, y se proporciona la hora exacta.

En 1929 el Observatorio Astronómico Nacional fue entregado a la UNAM, proponiéndose la construcción de un nuevo Observatorio en Tonantzintla Puebla, ya que el de Tacubaya había quedado dentro de la ciudad, y la luz de los alrededores interfiere con las observaciones.

En 1942 se inauguro el Observatorio Astrofísico de Tonantzintla Puebla, se contaba con una cámara Schmidt, un telescopio de 38cm de diámetro por 4m de largo, llamado círculo meridiano.

En 1960 se instala un telescopio Cassegrain reflector de 1.2m en Tonantzintla.



FIG. 25. TELESCOPIO DE 1.2 m DE TONANTZINTLA



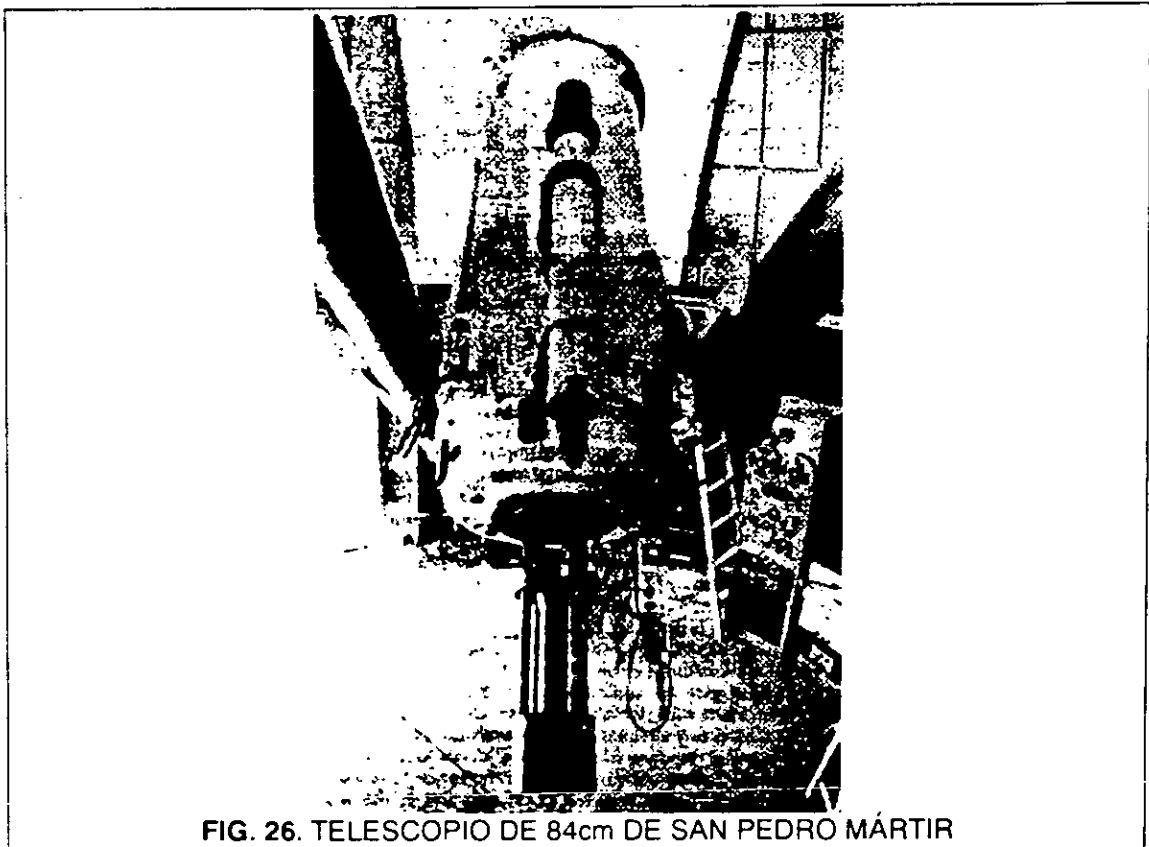
En 1951 fue trasladado a Tonantzintla Puebla el telescopio Carta del Cielo.

En 1967 el Consejo Universitario creo el Instituto de Astronomía, al que se integra el Observatorio Astronómico Nacional.

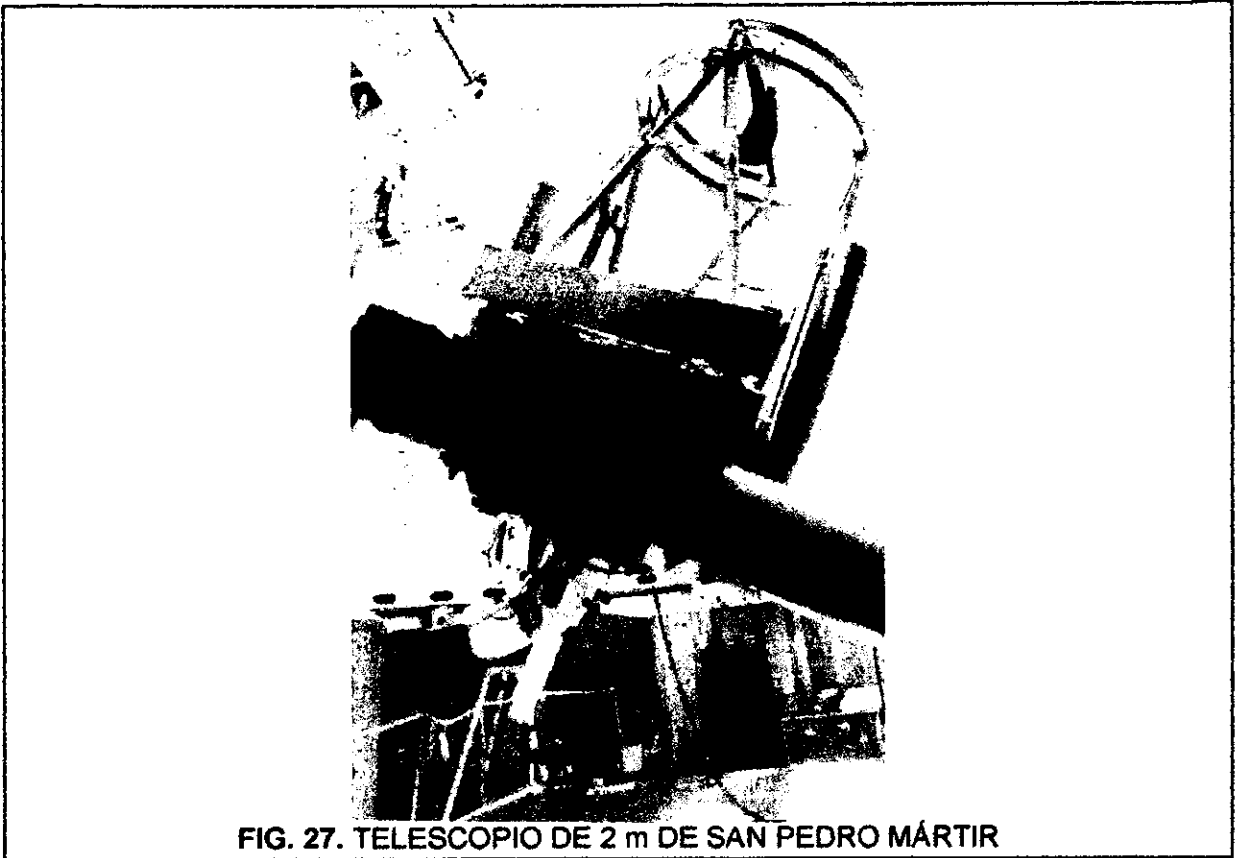
Entre 1967 y 1970 se realizan estudios para construir lo que hoy es el OAN de San Pedro Mártir (SPM), ya que el cielo de Tonantzintla se había degradado con la contaminación lumínica de la ciudad de Puebla.

En 1970 mediante un convenio de colaboración se pasa a la UNAM en SPM, el telescopio de 1.5m de la Universidad de Arizona, compartiendo tiempos de observación.

En 1971 se instala el telescopio de 84cm, cambiándose de lugar en 1974 junto con el telescopio de 1.5m



En 1974 se consiguen fondos para construir el telescopio de 2.2m, la obra inicia en 1976, y es inaugurado en 1979



En 1995 se transforma el telescopio de 2.2m modificando su óptica, regresándolo a uno de los primeros lugares del mundo.



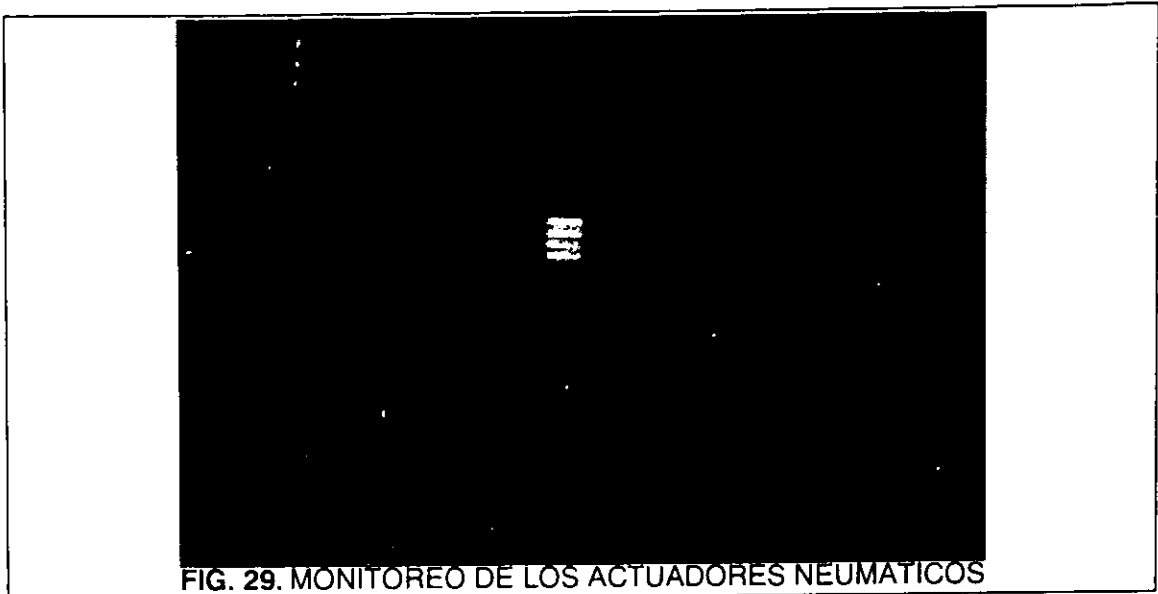


FIG. 29. MONITOREO DE LOS ACTUADORES NEUMATICOS

Entre 1996 y 1997 se repara el telescopio Carta del cielo que se encuentra en Tonantzintla.

Desde 1988 (aproximadamente) se propone la construcción de un nuevo telescopio en SPM con nueva tecnología.

### 1.5 PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA

Se requiere construir un nuevo telescopio en nuestro país con mejoras ópticas, mecánicas, etc., este proyecto ha pasado por diversas etapas (como explicare en el capítulo 2) mejorando cada día mas la propuesta.

Entre sus objetivos se encuentra generar propuestas nacionales para su diseño, construcción, y eficientización (entre otros).

Se proponía la construcción del telescopio en base al proyecto MAGALLANES, por lo que se inicio la construcción de un prototipo funcional que permitiera estudiar, probar y rediseñar al telescopio.

Al momento de iniciar este trabajo se ha cambiado consistentemente el diseño del telescopio, actualmente su estructura física y óptica es nueva, pero conserva la misma filosofía básica.

Si se desea construir un telescopio del tipo altazimutal, con las ciertas características ópticas para ver tanto el espectro visible, así como el infrarrojo, con movimiento de su foco, alteración en sus espejos, etc., con la filosofía del control distribuido.

La propuesta que doy es la siguiente:

- La consola de control deberá permitir enlazar todos los sistemas, de una forma eficiente, esto se puede realizar con sistemas separados, controlados cada uno de ellos

de forma independiente, esto se puede lograr con microcontroladores, y una computadora que los coordine.

- Propongo un sistema controlado con una PC, y controlando a los ejes de azimut, altitud, y al rotador de campo con microcontroladores MC68HC(7)11, con controlador de motores Lm628 para el motor de CD.

Este sistema se puede enlazar con otros sistemas como es el de Óptica Adaptativa que se realiza en el Instituto de Astronomía con un microcontrolador HC12 (otro microcontrolador de la misma "familia" pero con aplicaciones de programación con lógica difusa, que es compatible con las instrucciones básicas del HC11), entre otros.

- Propongo un algoritmo para coordinar el rotador de campo con los ejes de azimut y altitud.

- Propongo un soft de control realizado en Pascal-Delphi, este programa con pocos cambios se puede ajustar para futuros telescopios de este tipo.

- Propongo el algoritmo de diseño para este tipo de telescopios.

## 1.6 REFERENCIAS

Las secciones 1.3 a la 1.3.1.2.6, la 1.3.2, 1.3.2.2 y 1.3.2.3 pueden ser consultadas y ampliadas con los libros L2, L3, así mismo se tomaron datos y características del curso SISTEMAS DE CONTROL Y ÓPTICA PARA TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA impartido en el Instituto de Astronomía de la UNAM.

La sección 1.3.1.3 fue documentada de los apuntes del curso SISTEMAS DE CONTROL Y ÓPTICA PARA TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA y por el libro de DANIEL MALACARA Y JUAN MANUEL MALACARA titulado TELESCOPIOS Y ESTRELLAS.

Las secciones 1.3.2.1, 1.3.2.1.1, 1.3.2.1.2 fueron documentadas de los libros TELESCOPIOS Y ESTRELLAS, TELESCOPES. VOL. 4, de THORNTON PAGE & LOU WILLIAMS PAGE, y el del ING SALVADOR MOSQUEIRA R. COSMOGRAFÍA Y ASTROFÍSICA de la Editorial Patria, así como por el curso COSMOGRAFÍA, impartido en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, por el LIC. MACARIO y el M. EN CIENCIAS RAFAEL COSTERO.

La sección 1.4 ha sido documentada por el folleto INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL, UNAM, en el libro de MORENO CORRAL MARCO ARTURO. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO. Del FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, las revistas ILHUICATL NO. 1, 2, 3, 4, y la conferencia HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO.

# CAPÍTULO

## 2

### EL TELESCOPIO INFRARROJO - ÓPTICO MEXICANO (TIM).



“CAZADORA DE ESTRELLAS”

REMEDIOS VARO

“¿QUÉ ES LO QUE HACE UN TELESCOPIO BASICAMENTE?

UN TELESCOPIO LO QUE HACE ES ACUMULAR LA LUZ QUE VIENE DE UN OBJETO MUY DISTANTE Y SIRVE CASI COMO UNA CUBETA, COMO CUANDO QUEREMOS ACUMULAR AGUA DE LLUVIA, EN ESTE CASO ACUMULA FOTONES, EL OBJETIVO ES TRATAR DE PESCAR EL MAYOR NUMERO DE FOTONES POSIBLES SIN DISTORSIONARLOS, ... , Y SI QUEREMOS UNA IMAGEN LO MAS FINA Y PRECISA POSIBLE, POR LO TANTO PARA CAPTAR MUCHOS FOTONES NECESITAMOS UN TELESCOPIO MUY GRANDE”

DRA. GLORIA KOENIGSBEGER  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, UNAM .

## **CAPÍTULO II EL TELESCOPIO INFRAROJO - ÓPTICO MEXICANO (TIM).**

### **2.1 TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA**

Al paso de los años los telescopios han mejorado considerablemente, dejando de ser solo un par de lentes o espejos, integrándose en complejos sistemas para observar el cielo.

En los años 70's se pensaba que los telescopios no crecerían, los espejos con los que se contaba hasta ese momento eran los más grandes que se podían construir, actualmente ese problema ha sido resuelto, con las nuevas tecnologías de donde toman el nombre estos telescopios.

En cuanto a su óptica ahora es posible fragmentar un espejo o armarlo de pedazos con forma y concavidad o convexidad específica, deformarlo (aplicarle presión, para alzarlo o contraerlo) para mejorar su imagen, se pueden colocar correctores para eliminar o reducir alguna aberración, etc.

En los detectores se utilizan actualmente cámaras CCD (Camera Charge Device) en lugar de las placas fotográficas que se utilizaban comúnmente (aún se usan pero en menor escala), el CCD u otro detector permite "ver" en diversos rangos del espectro electromagnético, ya sea el infrarrojo, el visible, o el ultravioleta, entre otros

Un detector CCD es como una cámara de vídeo pero con alta resolución, para uso astronómico.

La nueva tecnología incluye aspectos de automatización, control (activo, adaptivo), detectores, aplicaciones computacionales (métodos numéricos), entre otros muchos más.

#### **2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA.**

Existen muy diversas características en un telescopio de nueva tecnología, a continuación explicare algunas de ellas.

- **Espejos fragmentados:**

Quando el espejo de un telescopio es demasiado grande es necesario construirlo por fragmentos, cada uno de ellos se le dará la curvatura necesaria según sea la posición que ocupe, como se observa en el dibujo siguiente, al ser fragmentado aumentan los posibles fabricantes, su manejo para el aluminizado es el normal, no se tiene que construir una campana más grande.

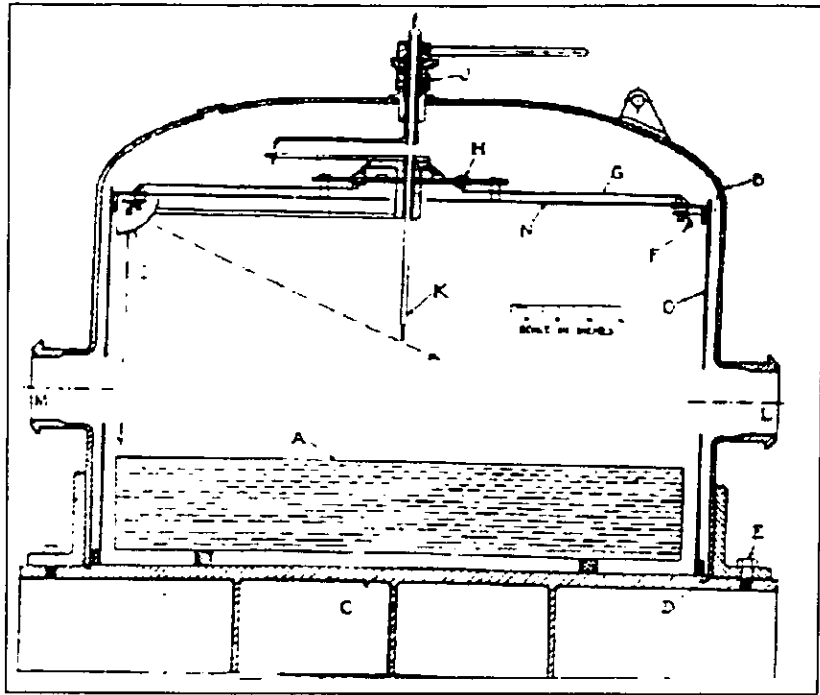


FIG. 30. CAMPANA DE ALUMINIZADO

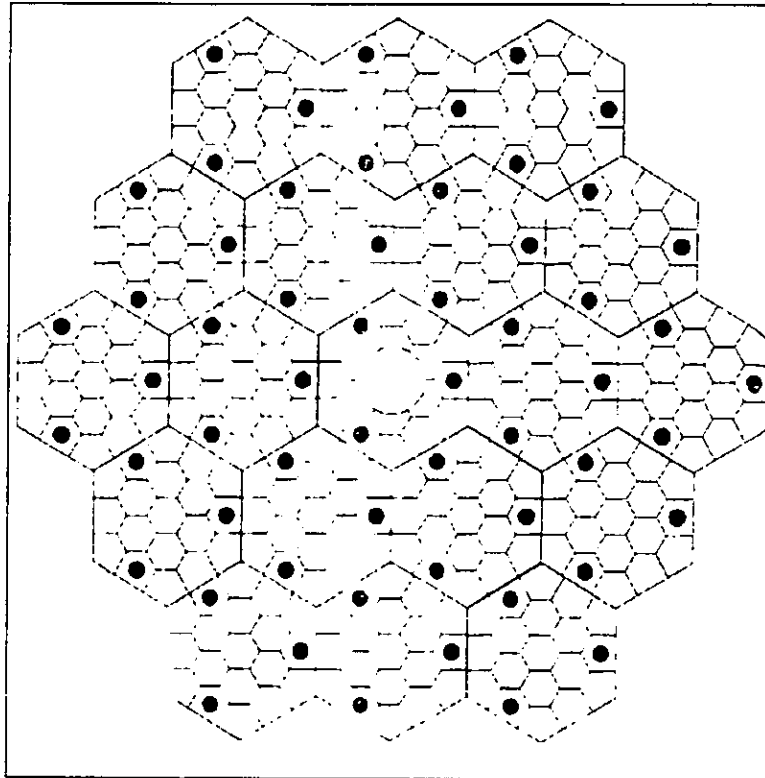


FIG. 31. ESPEJO FRAGMENTADO

■ Cofaceo de un espejo fragmentado:

Al fragmentar un espejo se corre el riesgo que la imagen recibida tenga un ángulo de incidencia distinto al que se encuentra a un lado, deformando la imagen recibida, para esto se tiene que "alinear" los fragmentos en una escala micrométrica.

■ Optica Activa

Aplicación mediante la cual se compensan flexiones y deformaciones que ocurren en el espejo primario, principalmente por el peso del espejo, se logran estas correcciones mediante actuadores

La suspensión Activa realiza las correcciones de las deformaciones del espejo, en 1995 en SPM se realizo en el 2m con bolsas neumáticas y neumofets, con diseño y ensamblaron hechos en el Instituto de Astronomía, muy superiores a los actuadores aplicados en el telescopio NTT de la ESO

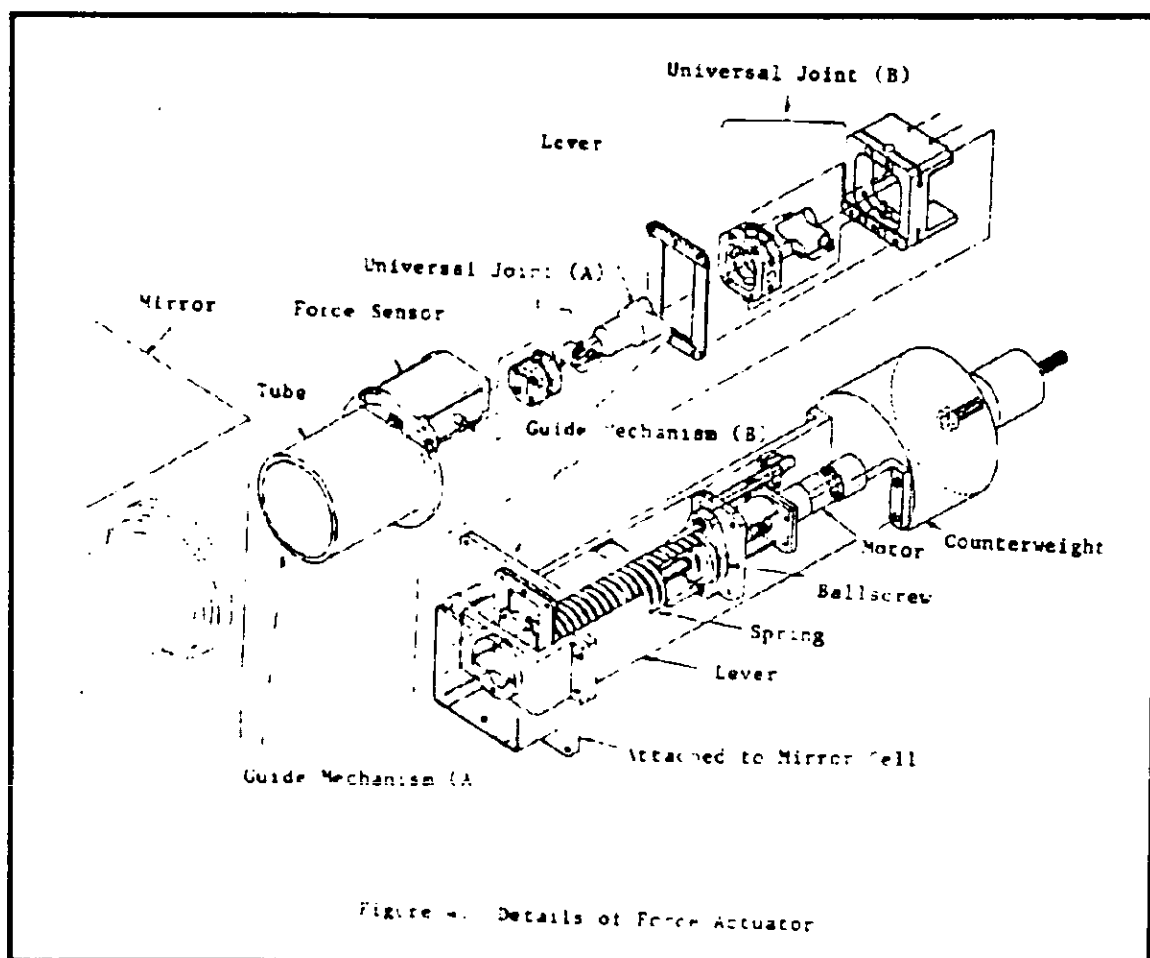


FIG. 32. PARTES DE UN ACTUADOR



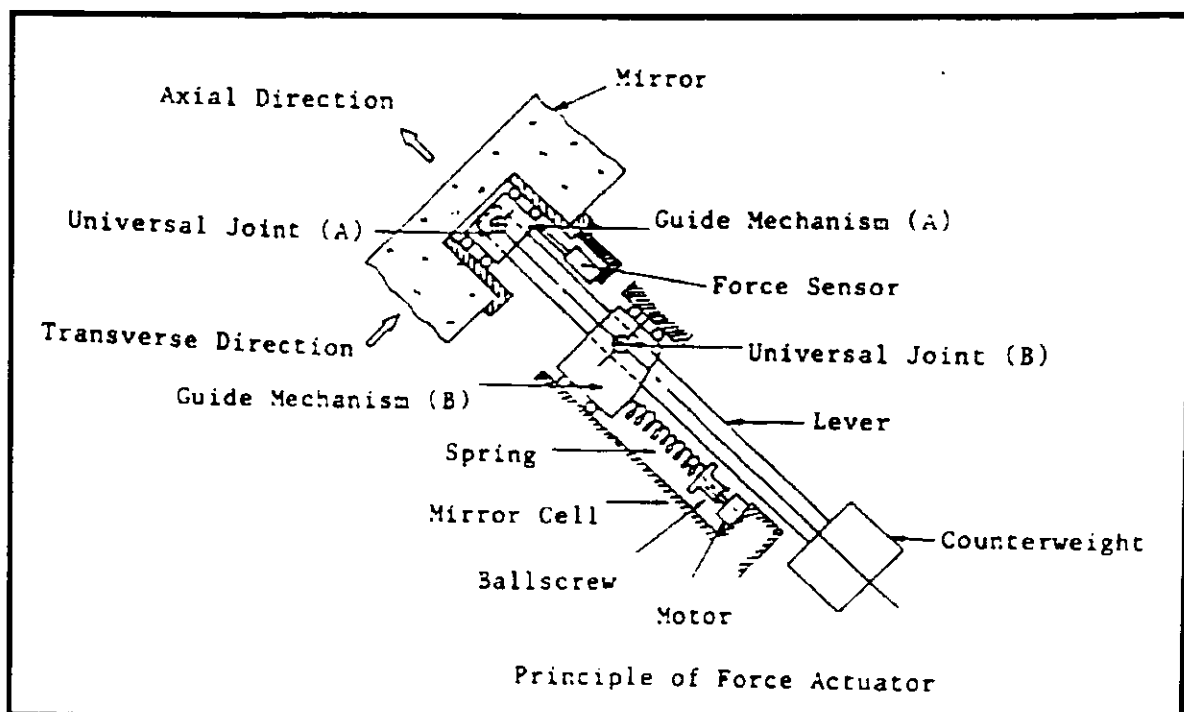


FIG. 33. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN ACTUADOR

■ **Optica Adaptiva**

Mediante esta se corrigen las deformaciones del frente de onda proveniente del objeto estelar que se observa, y debidas básicamente a perturbaciones atmosféricas.

■ **Pulido fino de superficies ópticas**

El pulir una superficie que posteriormente se convertirá en un espejo deberá realizarse en diversas etapas:

Primero un devastado grueso que le dará la forma al espejo.

Posteriormente un pulido fino, este deberá ser a escala micrométrica, eliminando cualquier imperfección. (en una reunión del proyecto se explico que esta se puede realizarse a través de un rayo láser que puntualmente devasta la superficie).

## 2.2 HISTORIA DEL TIM

Durante la década de los 80's se propone la construcción de un nuevo telescopio que permita ampliar las capacidades astronómicas de México, durante estos años el Instituto desarrollo y adquirió equipo que permitirá estudiar al universo en diversos campos, como el querer estudiar con mejores elementos el espectro infrarrojo.

La montaña donde se encuentra el OAN en la sierra de San Pedro Mártir es un lugar privilegiado en nuestro país, ya que cuenta con un gran porcentaje de tiempo al año con el cielo despejado, el nivel de nubosidad es muy bajo, y esto ha favorecido considerablemente las observaciones astronómicas durante los últimos 25 años.

### 2.2.1 TELESCOPIO GALILEO Y COLUMBUS.

En 1991 se presenta a CONACYT una propuesta para construir el telescopio "Columbus", entre la comunidad astronómica italiana, la universidad de Arizona, y México, este telescopio tendría entre 6 y 8 m de diámetro, este proyecto había sido aceptado pero se decide que se construiría en los estados unidos, por lo que México tiene que salir de el proyecto (por políticas de el OAN y el Banco Mundial), este telescopio actualmente se le conoce como "LBT " "Large Binocular Telescope".

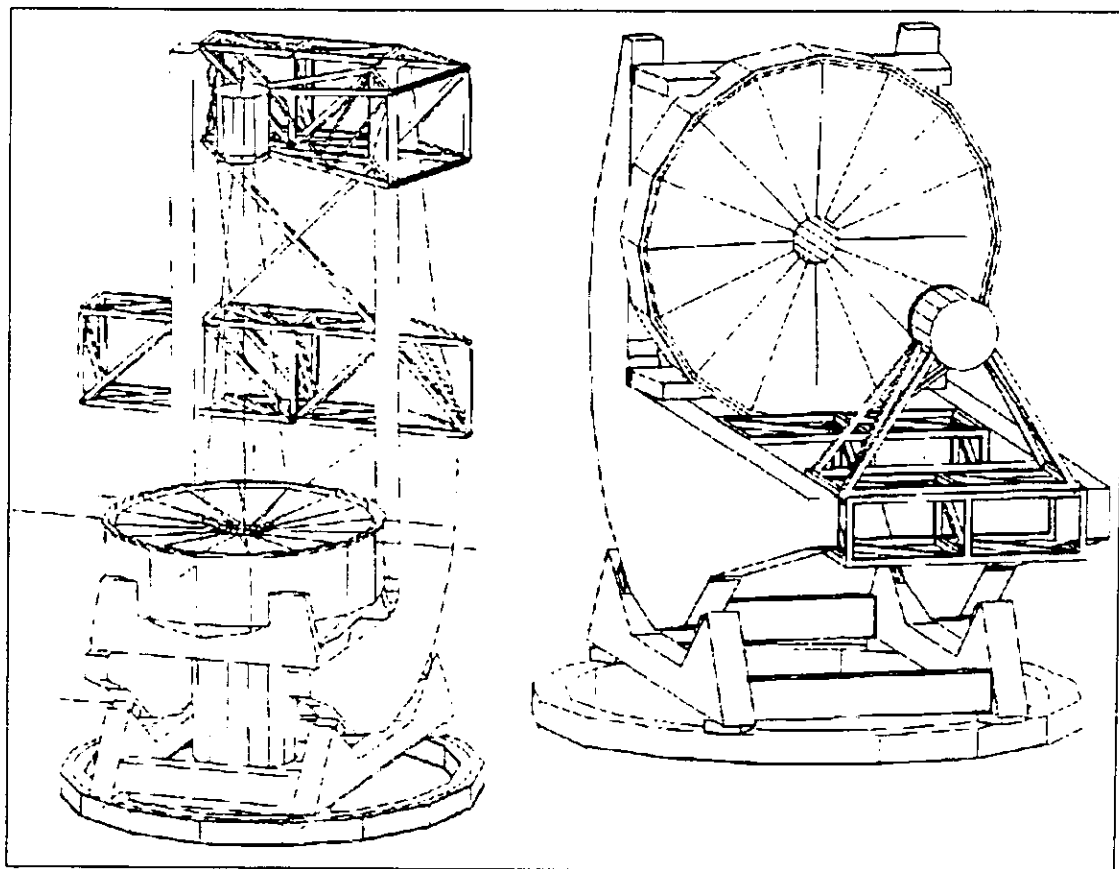
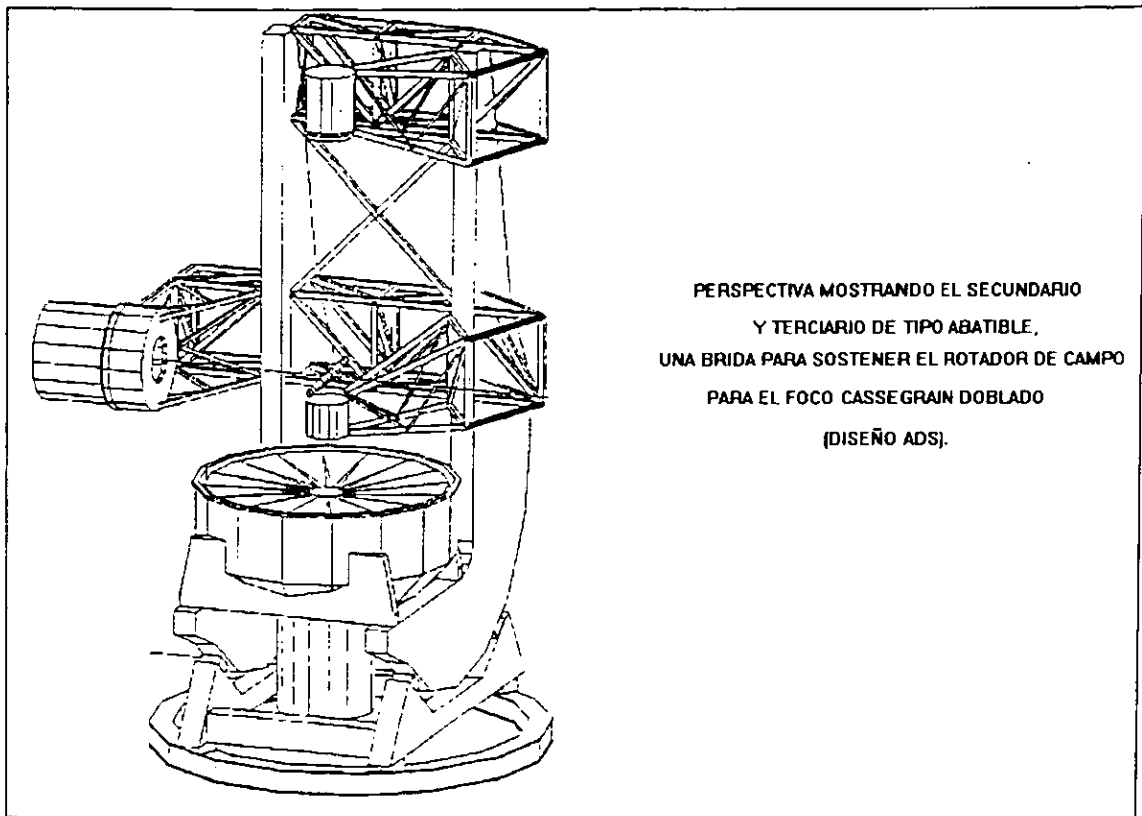


FIG. 34. TELESCOPIO GALILEO DIRIGIDO AL CENIT Y AL HORIZONTE



**FIG. 35. TELESCOPIO GALILEO CON FOCO DE LADO**

En 1993 se presenta a CONACYT una propuesta para construir el telescopio Infrarrojo - Optico Mexicano, planteándose un "clon" del Telescopio "Magallanes", este telescopio se adecuaria a ciertas características propias, pero básicamente seria igual, desgraciadamente el costo de este telescopio es muy elevado, y dada la crisis económica nacional se ve la necesidad de adecuar el sistema a nuestras posibilidades, asumiendo la responsabilidad de conservar la eficiencia que mostró el primer planteamiento, diseñando los sistemas de control, óptica, etc. En México, dando oportunidad a la industria nacional de participar mas abiertamente.

## 2.2.2 TELESCOPIO MAGALLANES

Entre 1994 y 1995 se desarrolla e instala en el OAN de San Pedro Mártir un nuevo sistema de suspensión para la óptica del telescopio de 2m, mejorándolo considerablemente, este sistema es una muestra de las posibilidades que se tienen de adecuar el proyecto, por lo que en 1996 se plantea la reforma al diseño quedando como lo conocemos actualmente.

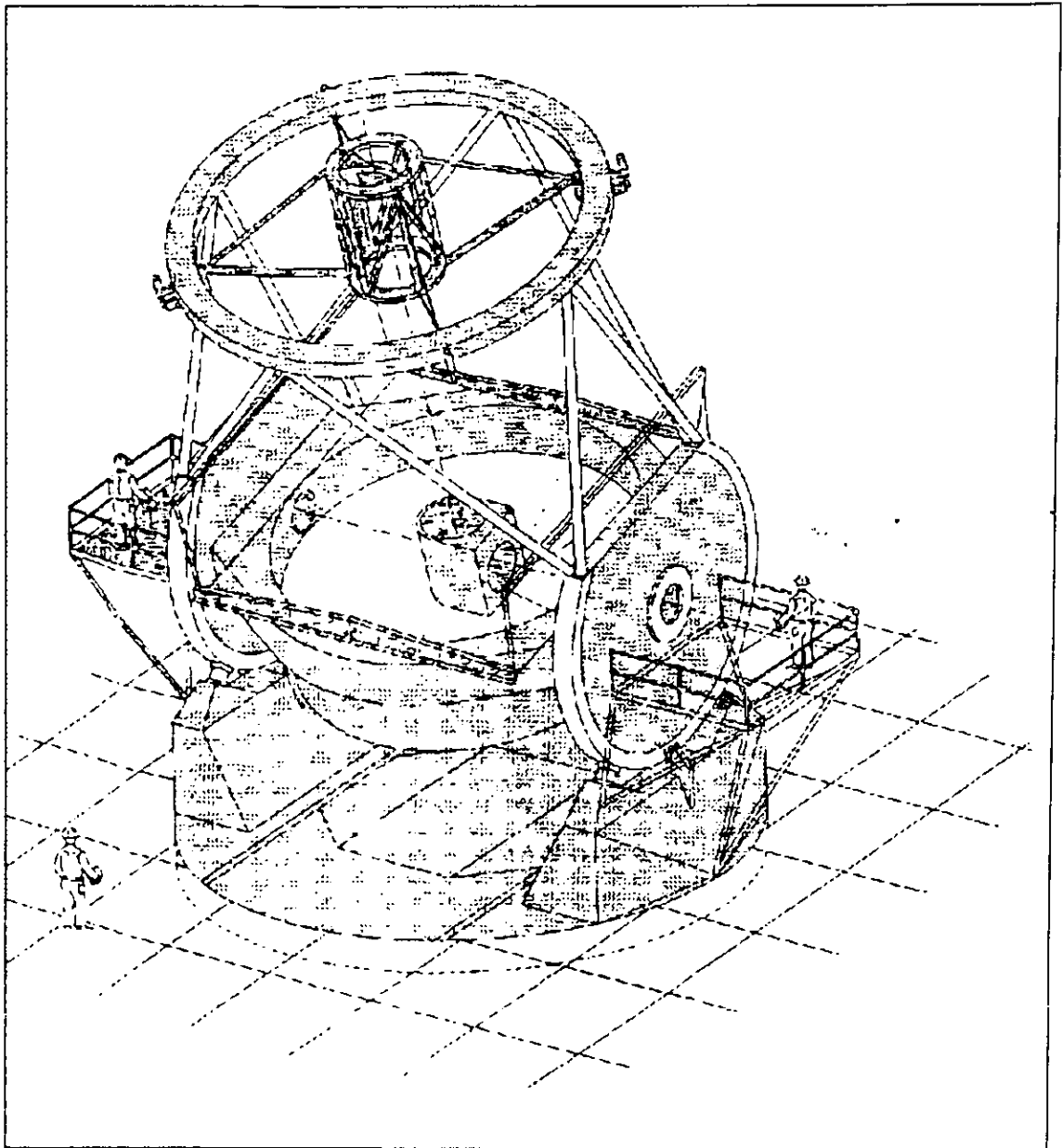


FIG. 36. TELESCOPIO MAGALLNES

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VERSIÓN DEL TIM EN 1997

Como se ha mencionado el TIM a sufrido muchas modificaciones, que durante los últimos dos o tres años dieron pie a que se modificara, obteniendo los siguientes resultados:

- El espejo monolítico de 6.5 m se fragmenta en 19 fragmentos hexagonales con la misma área efectiva, manteniendo la misma eficiencia colectora.
- Los fragmentos son menores a los 2 m, por lo que se utilizara la misma campana de aluminizado del 2 m
- Razón focal del primario =  $f/1.5$
- Diámetro del agujero central = 600 mm
- Razón focal del secundario =  $f/15$
- Tamaño de campo = 150 mm
- Tamaño angular del campo 5.3 min. arc x 5.3 min. arc
- Radio de curvatura 16250 mm
- Constante de conicidad -1.0
- Separación del primario y secundario 7346.154 mm
- Diámetro del secundario 634.4 mm
- Radio de curvatura 1699.3 mm
- constante de conicidad -1.397
- separación del primario a la imagen 2000 mm
- Distancia focal efectiva 97500 mm
- Escala de placa 2.11 "/mm
- La montura ya no será laminar (placas metálicas soldadas) , se sustituye por un armado tubular (en diseño ).
- El sistema de control manejará:
  - Posicionamiento y guiado del telescopio
  - Control de la estructura externa
  - Corrección de deformaciones del espejo primario segmentado
  - Control de temperatura del telescopio
  - Control del sistema de secundario
  - Control del secundario adaptivo
  - Control del instrumento para observación astronómica
- El edificio que se propone será móvil (en estudio)

Los siguientes dibujos muestran:

La alineación y distribución de los espejos (preliminar).

La suspensión de los segmentos (preliminar).

Propuesta de la estructura (preliminar).

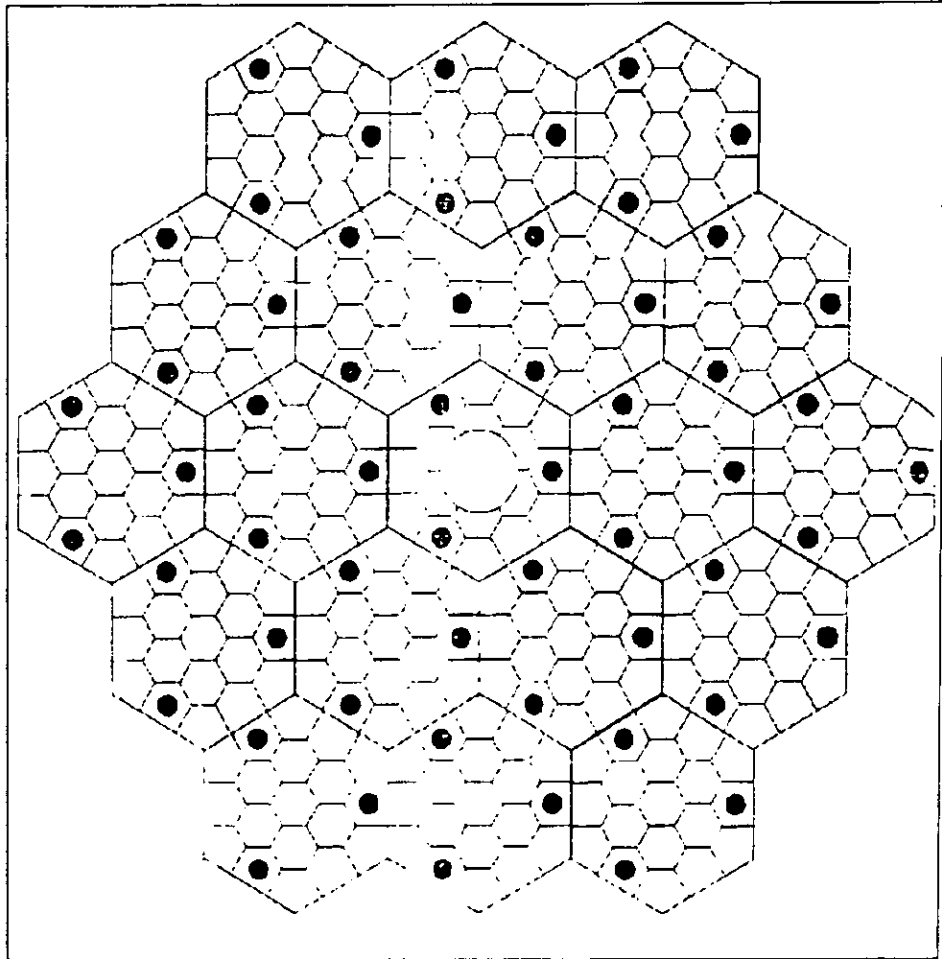


FIG. 37. ESPEJO FRAGMENTADO (19 SEGMENTOS)

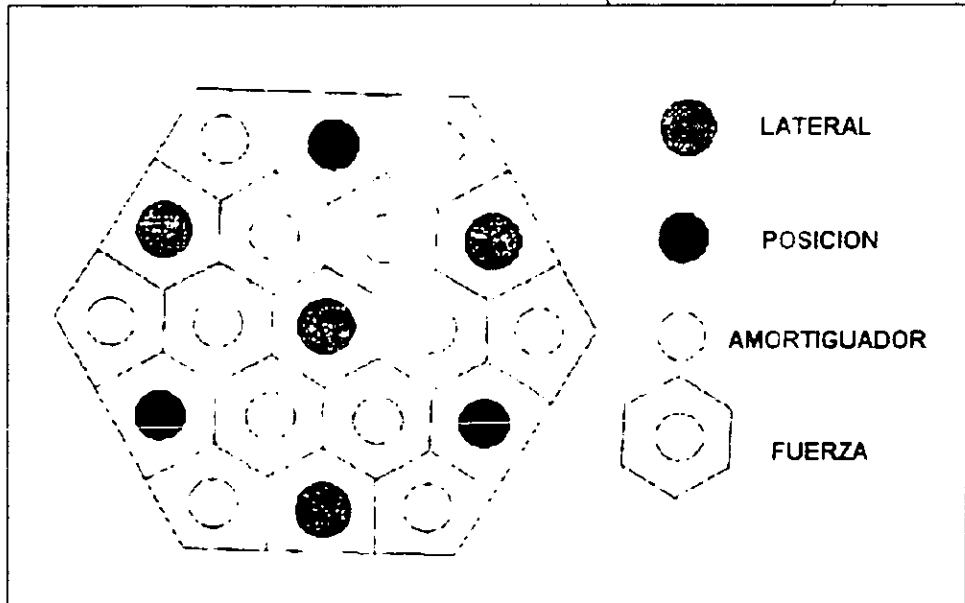


FIG. 38. FRAGMENTO (SEGMENTO)

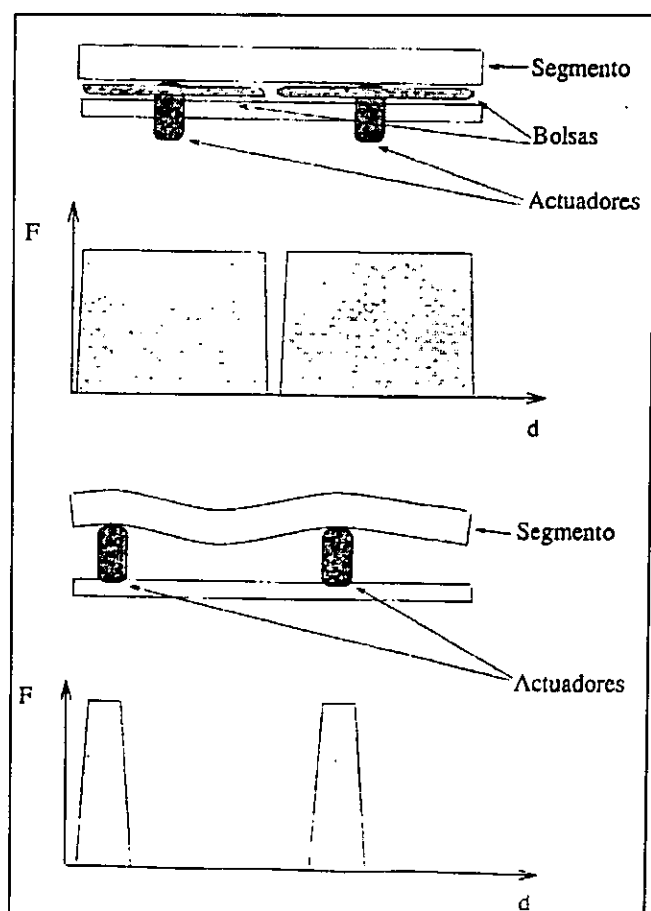


FIG. 39. SUSPENSIÓN DE UN FRAGMENTO

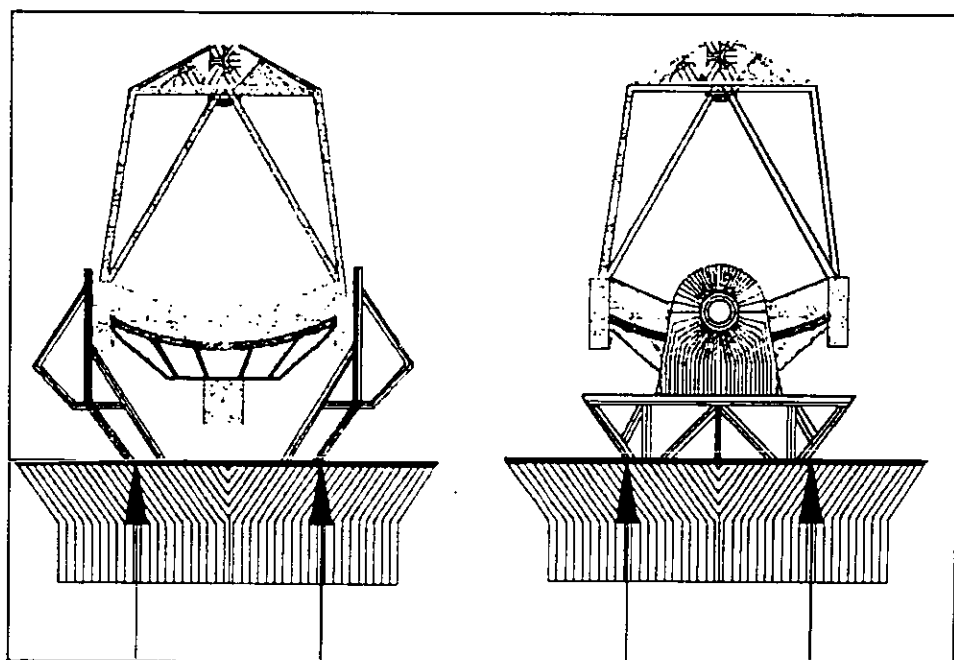


FIG. 40. PROPUESTA DE LA ESTRUCTURA DEL TIM EN SU VERSION 1997

### 2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL TIM EN 1998

- El espejo monolítico de 6.5 m se fragmenta en 19 fragmentos hexagonales con la misma área efectiva, manteniendo la misma eficiencia colectora .
- Los 19 fragmentos se colocan en una celda activa, compuesta por actuadores neumáticos que permitirán corregir aberraciones individuales de los segmentos hasta de varias micras en astigmatismo, coma y esfericidad, a la vez que proporcionarán rigidez contra vientos de hasta 40 km./hr; y sensores y actuadores mecánicos de alta precisión para alinear los segmentos entre sí hasta una fracción de longitud de onda.
- Cada fragmento es de 1.8 m de diámetro y 7 cm de espesor realizados en un material de expansión térmica nula (zerodur).
- La eficiencia colectora es de 0.25 segundos de arco
- Los fragmentos son menores a los 2 m , por lo que se utilizara la misma campana de aluminizado del 2 m .
- Razón focal del primario =  $f/1.5$
- Diámetro del agujero central = 600 mm
- La óptica principal será de tipo Ritche-Cretien con un radio de curvatura de 22 metros.
- Único espejo secundario de 1 m de diámetro
- Platina para 6 instrumentos intercambiables
- Razón focal del secundario =  $f/15$
- La escala de placa sin lente correctora será de 1.7 segundos de arco por milímetro, por lo que las cámaras directas contarán con óptica demagnificadora a 1/5 para obtener un campo de 5 minutos en un detector típico de 2000x2000 elementos.
- Los sistemas infrarrojos contarán también con óptica auxiliar para demagnificar la imagen, enmascarar la radiación térmica de fondo, y contarán con terciarios oscilantes y adaptivos criogénicos.
- Contara con un rotador de campo, guiador y censor de frente de onda integrados en una unidad.
- La montura es alta azimutal, El eje de elevación del telescopio será sostenido a cada lado por trípodes que llevan el peso de la estructura directamente a la pista azimutal, descansando sobre ella mediante zapatas hidrostáticas que eliminan completamente la fricción estática. El telescopio rotará alrededor del eje azimutal mediante dos motores de torca acoplados por fricción mediante una precarga. La posición y velocidad del telescopio



sé retroalimentarán al servomecanismo de control mediante codificadores ópticos de speckle.

-La estructura tubular tendrá un peso reducido (80 toneladas) a la vez que una gran rigidez (frecuencias de oscilación propias mayores que 12 hertz). Esta estructura se divide en tres partes: Tubo, que tiene la función de soportar el espejo secundario localizado a 12 metros de altura sobre el primario. Cuadro que sostiene al tubo, a la celda del primario y a la platina de instrumentos, a la vez que acomoda los rodamientos de elevación. Platina de instrumentos, que permite corregir la rotación de campo y aloja al sistema de guiado y a los instrumentos de observación.

- El edificio que se propone será móvil permitiendo una termalización eficaz a la vez que una protección adecuada contra vientos y humedad. Las salas de observación y cuartos de máquinas se encontrarán en edificios vecinos.

Las demás características son las mismas de la tabla de 1997

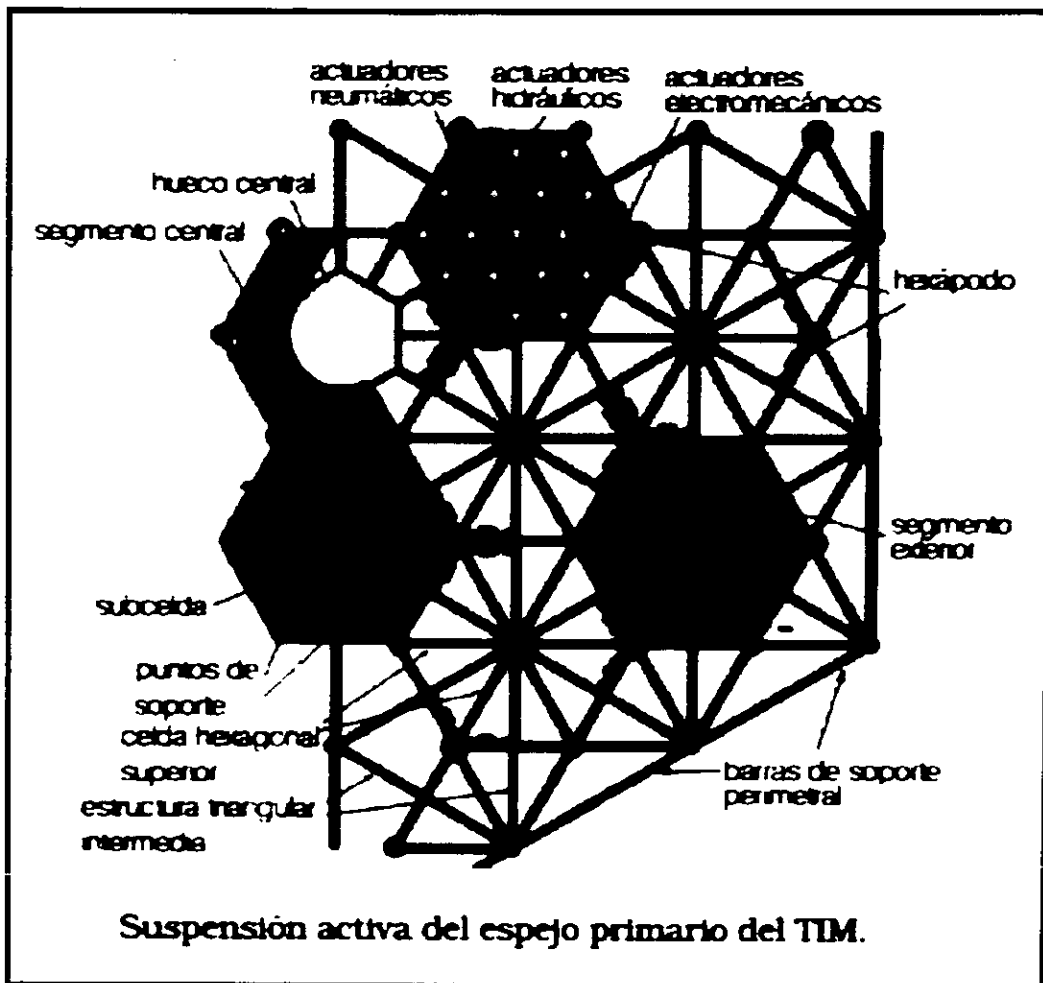


FIG. 41. SUSPENSIÓN ACTIVA DEL ESPEJO.

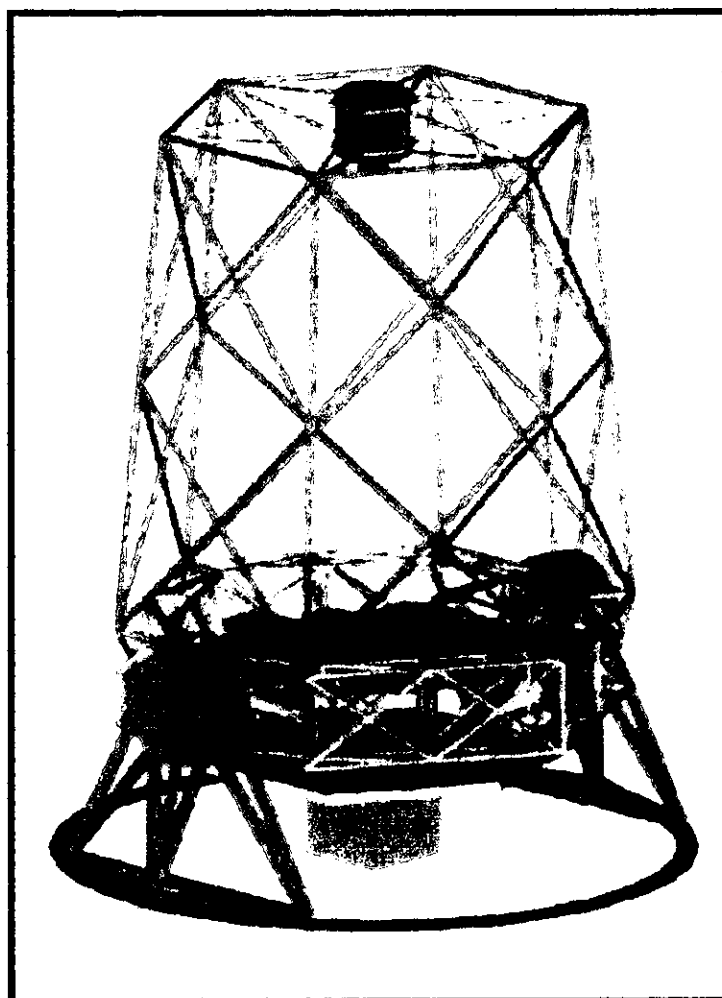


FIG. 42. DISEÑO ACUAL DEL TELESCOPIO

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO DEL TIM

En el momento de ser propuesta la construcción de un prototipo funcional del TIM, se planteaba aun la propuesta de que el telescopio fuera el "Magallanes", de aquí se desprenden diversos trabajos entre alumnos del Instituto de Astronomía y de la ENEP Aragón, algunos dedicados a la óptica, a la mecánica, al computo y al control.

- El prototipo llevará la misma estructura del "Magallanes", pero escalado 1 a 20, con las respectivas modificaciones ópticas, y mecánicas, el sistema de control (la consola) llevará la misma ideología del instituto de plantear un sistema modular, control distribuido, que posteriormente ensamblara a los diversos subsistemas, cada uno independiente, pero íntimamente ligados entre si,

- Por el tamaño se optó por tener al secundario fijo, sin embargo se esta estudiando la posibilidad de hacerlo móvil, para poder enfocar el instrumento en uso, otra opción es tener un juego de secundarios, estos pueden cambiar dependiendo del rango del espectro electromagnético que se desea estudiar.

- Se propone continuar con un foco Nasmyth para que los instrumentos se coloquen en un costado y no por debajo.
- La estructura fue escalada, con el mismo diseño Serrurier, y tiene un peso aproximado de 100 Kg., y se esta elaborando con aluminio.
- El espejo es monolítico de 12 pulgadas con un agujero de 5 cm de diámetro en su parte central.
- Se contará con un rotador de campo para que la imagen no se barra en el instrumento.
- Las características ópticas son las de un telescopio gregoriano.
- La montura es alta - azimutal
- Existirá una paleta para control manual.
- Existe la posibilidad de que se aplique un sistema activo al primario (en estudio).
- Esto nos deja que la consola hasta que no se definan otros parámetros, controlara solo a los ejes de azimut, altitud, y al rotador de campo, además de contar con la comunicación a la paleta manual.
- El control modular se realizara con microcontroladores de la familia MC68HC11, que se comunicaran entre si y a una PC por el puerto serial con un formato de RS-232
- Se cerrara el lazo de retroalimentación con codificadores de posición absolutos.
- El control de los motores de CD será con un sistema PID (proporcional, integral, diferencial) integrado con sistema basado en el controlador de motores LM628.
- Los motores de pasos serán codificados en su posición igual a los motores de CD para evitar cualquier pérdida de datos en su movimiento.

## **2.5 REFERENCIAS**

Este capítulo ha sido documentado por el folleto INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL, UNAM, revistas ILHUICATL NO. 1, y 4, todos los reportes técnicos, así como de las conferencias de las reuniones anuales del Instituto de Astronomía, y por el curso TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA, IMPARTIDO EN LAS INSTALACIONES DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA DE LA UNAM, POR EL FÍSICO ELFEGO RUIZ.

# CAPÍTULO

## 3

### SISTEMAS DE CONTROL (CONSOLA) PARA EL PROTOTIPO DEL TIM



"PAPILLA CELESTIAL"

REMEDIOS VARO

"LA COMUNICACIÓN ENTRE EL CIELO Y LA TIERRA"  
"ILHUICATL"

LEMA DE LA SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE ARAGÓN  
ILHUICATL.

## CAPÍTULO III SISTEMAS DE CONTROL (CONSOLA) PARA EL PROTOTIPO DEL TIM

### 3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TELESCOPIO

Para diseñar el telescopio se realizó el siguiente proceso:

1.- Se diseñó la óptica del espejo primario, escalando y acoplado del diseño original, cuidando los parámetros que son básicos como el diámetro del espejo, ancho en el centro y en los extremos, curva principal, foco, diámetro del orificio central, soporte del espejo, etc.

Una vez diseñado se perfora el espejo, se devasta y pule, posteriormente es aluminizado (escalando 1 a 20 del original, con los ajustes necesarios para este tamaño).

2.- De acuerdo a las características ópticas se acopla la montura tanto el tubo como la base.

3.- Se obtiene una relación de 'engranes' (acoplamientos) del motor al eje de azimut o de altitud por medio de fricción, a partir de las siguientes relaciones.

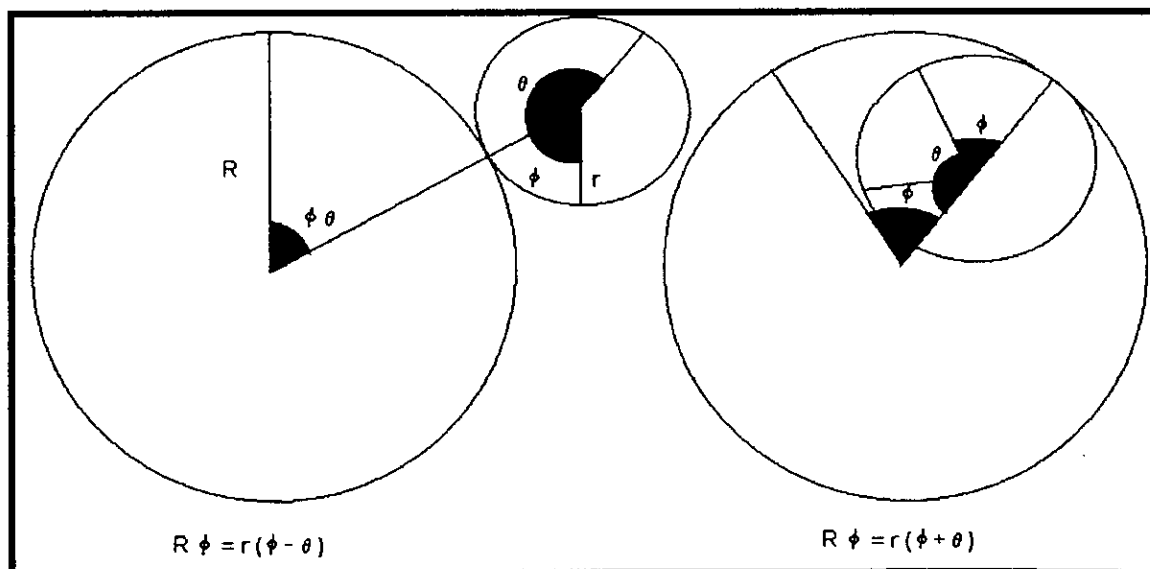


FIG. 43. FORMULA DE LOS ENGRANES PARA ACOPLAR EL SISTEMA POR FRICCIÓN.

Encontrando la relación de engranes denotado con la letra  $N$

Y de acuerdo al siguiente modelo aseguramos el acoplamiento por fricción, manteniendo una presión adecuada para evitar deslizamientos.

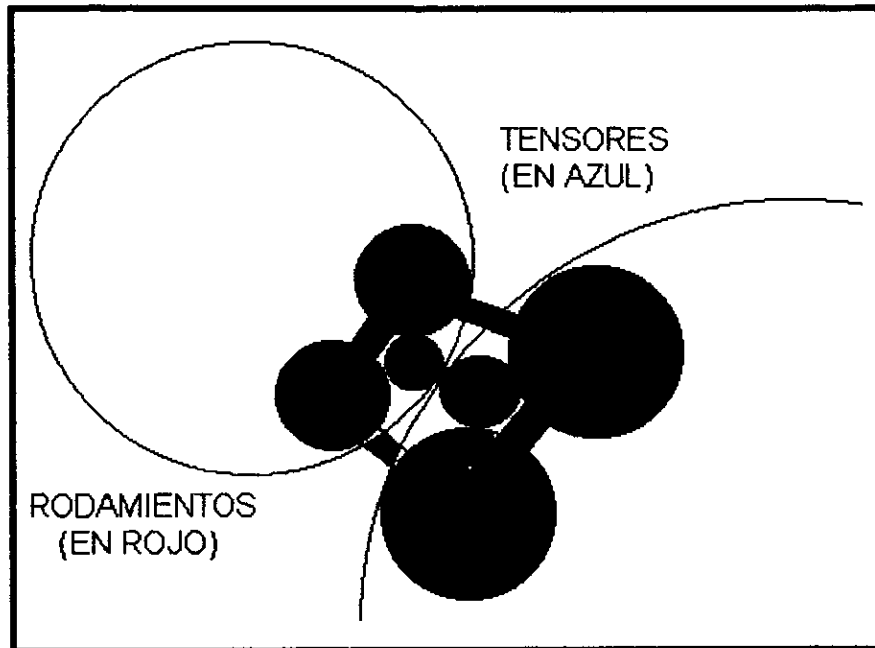


FIG. 44. ACOPLAMIENTOS

4.- Para analizar el telescopio realizamos un análisis matemático basado en un juego de torcas, estas se calculan a partir de los momentos de inercia que se presentan en el modelo matemático siguiente:

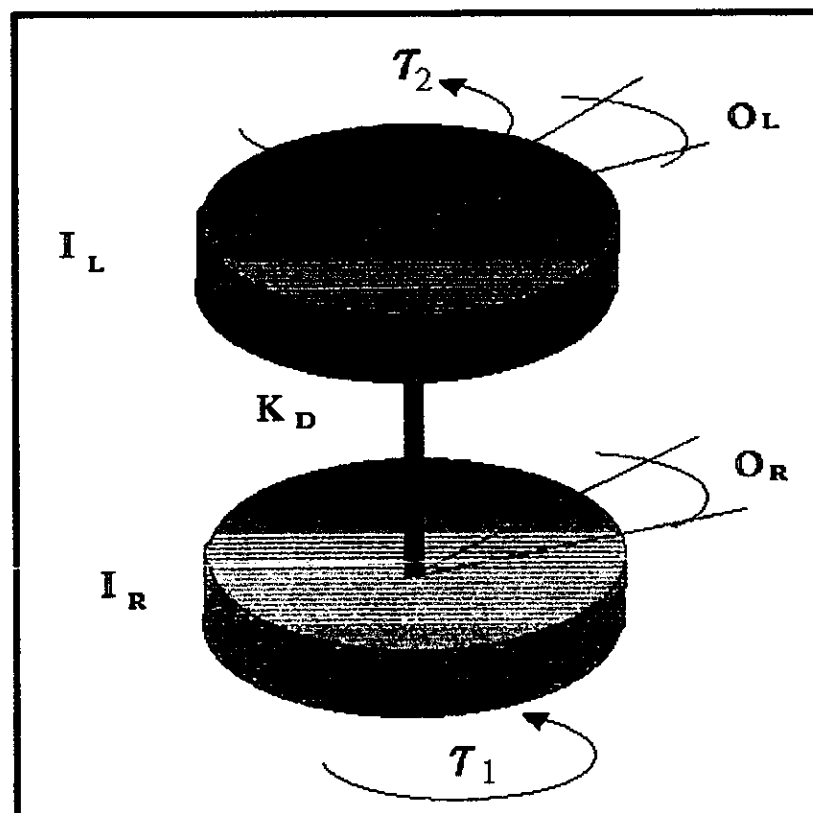


FIG. 45. REPRESENTACION DEL TELESCOPIO PARA SU MODELADO

Donde la inercia del telescopio esta dada por los 2 bloques, representando a la base del telescopio y al tubo, a pesar de que se mueve el tubo del telescopio se considera que esta en equilibrio, considerándolo una masa. Para calcular las inercias buscamos la masa del telescopio este lo obtenemos teóricamente multiplicando el volumen por la densidad del material con el que esta elaborado.

$$m = \rho V$$

El radio de la base lo consideramos como el radio máximo para la inercia de la base, y el radio del contenedor del tubo del espejo como el radio máximo para la inercia del tubo, sustituyendo en la expresión que calcula el momento de inercia:

$$I = \Sigma (m r^2)$$

Del modelo matemático encontramos las ecuaciones siguientes:

$$\tau_1 + k (\theta_2 - \theta_1) - I_1 \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} = 0$$

$$\tau_2 + k (\theta_1 - \theta_2) - I_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} = 0$$

$$\alpha \tau_1 = \tau_2$$

Sustituyendo en la segunda expresión.

$$\tau_2 + k (\theta_1 - \theta_2) - I_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} = 0$$

Aplicando en ambas la transformada de Laplace

$$T_1 + k \theta_2 - k \theta_1 - I_1 \theta_1 s^2 = 0$$

$$\alpha T_1 + k \theta_1 - k \theta_2 - I_2 \theta_2 s^2 = 0$$

Despejando  $\theta_2$  de ambas

$$\theta_2 = (\theta_1 (k + I_1 s^2) - T_1) / k$$

$$\theta_2 = (\theta_1 k + \alpha T_1) / (k + I_2 s^2)$$

Igualando obtenemos:

$$(\theta_1 (k + I_1 s^2) - T_1) / k = (\theta_1 k + \alpha T_1) / (k + I_2 s^2)$$

Acomodando términos encontramos:

$$\theta_1 (k + l_1 s^2) - T_1 = k (\theta_1 k + \alpha T_1) / k - l_2 s^2$$

$$\theta_1 (k + l_1 s^2) (k + l_2 s^2) - T_1 (k + l_2 s^2) = k (\theta_1 k + \alpha T_1)$$

$$\theta_1 (k + l_1 s^2) (k + l_2 s^2) = k (\theta_1 k + \alpha T_1) + T_1 (k + l_2 s^2)$$

$$\theta_1 (k + l_1 s^2) (k + l_2 s^2) = \theta_1 k^2 + k \alpha T_1 + T_1 (k + l_2 s^2)$$

$$\theta_1 (k - l_1 s^2) (k - l_2 s^2) - \theta_1 k^2 = k \alpha T_1 + T_1 (k + l_2 s^2)$$

$$\theta_1 (k^2 + l_1 s^2 k + k l_2 s^2 + l_1 l_2 s^4 - k^2) = T_1 (k + k \alpha + l_2 s^2)$$

$$\frac{\theta_1}{T_1} = \frac{(k + k \alpha + l_2 s^2)}{((l_1 k + k l_2) s^2 + l_1 l_2 s^4)}$$

Donde sus ceros son:

$$k + k \alpha + l_2 s^2 = 0$$

$$l_2 s^2 = - (k + k \alpha)$$

$$s^2 = - k (1 + \alpha) / l_2$$

$$s_{1,2} = (k (1 + \alpha) / l_2)^{1/2} j$$

Y sus polos son:

$$l_1 s^2 k + k l_2 s^2 + l_1 l_2 s^4 = 0$$

$$s^2 (l_1 k + k l_2 + l_1 l_2 s^2) = 0$$

$$s_{1,2} = 0$$

$$l_1 k + k l_2 + l_1 l_2 s^2 = 0$$

$$l_1 l_2 s^2 = - (l_1 k + k l_2)$$

$$s^2 = \frac{-k (l_1 + l_2)}{l_1 l_2}$$



$$s_{3,4} = (k(l_1 + l_2) / l_1 l_2)^{1/2} j$$

Los polos que son iguales a cero corresponden al movimiento rígido (ya que es un rodamiento), y los polos y ceros que no lo son, corresponden al movimiento flexible (ya que puede ser por una posible torsión),  $s_{3,4}$  no son dependientes de  $\alpha$  por lo que los igualamos.

$$(k(l_1 + l_2) / l_1 l_2)^{1/2} j = (k(1 + \alpha) / l_2)^{1/2} j$$

$$k(l_1 + l_2) / l_1 l_2 = k(1 + \alpha) / l_2$$

$$(l_1 + l_2) / l_1 = 1 + \alpha$$

$$1 + (l_2 / l_1) = 1 + \alpha$$

$$l_2 / l_1 = \alpha$$

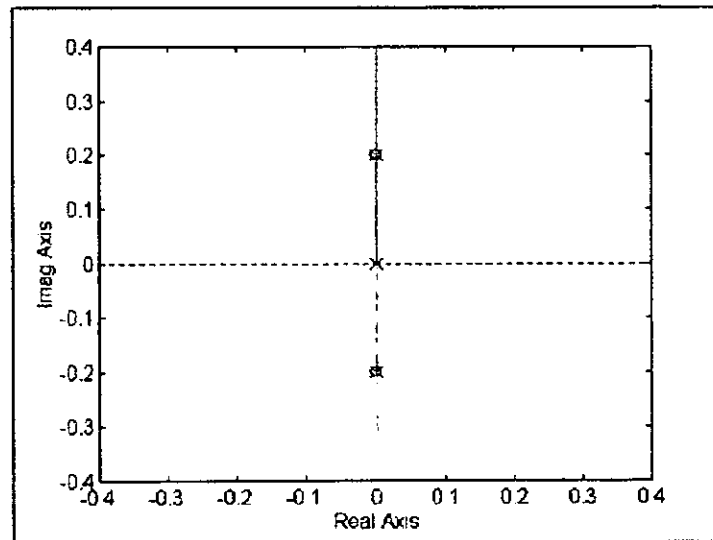


FIG. 46. Lugar de las raíces del sistema

Entonces la resonancia se cancela si:

$$/s \text{ ceros} / < /s \text{ polos} /$$

El sistema se transporta a la región de fase que se muestra a continuación si:

$$l_2 / l_1 < \alpha$$

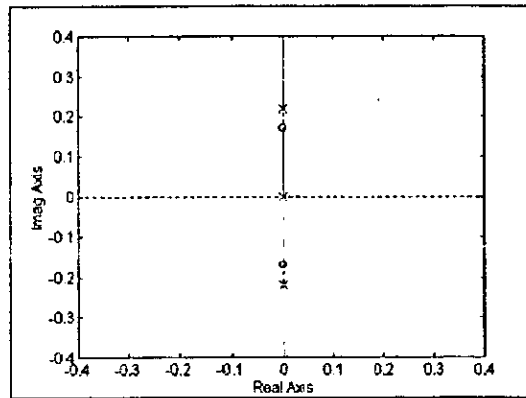
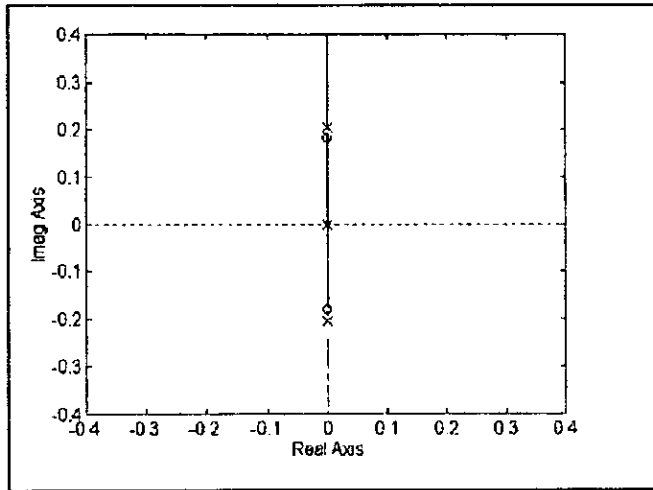
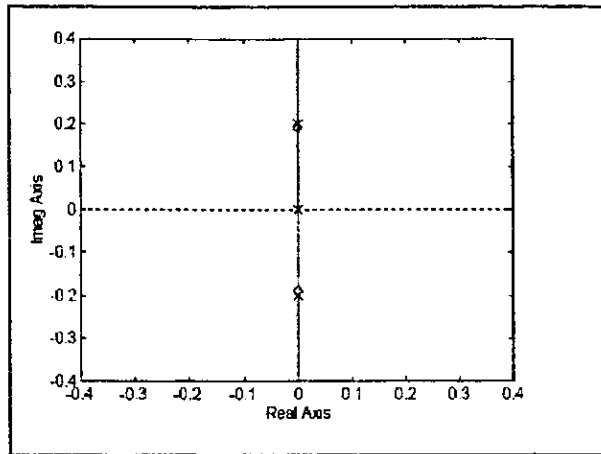


FIG. 47. Lugar de las raíces para diversas inercias

El sistema se transporta a la región de fase que se muestra a continuación si:

$$|s \text{ ceros}| < |s \text{ polos}|$$

$$I_2 / I_1 > \alpha$$

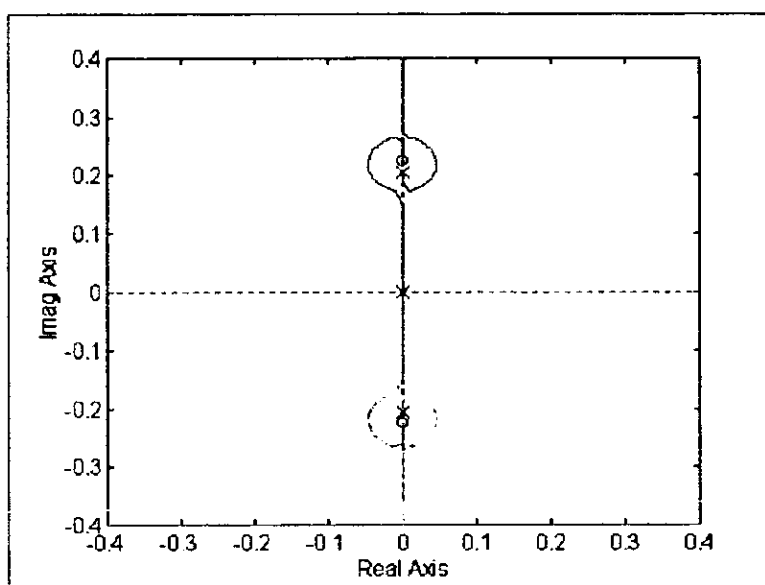
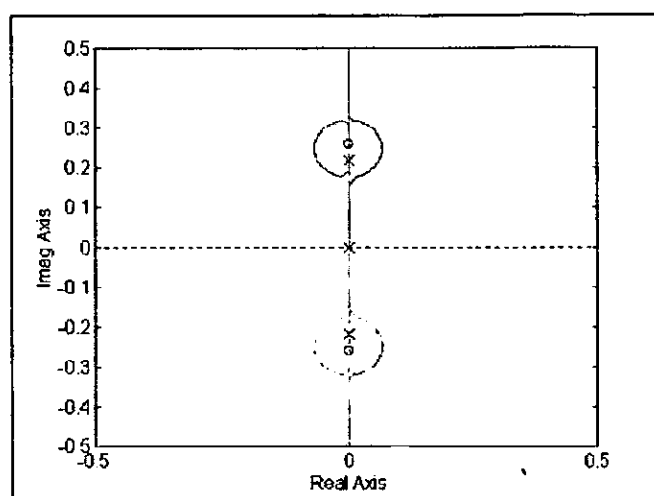
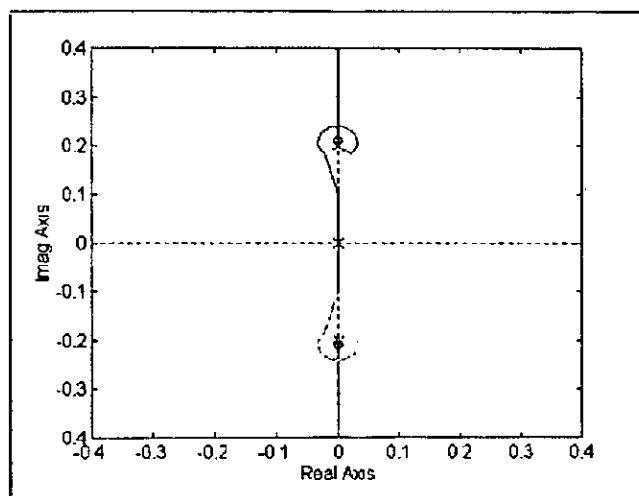


FIG. 48. LUGAR DE LAS RAÍCES PARA DIVERSAS INERCIAS

Programa en Matlab de donde se obtuvieron las gráficas anteriores.

```
num=[I2 0 2*k]
den=[I1*I2 0 K*(I1+I2) 0 0]
rlocus(num,den)
```

Idealmente  $\alpha$  es 1 ya que no debe de existir defasamiento entre los ejes de azimut y altitud, pero como el sistema esta afectado por los motores realizamos un análisis a partir del siguiente modelo:

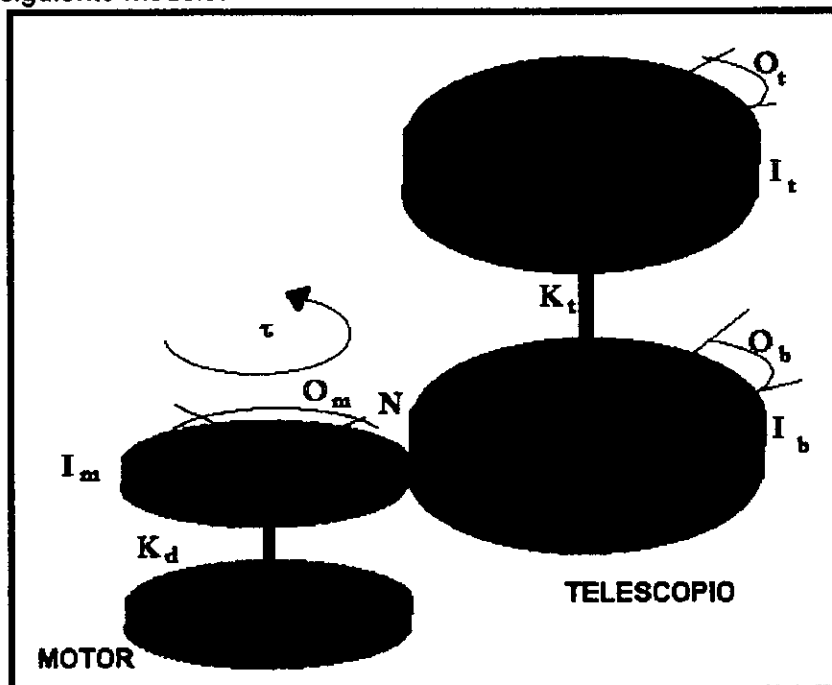


FIG. 49 MODELO DEL MOTOR Y DE LAS INERCIAS

Del modelo matemático encontramos las ecuaciones siguientes:

$$k_t (\theta_b - \theta_t) - I_t \frac{d^2 \theta_t}{dt^2} = 0$$

$$k_t (\theta_t - \theta_b) + k_d (N\theta_m - N^2 \theta_b) - I_b \frac{d^2 \theta_b}{dt^2} = 0$$

$$k_d (N\theta_b - \theta_m) - I_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + \tau = 0$$

$\theta_b$  es la salida

$\tau$  es la entrada

Aplicando la transformada de Laplace

$$k_t \theta_b - k_t \theta_t - l_t \theta_t s^2 = 0$$

$$k_t \theta_t - k_t \theta_b + k_d N \theta_m - k_d N^2 \theta_b - l_b \theta_b s^2 = 0$$

$$k_d N \theta_b - k_d \theta_m - l_m \theta_m s^2 + \tau = 0$$

Despejando  $\theta_t$  de la primera obtenemos

$$k_t \theta_b = k_t \theta_t + l_t \theta_t s^2$$

$$k_t \theta_b = (k_t + l_t s^2) \theta_t$$

$$\frac{k_t \theta_b}{k_t + l_t s^2} = \theta_t$$

Al sustituir en la segunda ecuación encontramos:

$$(k_t k_t \theta_b / (k_t + l_t s^2)) - k_t \theta_b + k_d N \theta_m - k_d N^2 \theta_b - l_b \theta_b s^2 = 0$$

$$(k_t k_t \theta_b / (k_t + l_t s^2)) - k_t \theta_b - k_d N^2 \theta_b - l_b \theta_b s^2 = k_d N \theta_m$$

$$((k_t k_t / (k_t + l_t s^2)) - k_t - k_d N^2 - l_b s^2) \theta_b = k_d N \theta_m$$

$$((k_t k_t) + (-k_t - k_d N^2 - l_b s^2) (k_t + l_t s^2)) \theta_b = k_d N (k_t + l_t s^2) \theta_m$$

Despejamos de la tercera  $\theta_m$

$$k_d N \theta_b - k_d \theta_m - l_m \theta_m s^2 + \tau = 0$$

$$k_d N \theta_b + \tau = k_d \theta_m + l_m \theta_m s^2$$

$$k_d N \theta_b + \tau = (k_d + l_m s^2) \theta_m$$

$$\frac{k_d N \theta_b + \tau}{(k_d + l_m s^2)} = \theta_m$$

Sustituimos en la segunda ecuación  $\theta_m$

$$((k_t k_t) + (-k_t - k_d N^2 - l_b s^2) (k_t + l_t s^2)) \theta_b = \frac{k_d N (k_t + l_t s^2) (k_d N \theta_b + \tau)}{(k_d + l_m s^2)}$$

Al realizar las operaciones y ordenando encontramos:

$$\frac{\theta_b}{\tau} = \frac{k_d N (k_t + I_t s^2)}{s^2 \{I_b I_t I_m s^4 + [k_t I_t (N^2 I_m + I_b) + k_t I_m (I_t + I_b)] s^2 + k_d k_t (I_t + N^2 I_m + I_b)\}}$$

Los ceros son:

$$k_d N (k_t + I_t s^2) = 0$$

$$k_t + I_t s^2 = 0$$

$$-k_t = I_t s^2$$

$$-k_t / I_t = s^2$$

$$s_{1,2} = \pm j (k_t / I_t)^{1/2}$$

Para los polos

$$s^2 \{I_b I_t I_m s^4 + [k_t I_t (N^2 I_m + I_b) + k_t I_m (I_t + I_b)] s^2 + k_d k_t (I_t + N^2 I_m + I_b)\}$$

$$s_{1,2} = 0$$

$$I_b I_t I_m s^4 + [k_t I_t (N^2 I_m + I_b) + k_t I_m (I_t + I_b)] s^2 + k_d k_t (I_t + N^2 I_m + I_b)$$

$$a = I_b I_t I_m$$

$$b = k_t I_t (N^2 I_m + I_b) + k_t I_m (I_t + I_b)$$

$$c = k_d k_t (I_t + N^2 I_m + I_b)$$

$$a s^4 + b s^2 + c = 0$$

$$a (s^2)^2 + b (s^2) + c = 0$$

$$s^2 = \frac{-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2}}{2a}$$

$$s_{3,4,5,6} = \pm \{ [-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2}] / 2a \}^{1/2}$$

Sustituyendo los valores para las inercias, y la constante de reducción  $N$ , encontramos los valores para los que las  $k$ 's hacen estable el sistema.

$N$  estará condicionada al valor de reducción de los engranes para poder mover al telescopio en fracciones de segundo de arco.

A continuación podemos ver la gráfica (de Matlab) que se genera a partir de la función de transferencia obtenida.

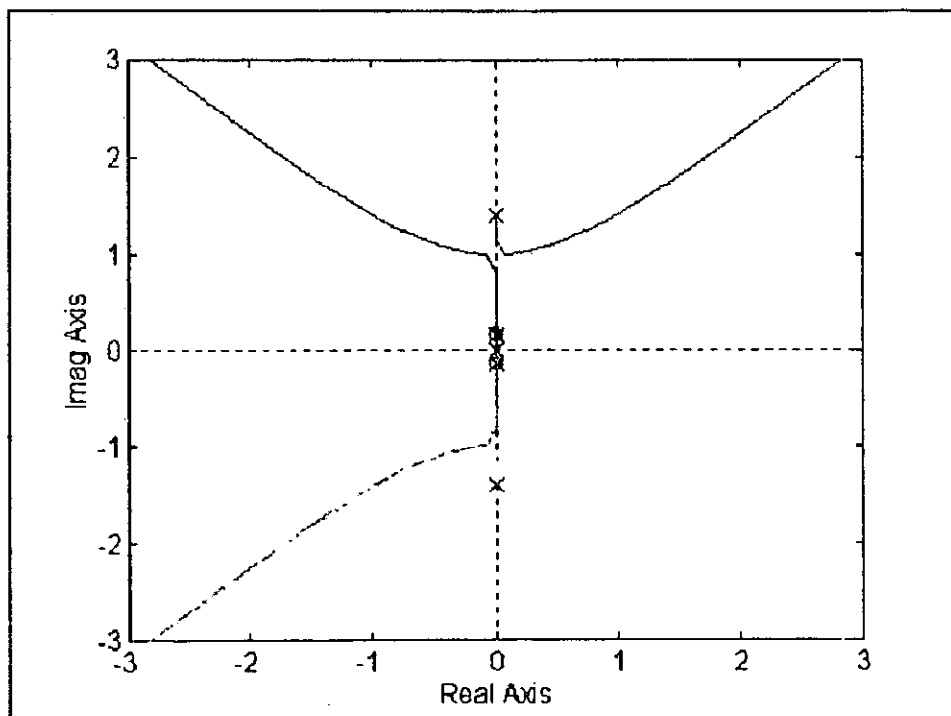


FIG. 50. LUGAR DE LAS RAÍCES DEL MODELO.

Donde se mantendrá en la parte estable al tener la inercia superior del telescopio con valor inferior a la de la base, y con la velocidad del motor en un rango adecuado.

Programa en Matlab de donde se obtuvo la gráfica anterior.

```
a=k*n*i
b=k*k*n
c=m*i*i
d=(k*i*n*n*m)+(k*i*i*(1+m))
e=k*k*((2*i)+(n*n*m))
num=[0 0 0 0 a 0 b]
den=[c 0 d 0 e 0 0]
rlocus(num,den)
```

El análisis del motor se realiza para un motor de CC controlado en el inducido, como se ve en el siguiente modelo.

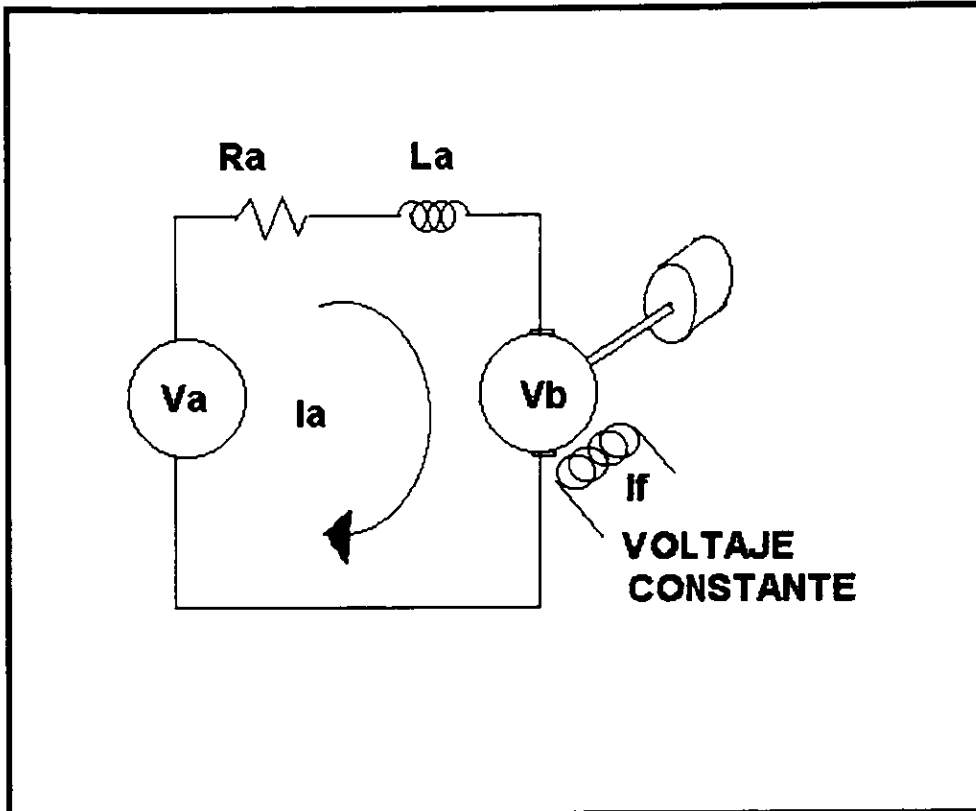


FIG. 51. REPRESENTACIÓN DE UN MOTOR DE CD

con:

$R_a$  = resistencia del devanado del inducido en ohms

$L_a$  = inductancia del devanado del inducido en henrios

$i_a$  = corriente del devanado del inducido en ampers

$i_f$  = corriente de campo en ampers

$v_a$  = voltaje aplicado a la armadura en volts

$v_b$  = fuerza contraelectromotriz en volts

$\theta$  = desplazamiento angular del eje del motor en radianes

$T$  = par desarrollado por el motor en libras - pie

$J$  = momento de inercia equivalente del motor y carga con referencia al eje del motor es slug - pie<sup>2</sup>

$f$  = coeficiente de fricción viscosa equivalente del motor y carga referido al eje del motor en libras - pie / rad / seg.

El par  $T$  desarrollado por el motor es proporcional al producto de la corriente de inducido  $i_a$  y el flujo  $\psi$  del entrehierro que a su vez es proporcional a la corriente del campo  $i_f$

$$\psi = k_f i_f$$



Con  $k_f$  es una constante. Por tanto, se puede escribir el par  $T$

$$T = K_f i_f K_1 i_a$$

Con  $k_1$  es una constante.

En el motor de CC controlado por el inducido se mantiene constante la corriente del campo. Para una corriente de campo constante el flujo se vuelve constante y el par se hace directamente proporcional a la corriente del inducido, de manera que

$$T = K i_a$$

Con  $k$  es una constante del par del motor.

Cuando el inducido esta en rotación, se induce en el inducido una tensión proporcional al producto del flujo por la velocidad angular. Para un flujo contante, la tensión inducida  $v_b$  es directamente proporcional a la velocidad angular  $d\theta/dt$ .

$$v_b = K_b d\theta/dt$$

Donde  $K_b$  es una constante de fuerza contraelectromotriz.

Se controla la velocidad de un motor de CC controlado por el inducido por medio de la tensión de inducido  $e_a$ . La tensión de inducido  $e_a$  es suministrada por un amplificador (o por un generador a su vez alimentado por un amplificador). La ecuación diferencial del circuito de inducido es

$$L_a di_a/dt + r_a i_a + v_b = v_a$$

La corriente del inducido produce el par que se aplica a la inercia y fricción, por lo tanto:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} = T = K i_a$$

Suponiendo que todas las condiciones iniciales son cero, y tomando las transformadas de Laplace de las tres ecuaciones anteriores se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$V_b(s) = K_b \theta(s)$$

$$(L_a s + r_a) i_a(s) + V_b(s) = V_a(s)$$

$$(J s^2 + fs) \theta(s) = T(s) = K i_a(s)$$

Considerando a  $V_a(s)$  como la entrada y  $\theta(s)$  como la salida, se puede construir el diagrama de bloques que se presenta en la primer figura, se ve el efecto de la fuerza contraelectromotriz en la señal de retroalimentación proporcional a la velocidad del motor. Esta fuerza contraelectromotriz, aumenta el amortiguamiento efectivo del sistema, entonces la función de transferencia del sistema será:

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{k}{s [L_a J s^2 + (L_a f + R_a J) s + R_a f + K K_b]}$$

La inductancia  $L_a$  en el circuito de inducido generalmente es pequeña, y se puede despreciar, Si se desprecia  $L_a$  la función de transferencia se reduce a

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{k_m}{s [T_m s + 1]}$$

donde

$$K_m = K / [R_a f + K K_b] = \text{constante de ganancia del motor}$$

$$T_m = R_a J / [R_a f + K K_b] = \text{constante de tiempo del motor}$$

Las funciones de transferencia que se presentan tienen involucrado el término  $1/s$ , este es un integrador y da paso al siguiente diagrama a bloques

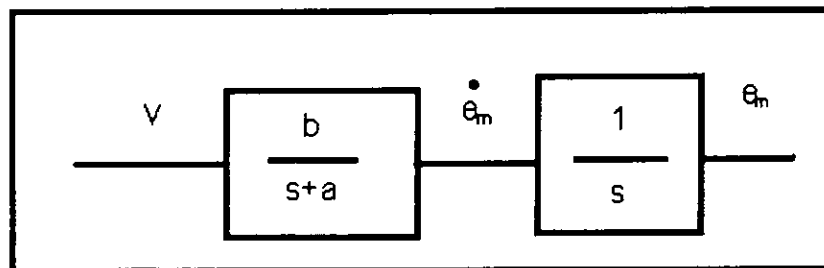


FIG. 52. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA.

La obtención de los parámetros  $a$  y  $b$  es proporcionado prácticamente, se miden los voltajes de entrada, y de salida del tacómetro, así como el ángulo de defasamiento entre estos.

La función de donde los despejamos es:

$$G(w) = a/[w^2 + b^2]^{1/2}$$

$$w = \tan^{-1} (w/b) = (\text{frec in}) * (\Phi) \text{ (rad/seg)}$$

$$b = \tan (w) / \Phi$$

$$a = G(w) [w^2 + b^2]^{1/2}$$

$$G(w) = V_o / V_i$$

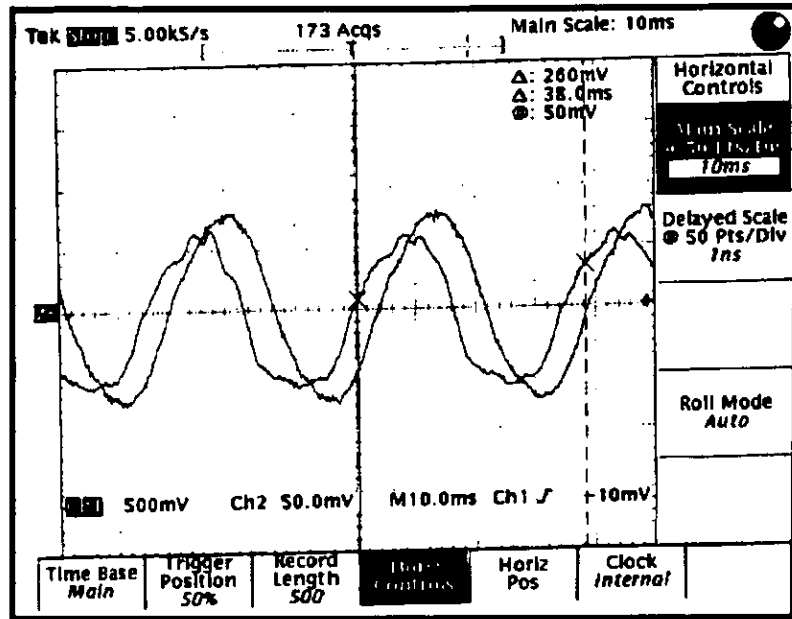


FIG. 53. Gráfica del motor1

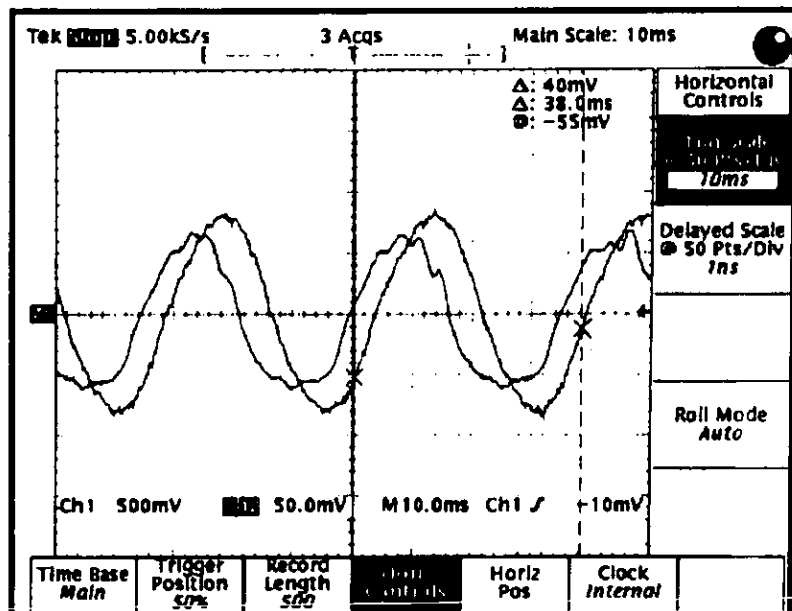


FIG. 54. Gráfica del motor2

$V_i = 20\text{ V}$

$V_o = 1.8\text{ V}$

$$\Phi = 15^\circ$$

$$\text{frec in} = 29,41176470588 \text{ Hz}$$

$$a = 101.87$$

$$b = 2.2$$

$$b/(s+a) = 101.87 / (s+ 2.2)$$

Simulando en Matlab queda:

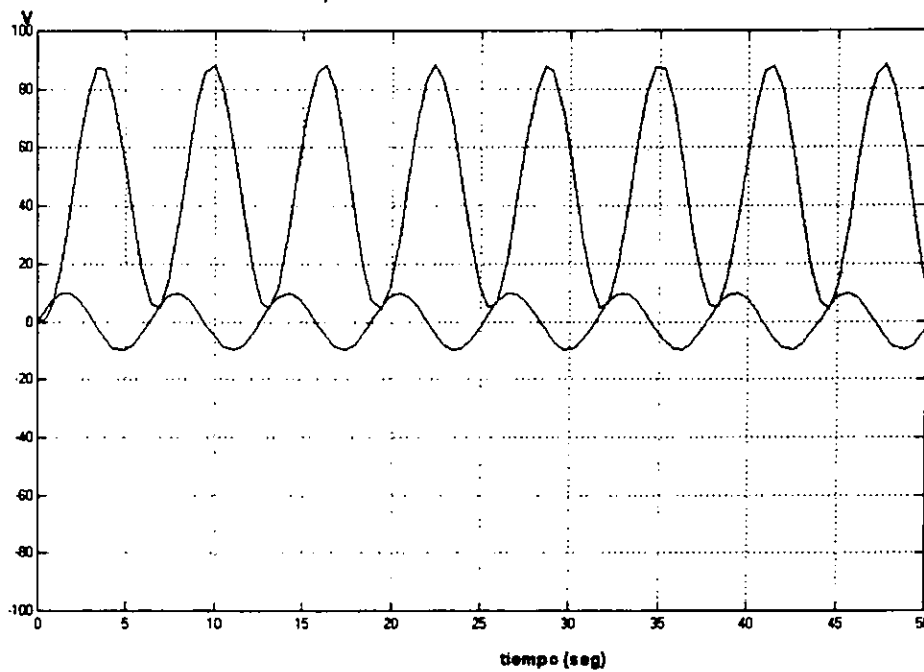


FIG. 55. SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA DEL MOTOR

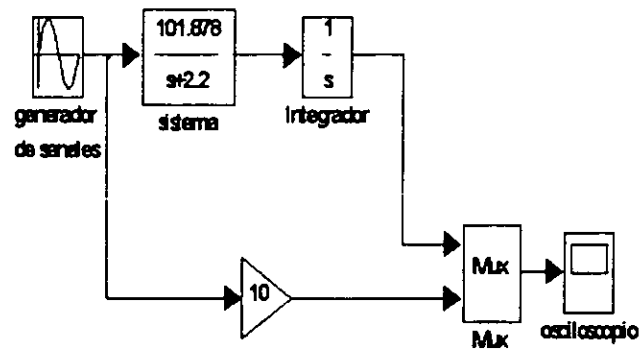


FIG. 56. MODELO EN MATLAB

Obteniéndose una gráfica similar pero con diferentes ganancias.

### 3.2 CONTROL DE LOS EJES

El telescopio es un sistema que teóricamente esta completamente balanceado (ya que al colocarle un instrumento se debe de corregir la flexión con un contrapeso), su estructura es compuesta básicamente por el eje de azimut y el de altitud, el primero es la base mientras que el segundo es el tubo del telescopio.

Ambos ejes deberán evitar las oscilaciones, así como un frenado brusco, ya que estos pueden dañar el espejo y provocar la capitación de imágenes borrosas, movidas o de mala calidad.

A continuación podemos ver que por la forma en que están acoplados los ejes son casi independientes, su independecia se limita ya que al moverse simultáneamente causaran una leve perturbación en el otro eje para el de azimut será solo una vibración, mientras que para el de altitud se produce una torca, estas perturbaciones serian considerables si se moviera el telescopio a grandes velocidades, pero esto sucede solo en el momento del posicionamiento inicial, al cambiar de objeto de observación y finalizar la sesión de trabajo, en el resto del tiempo se les moverá en forma lenta, con una velocidad angular de fracciones de segundo de arco por minuto.

Tomando las ecuaciones de la primer figura del capitulo, las podemos despejar para encontrar:

$$R\phi = r(\theta - \phi) = r\theta - r\phi$$

$$(R + r)\phi = r\theta$$

$$\phi_1 = \frac{r_1}{(R_1 + r_1)}\theta_1$$

El primer engrane le ponemos una reducción en el mismo eje para que funja como rotor para el siguiente engrane, obtenemos:

$$\phi_2 = \frac{r_2}{(R_2 + r_2)}\theta_2$$

$$\phi_1 = \theta_2$$

$$\phi_2 = \frac{r_1}{(R_1 + r_1)} \frac{r_2}{(R_2 + r_2)} \theta_1$$

Y así hasta n engranes.

$$\phi_n = \frac{r_1}{(R_1 + r_1)} \frac{r_2}{(R_2 + r_2)} \dots \frac{r_n}{(R_n + r_n)} \theta_1$$

$$1^0 = 60min$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ seg}$$

$$1^{\circ} = 60^2 \text{ seg} = 3600 \text{ seg.}$$

Si deseamos mover 1 segundo de arco el telescopio con 1/2 de revolución del motor, tendremos:

$$\phi n = \theta_1 * \frac{\alpha}{\beta}$$

$$1'' = \frac{360^{\circ}}{2} * \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\frac{1''}{648000''} = \frac{\alpha}{\beta}$$

Lo que nos da una relación de engranes adecuada, 648000 se descompone en:

$$2^6 * 3^4 * 5^3$$

Dejando paso a un arreglo de tres engranes de 10.5 cm que sean motivados por engranes de 0.5 cm de radio:

$$\frac{0.5}{10.5 - 0.5} = \frac{1}{2 * 5}$$

Un arreglo de tres engranes de 6.5 cm que sean motivados por engranes de 0.5 cm de radio:

$$\frac{0.5}{6.5 - 0.5} = \frac{1}{2 * 3}$$

Y un engrane de 4 cm que sea motivado por un engrane de 1 cm de radio:

$$\frac{1}{4 - 1} = \frac{1}{3}$$

Para valores menores se puede mover el motor menos de una revolución, el caso extremo es mover el telescopio  $180^{\circ}$ , teniendo que mover el motor 324000 revoluciones, y tardaría 90 minutos en recorrer dicha distancia con una velocidad de 3600 r.p.m., siendo su velocidad máxima de los motores 3900 r.p.m., pero es poco probable utilizar esta velocidad, ya que el programa busca no exceder a menos que sea estrictamente necesario realizar movimientos de mas de  $90^{\circ}$ .

### 3.2.1 CONTROL DEL AZIMUT

El eje de azimut esta acoplado a un sistema de engranes, estos a su vez a un par de motores de CD, estos últimos controlados por el Lm 628.

El sistema de engranes se propone con un acoplamiento por fricción, para eliminar lo más posible el backlash, y la pérdida de información (pulsos), se considera un en par, ya que son 2 motores encontrados los que moverán el telescopio.

Cualquier deslizamiento por imperfecciones en la superficie, así como falta de presión en los acoplamientos produce pérdida de pulsos, al estar en movimiento el azimut, uno de los motores es el que se mueve, produce una torca en el eje y además hace girar al otro motor, en ningún momento se despegaran ambos de la superficie, por lo que se supone un conteo confiable.

Cada motor es alimentado y controlado de tal forma que al funcionar el primero en dirección positiva su codificador de posición marcara una suma de pulsos, el otro motor registrara un movimiento en contraflujo (este estará energizado, y será movido a la par del azimut), al ir en sentido contrario se invertirá el sistema, funcionando ahora el segundo motor y el primero registrara el movimiento en este sentido como una resta de pulsos, se pretende confrontar el conteo de ambos codificadores de posición así como el de cuadratura para determinar la posición real del telescopio, además cada cierta distancia se colocan detectores de posición absoluta para corregir cualquier defasamiento, y de esta forma cerrar el lazo del sistema.

Una parte del programa analizara si es posible utilizar una trayectoria menor a los 180 grados, ya que el moverse esta distancia tardara 90 minutos.

### 3.2.2 CONTROL DE LA ALTITUD

El eje de altitud lleva la misma filosofía que el de azimut, pero este se mueve en forma horizontal, esta acoplado a un sistema de engranes, estos a su vez a un par de motores, al moverse se modifica su inercia, para mantenerla lo mas constante se le colocan unos contrapesos que son controlados por un sistema independiente que compensa cualquier movimiento (este modulo le corresponde a otro equipo de trabajo y solo es mencionado para tener la seguridad de que es un sistema equilibrado).

A cualquier costo se deberán evitar las oscilaciones en el posicionamiento, por lo que el error deberá ser mínimo.

Se considera tener un frenado para evitar que por cualquier factor externo se mueva el telescopio, esto se obtiene al mantener energizados los motores, estos se encuentran en contraflujo de la misma forma que en el eje del azimut, la relación de los engranes es menor a la del otro eje, aquí se tienen horas,

Como el recorrido que se tiene es menor al de azimut ( $170^\circ$  o  $160^\circ$  y no  $360^\circ$ ), afortunadamente el posicionamiento inicial es el mas largo, cuando mucho  $80^\circ$ .

El diseño y desarrollo del controlador es basado en el PID que contiene el LM628 y se presenta con el siguiente diagrama.

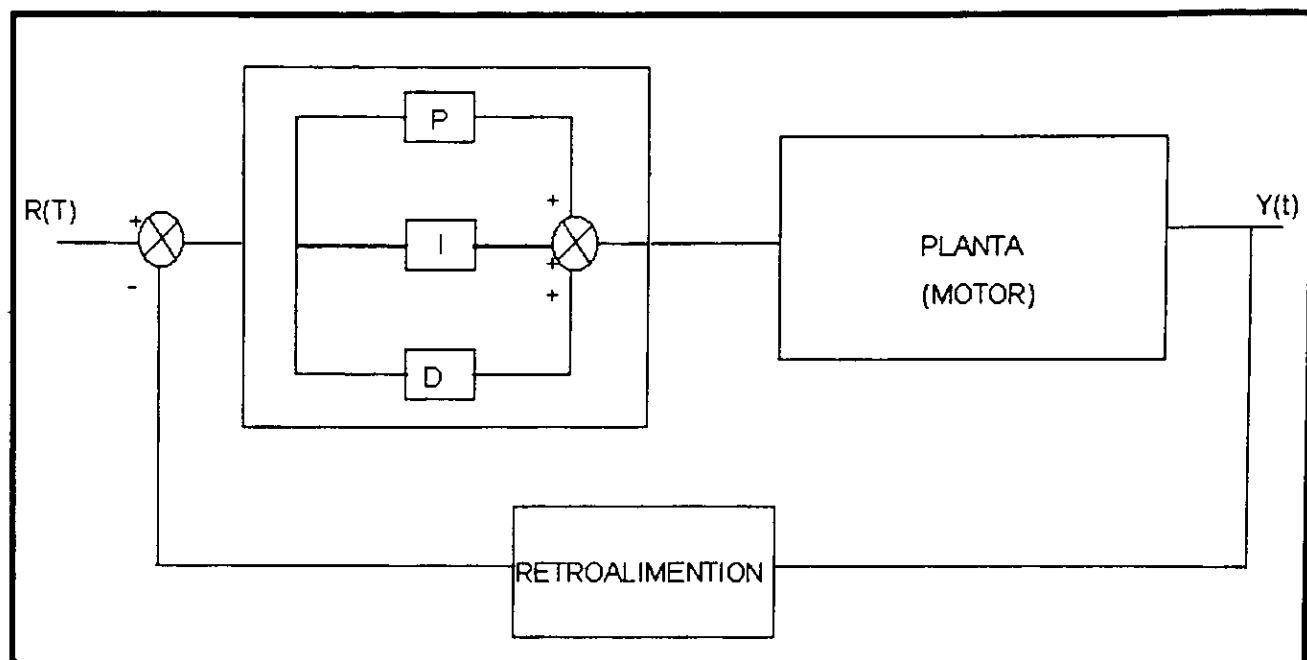


FIG. 57. DIAGRAMA A BLOQUES DEL CONTROLADOR

Quedando la simulación en Matlab como:

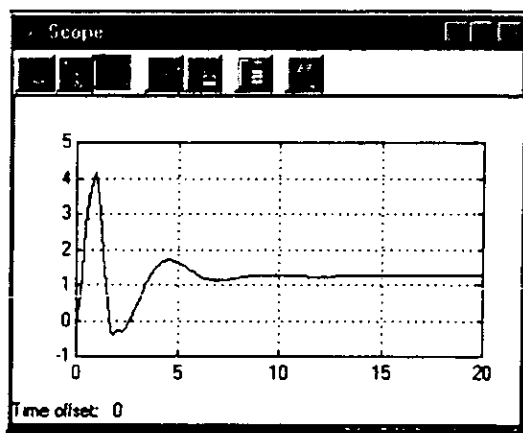
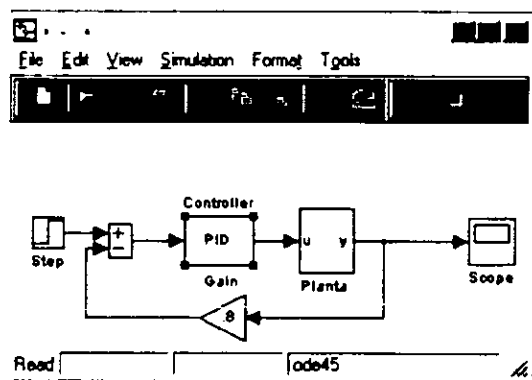


FIG. 58. SIMULACIÓN DEL CONTROLADOR Y LA GRÁFICA DE LA RESPUESTA EN LAZO CERRADO.



### 3.2.3 CONTROL DEL ROTADOR DE CAMPO

El rotador de campo es un dispositivo que nos permite girar el campo de observación del telescopio al mover los ejes del telescopio.

Este movimiento es necesario ya que al girar el telescopio nuestro instrumento debe girar junto con él, y si no es girado, la imagen que se este observado, al ser adquirida con una cámara CCD (o con otro instrumento), aparecerá movida, con un espectro lineal en vez de puntual (se vería una línea curva que se movería a la par del telescopio, de la misma forma que se aprecia el halo de luz que deja impreso un auto al tomársele una foto moviéndose a lo largo de una avenida).

La siguiente figura nos muestra la trayectoria de un cohete moviéndose en forma parabólica formando el halo que menciono, y la luz de varios autos en movimiento.

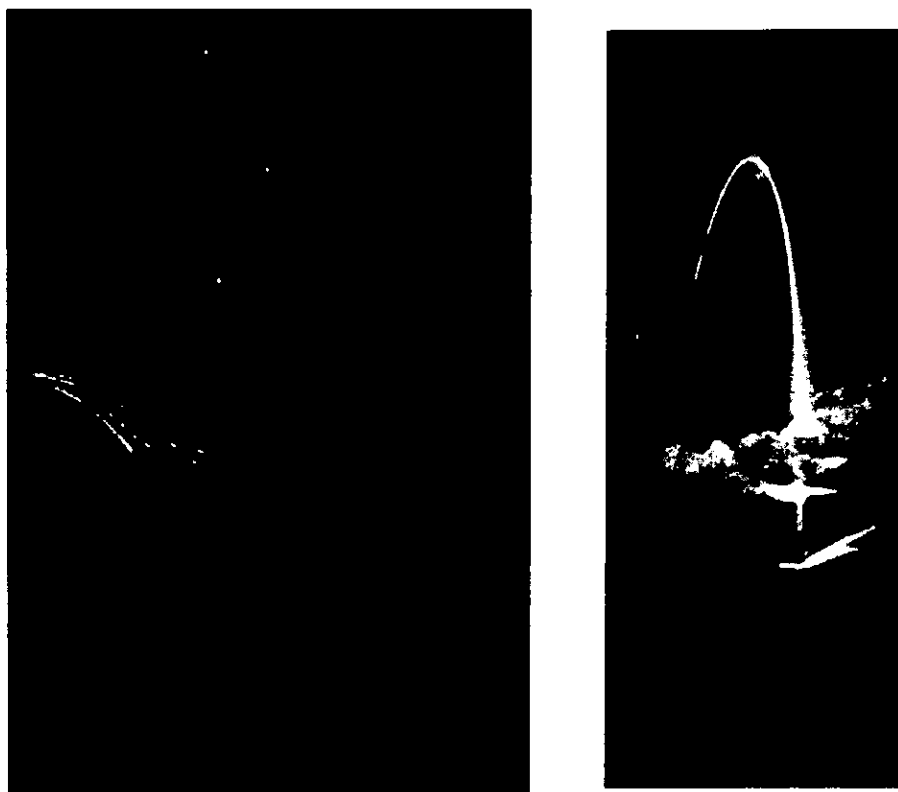
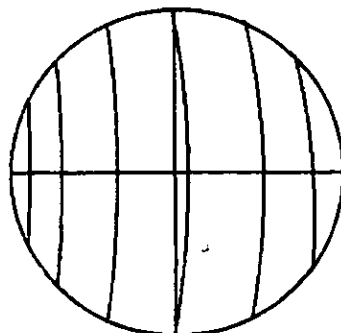


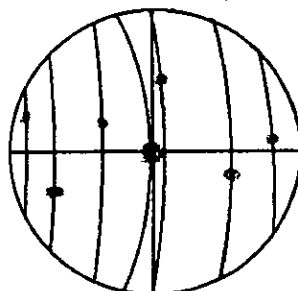
FIG. 59. FOTOGRAFÍAS DE LAS TRAYECTORIAS DE UN COHETE Y DE AUTOMÓVILES.

Para determinar el movimiento del rotador de campo realice la siguiente observación, suponemos que el telescopio esta viendo al cenit, en esa posición se podrán observar elipses que son descritas por las estrellas tomando como eje a la estrella polar.



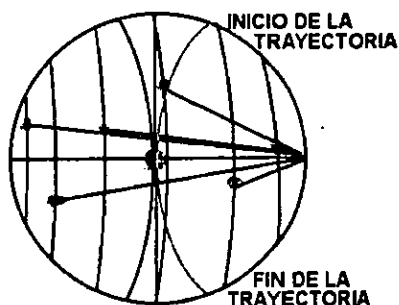
**FIG. 60. Telescopio viendo al cenit**

Si el telescopio solo ve la vecindad de una estrella, vera lo siguiente:



**FIG. 61. Telescopio viendo a la vecindad de una estrella.**

De tal manera que el movimiento de las estrellas en el campo de observación con respecto al tubo del telescopio será:



**FIG. 62. Dirección, y el eje del telescopio**

Por lo tanto el rotador de campo se moverá con la dirección de la estrella y con la velocidad establecida por el punto inicial y final de observación, la cual será proporcional gracias al arreglo de engranes del motor.

### 3.2.4 LA PALETA DE POSICIÓN MANUAL

La paleta nos permite mandar impulsos al motor para indicar que realice un movimiento en cualquiera de los ejes, esta condicionada a funcionar por medio de un interruptor que se acciona o desactiva desde la PC, de tal forma que se mande solamente con la consola, y no interfiera con un proceso.

Solo los mandos de paro (al menos por el momento) serán independientes de la consola, y se pueda detener el telescopio desde el teclado de la PC o desde la paleta.

Su diagrama eléctrico es muy simple, compuesto por 5 interruptores, 4 de ellos mandaran la señal de avance al eje de azimut o de altitud en sentido horario o antihorario, positivo o negativo, y el 5° será para el paro de emergencia.

El circuito estará conectado directamente al Lm12, que mueve al motor, y el tacómetro (decodificador de cuadratura nos dará la posición a la que enviamos al motor).

No se maneja el rotador de campo, ya que este sistema será movido por un algoritmo al iniciar el guiado.

### 3.2.5 COMUNICACIÓN ENTRE EL MICROCONTROLADOR, LA PALETA Y LA TERMINAL

La comunicación entre el microcontrolador y la PC se realiza por medio del RS232.

Para mandar los comandos, y los datos serán enviados por puerto paralelo, por medio de la tarjeta enlace.

La interfaz del RS232 se realiza por medio del CI MAX232, el cual nos permite acoplar una señal de transmisión o de recepción de TTL a CMOS sin problemas (los datos de este CI Están dentro del apéndice C).

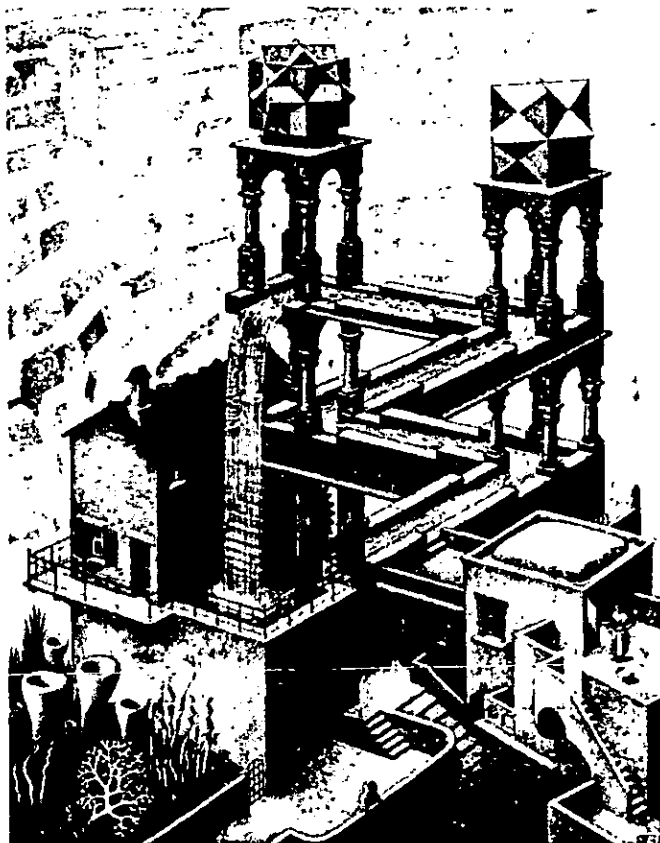
## 3.3 REFERENCIAS

El diseño del telescopio esta basado reportes técnicos SUMMARY OF THE PRELIMINARY DESIGN OF THE 6.5 METER TELESCOPE de STEVEN M. GUNNELSNO, CONTROL SYSTEM DESIGN REQUIREMENTS FOR THE MAGELLAN 6.5 METER TELESCOPES de PETER DE JONGE, MATT JOHNS AND STEVE SHECTMAN principalmente, así como en los análisis son sustentados en la teoría de los libros INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA de KATSUHIKO OGATA, SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO del mismo autor, CONTROL DE SISTEMAS DINÁMICOS CON RETROALIMENTACIÓN de GENE F. FRANKLIN, y J. DAVID POWEL, RETROALIMENTACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL de DISTEFANO, STUBBERUD Y WILLIAMS, así como el diseño de los engranes del libro ENSAYOS SOBRE MECÁNICA CLÁSICA de JUAN B. DE OYARZABAL. Las secciones 3.2.4 y 3.2.5 se basan en la experiencia del trabajo en el telescopio de Tonantzintla y del telescopio de 2m de San Pedro Mártir.

# CAPÍTULO

## 4

### EL PROGRAMA DE CONTROL



**"CAÍDA DE AGUA"**  
MAURITS CORNELIS ESCHER

UN REPORTERO DIJO A THOMAS ALVA EDISON :

"ENTONCES, REALIZO 2000 EXPERIMENTOS INFRUCTUOSOS ANTES DE PODER ENCENDER LA BOMBILLA, COMETIÓ 2000 ERRORES Y AL INTENTO 2001 LO LOGRO"

A LO QUE EL RESPONDIÓ:

"NO, ENCONTRÉ 2000 FORMAS DE NO ENCENDERLA"

"HAY QUE VER LOS ERRORES COMO OPORTUNIDADES DE CRECIMIENTO Y NO DE FRACASO"

## CAPÍTULO I V EL PROGRAMA DE CONTROL

### 4.1 EJEMPLO DE LA LOCALIZACIÓN DE UNA ESTRELLA

Ya que se conoce la forma en que se comporta nuestro cielo, y el movimiento de los telescopios, ubicaremos una estrella.

La estrella que se selecciono es Sirio, esta se localiza en la constelación del Can Mayor, y es una estrella muy brillante, fácil de localizar en el mes de marzo.

Del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional obtenemos los datos que requerimos para este fin.

De la sección de nombres característicos (paginas 83 - 86) obtenemos su número de estrella brillante (NBS) el cual es 2491.

De la sección de posiciones medias de estrellas brillantes (paginas 87 - 108) obtenemos su ascensión recta y su declinación

$$\begin{aligned} \text{AR: } 6 \text{ h } 45' 8.7'' &= 6.752416666 \text{ h} \\ &= 101.28625^\circ \\ &= 1.76777855 \text{ rad} \\ \text{DEC: } -16^\circ 40' 52'' &= -16.68111111^\circ \\ &= -0.2911403118 \text{ rad} \end{aligned}$$

De la sección de Poblaciones, posiciones geográficas (pag225 - 253) ubicamos un lugar para observarla, ubicando el Instituto de Astronomía:

$$\begin{aligned} \text{Latitud } 19^\circ 19' 34'' &= 19.326111^\circ \\ &= 0.3373042705 \text{ rad} \\ \text{Longitud } 99^\circ 10' 40'' &= 99.177777^\circ \\ &= 1.730978767 \text{ rad} \end{aligned}$$

A continuación calculamos la posición a la media noche, para esto necesitamos la fecha, y la hora (no se utiliza el cambio de horario, aunque sea verano se debe presentar la hora normal).

Fecha : 21 / 03 / 1998

Hora 24:00:00

El día Juliano JD es el día mas el tiempo universal, para calcular el día tenemos

a) Calculo del día.

$$\begin{aligned} \text{JDO} &= 1721013.5 + (367 * \text{año}) - \text{int}(((7 * (\text{año} + \text{int}((\text{mes} + 9.0) / 12)))) / 4) + \text{int}(((275 * \text{mes}) / 9)) \\ &+ \text{día} \\ &(\text{int}(x) \text{ es la parte entera de } (x)) \end{aligned}$$

$$\text{JDO} = 1721013.5 + (367 * 1998) - \text{int}(\frac{7 * (1998 + \text{int}(\frac{3+9}{12}))}{4}) + \text{int}(\frac{275 * 3}{9}) + 21$$

$$\text{JDO} = 1721013.5 + 733266 - \text{int}(3498.25) + \text{int}(91.666666) + 21$$

$$\text{JDO} = 1721013.5 + 733266 - 3498 + 91 + 21$$

$$\text{JDO} = 2450893.5$$

El tiempo universal será:

$$\text{UT} = (((\text{hora} + 6) \bmod 24) + \text{minutos} / 60 + \text{segundos} / 3600 + \text{centésimas de seg.} / 360000)$$

(mod (x) es el modulo de x)

$$\text{UT} = (((24+6) \bmod 24) + 0/60 + 0/3600 + 0/360000) = ((30) \bmod 24) = 6$$

El día Juliano es:

$$\text{JD} = 1721013.5 + (367 * \text{año}) - \text{int}(\frac{7 * (\text{año} + \text{int}(\frac{\text{mes} + 9.0}{12}))}{4}) + \text{int}(\frac{275 * \text{mes}}{9}) + \text{día} + \text{UT} / 24$$

$$\begin{aligned} \text{JD} &= 2450893.5 + 0.25 \\ &= 2450893.75 \end{aligned}$$

Para obtener el tiempo sideral del meridiano de Greenwich GMST tenemos:

$$\text{GMST} = 6.69737456 + (2400.051336 * \text{TO}) + (0.0000258622 * (\text{TO})^2) + (1.002737909 * \text{UT})$$

$$\begin{aligned} \text{TO} &= (\text{JDO} - 2451545) / 36525 \\ &= (2450893.5 - 2451545) / 36525 \end{aligned}$$

$$\text{TO} = -0.01783758624$$

$$\text{GMST} = 6.69737456 + (2400.051336 * -0.01783758624) + (0.0000258622 * (-0.01783758624)^2) + (1.002737909 * 6)$$

$$\text{GMST} = 6.69737456 - 42.8099505928 + 0.000000008228821422 + 6.016427454$$

$$\text{GMST} = -30.0961485706$$

Para asegurar que sea positivo el valor, se le suma 240 y se restan 24 hasta que sea menor a 24 pero positivo.

$$\text{GMST} = -30.0961485706 + 240$$

$$= 209.9038514 - 24$$

$$= 185.9038514 - 24$$

$$= 161.9038514 - 24$$

$$= 137.9038514 - 24$$

$$= 113.9038514 - 24$$

$$= 89.9038514 - 24$$

$$= 65.9038514 - 24$$

$$= 41.9038514 - 24$$

$$\text{GMST} = 17.9038514$$

Donde el tiempo sideral del meridiano de Greenwich es:

$$17 \text{ Hrs.} \quad 54 \text{ min.} \quad 13.5 \text{ seg.}$$

Para obtener el Tiempo Sideral Aparente del Instituto de Astronomía calculamos  
TSAIA = GAST - longitud del lugar

$$\text{GAST} = \text{GMST} - (0.00029 * \text{sen} (125.04452 - 1934.13626 * T + 0.002071 * (T)^2))$$

$$T = (\text{JD} - 2451545) / 36525 = -0.01783025325$$

$$\text{GAST} = \text{GMST} - (0.00029 * \text{sen} (125.04452 - 1934.13626 * 0.05058888863792 + 0.002071 * (0.05058888863792)^2))$$

$$\text{GAST} = \text{GMST} - (0.00029 * \text{sen} (125.04452 + 34.48613934 + 0.0000006584035))$$

$$= \text{GMST} - (0.00029 * \text{sen} (159.53066^\circ))$$

$$= \text{GMST} - (0.00029 * 0.349706101)$$

$$= \text{GMST} - 0.000101414769$$

$$= 17.9037500147$$

La altura la encontramos de la relación entre los ángulos de la figura 63.

$$h = 90^\circ + |\lambda| + |\delta| \text{ (pero con las respectivas conversiones).}$$

$$h = 1.57079632679 + .3373042705 + 0.2911403118 = 2.199240909 \text{ rad} = 126.0072222236^\circ$$

$$= 126^\circ 0' 26''$$

$$\text{sen (AZ)} = \frac{-\cos(\delta) * \text{sen}(L)}{\text{sen}(h)}$$

$$\text{sen (AZ)} = \frac{-\cos(-16^\circ 40' 52'') * \text{sen}(99^\circ 10' 40'')}{\text{sen}(126^\circ 0' 26'')}$$

Usando los ángulos en radianes encontramos:

$$\text{sen (AZ)} = \frac{-0.9579171779 * 0.9871982009}{0.808942896742744055298038513270783}$$

$$\text{cos (AZ)} = \frac{\text{sen } (\delta) * \text{cos } (\lambda) - \text{cos } (\delta) * \text{cos } (L) * \text{sen } (\lambda)}{\text{sen } (h)} =$$

$$\frac{\text{sen } (-16^{\circ} 40' 52'') * \text{cos}(19^{\circ} 19' 34'') - \text{cos}(-16^{\circ} 40' 52'') * \text{cos}(99^{\circ} 10' 40'') * \text{sen}(19^{\circ} 19' 34'')}{\text{sen } (126^{\circ} 0' 26'')} =$$

$$\frac{\text{sen}(-16,6811111^{\circ}) * \text{cos}(19,326111^{\circ}) - \text{cos}(-16,681111^{\circ}) * \text{cos}(99,177777^{\circ}) * \text{sen}(19,326111^{\circ})}{0.808942896742744055298038513270783}$$

$$\frac{(-0,2870447357339 * 0,9436502299563 - 0,9579171778852 * -0,1594983139428 * 0,3309444719336)}{0.808942896742744055298038513270783}$$

$$\text{sen (AZ)} = -1.16899983724663$$

$$\text{cos (AZ)} = 0.27233824765908$$

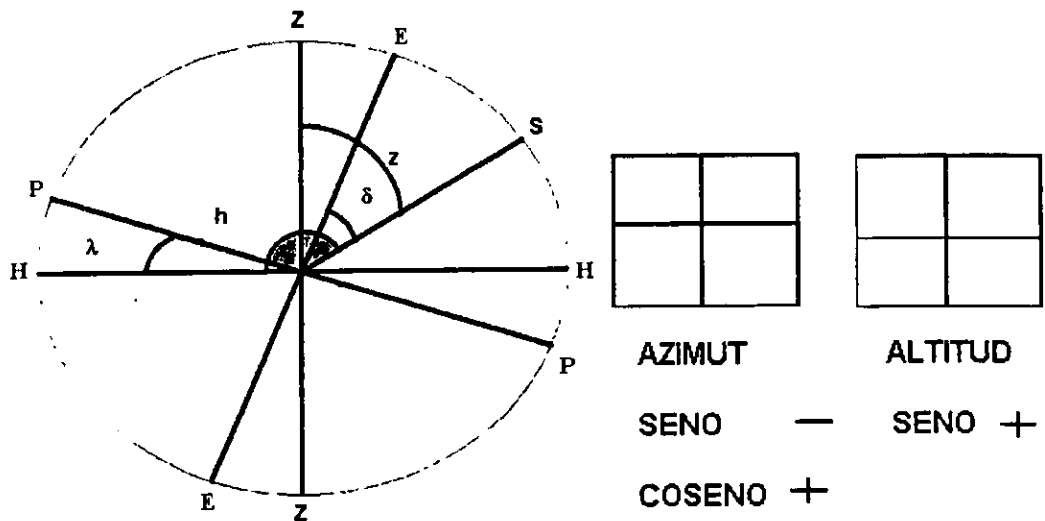


FIG. 63. POSICIÓN DE LA ESTRELLA



## 4.2 LISTADO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL

```

unit consola1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls,
  Puerto, Correcciones;
type
  TSISTEMA = class(TForm)
    CORREGIR: TGroupBox;
    CORRECCIONES: TCheckBox;
    HORARIO_DE_VERANO: TCheckBox;
    ACTUALIZAR: TCheckBox;
    FECHA: TGroupBox;
    DD_MM_AAAA: TLabel;
    HORA: TGroupBox;
    HH_MM_SS: TLabel;
    COORDENADAS_ECUATORIALES: TGroupBox;
    AR_HH_MM_SS: TLabel;
    DEC_GG_MM_SS: TLabel;
    COORDENADAS_HORIZONTALES: TGroupBox;
    AZ_HH_MM_SS: TLabel;
    ALT_HH_MM_SS: TLabel;
    NUEVAS_COORDENADAS_ECUATORIALES: TGroupBox;
    NVA_AR_HH_MM_SS: TLabel;
    NVA_DEC_GG_MM_SS: TLabel;
    ACTUALIZA: TButton;
    TIEMPOS: TGroupBox;
    DIA_JULIANO: TLabel;
    TIEMPO_SIDERAL_DF: TLabel;
    LOCALIZACION_DEL_LUGAR: TGroupBox;
    LONGITUD: TLabel;
    LATITUD: TLabel;
    ENVIAR_AL_TELESCOPIO: TGroupBox;
    GUIADOR: TGroupBox;
    GUIAR: TCheckBox;
    TIEMPO_INICIAL: TLabel;
    TIEMPO_FINAL: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    ENVIAR: TButton;
    MANTIENE_HORA_INICIAL: TCheckBox;
    IGUAL_A_HORA_ACTUAL: TLabel;
    LONGR: TEdit;
    LONM: TEdit;
    LONS: TEdit;
    LAG: TEdit;
    LAM: TEdit;
    LAS: TEdit;
    year: TEdit;
    mes: TEdit;
    dia: TEdit;
  end;

```

```

H: TEdit;
MIN: TEdit;
SEG: TEdit;
procedure LOCALIZACION_DEL_LUGARClick(Sender: TObject);
procedure FECHAClick(Sender: TObject);
procedure HORARIO_DE_VERANOClick(Sender: TObject);
procedure HORAClick(Sender: TObject);
procedure LONGRChange(Sender: TObject);
procedure LONMChange(Sender: TObject);
procedure LONSChange(Sender: TObject);
procedure LAGChange(Sender: TObject);
procedure LAMChange(Sender: TObject);
procedure LASChange(Sender: TObject);
procedure CORRECCIONESClick(Sender: TObject);
procedure ACTUALIZARClick(Sender: TObject);
procedure NUEVAS_COORDENADAS_ECUATORIALESClick(Sender: TObject);
procedure ACTUALIZAClick(Sender: TObject);
procedure ENVIARClick(Sender: TObject);
procedure GUIADORClick(Sender: TObject);
procedure COORDENADAS_HORIZONTALESClick(Sender: TObject);
procedure COORDENADAS_ECUATORIALESClick(Sender: TObject);
procedure TIEMPOClick(Sender: TObject);
procedure GUIARClick(Sender: TObject);
procedure TIEMPO_INICIALClick(Sender: TObject);
procedure TIEMPO_FINALClick(Sender: TObject);
procedure NVA_AR_HH_MM_SSClick(Sender: TObject);
procedure NVA_DEC_GG_MM_SSClick(Sender: TObject);
procedure MANTIENE_HORA_INICIALClick(Sender: TObject);
procedure ENVIAR_AL_TELESCOPIOClick(Sender: TObject);
procedure CORREGIRClick(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  SISTEMA: TSISTEMA;
  LONGr:real;
  LONGRr:real;
  LONMr:real;
  LONSr:real;
  LONGRADr:real;
  Fir:real;
  LAGr:real;
  LAMr:real;
  LASr:real;
  FIRADr:real;
  Present: TDateTime;
  Year:Word;
  Month:Word;
  Day:Word;

```

```

Hour:Word;
Min:Word;
Sec:Word;
MSec:Word;
HV:boolean;
HH:integer;
H:integer;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TSISTEMA.LOCALIZACION_DEL_LUGARClick(Sender: TObject);
begin
LONGr:=LONGRr+((LONMr+(LONSr/60))/60);{LONGITUD}
LONGRADr:=LONGr*0.01745329251994;{LONGITUD EN RADIANES}
FIr:=(LAGr+((LAMr+(LASr/60))/60);{LATITUD}
FIRADr:=FIr*0.01745329251994; {LATITUD EN RADIANES}
end;
procedure TSISTEMA.FECHAClick(Sender: TObject);
begin
HOY:=NOW;
DecoDate(hoy,year,mes,dia);{OBTENCION DE LA FECHA}
end;
procedure TSISTEMA.HORARIO_DE_VERANOClick(Sender: TObject);
begin
IF (HV=TRUE)THEN
HH:=H+1;
ELSE
HH:=H;
end;
procedure TSISTEMA.HORAClick(Sender: TObject);
begin
begin
Present:= Now;
DecodeTime(Present, Hour, Min, Sec, MSec);
Label2.Caption := 'The time is Minute ' + IntToStr(Min) + ' of Hour '
+ IntToStr(Hour);
end;{OBTENCION DE LA HORA}
end;
procedure TSISTEMA.LONGRChange(Sender: TObject);
begin
{longitud en grados, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.LONMChange(Sender: TObject);
begin
{longitud en minutos, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.LONSChange(Sender: TObject);
begin
{longitud en segundos, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.LAGChange(Sender: TObject);
begin

```

```

{latitud en grados, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.LAMChange(Sender: TObject);
begin
{latitud en minutos, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.LASChange(Sender: TObject);
begin
{latitud en segundos, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.CORRECCIONESClick(Sender: TObject);
begin
{si caption = true entonces aplica las formulas de correccines}
end;
procedure TSISTEMA.ACTUALIZARClick(Sender: TObject);
begin
{si actualiza es verdad se refrescan los datos en pantalla
de acuerdo a la posicion del telescopio }
end;
procedure TSISTEMA.NUEVAS_COORDENADAS_ECUATORIALESClick(Sender: TObject);
begin
{lee la nuevas coordenadas}
end;
procedure TSISTEMA.ACTUALIZAClick(Sender: TObject);
begin
{si se oprime el boton se actualizan las coordenadas en pantalla}
end;
procedure TSISTEMA.ENVIARClick(Sender: TObject);
begin
{si se oprime el boton se envian los datos codificados al telescopio
en el procedimiento correspondiente}
end;
procedure TSISTEMA.GUIADORClick(Sender: TObject);
begin
{se calcula para el valor inicial y final los parametros de tiempo y posicion, mandando los
datos proporcionando los datos para que se mueva el telescopio el valor inicial puede ser el
mismo del reloj o uno posterior}
end;
procedure TSISTEMA.COORDENADAS_HORIZONTALESClick(Sender: TObject);
begin
{se muestran las coordenadas}
end;
procedure TSISTEMA.COORDENADAS_ECUATORIALESClick(Sender: TObject);
begin
{se muestran las coordenadas, los datos son alojados en .caption}
end;
procedure TSISTEMA.TIEMPOSClick(Sender: TObject);
begin
{se muestra el tiempo y el dia juliano,
los datos son alojados en .caption, tomados del procedimiento que lo genera}
end;

```

```

procedure TSISTEMA.GUIARClick(Sender: TObject);
begin
{si caption = true entonces
manda los datos de inicio y fin segun el intervalo de guiado}
end;
procedure TSISTEMA.TIEMPO_INICIALClick(Sender: TObject);
begin
{si se activa el procedure guiar toma de aqui el tiempo inicial}
end;
procedure TSISTEMA.TIEMPO_FINALClick(Sender: TObject);
begin
{si se activa el procedure guiar toma de aqui el tiempo final}
end;
procedure TSISTEMA.NVA_AR_HH_MM_SSClick(Sender: TObject);
begin
{de aqui toma las coordenadas nuevas}
end;
procedure TSISTEMA.NVA_DEC_GG_MM_SSClick(Sender: TObject);
begin
{de aqui toma las coordenadas nuevas}
end;
procedure TSISTEMA.MANTIENE_HORA_INICIALClick(Sender: TObject);
begin
{si caption = true entonces mantiene la hora inicial como la hora actual}
end;
procedure TSISTEMA.ENVIAR_AL_TELESCOPIOClick(Sender: TObject);
begin
{si boton = true entonces se llama a la utileria externa de envio}
end;
procedure TSISTEMA.CORREGIRClick(Sender: TObject);
begin
{Las correcciones se enlistan en una utileria externa, y son llamadas desde caption}
end;
end.

```

Los procedimientos de envío y corrección se pueden consultar en el cubículo de la sociedad de astronomía de la ENEP Aragón.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## 4.2.1 INTERFAZ DEL USUARIO

FECHA -----		HORA-----		LOCALIZACION_DEL_LUGAR				CORREGIR		
DD_MM_AAAA	HH_MM_SS	LONGITUD		LATITUD		<input type="checkbox"/> CORRECCIONES		<input type="checkbox"/> HORARIO_DE_VERANO		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> ACTUALIZAR				
TIEMPOS								NUEVAS_COORDENADAS_ECUATORIALES		
DIA_JULIANO								NVA_AR_HH_MM_SS	NVA_DEC_GG_MM_SS	
<input type="text"/>								<input type="text"/>	<input type="text"/>	
TIEMPO_SIDERAL_DF								<input type="button" value="ACTUALIZA"/>		
<input type="text"/>								ENVIAR_AL_TELESCOPIO		
COORDENADAS_ECUATORIALES-----								<input type="button" value="ENVIAR"/>		
AR_HH_MM_SS		DEC_GG_MM_SS		GUIADOR-----						
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> GUIAR						
				<input type="checkbox"/> MANTIENE_HORA_INICIAL IGUAL_A_HORA_ACTUAL						
COORDENADAS_HORIZONTALES ----								TIEMPO_INICIAL		TIEMPO_FINAL
AZ_HH_MM_SS		ALT_HH_MM_SS		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		

FIG. 64. PANTALLA DEL USUARIO

## 4.2.2 COMENTARIOS DEL PROGRAMA

Este es un algoritmo para el seguimiento de la estrella que se desee observar a lo largo de la noche:

Solicitamos los datos de la estrella, como son AR , Dec,

Se calcula el Azimut y altitud en ese momento

Se manda el telescopio a dicha posición

Se da la opción de guiado

Se calcula el tiempo de puesta de la estrella (paso por el horizonte)

Se calcula el azimut y altitud para este punto (restando el máximo permisible de inclinación)

Con las coordenadas se restan los valores obtenidos, y se obtiene la velocidad de los motores.

Se mantiene guiado mientras no se reciba la interrupción de señal, y se mande el telescopio a otra posición.

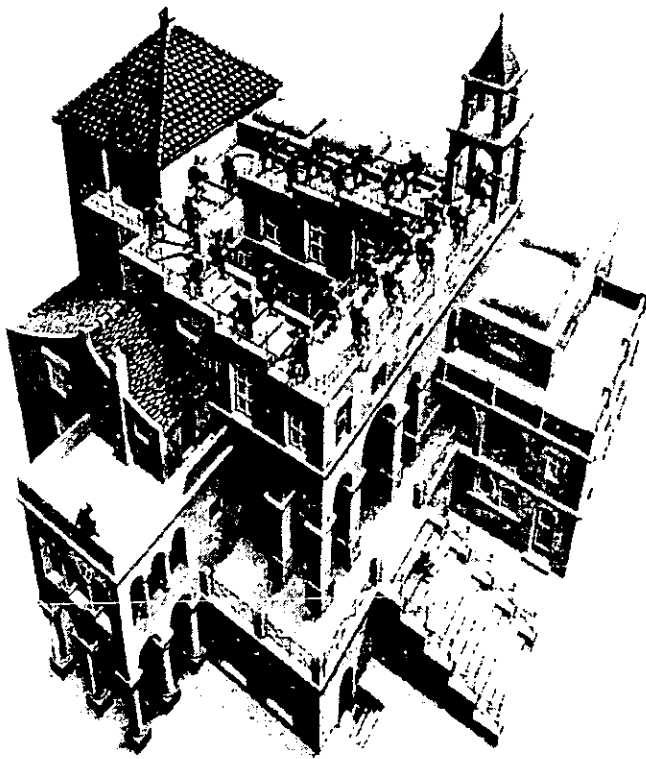
## 4.3 REFERENCIAS

Los textos utilizados en este capítulo fueron: COSMOGRAFÍA Y ASTROFÍSICA, APRENDIENDO DELPHI EN 14 DIAS, ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL

# CAPÍTULO

## 5

### PRUEBAS APLICACIONES Y CONCLUSIONES



**"ASCENDER Y DESCENDER"  
MAURITS CORNELIS ESCHER**

**"LOS JÓVENES TRABAJANDO  
POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN  
MÉXICO MEJOR"**

**LEMA DEL CONSEJO  
CONSULTIVO JUVENIL DE LA  
FUNDACIÓN DE APOYO A LA  
JUVENTUD**

## CAPITULO V PRUEBAS, APLICACIONES Y CONCLUSIONES

### 5.1 PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA (PROBLEMAS, OBSERVACIONES Y COMENTARIOS)

Las pruebas realizadas al sistemas son las siguientes:

#### 5.1.1 CODIFICADOR DE POSICIÓN:

A este elemento se le realizo una prueba de la codificación que realiza al moverse el telescopio.

##### Procedimiento

Al avanzar el giro de los ejes se cierra un interruptor, este manda señal correspondiente en binario, la cual es recogida por un comparador que confirma la posición en que se encuentra (se realizo por medio de una simulación con interruptores, ya que este sistema quedara ensamblado en el telescopio con detectores ópticos, y aun no esta terminada la estructura metálica).

##### Problemática

Uno de los problemas que mostró el sistema es que se encuentra un poco desfasado con respecto a la posición real y esta a su vez con la señal que manda el microcontrolador, este defasamiento se puede ver en la gráfica.

Otro problema es el ancho del pulso, ya que se debe de hacer coincidir con el que manda el microcontrolador.

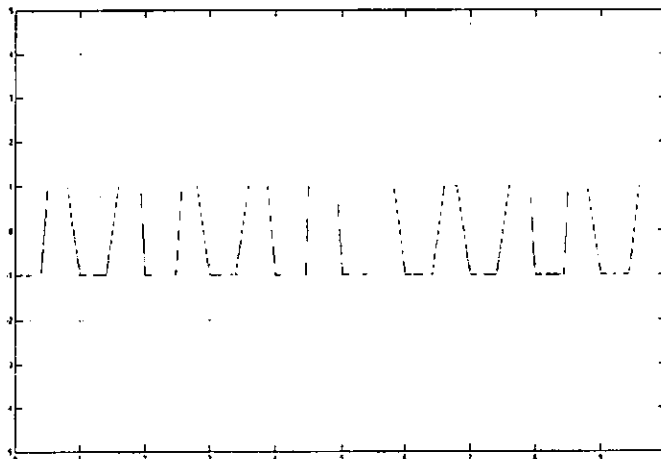


FIG. 65 GRÁFICA EN EL OSCILOSCOPIO DEL CODIFICADOR SIGUIENDO UN PULSO



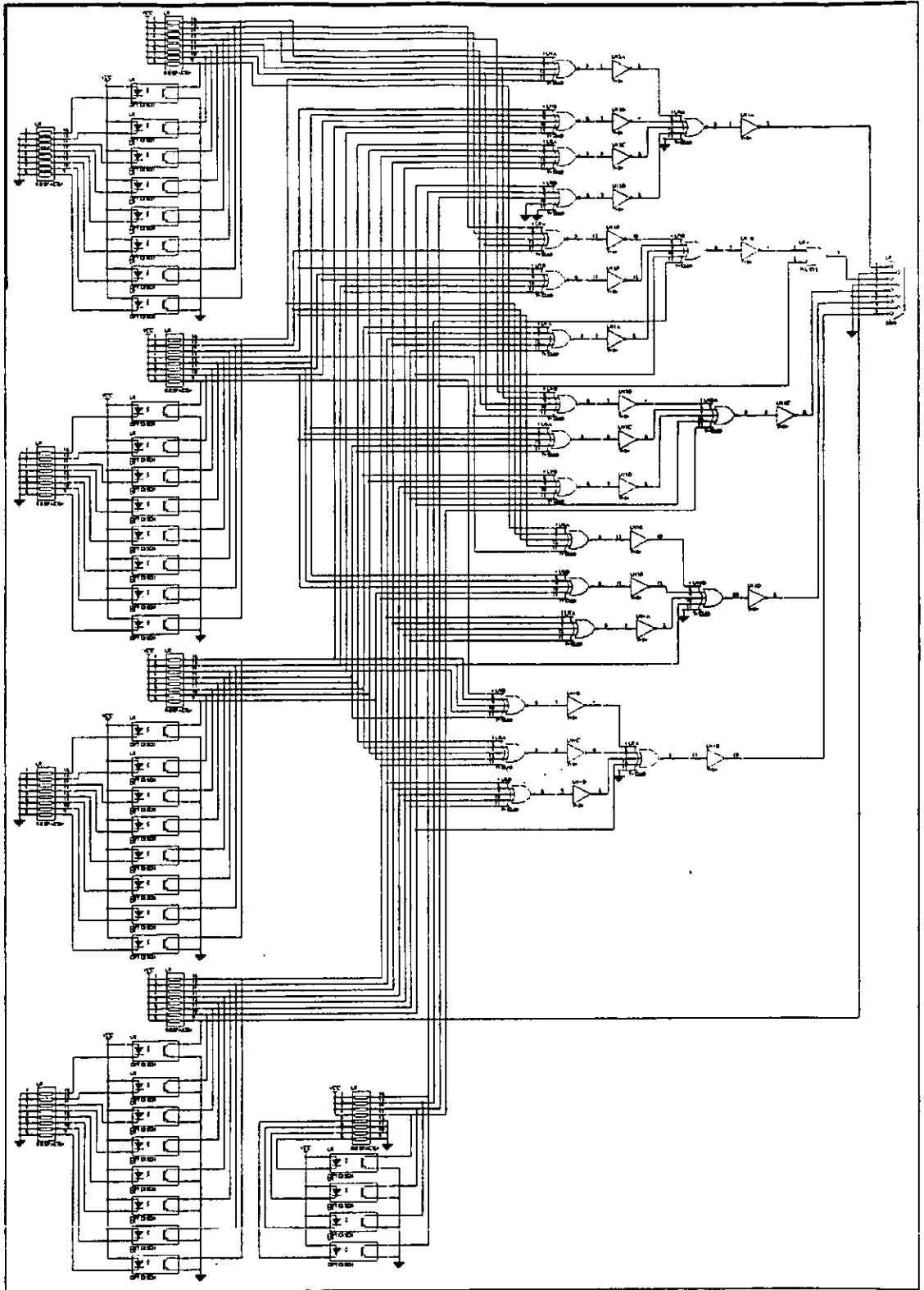


FIG. 66. CIRCUITO DEL CODIFICADOR DE POSICIÓN.

### **5.1.2. INTERFAZ DE LA PC AL SISTEMA:**

A esta tarjeta se le realizaron pruebas en su codificación, se verificaron las direcciones con las que mete y saca datos en el puerto paralelo, gasto de energía, para registrar la cantidad de corriente que se utiliza.

#### **Procedimiento**

Se conecto la tarjeta a una fuente, se le midió la corriente que consume, posteriormente se le dio una palabra en el bus de datos, y una serie de direcciones, para verificar que se canalizaran al periférico adecuado.

#### **Problemática**

La problemática que presento fue mínima, solo se requirió de cambiar de fuente, ya que la fuente con la que se inicio solo proporcionaba 200 mA, y se requerían cerca de 300 mA.

### **5.1.3. TARJETA DEL HC11**

A esta tarjeta se le realizaron pruebas de que funcionara adecuadamente, para correr los programas que se le introdujeron, verificando su velocidad de respuesta, y sincronía con el sistema.

#### **Procedimiento**

Se conecto la tarjeta, y se mando el programa desde la PC, (verificado previamente en la tarjeta de evaluación), se verificaron las señales recibidas, y devueltas.

#### **Problemática:**

La problemática de esta sección fue aislar el ruido ya que la transmisión no era muy clara, se cambio de un conector hecho por uno comprado, supuestamente aislado, y se aisló la tarjeta para evitar interferencias.

### **5.1.4. TARJETA DEL LM628**

A este elemento se le realizaron las pruebas respectivas para evaluar el movimiento del motor, se verifico que se moviera el motor a la velocidad deseada, así como a la posición

#### **Problemática**

Se presento un poco de resistencia para acoplarse con el HC11 ya que es de otra marca y sus mnemónicos son diferentes, y su velocidad de transmisión es también diferente, y se busco una velocidad que ambos aceptaran.

## 5.2. APLICACIONES DEL SISTEMA EN OTROS CAMPOS

Dentro de las aplicaciones que el presente trabajo puede generar o en las que se pueden aplicar están:

- a) Por el uso de control de motores para posicionamiento
- b) Por el uso de microcontroladores
- c) Por la conexión con la PC

### 5.2.1. APLICACIONES DADO EL USO DE CONTROL DE MOTORES PARA POSICIONAMIENTO

1.- Robots: Los robots los podemos clasificar de diferentes formas.

#### a) Cartesianos

Tienen sus ejes referidos a un plano cartesiano x, y, z permitiendo moverse a puntos específicos del plano, a diferentes alturas.

También existen robots con estas características que acomodan piezas, a pantógrafos diseñar y dibujar piezas que pasaran posteriormente a fresadoras y tornos que cortaran diferentes piezas de acuerdo a la necesidad de cada elemento

#### b) Cilíndricos

El movimiento de estos esta referido a un desplazamiento en el eje z, a un alargamiento o reducción del radio de acción y a una apertura de un ángulo, por medio del cual se posición en la coordenada adecuada, se usan generalmente para procesos repetitivos de mover piezas de un lado a otro.

#### c) Esféricos

El movimiento en este tipo de robot es el mismo del telescopio pero con mayor complejidad en cuando a que puede tener otros parámetros, ya que utiliza un movimiento rotacional en la base (azimut), con la apertura de un ángulo (altitud), además de la rotación del eje de trabajo (rotador de campo), y de la ampliación del eje de trabajo, pero a diferencia del telescopio este mantiene una rutina de trabajo más veloz.

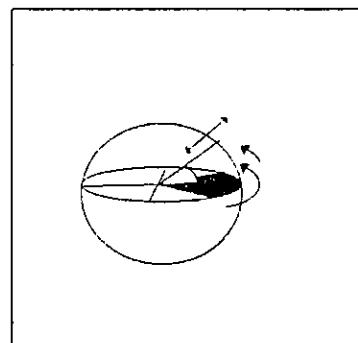
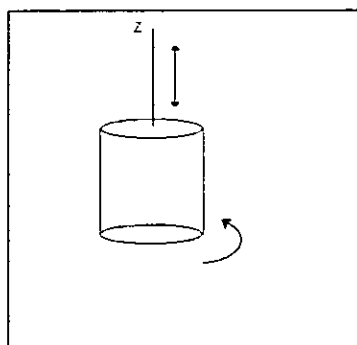
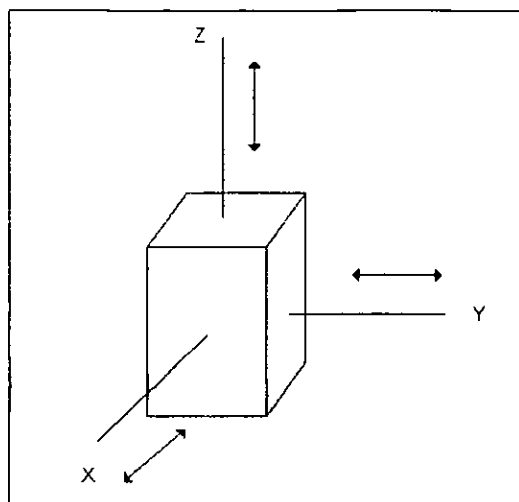


FIG. 67. ROBOTS XYZ, CILÍNDRICOS Y ESFÉRICOS.

#### d) Brazos

El brazo de robot tiene una cantidad de movimientos tan complejos como se desee tener, ya que tiene  $n$  grados de libertad, por ejemplo un brazo con características humanas tiene hasta 6 ejes, que serían: la base (esta puede girar y abrirse), el codo (solo abre), la muñeca (jira y abre), y la mano (abre y cierra). Sus aplicaciones son muy variadas, generalmente se ocupan en lugares donde el hombre no puede tener acceso, por la peligrosidad del material que se ocupa, como es en la industria química, o donde se necesita de fuerza mayor a la humana, como en la industria automotriz.

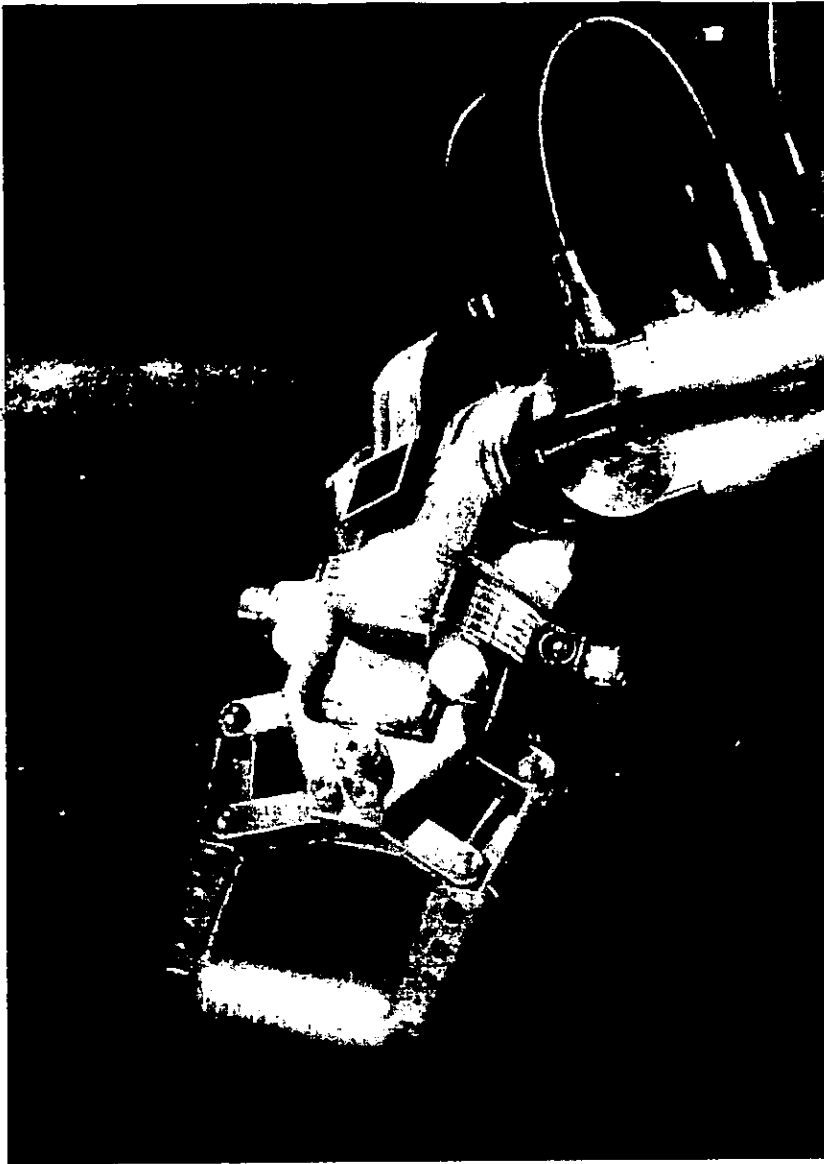


FIG. 68. BRAZO DE ROBOT.

## 2.- Antenas parabólicas

Estas ocupan los mismos movimientos esféricos que el telescopio, con la misma velocidad, coordenadas, precisión y exactitud que el telescopio, solo que su peso es muy bajo y no tiene los problemas de correcciones que presenta el telescopio.

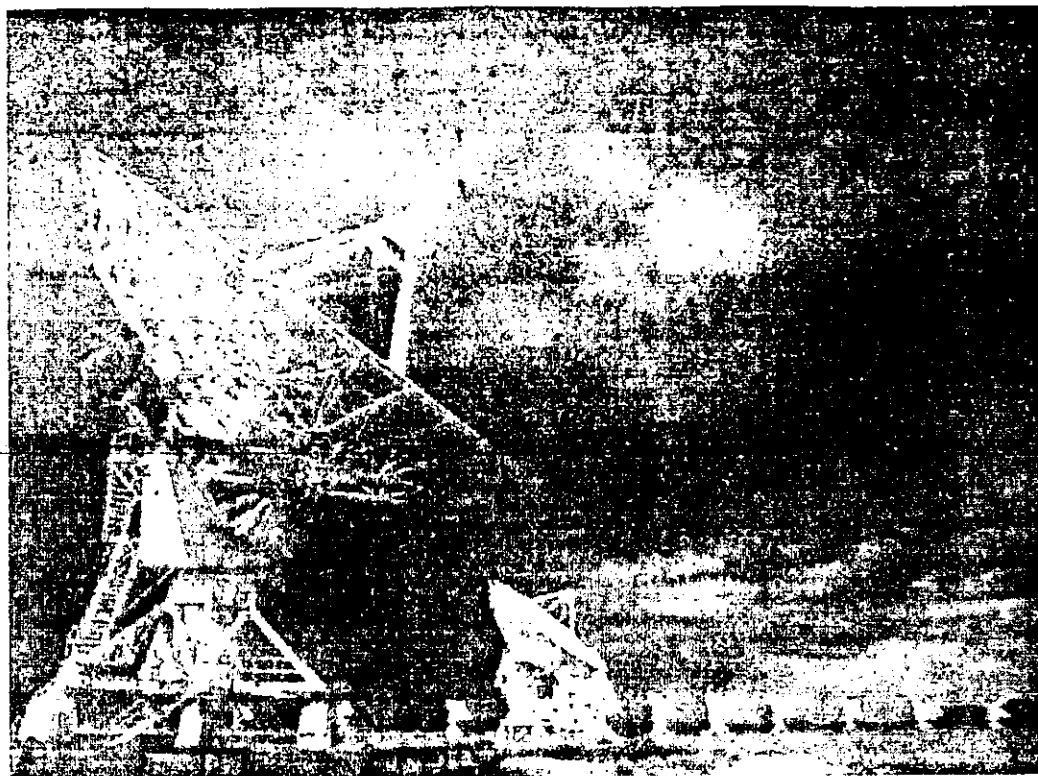


FIG. 69. ANTENAS

### 3.- Maquina de control numérico

Estas generalmente se clasifican dentro de los robots cartesianos descritos anteriormente.

### 5.2.2. APLICACIONES POR EL USO DE MICROCONTROLADORES Y POR LA CONEXIÓN CON LA PC.

#### 4.-PLC

Los PLC (computadora lógica programable o controlador lógico programable) son las computadoras de uso industrial, ya que se programan en una forma muy elemental para que permitan el accionamiento o deshabilitación de un equipo o un sistema.

En su arquitectura interna un PLC esta constituido por un microcontrolador que a partir de una comunicación serial se puede programar, mandando datos de salida en forma paralela a través de optoacopladores, siendo éstas señales de corriente directa acopladas de voltajes de 5 V o 15 V al valor que maneje el equipo en uso.

El lenguaje de programación que ocupan los PLC es programación de escalera, o con programación de mnemónicos, o en ensamblador, y las funciones que realiza son cerrar y/o abrir interruptores, usar contadores tanto de tiempo como de ejecuciones.

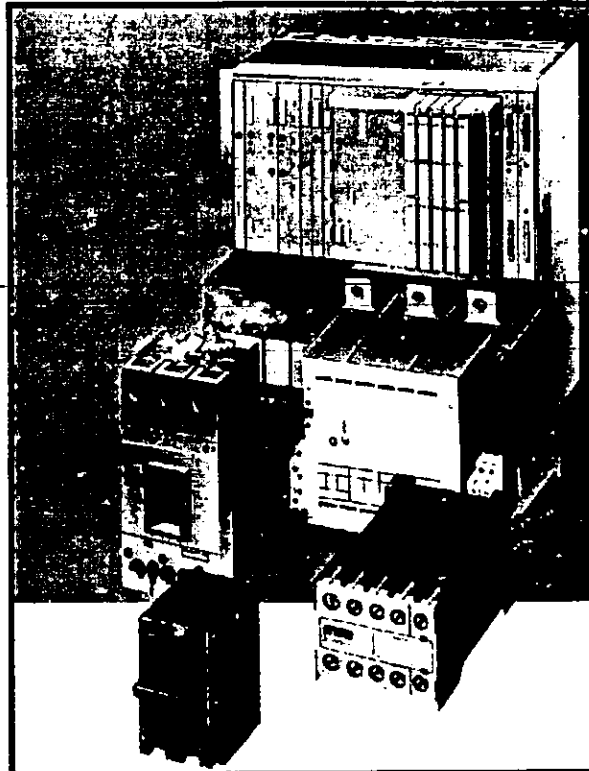
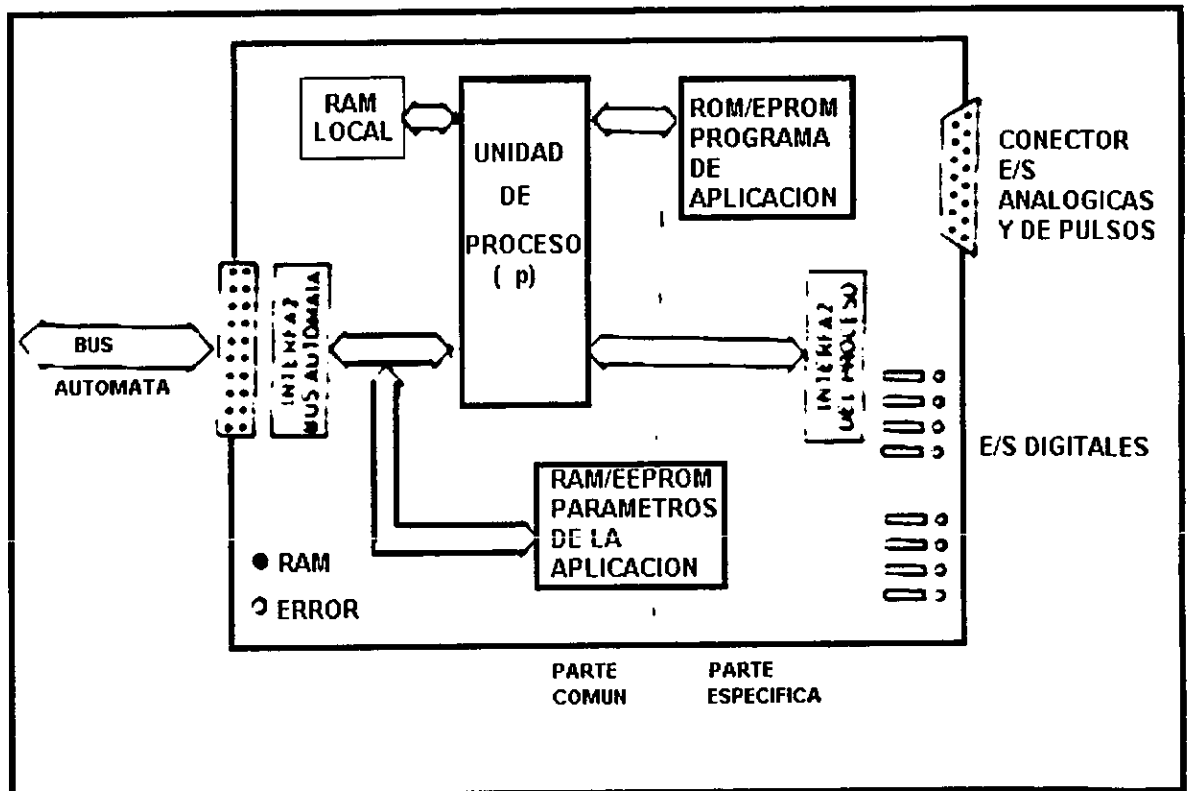


FIG. 70 A . ARRIBA PLC Y ABAJO DIAGRAMA A BLOQUES DE UN PLC



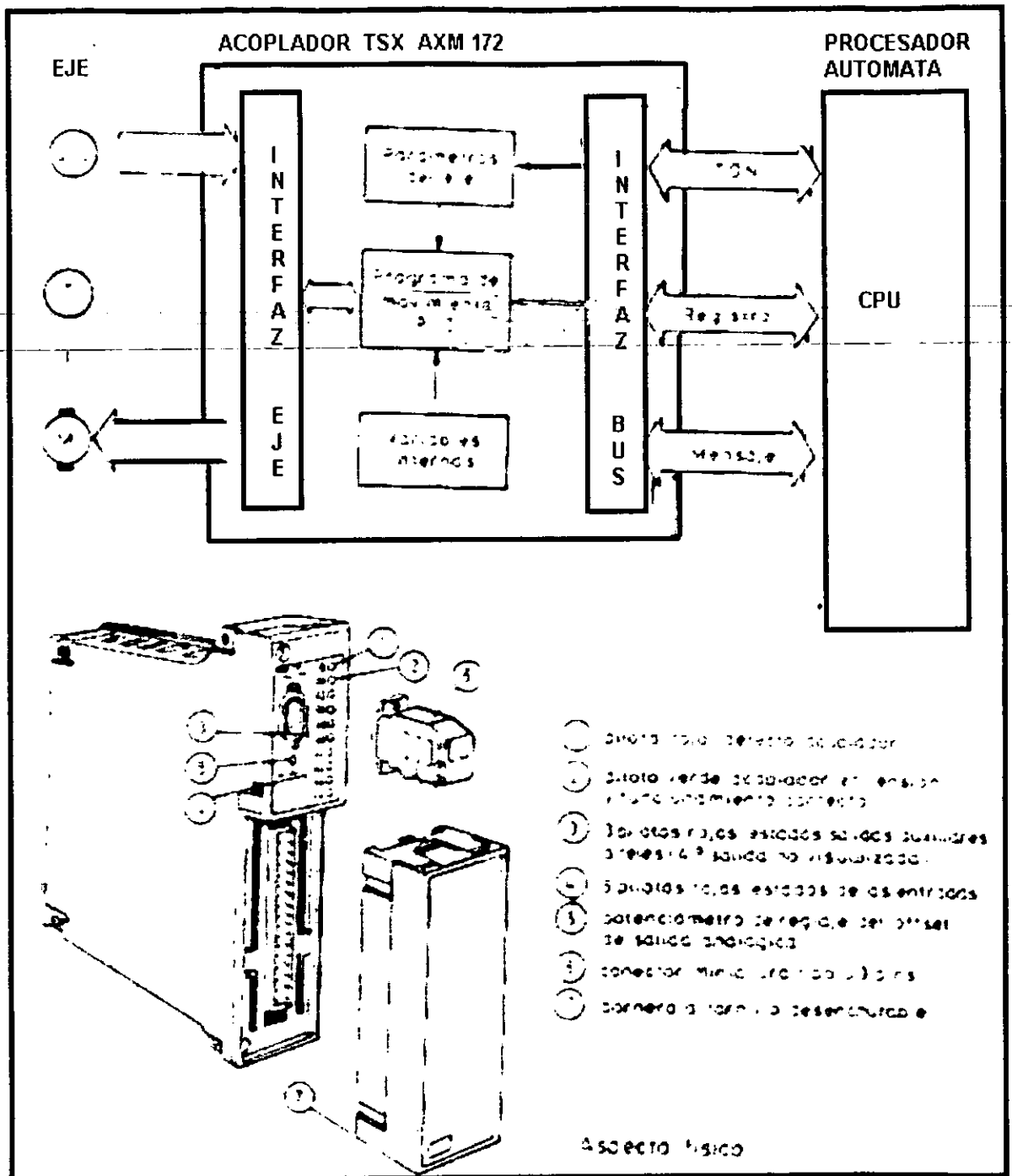


FIG. 70 B. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN PLC

Estas aplicaciones pueden diferir en: la programación (parámetros, lenguaje y estilo), en la forma de controlar a lo motores (puede ser directo de la PC, por circuitos electrónicos, o transistores), en el microcontrolador, ya que puede ser de otra familia o de otra marca, etc.



### 5.3 CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo presentado podemos concluir lo siguiente:

La astronomía y la ingeniería son dos disciplinas que están íntimamente ligados, un astrónomo siempre necesitará de un ingeniero para desarrollar sistemas mas actualizados, con mejoras, ópticas, mecánicas, electrónicas, etc.

El telescopio que desarrollo tiene ventajas mecánicas y ópticas, con respecto a otros telescopios del mismo tamaño, ya que siendo cassegrain reduce considerablemente el tamaño del tubo, reduce flexiones, entre otros.

El foco Nasmyth nos permite tener dos puntos para observar, dejando además un camino para futuras investigaciones sobre ese control.

Permitirá de acuerdo al modelo Magallanes realizar pruebas físicas y de comportamiento, ya que es escalado 1 - 20

El sistema de control modular o control distribuido, posteriormente permitirá ensamblar diversos subsistemas, independiente, temas de futura investigación.

La estructura fue escalada, con el mismo diseño Serrurier, y tiene un peso aproximado de 100 Kg., y esta elaborada con aluminio.

Se propone un algoritmo para el rotador de campo, permitiendo que la imagen no se distorsione.

Las características ópticas mas optimas que encontré para el telescopio son las de un telescopio Gregoriano en montura alta - azimutal

La consola controla los ejes de azimut, altitud, y al rotador de campo, además de contar con la posibilidad de comunicarse a la paleta manual.

El control modular se realiza con microcontroladores de la familia MC68HC11, que se comunicaran entre si y a una PC por el puerto serial con un formato de RS-232, permitiendo así mantener a la PC desocupada y permitiendo dedicarla a otras tareas.

Se cierra el lazo de retroalimentación con codificadores de posición absolutos.

El control de los motores de CD es desarrollado con un sistema PID (proporcional, integral, diferencial) integrado con sistema basado en el controlador de motores LM628.

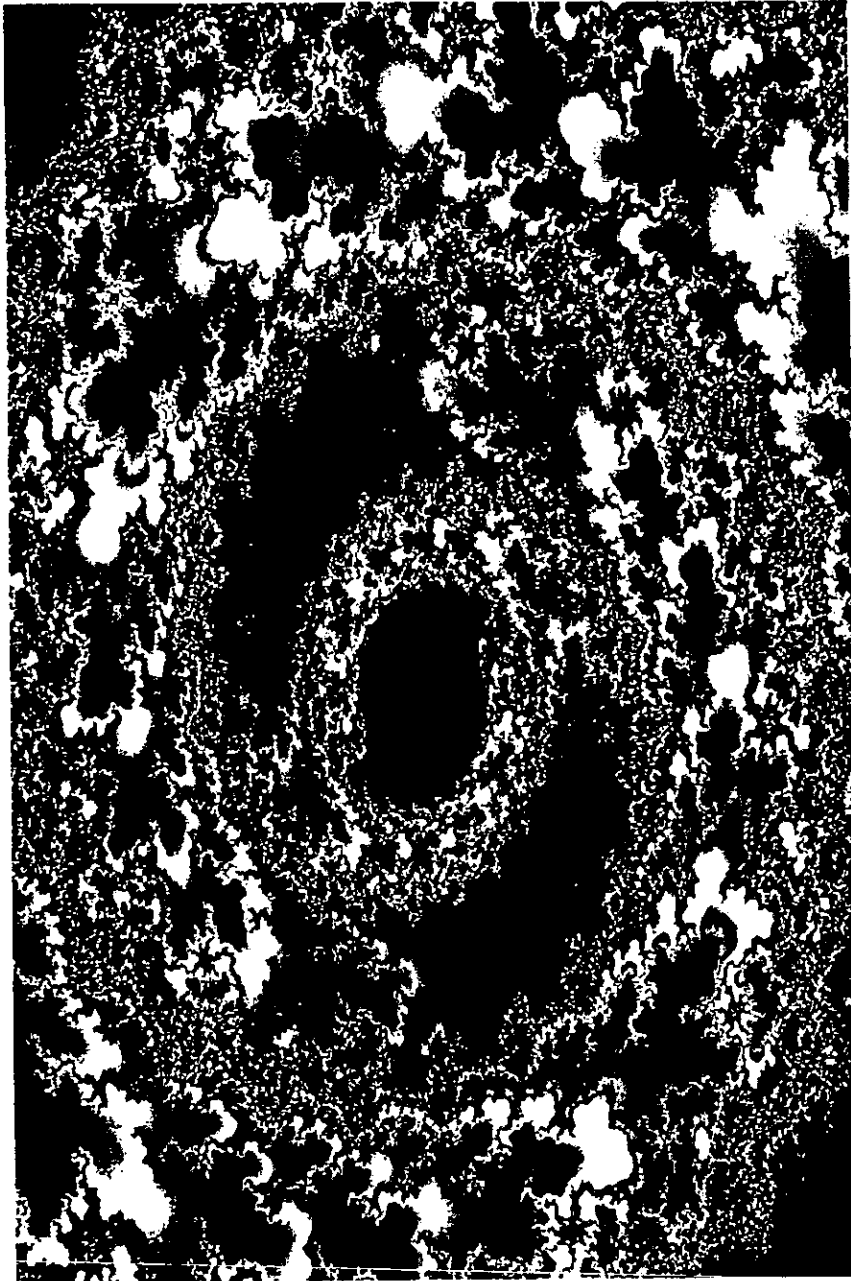
Los motores de pasos son codificados en su posición igual a los motores de CD para evitar cualquier perdida de datos en su movimiento.

## 5.4 REFERENCIAS

Los textos relacionados con robots fueron tomados de los diversos libros de **CONTROL**, así como del de **AUTOMATAS PROGRAMABLES**, y las referencias a la interfaz del texto **INTERFACING TO THE IBM PERSONAL COMPUTER**, así como de los cursos tomados en el Instituto de astronomía.

---

# BIBLIOGRAFÍA



FRACTAL  
APORTACIÓN ANÓNIMA

FERMAT'S LAST THEOREM  
STATES THAT

$$x^n + y^n = z^n$$

HAS NO NON-ZERO  
INTEGER SOLUTIONS FOR  
X, Y AND Z WHEN  $n > 2$ .

FERMAT WROTE :

" I HAVE DISCOVERED A  
TRULY REMARKABLE  
PROOF WHICH THIS  
MARGIN IS TOO SMALL TO  
CONTAIN."

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS, MANUALES, FOLLETOS, REVISTAS, REPORTES TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS

- **MORENO CORRAL, MARCO ARTURO. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, COLECCIÓN LA CIENCIA DESDE MÉXICO VOL. 4, 2A. EDICIÓN, 1996.**
- **MALACARA, DANIEL Y JUAN MANUEL MALACARA. TELESCOPIOS Y ESTRELLAS. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, COLECCIÓN LA CIENCIA DESDE MÉXICO VOL. 57, 1A. EDICIÓN, 5A REIMPRESIÓN, 1996.**
- **THORNTON, PAGE & LOU WILLIAMS PAGE. TELESCOPES. VOL. 4 SKY AND TELESCOPE LIBRARY OF ASTRONOMY, MACMILLAN PUBLISHING CO. INC. NEW YORK, 7TH PRINTING. 1973**
- **MOSQUEIRA R., ING SALVADOR. COSMOGRAFÍA Y ASTROFÍSICA, EDITORIAL PATRIA, 3A. EDICIÓN 1966**
- **PEATMAN, JOHN B., DESIGN WITH MICROCONTROLERS. MC GRAW HILL BOOK COMPANY. 1988.**
- **MINASI, MARK. GUÍA COMPLETA DE MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DE LA PC. ED VENTURA 1994**
- **LEWIS C. EGGBRECHT. INTERFACING TO THE IBM PERSONAL COMPUTER. HOWARD W. SAMS & CO. 1987**
- **OYARZABAL, JUAN B. DE. ENSAYOS SOBRE MECÁNICA CLÁSICA. FACULTAD DE CIENCIAS UNAM. 1984.**
- **OGATA, KATSUHIKO. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. EDITORIAL PRENTICE HALL. 1990.**
- **OGATA, KATSUHIKO. SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO. EDITORIAL PRENTICE HALL. 2A. EDICIÓN 1996.**
- **GENE F. FRANKLIN, J. DAVID POWEL, ET AL. CONTROL DE SISTEMAS DINÁMICOS CON RETROALIMENTACIÓN. EDITORIAL ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA. 1991.**
- **DISTEFANO, STUBBERUD Y WILLIAMS. RETROALIMENTACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL. EDITORIAL MC GRAW HILL. 2A. EDICIÓN**
- **BALCELLS, JOSEP, JOSÉ LUIS ROMERAL. AUTOMATAS PROGRAMABLES, SERIE MUNDO ELECTRÓNICO. EDITORIAL MARCOMBO, BARCELONA.**
- **MARTÍNEZ PÉREZ, JAVIER, MARIANO BARRÓN RUIZ. PRACTICAS CON MICROCONTROLADORES (FAMILIA 8051) Y APLICACIONES INDUSTRIALES. EDITORIAL MC GRAW HILL**

- OSIER, BATSON Y GROBMAN. **APRENDIENDO DELPHI EN 14 DIAS**. EDITORIAL PRENTICE HALL.
- FLORES GUTIÉRREZ, FIS. J. DANIEL. **ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL**. UNAM. 1996, 1997, 1998, 1999, 2000.
- M68HC11: **HC11 REFERENCE MANUAL (M68HC11RM/AD)**. MOTOROLA 1991
- M68HC11A8: **HC11 TECHNICAL DATA (M68HC11A8/D)** . MOTOROLA 1991
- M68HC11 E SERIES: **HC11 TECHNICAL DATA (M68HC11E/D)**. MOTOROLA 1995
- M68HC11EVB: **HC11 EVALUATION BOARD USER'S MANUAL (M68HC11EVB/D)**. MOTOROLA 1996
- M68HC11EVBU: **HC11 UNIVERSAL EVALUATION BOARD USER'S MANUAL (M68HC11EVBU/AD1)**. MOTOROLA 1990
- **GALIL MOTION CONTROL PRODUCT CATALOG**. GALIL 1996.
- **LOW POWER SCHOTTKY TTL**. MOTOROLA 1977.
- **FAST AND LS TTL DATA**. MOTOROLA 1992.
- **NTE SEMICONDUCTORES 6TH EDITION**. 1992
- **ECG SEMICONDUCTORES MASTER REPLACEMENT GUIDE**. 1996 EDITION
- **GUÍA DE COMPRAS DICOPEL**, 1997.
- **MODEL PCL - 750 PROTOTYPE DEVELOPMENT CARD**
- **MC68HC11 EEPROM PROGRAMING FROM A PERSONAL COMPUTER (AN1010/D)**. MOTOROLA 1988
- **INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL, UNAM**
- **SÁNCHEZ PADILLA, ESTEBAN. NUEVA TECNOLOGÍA Y TELESCOPIOS**. REVISTA ILHUICATL NO. 1, ENEP ARAGÓN, UNAM. FEBRERO 1995. P 17
- **ÁNGELES URIBE FIS. FERNANDO. TONANTZINTLA**. REVISTA ILHUICATL NO. 2, ENEP ARAGÓN, UNAM. ABRIL 1995. P 12 Y 13
- **SÁNCHEZ PADILLA, ESTEBAN, JUAN CARLOS QUINTAS, JAVIER ALAIN MORONES CAMACHO. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO**. REVISTA ILHUICATL NO. 2. ENEP ARAGON, UNAM. ABRIL 1995. P 14 Y 15
- **GLOSARIO DE TÉRMINOS ASTRONÓMICOS**. REVISTA ILHUICATL NO. 3. ENEP ARAGON, UNAM. AGOSTO 1995. P 17

- **QUINTAS DE LA PARRA. JUAN CARLOS. TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA. REVISTA ILHUICATL NO. 4. ENEP ARAGON, UNAM. ENERO 1996. P 10, 11 Y 12**
- **GLOSARIO DE TÉRMINOS ASTRONÓMICOS. REVISTA ILHUICATL NO. 4. ENEP ARAGON, UNAM. ENERO 1996. P 17**
- **SÁNCHEZ PADILLA, ESTEBAN. NUEVA TECNOLOGÍA Y TELESCOPIOS PARTE 4. REVISTA ILHUICATL NO. 4. ENEP ARAGON, UNAM. ENERO 1995. P 28, 29 Y 30**
- **REPORTE DE LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO ANTE CONACYT**
- **PERSONAL DEL IA. RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO DE MODIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL TELESCOPIO OPTICO/ INFRARROJO MEXICANO DE NUEVA TECNOLOGÍA: TIM, COMUNICACIÓN INTERNA 96/02, JULIO DE 1996**
- **GUNNELS, STEVEN M.. SUMARY OF THE PRELIMINARY DESIGN OF THE 6.5 METER TELESCOPE, NO. 36 OCTOBER 1992**
- **JONGE, PETER DE, MATT JOHNS AND STEVE. SHECTMAN. CONTROL SYSTEM DESIGN REQUIREMENTS FOR THE MAGELLAN 6.5 METER TELESCOPES. JANUARY 30 1995**

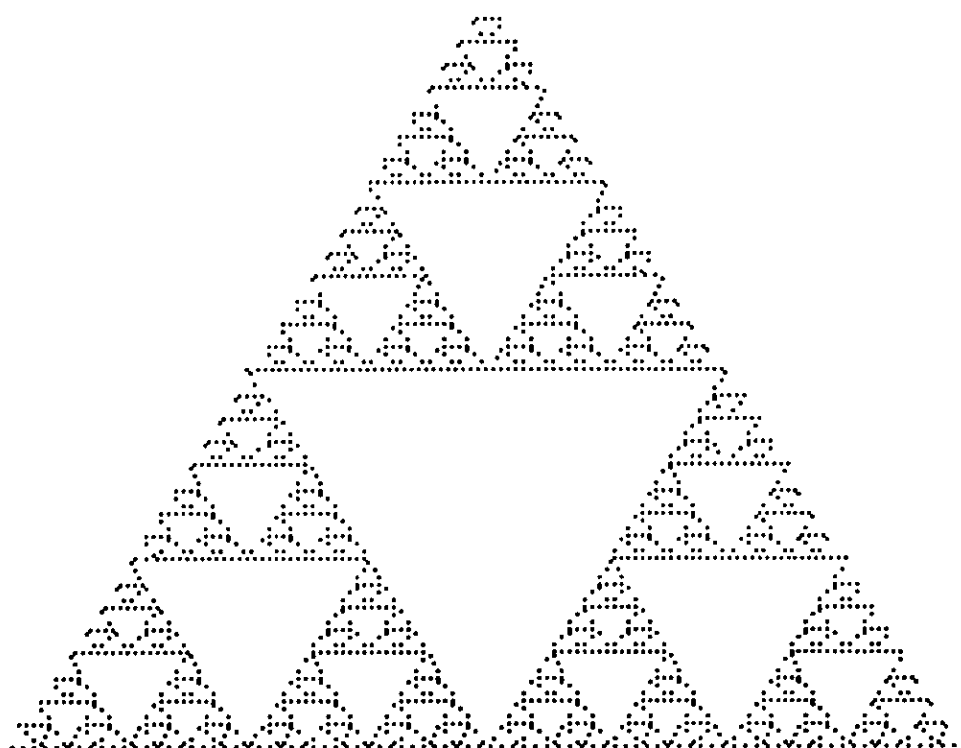
#### **FUENTES VIVAS**

##### **(CONFERENCIAS, CURSOS Y APORTACIONES PERSONALES)**

- **CICLO: LA ASTRONOMÍA DEL SIGLO XXI 1994, HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO POR: M. EN C. JOSÉ H. PEÑA I. A. UNAM**
- **CICLO: SEGUNDAS JORNADAS DE INGENIERÍA 1995, TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA. POR: DRA GLORIA KOENIGSBEGER I. A. UNAM**
- **REUNIÓN ANUAL 1997 DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA UNAM CU.**
- **REUNIÓN ANUAL 1998 DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA UNAM ENSENDA.**
- **SISTEMAS DE CONTROL Y ÓPTICA PARA TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA. IMPARTIDO EN LAS INSTALACIONES Y POR EL PERSONAL DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA DE LA UNAM, Y DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL. DEL 7 DE AGOSTO AL 20 DE OCTUBRE.**
- **TELESCOPIOS DE NUEVA TECNOLOGÍA, IMPARTIDO EN LAS INSTALACIONES DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA DE LA UNAM, POR EL FÍSICO ELFEGO RUIZ SCHNEIDER**
- **COSMOGRAFÍA, CURSO PARA ACTUALIZACIÓN Y FORTALECIMIENTO DE LA DOCENCIA DE LA DGAPA, IMPARTIDO EN LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS DE LA UNAM, POR EL LIC. MACARIO Y EL M. EN C. RAFAEL COSTERO.**

# APÉNDICE A

## EL MICROCONTROLADOR MC68HC(7)11



**FRACTAL TRIANGULO**

**"EL DEBER DE UN HOMBRE ESTA ALLÍ  
DONDE ES MAS ÚTIL"  
JOSÉ MARTÍ**

## APÉNDICE A

### EL MICROCONTROLADOR MC68HC11 ARQUITECTURA Y PERIFÉRICOS

#### Microcontroladores

Un Microcontrolador es un microprocesador que contiene en un mismo circuito integrado periféricos de entrada y/o salida, memoria, y en algunos casos también temporizadores, convertidores A/D, entre otros.

La Motorola ha fabricado microcontroladores de diversas capacidades, uno de los más poderosos es el HC11, este pertenece a la tecnología de alta densidad Metal Oxido Semiconductor Complementaria (HCMOS), tiene como cerebro un microprocesador 6800 mejorado, y tiene una cantidad considerable de derivados, para este trabajo en especial se utilizara el MC68HC11E9 / 711E9.

#### Descripción del Microcontrolador MC68HC11E9 / 711E9

El Microcontrolador MC68HC(7)11E9 se presenta en un formato de chip cuadrado de 52 pin, se presenta en 4 configuraciones, (single chip) chip simple, (expanded) expandido, (test) prueba y "bootstrap", estas permitirán explotarlo de diversas formas, el siguiente diagrama a bloques muestra como es la configuración y disposición de cada pin, y continuación describo el funcionamiento de estos. (utilizare la denominación "micro" cada vez que me refiera al microcontrolador)

#### VDD y VSS (Pin 26 y 1)

Las señales de alimentación VDD y tierra (gnd) VSS son representadas de esta forma, el micro opera con 5V, el manual menciona que cuando se manejan cambios de estado, el voltaje puede variar de 3.0 a 5.5 V aproximadamente para ser considerado un nivel lógico alto.

Cuando aparecen cambios de estado de corta duración es necesario mantener estable el VDD, el manual técnico y el de referencia recomienda utilizar una fuente especial para el micro o auxiliarse de capacitores de "bypass" con características adecuadas a la alta frecuencia.



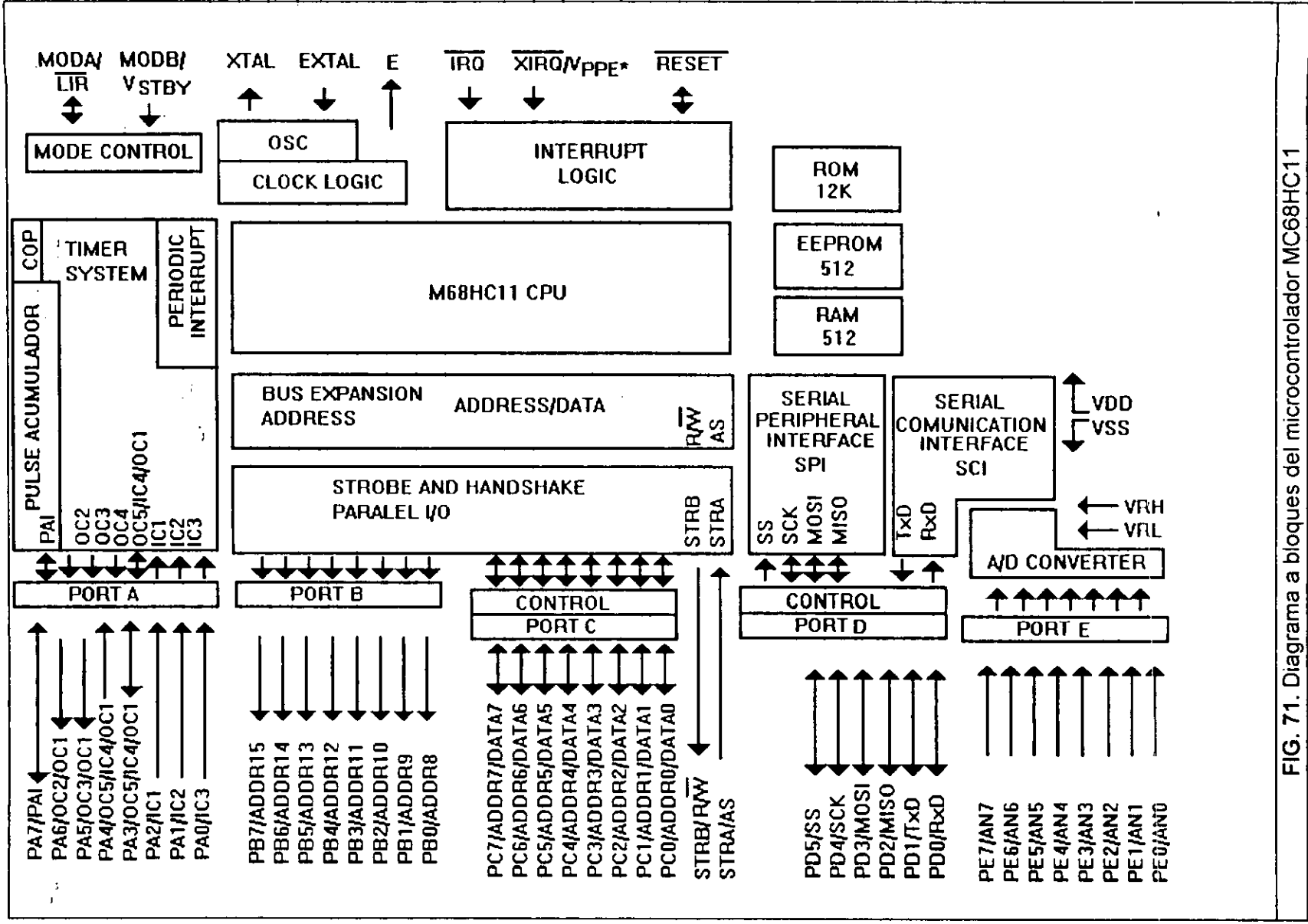


FIG. 71. Diagrama a bloques del microcontrolador MC68HC11

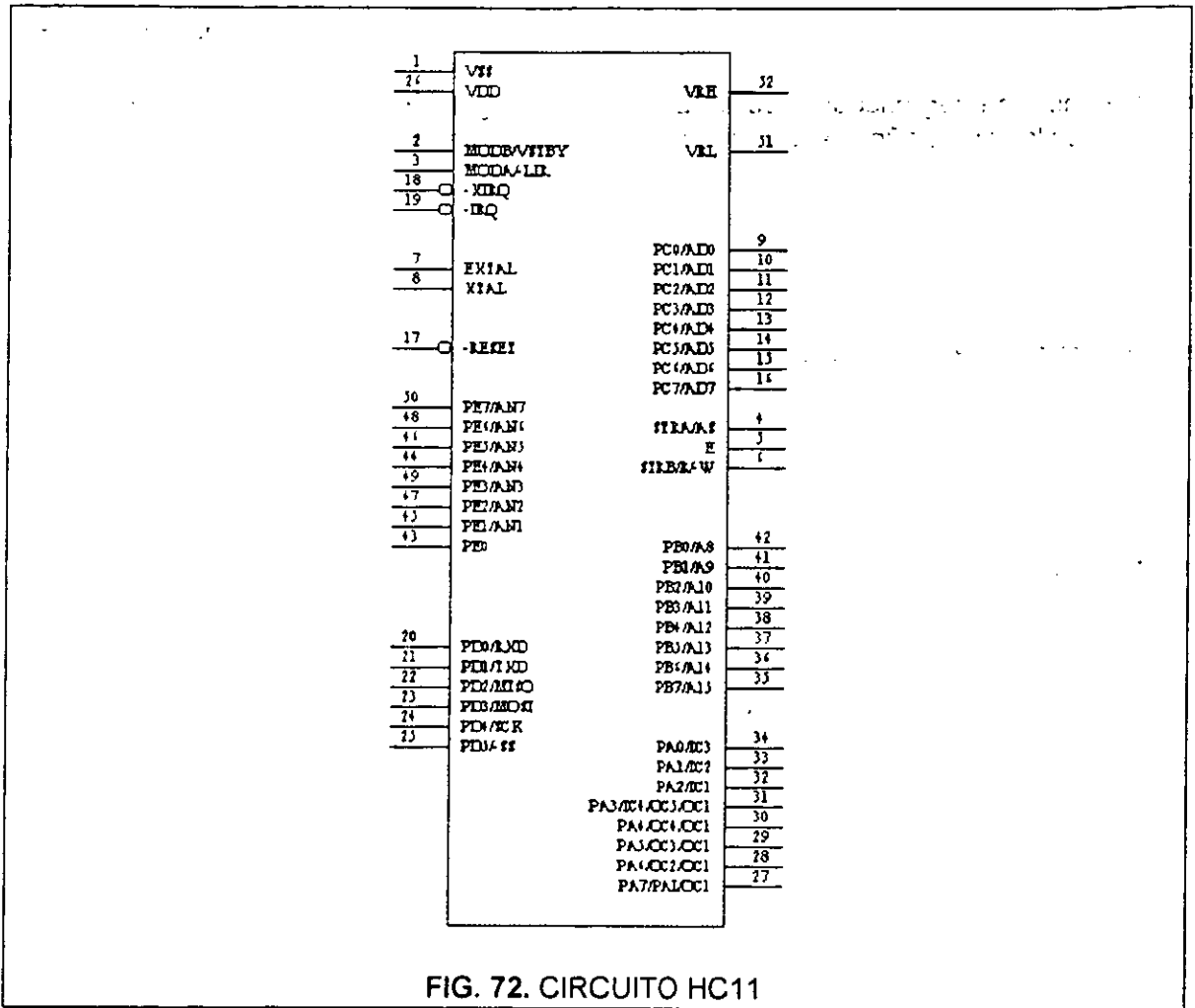


FIG. 72. CIRCUITO HC11

## RESET (Pin 17)

La señal de control reset no está definida como se considera generalmente, es bidireccional, actúa como entrada para inicializar el micro a un estado de inicio conocido, como salida actúa con la configuración de drenador abierto para indicar una falla interna detectada en el monitoreo del reloj o en el cómputo de una operación propia (COP) del circuito observador.

El micro distingue entre una señal de reset interna o externa por medio de un censo, cuando el pin cambia de un uno lógico a un bajo, tarda 2 ciclos de reloj E después de ocurrir el reset.

Nota del manual: no se deberá poner un circuito RC simplemente, ya que se malinterpretaría la señal debido al tiempo de carga propio del capacitor, por lo que se sugiere utilizar el circuito integrado MC34064.

Existen 2 configuraciones básicas para alambrear el reset , son:

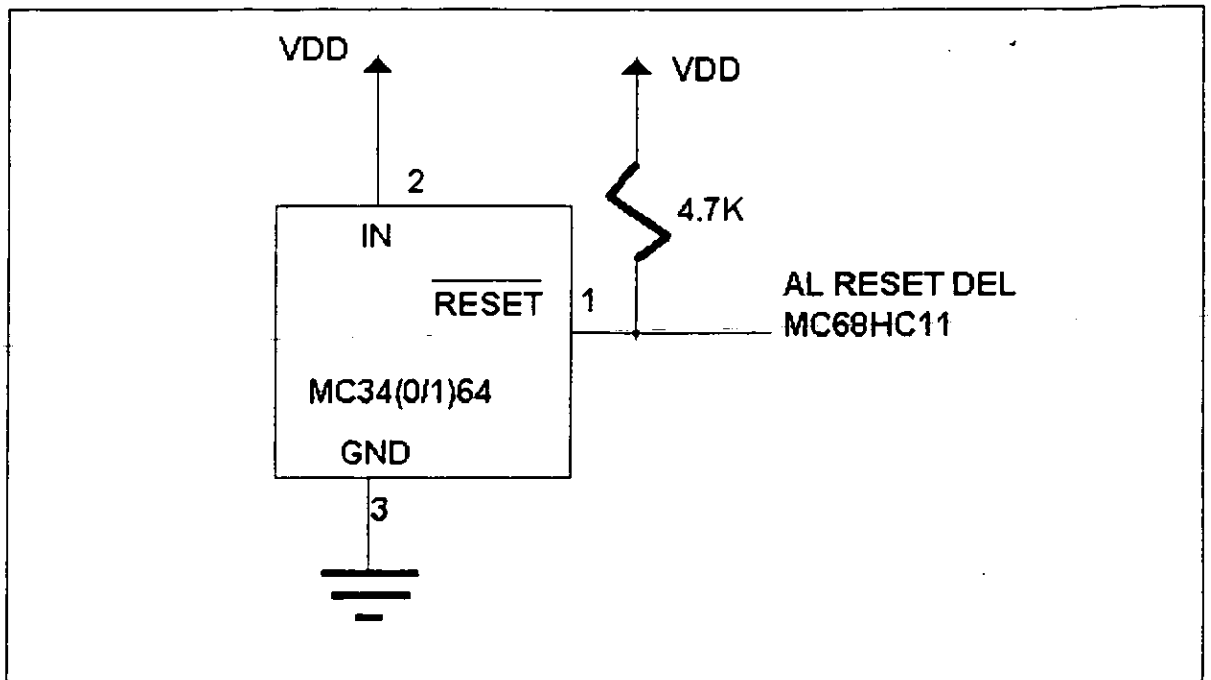
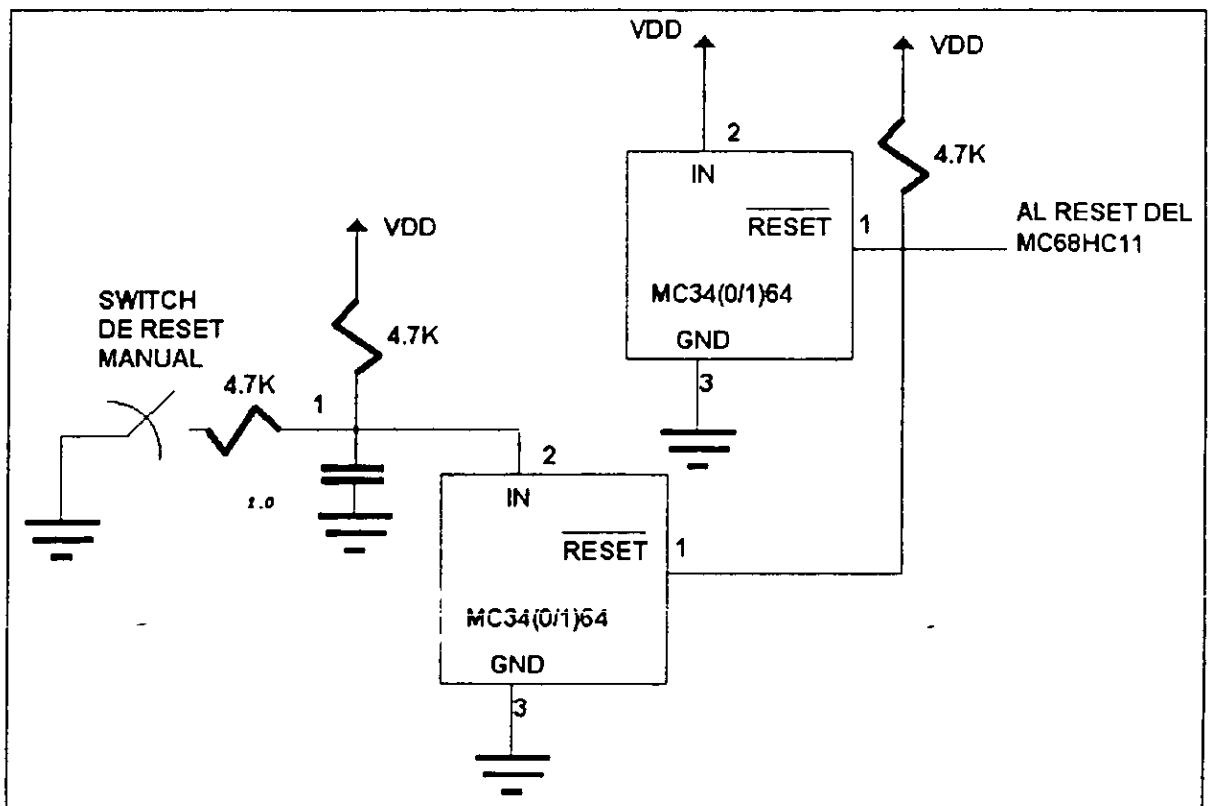


FIG. 73. RESET



## Manejador del cristal y entrada externa del reloj (xtal , extal) pin 8 y 7

Estos 2 pin son la interface entre el cristal o un reloj CMOS compatible con el de el micro. La frecuencia aplicada a estos pin es 4 veces mas alta que la de el pin E (la velocidad real es de  $\frac{1}{4}$  de la frecuencia aplicada). Cuando se maneja una señal de otro CMOS se conecta al pin extal, mientras que la xtal queda al aire.

Con una resistencia entre 10K y 100K se reduce la emisión de ruido de RFI

La salida xtal es normalmente configurada para utilizar un solo cristal, puede ser utilizado un buffer con alta impedancia, o puede utilizarse para manejar la entrada extal de otro microcontrolador HC11.

Se puede conectar en las siguientes configuraciones:

- Modo simple
- Con oscilador externo
- Con un cristal para 2 microcontroladores.

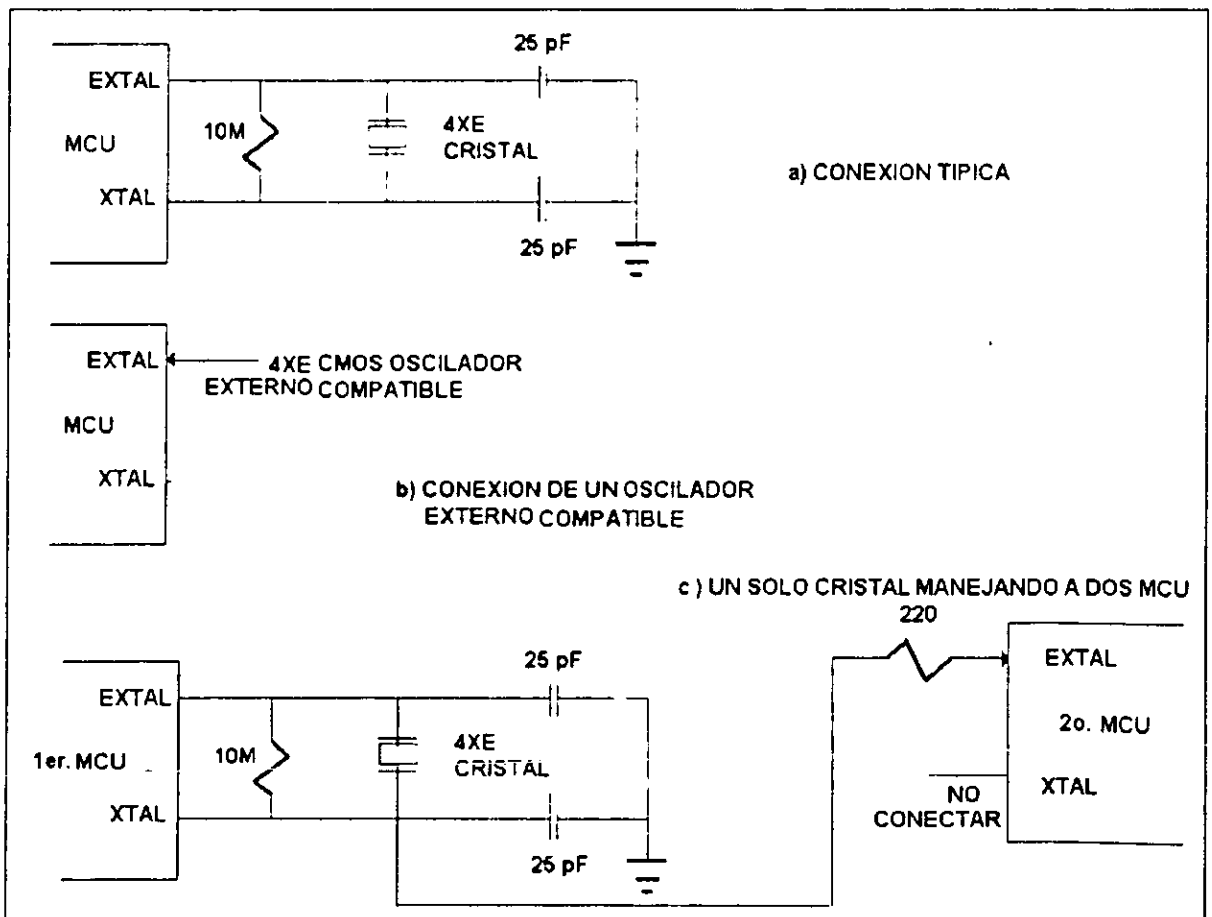


FIG. 74.

### Salida de reloj E (pin 5)

E es la conexión de salida para el pulso generado internamente, esta señal es utilizada como referencia, es un pulso a un cuarto de la señal del xtal y el extal, cuando esta en un bajo se realiza un proceso interno y cuando esta en un alto se accesan datos.

Nota del manual Todos los relojes (E, extal, xtal) se detienen cuando el micro esta en modo de para (STOP).

Para reducir los ruidos por RFI en el micro controlado como " simple chip " y la señal E no se utiliza.

### Interrup request (IRQ) (pin 19)

Las IRQ son entradas que requiere el micro para aplicaciones asíncronas, no es posible seleccionar por medio de programación el nivel de sensibilidad en bajo. Siempre son configuradas con un nivel bajo estando en reset.

Cuando se usan las IRQ en un nivel de sensibilidad alambrado en configuración OR se recomienda conectar una resistencia de pull-up con un valor típico de 4.7K a VDD.

### No enmascarable Interrup request (XIRQ/VPPE) (pin 18)

Las XIRQ son terminales de interrupciones externas del micro, y son configuradas en un nivel bajo estando el CI en reset.

VPPE es la entrada del nivel de voltaje requerido para programar la memoria EPROM del micro.

### MODA y MODB (MODA/ LIR y MODB/VSBY ) (pin 12 y 3)

Durante el RESET los pin MODA y MODB son entradas donde se configura el modo de operación del micro, estas son :

ENTRADAS			BITS DE CONTROL EN HPRIORIDAD			
			AGUARDANDO EN RESET			
MODA	MODB	MODO DE OPERACIÓN	RBOOT	SMOD		
MDA	IRV					
1	0	NORMAL "CHIP SIMPLE"	0	0	0	0
1	1	NORMAL "EXPANDIDO"	0	0	1	0
0	0	ESPECIAL "BOOTSTRAP"	1	1	0	1
0	1	ESPECIAL "TEST"	0	1	1	1

Después de haber seleccionado el modo (quitando el estado de reset), el pin de registro de instrucción (LIR) provee una salida en drenador abierto indicando que la ejecución de una instrucción esta comenzando. Apareciendo el pulso E varias veces durante la ejecución de la instrucción.

El voltaje VSBY se utiliza como entrada de alimentación de la RAM .

### **VRL y VRH (pin 51 y 52)**

Estos pin son las entradas de voltaje para la referencia del convertidor analógico/digital , VRL generalmente es 0 V y VRH es al menos 3 V arriba de VRL , sus valores están entre VDD y VSS.

### **STRA/AS (pin 4)**

Este pin tiene 2 funciones separadas, dependen de el modo de operación, en single - chip (un solo chip) STRA se constituye como una entrada del handshake , en el modo expandido AS provee una dirección de la función strobe (entrada del strobe ), y puede usarse para demultiplexar las direcciones y datos de puerto C.

### **STRB/R/W (pin 6)**

El pin strobe B y lectura/escritura actúa como una entrada del strobe o como indicador de dirección, esto depende de el modo de trabajo.

En single chip es STRB (actúa como un strobe programable para handshake con otros periféricos paralelos) , en modo expandido indica con un nivel lógico bajo que se realiza escritura y con un nivel lógico alto lectura.

### **Puertos A, B, C, D, E.**

El microcontrolador contiene los siguientes 5 puertos, y cada uno de ellos tiene diversas funciones, como se describe a continuación.

### **PUERTO A (pin 27 al 34)**

En todas las configuraciones el puerto A tiene tres modos de entrada /captura (IC) y cuatro de salida / comparador , y uno que es bidireccional, que permite configurarse como IC o OC , este puerto no es exactamente para propósito general, el pin 3 y 7 son asociados para seleccionar si es salida o entrada, mientras que los otros solo son de una sola dirección, esto se puede ver en el diagrama a bloques que presento al principio del capitulo.

MODO DE OPERACIÓN		
Puerto/bit	Single - chip y Bootstrap	Expandido y Test
PA0		PA0/IC3
PA1		PA1/IC2
PA2		PA2/IC1
PA3		PA3/OC5/IC4/OC1
PA4		PA4/OC4/OC1
PA5		PA5/OC3/OC1
PA6		PA6/OC2/OC1
PA7		PA7/PAI/OC1
PB0	PB0	ADDR8
PB1	PB1	ADDR9
PB2	PB2	ADDR10
PB3	PB3	ADDR11
PB4	PB4	ADDR12
PB5	PB5	ADDR13
PB6	PB6	ADDR14
PB7	PB7	ADDR15
PC0	PC0	ADDR0/DATA0
PC1	PC1	ADDR1/DATA1
PC2	PC2	ADDR2/DATA2
PC3	PC3	ADDR3/DATA3
PC4	PC4	ADDR4/DATA4
PC5	PC5	ADDR5/DATA5
PC6	PC6	ADDR6/DATA6
PC7	PC7	ADDR7/DATA7
PD0		PD0/RXD
PD1		PD1/TXD
PD2		PD2/MISO
PD3		PD3/MOSI
PD4		PD4/SCK
PD5		PD5/SS
--	STRA	AS
---	STRB	R/W
PE0		PE0/AN0
PE1		PE1/AN1
PE2		PE2/AN2
PE3		PE3/AN3
PE4		PE4/AN4
PE5		PE5/AN5
PE6		PE6/AN6
PE7		PE7/AN7

### **Puerto B (pin 35 al 42)**

En la configuración de single - chip es salida de propósito general , en el modo expandido actúa como una extensión de las direcciones de las señales de salida.

### **Puerto C (pin 9 al 16)**

Este puerto es de propósito general en el modo de single - chip, mientras que en el modo expandido es configurado como multiplexor de señales/datos , la dirección de estos la dará el pin R/W.

### **Puerto D (pin 20 al 25)**

Este es un puerto de propósito general, alternativamente servirá como interface de comunicación serial (SCI),

PD0 es el receptor de datos RXD.

PD1 es el transmisor de datos.

PD2 es dedicado a la interface serial , es la salida " master in slave out" (MISO) .

PD3 es la entrada "master in slave in" (MOSI).

PD4 es el reloj serial (SCK).

PD5 es la entrada selectora esclava (SS)

### **Puerto E (pin 43 al 50)**

Este es un puerto de uso general, y además se puede configurar como un convertidor analógico/digital.

## **MODOS DE OPERACIÓN**

Este microcontrolador tiene 4 configuraciones básicas, Single - chip , expandido, Bootstrap, Test de las cuales resaltare solo dos, el modo simple y el expandido.

El modo simple permite en un espacio reducido utilizar todos los recursos del microcontrolador sin accesorios extras, solo se necesita indicar la modalidad del pin a usarse.

El modo extendido permite utilizar todos los recursos del microcontrolador con algunos accesorios extras, como son los manejadores de puertos, los multiplexores, etc.

Los siguientes diagramas permiten observar al micro en su configuración básica de Single - Chip o Modo Expandido:



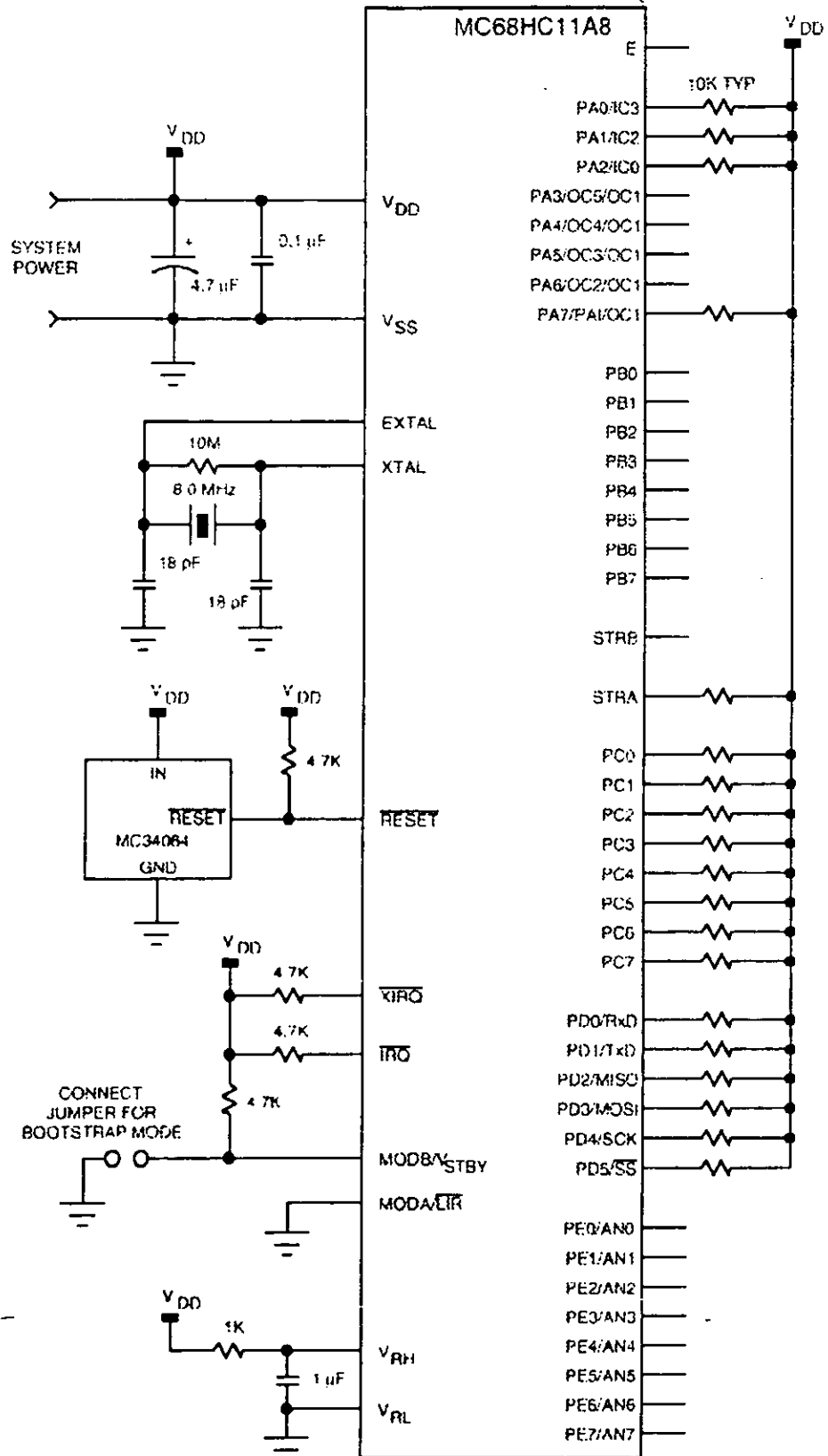


FIG.75. single chip

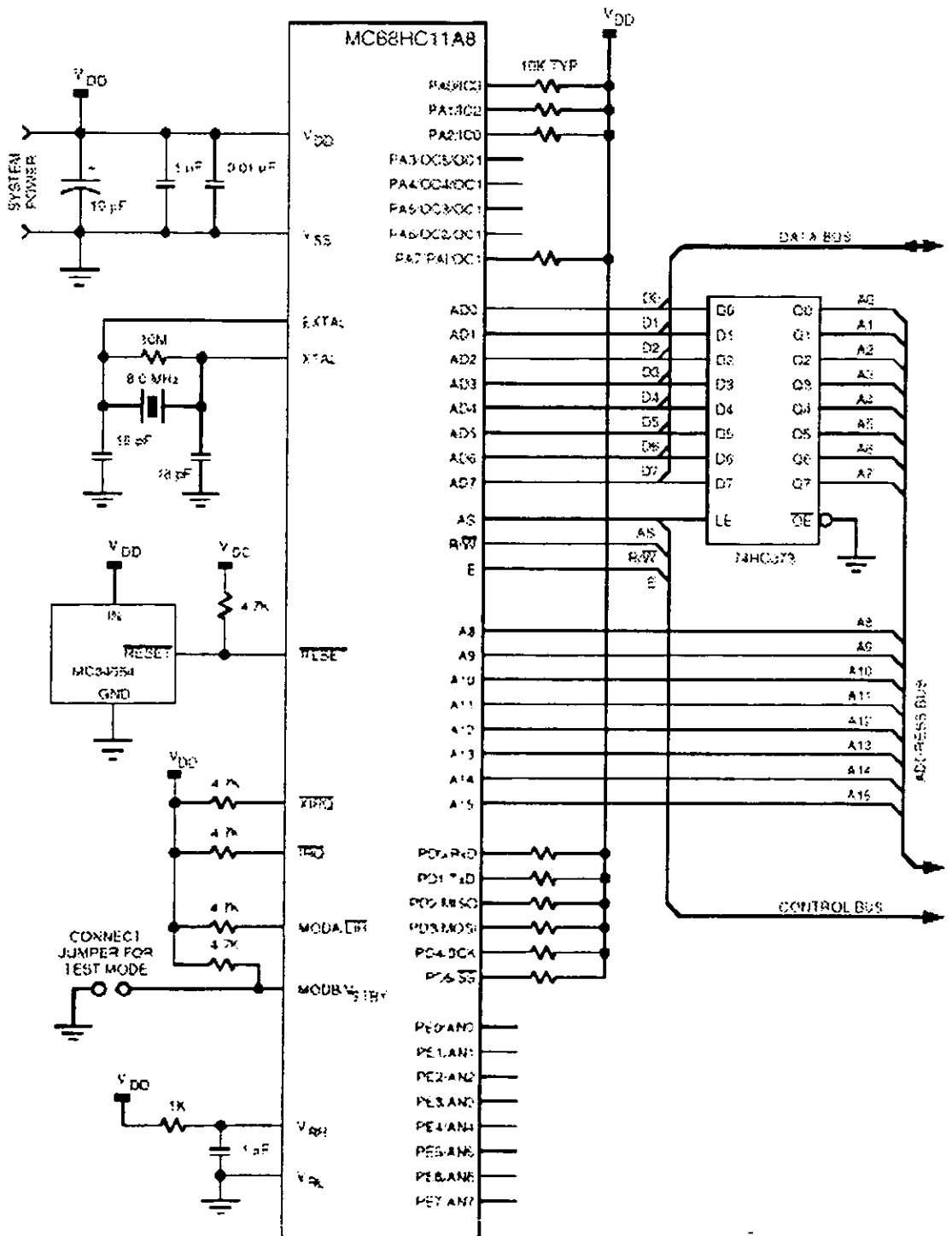


FIG.76a. MODO EXPANDIDO.

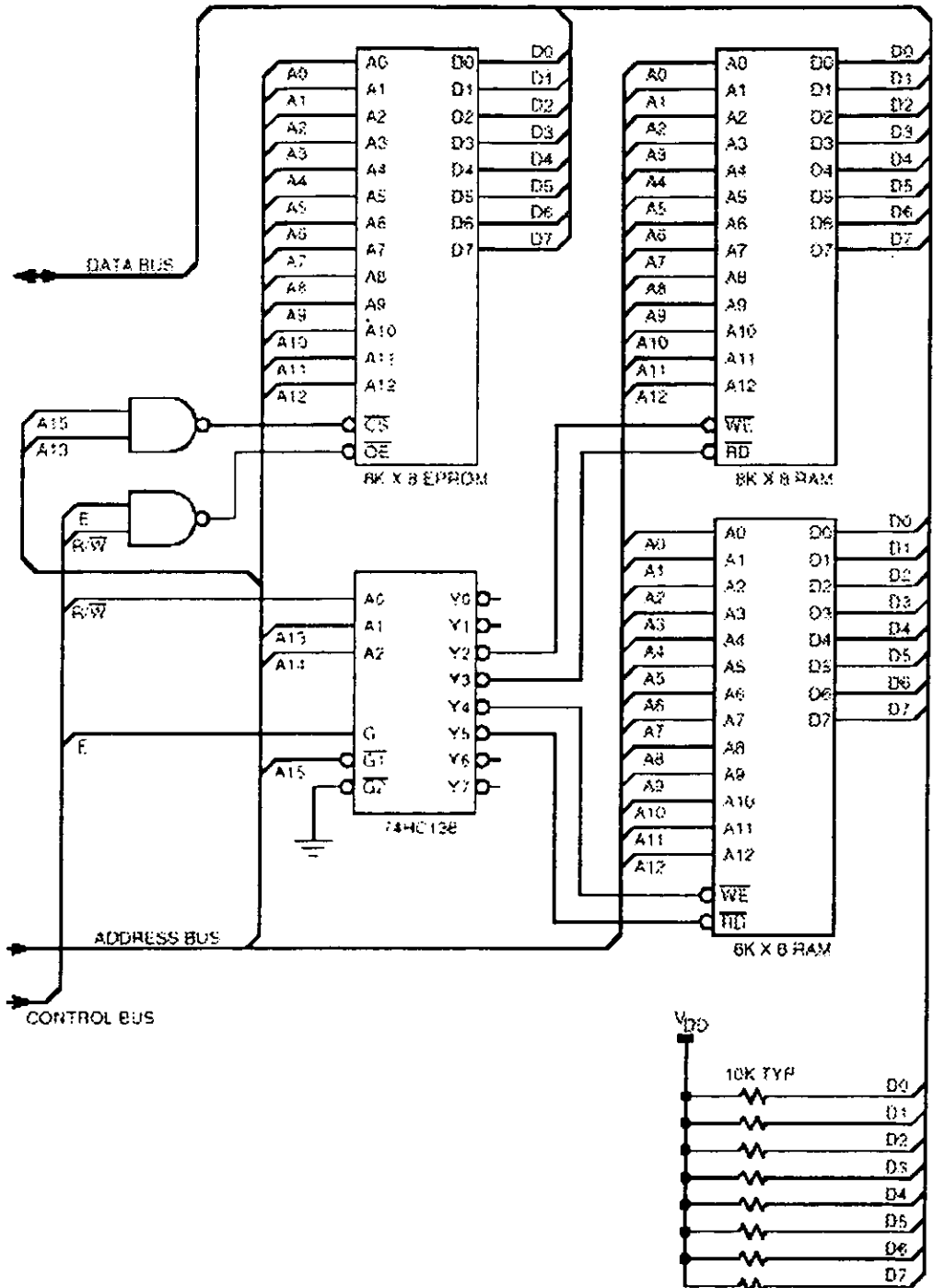


FIG.76b. MODO EXPANDIDO.

A continuación muestro las tablas de instrucciones del manual.

Table 3-2 Instruction Set (Sheet 1 of 6)

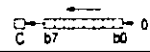
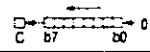
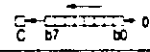
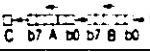
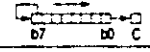
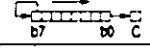
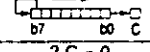
Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes							
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C
ABA	Add Accumulators	$A + B \Rightarrow A$	INH	1B	—	2	—	—	$\Delta$	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
ABX	Add B to X	$IX + (00 : B) \Rightarrow IX$	INH	3A	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—
ABY	Add B to Y	$IY + (00 : B) \Rightarrow IY$	INH	18 3A	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—
ADCA (opr)	Add with Carry to A	$A + M + C \Rightarrow A$	A	IMM	89	ii	2	—	—	$\Delta$	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
			A	DIR	99	dd	3							
			A	EXT	B9	hh	4							
			A	IND.X	A9	ff	4							
			A	IND.Y	A9	ff	5							
ADCB (opr)	Add with Carry to B	$B + M + C \Rightarrow B$	B	IMM	C9	ii	2	—	—	$\Delta$	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
			B	DIR	D9	dd	3							
			B	EXT	F9	hh	4							
			B	IND.X	E9	ff	4							
			B	IND.Y	E9	ff	5							
ADDA (opr)	Add Memory to A	$A + M \Rightarrow A$	A	IMM	BB	ii	2	—	—	$\Delta$	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
			A	DIR	9B	dd	3							
			A	EXT	BB	hh	4							
			A	IND.X	AB	ff	4							
			A	IND.Y	AB	ff	5							
ADDB (opr)	Add Memory to B	$B + M \Rightarrow B$	B	IMM	CB	ii	2	—	—	$\Delta$	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
			B	DIR	DB	dd	3							
			B	EXT	FB	hh	4							
			B	IND.X	EB	ff	4							
			B	IND.Y	EB	ff	5							
ADDD (opr)	Add 16-Bit to D	$D + (M : M + 1) \Rightarrow D$		IMM	C3	ij kk	4	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
				DIR	D3	dd	5							
				EXT	F3	hh	6							
				IND.X	E3	ff	6							
				IND.Y	E3	ff	7							
ANDA (opr)	AND A with Memory	$A \cdot M \Rightarrow A$	A	IMM	B4	ii	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	0
			A	DIR	94	dd	3							
			A	EXT	B4	hh	4							
			A	IND.X	A4	ff	4							
			A	IND.Y	A4	ff	5							
ANDB (opr)	AND B with Memory	$B \cdot M \Rightarrow B$	B	IMM	C4	ii	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	0
			B	DIR	D4	dd	3							
			B	EXT	F4	hh	4							
			B	IND.X	E4	ff	4							
			B	IND.Y	E4	ff	5							
ASL (opr)	Arithmetic Shift Left			EXT	78	hh	6	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
				IND.X	68	ff	6							
				IND.Y	68	ff	7							
ASLA	Arithmetic Shift Left A		A	INH	48	—	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
ASLB	Arithmetic Shift Left B		B	INH	58	—	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
ASLD	Arithmetic Shift Left D			INH	05	—	3	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
ASR	Arithmetic Shift Right			EXT	77	hh	6	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
				IND.X	67	ff	6							
				IND.Y	67	ff	7							
ASRA	Arithmetic Shift Right A		A	INH	47	—	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
ASRB	Arithmetic Shift Right B		B	INH	57	—	2	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
BCC (rel)	Branch if Carry Clear	? C = 0		REL	24	rr	3	—	—	—	—	—	—	—
BCLR (opr) (msk)	Clear Bit(s)	$M \cdot (mm) \Rightarrow M$		DIR	15	dd mm	6	—	—	—	—	$\Delta$	$\Delta$	0
				IND.X	1D	ff mm	7							
				IND.Y	1D	ff mm	8							
BCS (rel)	Branch if Carry Set	? C = 1		REL	25	rr	3	—	—	—	—	—	—	—
BEQ (rel)	Branch if = Zero	? Z = 1		REL	27	rr	3	—	—	—	—	—	—	—
BGE (rel)	Branch if $\Delta$ Zero	? N $\oplus$ V = 0		REL	2C	rr	3	—	—	—	—	—	—	—

Table 3-2 Instruction Set (Sheet 2 of 6)

Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes								
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C	
BGT (rel)	Branch if > Zero	? Z + (N ⊕ V) = 0	REL	2E	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BHI (rel)	Branch if Higher	? C + Z = 0	REL	22	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BHS (rel)	Branch if Higher or Same	? C = 0	REL	24	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BITA (opr)	Bit(s) Test A with Memory	A • M	A	IMM	85	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	0	—
			A	DIR	95	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	EXT	B5	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.X	A5	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—
A	IND.Y	18	A5	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—		
BITB (opr)	Bit(s) Test B with Memory	B • M	B	IMM	C5	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	0	—
			B	DIR	D5	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	
			B	EXT	F5	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	
			B	IND.X	E5	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	
B	IND.Y	18	E5	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—		
BLE (rel)	Branch if Δ Zero	? Z + (N ⊕ V) = 1	REL	2F	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BLO (rel)	Branch if Lower	? C = 1	REL	25	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BLS (rel)	Branch if Lower or Same	? C + Z = 1	REL	23	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BLT (rel)	Branch if < Zero	? N ⊕ V = 1	REL	2D	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BMI (rel)	Branch if Minus	? N = 1	REL	2B	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BNE (rel)	Branch if not = Zero	? Z = 0	REL	26	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BPL (rel)	Branch if Plus	? N = 0	REL	2A	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BRA (rel)	Branch Always	? 1 = 1	REL	20	rr	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
BRCLR(opr) (msk) (rel)	Branch if Bit(s) Clear	? M • mm = 0	DIR	13	dd mm rr	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
			IND.X	1F	ff mm rr	7	—	—	—	—	—	—	—		
			IND.Y	18	1F	ff mm rr	8	—	—	—	—	—	—	—	
BRN (rel)	Branch Never	? 1 = 0	REL	21	rr	3	—	—	—	—	—	—	—		
BRSET(opr) (msk) (rel)	Branch if Bit(s) Set	? (M) • mm = 0	DIR	12	dd mm rr	6	—	—	—	—	—	—	—		
			IND.X	1E	ff mm rr	7	—	—	—	—	—	—	—		
			IND.Y	18	1E	ff mm rr	8	—	—	—	—	—	—		
BSET (opr) (msk)	Set Bit(s)	M • mm = M	DIR	14	dc mm	6	—	—	—	—	Δ	Δ	0	—	
			IND.X	1C	ff mm	7	—	—	—	—	—	—	—		
			IND.Y	18	1C	ff mm	8	—	—	—	—	—	—		
BSR (rel)	Branch to Subroutine	See Figure 3-2	REL	8D	rr	6	—	—	—	—	—	—	—		
BVC (rel)	Branch if Overflow Clear	? V = 0	REL	28	rr	3	—	—	—	—	—	—	—		
BVS (rel)	Branch if Overflow Set	? V = 1	REL	29	rr	3	—	—	—	—	—	—	—		
CBA	Compare A to B	A - B	INH	11	—	2	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ	
CLC	Clear Carry Bit	0 ⇒ C	INH	0C	—	2	—	—	—	—	—	—	—	0	
CLI	Clear Interrupt Mask	0 ⇒ I	INH	0E	—	2	—	—	—	0	—	—	—	—	
CLR (opr)	Clear Memory Byte	0 ⇒ M		EXT	7F	hh ll	6	—	—	—	—	0	1	0	0
				IND.X	6F	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	
				IND.Y	18	6F	ff	7	—	—	—	—	—	—	
CLRA	Clear Accumulator A	0 ⇒ A	A	INH	4F	—	2	—	—	—	—	0	1	0	0
CLRB	Clear Accumulator B	0 ⇒ B	B	INH	5F	—	2	—	—	—	—	0	1	0	0
CLV	Clear Overflow Flag	0 ⇒ V		INH	0A	—	2	—	—	—	—	—	—	0	—
CMPA (opr)	Compare A to Memory	A - M	A	IMM	81	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ
			A	DIR	91	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	
			A	EXT	B1	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	
			A	IND.X	A1	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	
A	IND.Y	18	A1	ff	5	—	—	—	—	—	—	—			
CMPB (opr)	Compare B to Memory	B - M	B	IMM	C1	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ
			B	DIR	D1	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	
			B	EXT	F1	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	
			B	IND.X	E1	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	
B	IND.Y	18	E1	ff	5	—	—	—	—	—	—	—			

3

Table 3-2 Instruction Set (Sheet 3 of 6)

Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes								
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C	
COM (opr)	Ones Complement Memory Byte	$\$FF - M \Rightarrow M$	EXT	73	hh ll	6	—	—	—	—	Δ	Δ	0	1	
				63	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
				18 63	ff	7	—	—	—	—	—	—	—	—	
COMA	Ones Complement A	$\$FF - A \Rightarrow A$	A	INH	43	—	—	—	—	Δ	Δ	0	1		
COMB	Ones Complement B	$\$FF - B \Rightarrow B$	B	INH	53	—	—	—	—	Δ	Δ	0	1		
CPD (opr)	Compare D to Memory 16-Bit	$D - M : M + 1$	IMM	1A	83	jj kk	5	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ
				DIR	1A	93	dd	6	—	—	—	—	—	—	—
				EXT	1A	B3	hh ll	7	—	—	—	—	—	—	—
				IND,X	1A	A3	ff	7	—	—	—	—	—	—	—
				IND,Y	CD	A3	ff	7	—	—	—	—	—	—	—
CPX (opr)	Compare X to Memory 16-Bit	$IX - M : M + 1$	IMM	8C	jj kk	4	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ	
				DIR	9C	dd	5	—	—	—	—	—	—	—	
				EXT	BC	hh ll	6	—	—	—	—	—	—	—	
				IND,X	AC	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	
				IND,Y	CD	AC	ff	7	—	—	—	—	—	—	—
CPY (opr)	Compare Y to Memory 16-Bit	$IY - M : M + 1$	IMM	18	8C	jj kk	5	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ
				DIR	18	9C	dd	6	—	—	—	—	—	—	—
				EXT	18	BC	hh ll	7	—	—	—	—	—	—	—
				IND,X	1A	AC	ff	7	—	—	—	—	—	—	—
				IND,Y	18	AC	ff	7	—	—	—	—	—	—	—
DAA	Decimal Adjust A	Adjust Sum to BCD		INH	19	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ		
DEC (opr)	Decrement Memory Byte	$M - 1 \Rightarrow M$	EXT	7A	hh ll	6	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—	
				IND,X	6A	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	
				IND,Y	18 6A	ff	7	—	—	—	—	—	—	—	
DECA	Decrement Accumulator A	$A - 1 \Rightarrow A$	A	INH	4A	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—		
DECB	Decrement Accumulator B	$B - 1 \Rightarrow B$	B	INH	5A	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—		
DES	Decrement Stack Pointer	$SP - 1 \Rightarrow SP$		INH	34	—	—	—	—	—	—	—	—		
DEX	Decrement Index Register X	$IX - 1 \Rightarrow IX$		INH	09	—	—	—	—	—	Δ	—	—		
DEY	Decrement Index Register Y	$IY - 1 \Rightarrow IY$		INH	18 09	—	—	—	—	—	Δ	—	—		
EORA (opr)	Exclusive OR A with Memory	$A \oplus M \Rightarrow A$	A	IMM	88	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	0	—
				DIR	98	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—
				EXT	B8	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND,X	A8	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND,Y	18 A8	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—
EORB (opr)	Exclusive OR B with Memory	$B \oplus M \Rightarrow B$	B	IMM	C8	ii	2	—	—	—	—	Δ	Δ	0	—
				DIR	D8	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—
				EXT	F8	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND,X	E8	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND,Y	18 E8	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—
FDIV	Fractional Divide 16 by 16	$D / IX \Rightarrow IX, r \Rightarrow D$		INH	03	—	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	Δ	
IDIV	Integer Divide 16 by 16	$D / IX \Rightarrow IX, r \Rightarrow D$		INH	02	—	—	—	—	—	Δ	0	Δ		
INC (opr)	Increment Memory Byte	$M + 1 \Rightarrow M$	EXT	7C	hh ll	6	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—	
				IND,X	6C	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	
				IND,Y	18 6C	ff	7	—	—	—	—	—	—	—	
INCA	Increment Accumulator A	$A + 1 \Rightarrow A$	A	INH	4C	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—		
INCB	Increment Accumulator B	$B + 1 \Rightarrow B$	B	INH	5C	—	—	—	—	Δ	Δ	Δ	—		
INS	Increment Stack Pointer	$SP + 1 \Rightarrow SP$		INH	31	—	—	—	—	—	—	—	—		
INX	Increment Index Register X	$IX + 1 \Rightarrow IX$		INH	08	—	—	—	—	—	Δ	—	—		

Table 3-2 Instruction Set (Sheet 4 of 6)

Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes											
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C				
INY	Increment Index Register Y	$Y + 1 \Rightarrow Y$	INH	18	08	—	4								$\Delta$			
JMP (opr)	Jump	See Figure 3-2	EXT		7E	hh #	3											
			IND,X		6E	ff	3											
			IND,Y	18	6E	ff	4											
JSR (opr)	Jump to Subroutine	See Figure 3-2	DIR		9D	dd	5											
			EXT		BD	hh ll	6											
			IND,X		AD	ff	6											
			IND,Y	18	AD	ff	7											
LDAA (opr)	Load Accumulator A	$M \Rightarrow A$	A	IMM		86	ii	2							$\Delta$	$\Delta$	0	
			A	DIR		96	dd	3										
			A	EXT		B6	hh ll	4										
			A	IND,X		A6	ff	4										
			A	IND,Y	18	A6	ff	5										
LDAB (opr)	Load Accumulator B	$M \Rightarrow B$	B	IMM		C6	ii	2						$\Delta$	$\Delta$	0		
			B	DIR		D6	dd	3										
			B	EXT		F6	hh ll	4										
			B	IND,X		E6	ff	4										
			B	IND,Y	18	E6	ff	5										
LDD (opr)	Load Double Accumulator D	$M \Rightarrow A, M + 1 \Rightarrow B$		IMM		CC	jj kk	3						$\Delta$	$\Delta$	0		
				DIR		DC	dd	4										
				EXT		FC	hh ll	5										
				IND,X		EC	ff	5										
				IND,Y	18	EC	ff	6										
LDS (opr)	Load Stack Pointer	$M : M + 1 \Rightarrow SP$		IMM		8E	jj kk	3						$\Delta$	$\Delta$	0		
				DIR		9E	dd	4										
				EXT		BE	hh ll	5										
				IND,X		AE	ff	5										
				IND,Y	18	AE	ff	6										
LDX (opr)	Load Index Register X	$M : M + 1 \Rightarrow IX$		IMM		CE	jj kk	3						$\Delta$	$\Delta$	0		
				DIR		DE	dd	4										
				EXT		FE	hh ll	5										
				IND,X		EE	ff	5										
				IND,Y	CD	EE	ff	6										
LDY (opr)	Load Index Register Y	$M : M + 1 \Rightarrow IY$		IMM	18	CE	jj kk	4						$\Delta$	$\Delta$	0		
				DIR	18	DE	dd	5										
				EXT	18	FE	hh ll	6										
				IND,X	1A	EE	ff	6										
				IND,Y	18	EE	ff	6										
LSL (opr)	Logical Shift Left			EXT		78	hh ll	6						$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
				IND,X		68	ff	6										
				IND,Y	18	68	ff	7										
LSLA	Logical Shift Left A		A	INH		48		2					$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
LSLB	Logical Shift Left B		B	INH		58		2					$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
LSLD	Logical Shift Left Double			INH		05		3					$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
LSR (opr)	Logical Shift Right			EXT		74	hh ll	6					0	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
				IND,X		64	ff	6										
				IND,Y	18	64	ff	7										
LSRA	Logical Shift Right A		A	INH		44		2					0	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
LSRB	Logical Shift Right B		B	INH		54		2					0	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
LSRD	Logical Shift Right Double			INH		04		3					0	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
MUL	Multiply 8 by 8	$A \cdot B \Rightarrow D$		INH		3D		10									$\Delta$	
NEG (opr)	Two's Complement Memory Byte	$0 - M \Rightarrow M$		EXT		70	hh ll	6						$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
				IND,X		60	ff	6										
				IND,Y	18	60	ff	7										
NEGA	Two's Complement A	$0 - A \Rightarrow A$	A	INH		40		2					$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		
NEGB	Two's Complement B	$0 - B \Rightarrow B$	B	INH		50		2					$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$		

3

Table 3-2 Instruction Set (Sheet 5 of 6)

Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes											
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C				
NOP	No operation	No Operation	INH		01	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ORAA (opr)	OR Accumulator A (Inclusive)	$A + M \Rightarrow A$	A	IMM	8A	ii	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			A	DIR	9A	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	EXT	BA	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.X	AA	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.Y	18	AA	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ORAB (opr)	OR Accumulator B (Inclusive)	$B + M \Rightarrow B$	B	IMM	CA	ii	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			B	DIR	DA	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	EXT	FA	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	IND.X	EA	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	IND.Y	18	EA	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PSHA	Push A onto Stack	$A \Rightarrow \text{Stk}, SP = SP - 1$	A	INH	36	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PSHB	Push B onto Stack	$B \Rightarrow \text{Stk}, SP = SP - 1$	B	INH	37	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PSHX	Push X onto Stack (Lo First)	$IX \Rightarrow \text{Stk}, SP = SP - 2$		INH	3C	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PSHY	Push Y onto Stack (Lo First)	$IY \Rightarrow \text{Stk}, SP = SP - 2$		INH	18	3C	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PULA	Pull A from Stack	$SP = SP + 1, A \Leftarrow \text{Stk}$	A	INH	32	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PULB	Pull B from Stack	$SP = SP + 1, B \Leftarrow \text{Stk}$	B	INH	33	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PULX	Pull X From Stack (Hi First)	$SP = SP + 2, IX \Leftarrow \text{Stk}$		INH	38	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
PULY	Pull Y from Stack (Hi First)	$SP = SP + 2, IY \Leftarrow \text{Stk}$		INH	18	38	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ROL (opr)	Rotate Left			EXT	79	hh ll	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				IND.X	69	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND.Y	18	69	ff	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ROLA	Rotate Left A		A	INH	49	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ROLB	Rotate Left B		B	INH	59	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ROR (opr)	Rotate Right			EXT	76	hh ll	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				IND.X	66	ff	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				IND.Y	18	66	ff	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RORA	Rotate Right A		A	INH	46	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
RORB	Rotate Right B		B	INH	56	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
RTI	Return from Interrupt	See Figure 3-2		INH	3B	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
RTS	Return from Subroutine	See Figure 3-2		INH	39	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
SBA	Subtract B from A	$A - B \Rightarrow A$		INH	10	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
SBCA (opr)	Subtract with Carry from A	$A - M - C \Rightarrow A$	A	IMM	82	ii	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			A	DIR	92	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	EXT	B2	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.X	A2	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.Y	18	A2	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SBCB (opr)	Subtract with Carry from B	$B - M - C \Rightarrow B$	B	IMM	C2	ii	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			B	DIR	D2	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	EXT	F2	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	IND.X	E2	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			B	IND.Y	18	E2	ff	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SEC	Set Carry	$1 \Rightarrow C$		INH	0D	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
SEI	Set Interrupt Mask	$1 \Rightarrow I$		INH	0F	—	2	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	
SEV	Set Overflow Flag	$1 \Rightarrow V$		INH	0B	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	
STAA (opr)	Store Accumulator A	$A = M$	A	DIR	97	dd	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			A	EXT	B7	hh ll	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			A	IND.X	A7	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			A	IND.Y	18	A7	ff	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Table 3-2 Instruction Set (Sheet 6 of 6)

Mnemonic	Operation	Description	Addressing Mode	Instruction			Condition Codes								
				Opcode	Operand	Cycles	S	X	H	I	N	Z	V	C	
STAB (opr)	Store Accumulator B	B ⇒ M	B DIR	D7	dd	3					Δ	Δ	0	—	
			B EXT	F7	hh ll	4									
			B IND.X	E7	ff	4									
			B IND.Y	E7	ff	5									
STD (opr)	Store Accumulator D	A ⇒ M, B ⇒ M + 1	DIR	DD	dd	4					Δ	Δ	0	—	
			EXT	FD	hh ll	5									
			IND.X	ED	ff	5									
			IND.Y	ED	ff	6									
STOP	Stop Internal Clocks	—	INH	CF	—	2									
STS (opr)	Store Stack Pointer	SP ⇒ M, M + 1	DIR	9F	dd	4					Δ	Δ	0	—	
			EXT	BF	hh ll	5									
			IND.X	AF	ff	5									
			IND.Y	AF	ff	6									
STX (opr)	Store Index Register X	IX ⇒ M, M + 1	DIR	DF	dd	4					Δ	Δ	0	—	
			EXT	FF	hh ll	5									
			IND.X	EF	ff	5									
			IND.Y	EF	ff	6									
STY (opr)	Store Index Register Y	IY ⇒ M, M + 1	DIR	DF	dd	5					Δ	Δ	0	—	
			EXT	FF	hh ll	6									
			IND.X	1A	EF	ff	6								
			IND.Y	18	EF	ff	6								
SUBA (opr)	Subtract Memory from A	A - M ⇒ A	A IMM	80	ll	2					Δ	Δ	Δ	Δ	
			A DIR	90	dd	3									
			A EXT	B0	hh ll	4									
			A IND.X	A0	ff	4									
SUBB (opr)	Subtract Memory from B	B - M ⇒ B	A IND.Y	18	A0	ff	5								
			A IMM	C0	ll	2						Δ	Δ	Δ	Δ
			A DIR	D0	dd	3									
			A EXT	F0	hh ll	4									
SUBD (opr)	Subtract Memory from D	D - M, M + 1 ⇒ D	A IND.X	18	E0	ff	4								
			A IND.Y	18	E0	ff	5								
			IMM	B3	ll kk	4						Δ	Δ	Δ	Δ
			DIR	93	dd	5									
SWI	Software Interrupt	See Figure 3-2	EXT	B3	hh ll	6									
			IND.X	A3	ff	6									
			IND.Y	18	A3	ff	7								
			INH	3F	—	14				1					
TAB	Transfer A to B	A ⇒ B	INH	16	—	2					Δ	Δ	0	—	
TAP	Transfer A to CC Register	A ⇒ CCR	INH	06	—	2		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
TBA	Transfer B to A	B ⇒ A	INH	17	—	2					Δ	Δ	0	—	
TEST	TEST (Only in Test Modes)	Address Bus Counts	INH	00	—	—									
TPA	Transfer CC Register to A	CCR ⇒ A	INH	07	—	2									
TST (opr)	Test for Zero or Minus	M - 0	EXT	70	hh ll	6					Δ	Δ	0	0	
			IND.X	6D	ff	6									
			IND.Y	6D	ff	7									
TSTA	Test A for Zero or Minus	A - 0	A	INH	4D	—	2				Δ	Δ	0	0	
TSTB	Test B for Zero or Minus	B - 0	B	INH	5D	—	2				Δ	Δ	0	0	
TSX	Transfer Stack Pointer to X	SP + 1 ⇒ IX	INH	30	—	3									
TSY	Transfer Stack Pointer to Y	SP + 1 ⇒ IY	INH	18	30	—	4								
TXS	Transfer X to Stack Pointer	IX - 1 ⇒ SP	INH	35	—	3									
TYS	Transfer Y to Stack Pointer	IY - 1 ⇒ SP	INH	18	35	—	4								
WAI	Wait for Interrupt	Stack Regs & WAIT	INH	3E	—	—									
XGDX	Exchange D with X	IX ⇒ D, D ⇒ IX	INH	8F	—	3									
XGDY	Exchange D with Y	IY ⇒ D, D ⇒ IY	INH	18	8F	—	4								

3

### Cycle

- Infinity or until reset occurs
- \*\* 12 Cycles are used beginning with the opcode fetch. A wait state is entered which remains in effect for an integer number of MPU E-Clock cycles (n) until an interrupt is recognized. Finally, two additional cycles are used to fetch the appropriate interrupt vector (14 + n total)

### Operands

- dd = 8-Bit Direct Address (\$0000 –\$00FF) (High Byte Assumed to be \$00)
- ff = 8-Bit Positive Offset \$00 (0) to \$FF (255) (Is Added to Index)
- hh = High-Order Byte of 16-Bit Extended Address
- ii = One Byte of Immediate Data
- jj = High-Order Byte of 16-Bit Immediate Data
- kk = Low-Order Byte of 16-Bit Immediate Data
- ll = Low-Order Byte of 16-Bit Extended Address
- mm = 8-Bit Mask (Set Bits to be Affected)
- rr = Signed Relative Offset \$80 (-128) to \$7F (+127)  
(Offset Relative to Address Following Machine Code Offset Byte)

### Operators

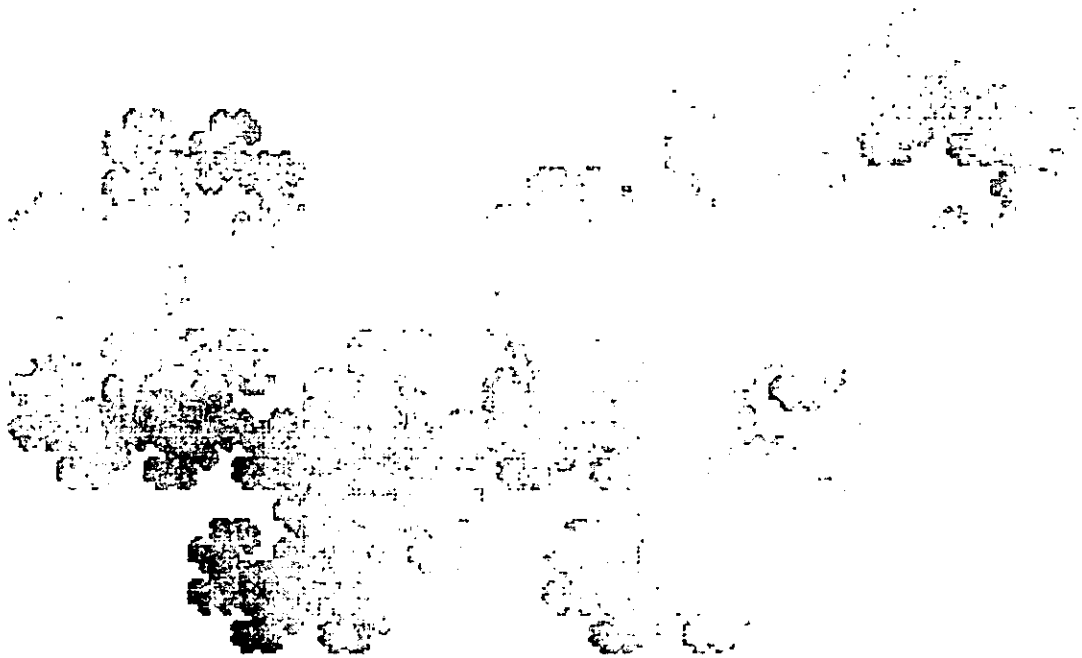
- ( ) Contents of register shown inside parentheses
- ⇐ Is transferred to
- ↑ Is pulled from stack
- ↓ Is pushed onto stack
- Boolean AND
- + Arithmetic Addition Symbol except where used as Inclusive-OR symbol in Boolean Formula
- ⊕ Exclusive-OR
- Multiply
- : Concatenation
- Arithmetic subtraction symbol or Negation symbol (Two's Complement)

### Condition Codes

- Bit not changed
- 0 Bit always cleared
- 1 Bit always set
- Δ Bit cleared or set, depending on operation
- ↓ Bit can be cleared, cannot become set

# APÉNDICE B

## EL CONTROLADOR DE MOTORES LM 628



**FRACTAL COLA DE DRAGÓN**

**“ES FÁCIL SER FELIZ Y ESTAR CONTENTO  
CUANDO LA VIDA SUAVE SE DESLIZA COMO  
UNA MELODÍA; PERO EL HOMBRE QUE VALE,  
ES EL QUE AFRONTA CUANDO TODO VA  
MAL, EL SUFRIMIENTO Y TIENE UNA  
SONRISA TODAVÍA”**

**LUIS CABRERA**

## APENDICE B

### LM628/LM629 controlador de movimiento de precisión.

#### Descripción general

El LM628/LM629 es un procesador dedicado al control de motores para usarse con una variedad de motores de CD muy amplia, sus componentes reúnen las características de tiempo real para implementar sistemas de control digital.

Este circuito integrado ha sido encapsulado con características de la familia NMOS, y dependiendo de la versión puede trabajar con 6 o 8 MHz

Sus características son las siguientes:

- Registros de posición, velocidad y aceleración de 32 bits
- Filtro digital PID programable con coeficientes de 16 bits
- Intervalo derivativo de prueba programable
- DAC de datos de salida de 8 o 12 bits
- La velocidad, posición objetivo y filtro de parámetros puede ser cambiada durante el movimiento.
- Diversos modos de operación de posición y velocidad
- Host (anfitrión) de interrupciones programables en tiempo real
- Host interface paralela asincrónica de 8 bits
- Interface de codificador de cuadratura con entrada de pulso índice

Su diagrama de bloques es el siguiente:

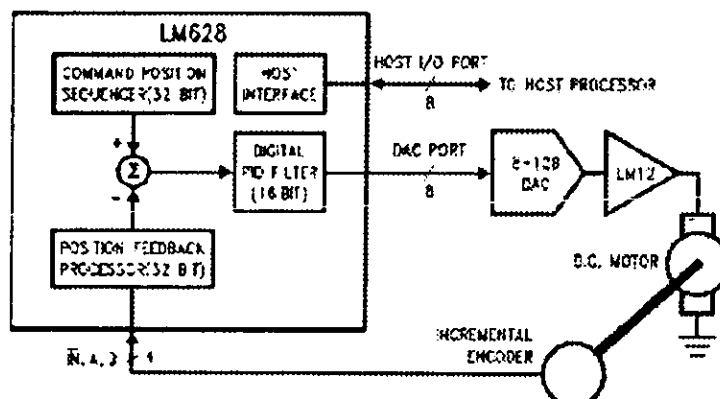


FIG. 77.

Los siguientes datos son tomados del manual del LM628.

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Voltage at Any Pin with Respect to GND	-0.3V to + 7.0V
Ambient Storage Temperature	-65°C to + 150° C
Lead Temperature	
28-pin Dual In-Line Package (Soldering, 4 sec.)	260 °C
24-pin Surface Mount Package (Soldering, 10 sec.)	300 °C
Maximum Power Dissipation ( $T_A \leq 85^\circ\text{C}$ , Note 2)	605 mW
ESD Tolerance (C ZAP = 120 pF, R ZAP e 1.5k)	2000V

### Operating Ratings

Temperature Range	$-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$
Clock Frequency:	
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	$1.0\text{ MHz} < f_{\text{CLK}} < 6.0\text{ MHz}$
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	$1.0\text{ MHz} < f_{\text{CLK}} < 8.0\text{ MHz}$
$V_{\text{DD}}$ Range	$4.5\text{V} < V_{\text{DD}} < 5.5\text{V}$

### DC Electrical Characteristics

( $V_{\text{DD}}$  and  $T_A$  per Operating Ratings;  $f_{\text{CLK}} = 6\text{ MHz}$ )

Symbol	Parameter	Conditions	Tested Limits		Units
			Min	Max	
$I_{\text{DD}}$	Supply Current	Outputs Open		110	mA
INPUT VOLTAGES					
$V_{\text{IH}}$	Logic 1 Input Voltage		2.0		V
$V_{\text{IL}}$	Logic 0 Input Voltage		0.8		V
$I_{\text{IN}}$	Input Currents	$0 \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{DD}}$	-10	10	$\mu\text{A}$
OUTPUT VOLTAGES					
$V_{\text{OH}}$	Logic 1	$I_{\text{OH}} = -1.6\text{ mA}$	2.4		V
$V_{\text{OL}}$	Logic 0	$I_{\text{OL}} = 1.6\text{ mA}$		0.4	V
$I_{\text{OUT}}$	TRI-STATE Output Leakage Current	$0 \leq V_{\text{OUT}} \leq V_{\text{DD}}$	-10	10	$\mu\text{A}$

## AC Electrical Characteristics

( $V_{DD}$  and  $T_A$  per Operating Ratings;  $f_{CLK} = 6 \text{ MHz}$ ;  $C_{LOAD} = 50 \text{ pF}$ ; Input Test Signal  $t_r = t_f = 10 \text{ ns}$ )

Timing Interval	T#	Tested Limits		Units
		Min	Max	
<b>ENCODER AND INDEX TIMING (See Figure 2)</b>				
Motor-Phase Pulse Width	T1	16 f CLK		$\mu\text{s}$
Dwell-Time per State	T2	8 f CLK		$\mu\text{s}$
Index Pulse Setup and Hold (Relative to A and B Low)	T3	0		$\mu\text{s}$
<b>CLOCK AND RESET TIMING (See Figure 3)</b>				
Clock Pulse Width				
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T4	78		ns
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	T4	57		ns
Clock Period				
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T5	166		ns
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	T5	125		ns
Reset Pulse Width	T6	8 f CLK		$\mu\text{s}$
<b>STATUS BYTE READ TIMING (See Figure 4)</b>				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Read Data Access Time	T10		180	ns
Read Data Hold Time	T11	0		ns
RD High to Hi-Z Time	T12		180	ns
<b>COMMAND BYTE WRITE TIMING (See Figure 5)</b>				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
WR Pulse Width	T14	100		ns
Write Data Setup Time	T15	50		ns
Write Data Hold Time	T16	120		ns
<b>DATA WORD READ TIMING (See Figure 6)</b>				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Read Data Access Time	T10		180	ns
Read Data Hold Time	T11	0		ns
RD High to Hi-Z Time	T12		180	ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
Read Recovery Time	T17	120		ns
<b>DATA WORD WRITE TIMING (See Figure 7)</b>				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
WR Pulse Width	T14	100		ns
Write Data Setup Time	T15	50		ns
Write Data Hold Time	T16	120		ns
Write Recovery Time	T18	120		ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond the above Operating Ratings.

Note 2: When operating at ambient temperatures above 70 °C, the device must be protected against excessive junction temperatures. Mounting the package on a printed circuit board having an area greater than three square inches and surrounding the leads and body with wide copper traces and large, uninterrupted areas of copper, such as a ground plane, suffices. The 28-pin DIP (N) and the 24-pin surface mount package (M) are molded plastic packages with solid copper lead frames. Most of the heat generated at the die flows from the die, through the copper lead frame, and into copper traces on the printed circuit board. The copper traces act as a heat sink. Double-sided or multi-layer boards provide heat transfer characteristics superior to those of single-sided boards.

Note 3: In order to read the busy bit, the status byte must first be read. The time required to read the busy bit far exceeds the time the chip requires to set the busy bit. It is, therefore, impossible to test actual busy bit delay. The busy bit is guaranteed to be valid as soon as the user is able to read it.

### Descripción del CI

Este circuito integrado esta constituido por 24 pin, en un encapsulado plástico, que se distribuyen de la forma siguiente:

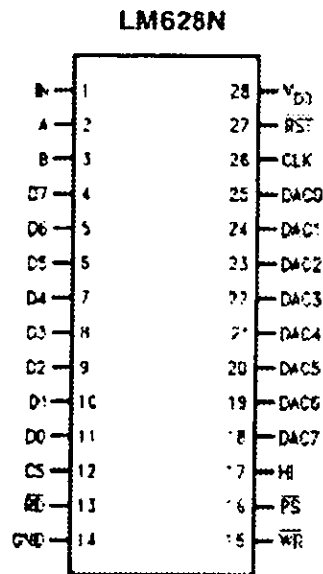


FIG. 78.

**Index (IN)****(Índice)****Pin 1**

Aquí se reciben del codificador un pulso opcional llamado índice, se puede poner en un nivel lógico alto si no se utiliza, se lee la posición cuando los pin 1, 2 ,3 están en un bajo.

**Encoder Signal (a y b) inputs****Entradas a y b del decodificador****Pin 2 y 3**

Aquí se reciben las dos señales de cuadratura defasadas, estas son proporcionadas por el codificador incremental del motor. Cuando el motor esta girando en posición positiva ("foward") la señal del pin 2 se adelanta a la del 3 por 90 grados, Se debe de notar que las señales de los 2 pin serán recorridas al menos 8 puntos de reloj para ser reconocidas ya que se necesita un periodo de cuatro a uno para que el codificador de cuadratura codifique las señales, el rango máximo de frecuencia de los pulsos que acepta esta entre 1.0 MHz (fCLK = 8.0 MHz) o 750 kHz (fCLK = 6.0 MHz).

**Host I/O port (D0 to D7)****Puerto anfitrión de entrada salida, para los datos D0 a D7****Pins 4 al 11**

Se cuenta con un puerto bidireccional (entrada salida) de 8 bits, que se puede conectar a una computadora o a un procesador anfitrión (Host). Este puerto es usado para escribir comandos y datos al LM628 y para leer la condición del byte y datos del mismo. Se controla con CS, PS, RD, y WR.

**Chip select (CS) input****Selector de entrada al chip.****Pin 12**

Se usa para que el LM628 lea o escriba. Se selecciona en un bajo.

**Read (RD) input****Selector de lectura del chip.****Pin 13**

Se usa para que el LM628 lea. Se selecciona en un bajo.



**Ground (GND)**  
**Tierra del sistema.**  
**Pin 14**

Conexión a tierra del sistema.

**Write (WR) input**  
**Selector de escritura del chip.**  
**Pin 15**

Se usa para escribir datos en el LM628. Se selecciona en un bajo.

**Port select (PS) input**  
**Selector de entrada al puerto.**  
**Pin 16**

Se usa para que el LM628 reciba comandos o datos por el puerto, se selecciona en un bajo, y dependiendo del pin 16 es su función:

Escritura de comandos al puerto (pin 16 en bajo).  
 Lectura del estado del byte por el puerto de comandos (pin 16 en bajo).  
 Lectura y escritura de datos por el puerto de datos (pin 16 en alto).

**Host interrupt (HI) output**  
**Salida de la interrupcion del CI.**  
**Pin 17**

Este pin se pone en alto alertando al Host que una condición de interrupción ha ocurrido, esto se realiza mediante una rutina interna.

**DAC Port (DAC0 to DAC7)**  
**Puerto del convertidor digital analógico.**  
**Pins 18 al 25**

Puerto de salida con las siguientes modalidades:

Modo de 8 bits, los datos de salida se mandan al DAC, el bit mas significativo es el 18 y el menos significativo es el 25.

Modo de 12 bits, los datos de salida se mandan al DAC, el bit más significativo es el 18 y el menos significativo es el 23, este se realiza con dos palabras de 6 bits multiplexadas, el ciclo positivo de la señal del pin 25 se usa como strobe para el multiplexado.

**Clock (CLK)****Reloj****Pin 26**

Este pin recibe el pulso de reloj del sistema.

**Reset (RST) input****Entrada del reset****Pin 27**

Se activa con un bajo, en el (vórtice alto se triggered) , manda el LM628 a las condiciones internas que muestro a continuación, (se debe mantener en reset al menos 8 ciclos de reloj para poder realizar las condiciones internas):

1. Filtra los coeficientes y se manda a cero la trayectoria.
2. Selecciona el error d posición manteniéndolo en un valor máximo (7FFF HEXADECIMAL), y ejecuta eficientemente el comando LPEI.
3. La interrupción SBPA/SBPR es enmascarada (no esta disponible).
4. Las otras cinco interrupciones son desenmascaradas (disponibles).
5. Inicializa la posición cero (también llamada "Home" "casa").
6. Selecciona un intervalo de pendiente derivativa de  $2048 / f_{CLK}$  o  $256 \mu s$  para un reloj de 8.0 MHz
7. Se revierten las salidas del DAC 800 hexadecimal a cero, en un DAC de 12 Bits, y de 80 hexadecimal a cero en uno de 8 bits.

Inmediatamente después de restablecer el pin reset del LM628, la condición del puerto al leerse es "00", si el reset se efectúa con éxito, se puede cargar un 84 hexadecimal o un C4 hexadecimal por 1.5 ms, si la condición de la palabra no cambió de 00 a 84 o C4 hexadecimal por 1.5 ms, se deberá de repetir el proceso. Para verificar que el reset sé efectúo adecuadamente, ejecutar el comando RSTI. Si el chip lo realizo exitosamente puede cambiar esta palabra del hexadecimal 84 o C4 a 80 o C0, si no es así se deberá de repetir el proceso.

**Supply voltage (VDD)****Voltaje de alimentación****Pin 28**

Pin de entrada del voltaje de alimentación del sistema (+5 V)

## TEORÍA DE OPERACIÓN.

El diagrama a bloques ilustra un servosistema, el microprocesador anfitrión se comunica con el LM628 a través de un puerto de entrada/salida (I/O), esto facilita la programación de un movimiento con perfil trapezoidal en el control de velocidad, el convertidor digital analógico produce una señal que será amplificada y aplicada al motor, la salida del DAC LM628 se conecta aun DAC externo y luego a un amplificador. Un codificador incremental nos da la retroalimentación para cerrar el lazo, El trapezoide de velocidad se calcula para dar una trayectoria deseada en cada modo de operación.

En operación puede restar la posición de la retroalimentación de la posición deseada, y el resultado del error de posición actual, este es procesado por el filtro digital para mandar el motor a la posición deseada (posición final).

Position Range	-1,073,741,824 to 1,073,741,823 counts
Velocity Range	0 to 1,073,741,823/2 16 counts/sample; ie, 0 to 16,383 counts/sample, with a resolution of 1/2 16 counts/sample
Acceleration Range	0 to 1,073,741,823/2 16 counts/sample/sample; ie, 0 to 16,383 counts/sample/sample, with a resolution of 1/2 16 counts/sample/sample
Motor Drive Output	LM628 8-bit parallel output to DAC, or 12-bit multiplexed output to DAC LM629 8-bit PWM sign/magnitude signals
Operating Modes	Position and Velocity
Feedback Device	Incremental Encoder (quadrature signals, support for index pulse)
Control Algorithm	Proportional Integral Derivative (PID) (plus programmable integration limit)
Sample Intervals steps of	Derivative Term Programmable from $2048/f \text{ CLK}$ to $(2048 * 256)/f \text{ CLK}$ in  $2048/f \text{ CLK}$ (256 to 65,536 ms for an 8.0 MHz clock). Proportional and Integral $2048/f \text{ CLK}$

(Tabla tomada del manual).

## INTERFACE DE RETROALIMENTACIÓN

El LM628 interfiere un motor via un codificador incremental, utiliza dos señales de cuadratura y un índice, las dos primeras son usadas para mantener la trayectoria la posición absoluta del motor. Cada tiempo de transmisión lógica ocurre durante el mismo tiempo de entrada de cuadratura, el CI registra el incremento o decremento sucesivo. Esto requiere de una resolución de cuatro tiempos sobre el número de líneas requeridas por el codificador, cada señal de entrada del codificador es sincronizada con el reloj del LM628.

La salida opcional del pulso del índice es asumida por muchos codificadores como un nivel lógico bajo por cada revolución. Si el LM628 es programado por el usuario este puede guardar la posición absoluta del motor en un registro dedicado, (el registro del índice) al tiempo en que las entradas de los codificadores están en un nivel bajo.

Si el codificador no puede proporcionar una salida de índice, la entrada del LM628 puede ser utilizada para guardar la posición inicial del motor. En este caso, típicamente, el motor puede cerrar un interruptor cuando es arreglado para causar un nivel bajo a la entrada del pulso del índice, y el LM628 puede matricular la posición del

motor en el registro del índice y alertar (usar una interrupción) al procesador anfitrión. El mantener la entrada del índice del LM628 en tierra (nivel lógico bajo) puede causar un mal funcionamiento.

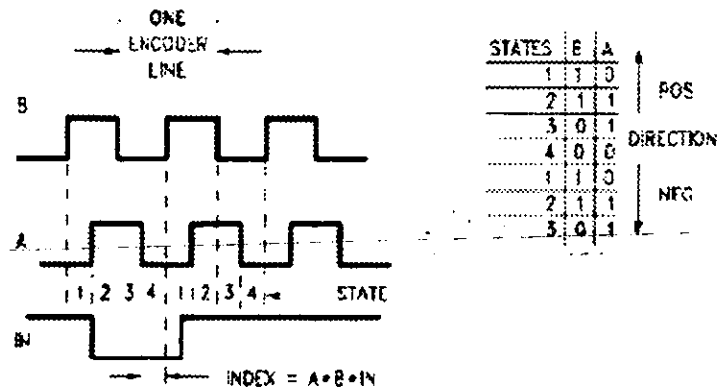


FIG. 79.

### GENERACIÓN DEL PERFIL DE LA VELOCIDAD

La generación del perfil de la velocidad puede ser calculada en función de la posición (desplazamiento) contra tiempo. En el modo de operación de posición el procesador especifica la aceleración, la velocidad máxima y posición final. El integrado usa esta información para afectar el movimiento, acelera hasta una velocidad máxima, se mantiene y se desacelera en una forma similar, parando el motor en una posición específica. La pendiente de aceleración es la misma que la de desaceleración. En ningún momento durante el periodo de máxima velocidad la posición final no puede ser cambiada, y el motor puede acelerar o desacelerar coordinadamente.

La figura siguiente muestra un perfil de velocidad típico, y uno modificado, el segundo perfil muestra como se altera la trayectoria si se cambia la velocidad o la posición final durante el recorrido.

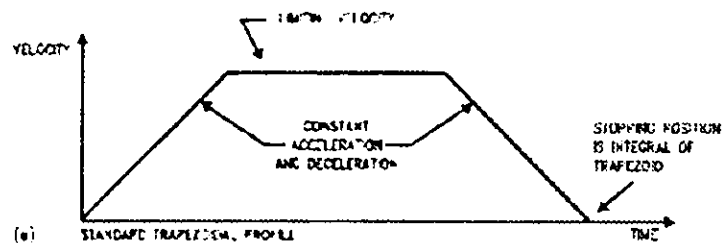
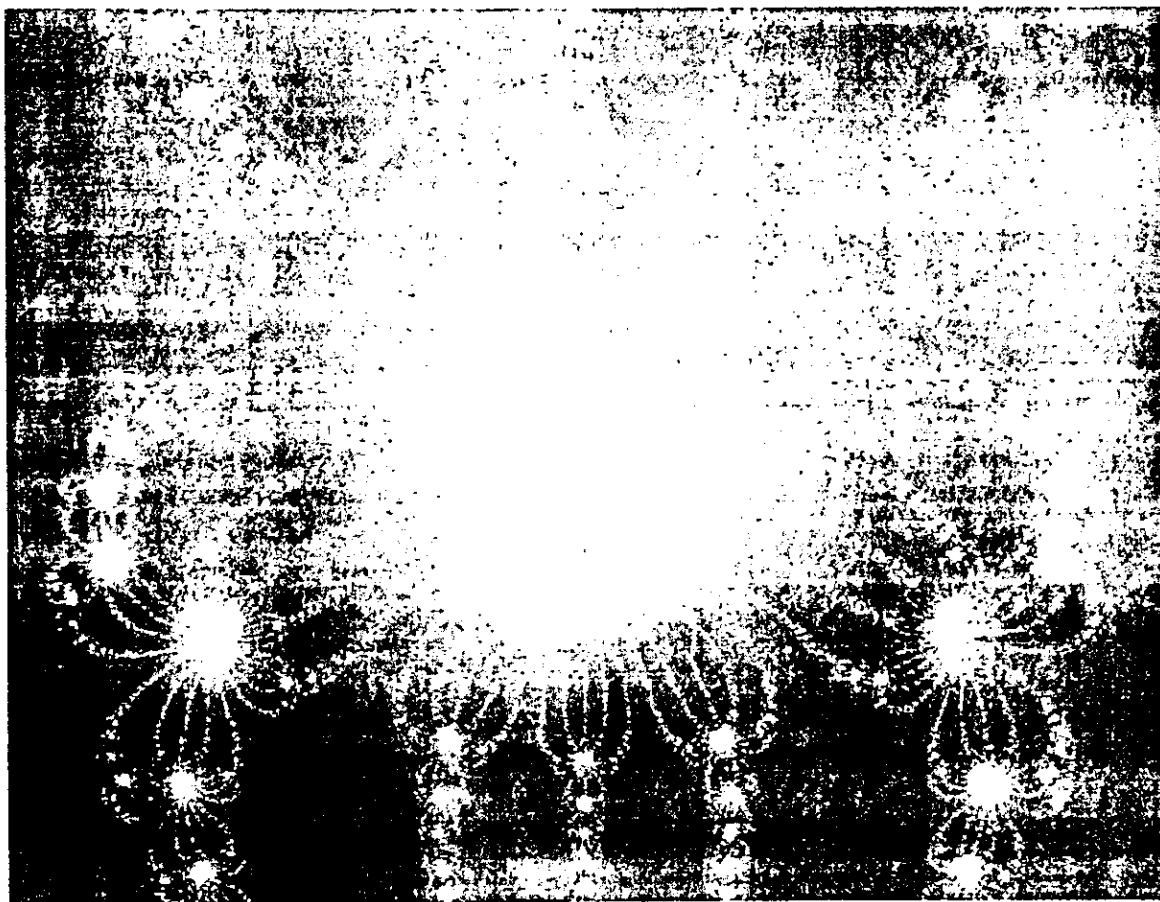


FIG. 80.

# APÉNDICE C

## DATOS DEL FABRICANTE DE LOS CIRCUITOS UTILIZADOS

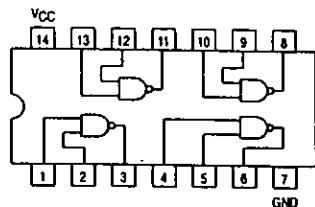


**FRACTAL**

**“MUCHAS VECES, CUANDO CREEMOS  
ESTAR REALIZANDO UNA  
EXPERIENCIA SOBRE LOS DEMAS, LA  
ESTAMOS VERIFICANDO SOBRE  
NOSOTROS MISMOS”  
OSCAR WILDE**

# QUAD 2-INPUT NAND GATE

• ESD > 3500 Volts



## SN54/74LS00

### QUAD 2-INPUT NAND GATE LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 645-06



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

#### ORDERING INFORMATION

SNS4LSXXJ Ceramic  
SN74LSXXN Plastic  
SN74LSXXD SOIC

#### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

## SN54/74LS00

#### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		74	2.7	3.5		
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74	0.35	0.5		
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	µA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH			1.6	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
				4.4		
	Total, Output LOW					

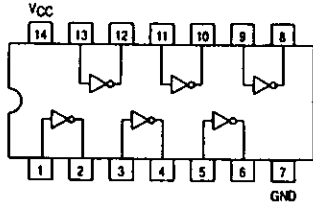
Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

#### AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub>	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 15 pF
t <sub>PHL</sub>	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	



# HEX INVERTER



## SN54/74LS04

HEX INVERTER  
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-06



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic  
SN74LSXXN Plastic  
SN74LSXXD SOIC

### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

FAST AND LS TTL DATA

## SN54/74LS04

### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		74	2.7	3.5		
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA, V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74	0.35	0.5		
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
				0.1		
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)		-20	-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			2.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
				6.6		

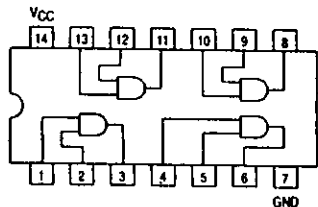
Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second

### AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub>	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V, C <sub>L</sub> = 15 pF
t <sub>PHL</sub>	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

FAST AND LS TTL DATA

# QUAD 2-INPUT AND GATE



## SN54/74LS08

### QUAD 2-INPUT AND GATE LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-06



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

#### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic  
SN74LSXXN Plastic  
SN74LSXXD SOIC

#### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	5.4	4.5	5.0	V
		7.4	4.75	5.0	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	5.4	-55	25	°C
		7.4	0	25	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	5.4, 7.4		-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	5.4		4.0	mA
		7.4		8.0	

FAST AND LS TTL DATA

## SN54/74LS08

#### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	5.4		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		7.4		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	5.4	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		7.4	2.7	3.5		
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	5.4, 7.4	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA, V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		7.4	0.35	0.5		
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)			-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH			-20	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
				-100		
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output LOW			4.8	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
				8.8		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

#### AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub>	Turn-Off Delay, Input to Output		8.0	15	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 15 pF
t <sub>PHL</sub>	Turn-On Delay, Input to Output		10	20	ns	

FAST AND LS TTL DATA

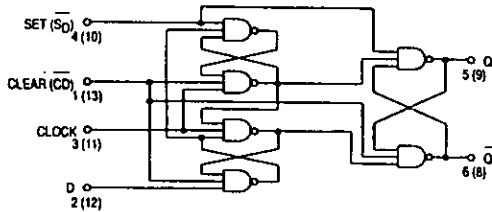


# DUAL D-TYPE POSITIVE EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP

The SN54/74LS74A dual edge-triggered flip-flop utilizes Schottky TTL circuitry to produce high speed D-type flip-flops. Each flip-flop has individual clear and set inputs, and also complementary Q and Q outputs.

Information at input D is transferred to the Q output on the positive-going edge of the clock pulse. Clock triggering occurs at a voltage level of the clock pulse and is not directly related to the transition time of the positive-going pulse. When the clock input is at either the HIGH or the LOW level, the D input signal has no effect.

LOGIC DIAGRAM (Each Flip-Flop)



MODE SELECT — TRUTH TABLE

OPERATING MODE	INPUTS			OUTPUTS	
	S <sub>D</sub>	S <sub>D</sub>	D	Q	Q
Set	L	H	X	H	L
Reset (Clear)	H	L	X	L	H
*Undetermined	L	L	X	H	H
Load "1" (Set)	H	H	h	H	L
Load "0" (Reset)	H	H	l	L	H

\* Both outputs will be HIGH while both S<sub>D</sub> and C<sub>D</sub> are LOW, but the output states are unpredictable if S<sub>D</sub> and C<sub>D</sub> go HIGH simultaneously. If the levels at the set and clear are near V<sub>IL</sub> maximum then we cannot guarantee to meet the minimum level for V<sub>CC</sub>.

H, h = HIGH Voltage Level  
L, l = LOW Voltage Level  
X = Don't Care  
l, h (t) = Lower case letters indicate the state of the referenced input (or output) one set-up time prior to the HIGH to LOW clock transition.

## SN54/74LS74A

### DUAL D-TYPE POSITIVE EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-06

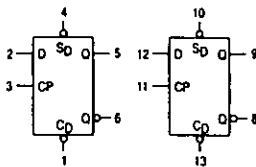


D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic  
SN74LSXXN Plastic  
SN74LSXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



V<sub>CC</sub> = PIN 14  
GND = PIN 7

## SN54/74LS74A

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54 74		0.7 0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage			-0.85 -1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54 74	2.5 2.7	3.5 3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74 74	0.25 0.35	0.4 0.5	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA I <sub>OL</sub> = 8.0 mA V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
I <sub>IH</sub>	Input High Current Data, Clock Set, Clear			20 40	µA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
	Data, Clock Set, Clear			0.1 0.2	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current Data, Clock Set, Clear			-0.4 -0.8	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current (Note 1)			-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current			8.0	mA	V <sub>CC</sub> = MAX

Note 1 Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second

AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V)

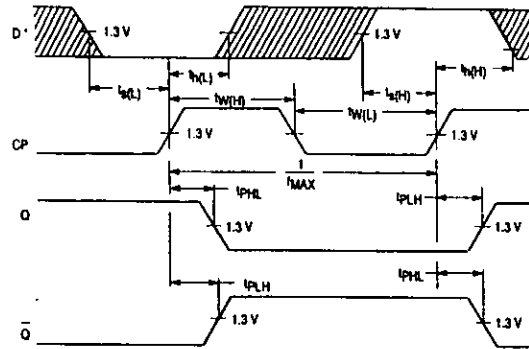
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
f <sub>MAX</sub>	Maximum Clock Frequency	25	33		MHz	Figure 1
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Clock, Clear, Set to Output		13 25	25 40	ns	Figure 1

AC SETUP REQUIREMENTS (T<sub>A</sub> = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>W(H)</sub>	Clock	25			ns	Figure 1
t <sub>W(L)</sub>	Clear, Set	25			ns	Figure 2
t <sub>s</sub>	Data Setup Time — HIGH LOW	20 20			ns	Figure 1
t <sub>h</sub>	Hold Time	5.0			ns	Figure 1

# SN54/74LS74A

## AC WAVEFORMS



\*The shaded areas indicate when the input is permitted to change for predictable output performance.

Figure 1. Clock to Output Delays, Data Set-Up and Hold Times, Clock Pulse Width

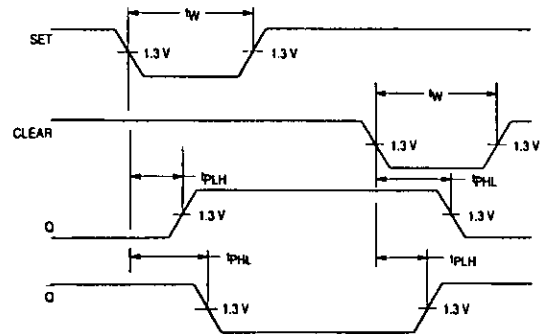


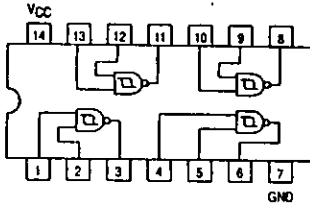
Figure 2. Set and Clear to Output Delays, Set and Clear Pulse Widths

# QUAD 2-INPUT SCHMITT TRIGGER NAND GATE

The SN54/74LS132 contains four 2-Input NAND Gates which accept standard TTL input signals and provide standard TTL output levels. They are capable of transforming slowly changing input signals into sharply defined, jitter-free output signals. Additionally, they have greater noise margin than conventional NAND Gates.

Each circuit contains a 2-Input Schmitt trigger followed by a Darlington level shifter and a phase splitter driving a TTL totem pole output. The Schmitt trigger uses positive feedback to effectively speed-up slow input transitions, and provide different input threshold voltages for positive and negative-going transitions. This hysteresis between the positive-going and negative-going input thresholds (typically 800 mV) is determined internally by resistor ratios and is essentially insensitive to temperature and supply voltage variations. As long as one input remains at a more positive voltage than  $V_{T+}$  (MAX), the gate will respond to the transitions of the other input as shown in Figure 1.

### LOGIC AND CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



## SN54/74LS132

### QUAD 2-INPUT SCHMITT TRIGGER NAND GATE LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648-06



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

#### ORDERING INFORMATION

- SN54LSXXDJ Ceramic
- SN74LSXXDN Plastic
- SN74LSXXDD SOIC

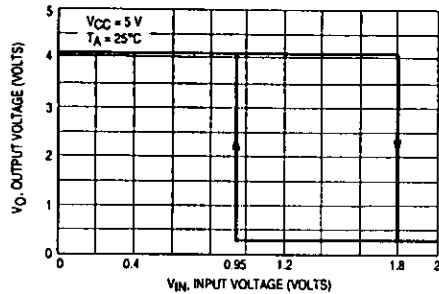


Figure 1.  $V_{IN}$  versus  $V_{OUT}$  Transfer Function

#### FAST AND LS TTL DATA

## SN54/74LS132

#### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
$T_A$	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
$I_{OH}$	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
$I_{OL}$	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

#### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$V_{T+}$	Positive-Going Threshold Voltage	1.5		2.0	V	$V_{CC} = 5.0$ V
$V_{T-}$	Negative-Going Threshold Voltage	0.6		1.1	V	$V_{CC} = 5.0$ V
$V_{T+} - V_{T-}$	Hysteresis	0.4	0.6		V	$V_{CC} = 5.0$ V
$V_{IK}$	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{IN} = -18$ mA
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.4	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{OH} = -400$ $\mu$ A, $V_{IN} = V_{IL}$
		74	2.7	3.4		
$V_{OL}$	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{OL} = 4.0$ mA, $V_{IN} = 2.0$ V
		74	0.35	0.5		
$I_{T+}$	Input Current at Positive-Going Threshold		-0.14		mA	$V_{CC} = 5.0$ V, $V_{IN} = V_{T+}$
$I_{T-}$	Input Current at Negative-Going Threshold		-0.18		mA	$V_{CC} = 5.0$ V, $V_{IN} = V_{T-}$
$I_{IH}$	Input HIGH Current			20	$\mu$ A	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 2.7$ V
$I_{IL}$	Input LOW Current			0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 7.0$ V
$I_{OS}$	Output Short Circuit Current (Note 1)		-0.4		mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 0.4$ V
			-100			
$I_{CC}$	Power Supply Current Total, Output HIGH		5.9	11	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 0$ V
			8.2	11		
	Total, Output LOW				mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 4.5$ V

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

#### AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$t_{PLH}$	Turn-Off Delay, Input to Output			22	ns	$V_{CC} = 5.0$ V $C_L = 15$ pF
$t_{PHL}$	Turn-On Delay, Input to Output			22	ns	

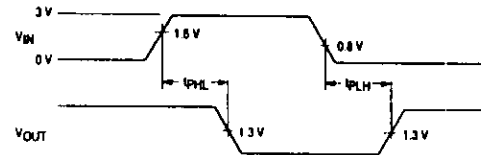


Figure 2. AC Waveforms

#### FAST AND LS TTL DATA

SN54/74LS132

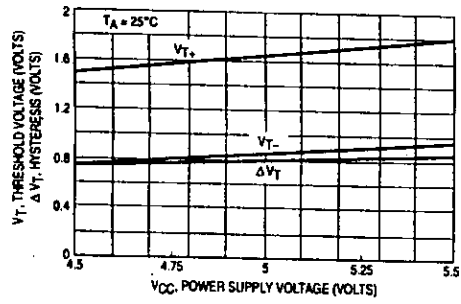


Figure 3. Threshold Voltage and Hysteresis versus Power Supply Voltage

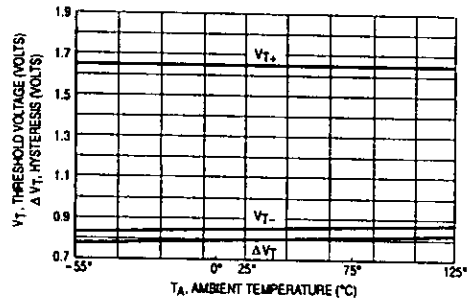


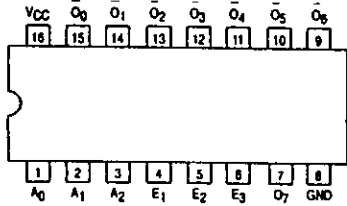
Figure 4. Threshold Voltage and Hysteresis versus Temperature

# 1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

The LSTTL/MSI SN54/74LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer. This device is ideally suited for high speed bipolar memory chip select address decoding. The multiple input enables allow parallel expansion to a 1-of-24 decoder using just three LS138 devices or to a 1-of-32 decoder using four LS138s and one inverter. The LS138 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all Motorola TTL families.

- Demultiplexing Capability
- Multiple Input Enable for Easy Expansion
- Typical Power Dissipation of 32 mW
- Active Low Mutually Exclusive Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

### CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:  
The Flatpak version has the same pins (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package

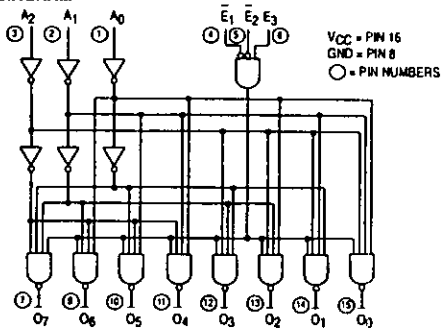
### PIN NAMES

$A_0$ - $A_2$  Address Inputs  
 $E_1, E_2$  Enable (Active LOW) Inputs  
 $E_3$  Enable (Active HIGH) Input  
 $O_0$ - $O_7$  Active LOW Outputs (Note b)

	LOADING (Note a)	
	HIGH	LOW
$A_0$ - $A_2$	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$E_1, E_2$	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$E_3$	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$O_0$ - $O_7$	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:  
a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40  $\mu$ A HIGH/1.6 mA LOW.  
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

### LOGIC DIAGRAM



FAST AND LS TTL DATA

# SN54/74LS138

## 1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 620-09



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648-08

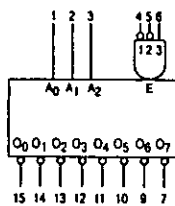


D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751B-03

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic  
SN74LSXXXN Plastic  
SN74LSXXXD SOIC

### LOGIC SYMBOL



$V_{CC}$  = PIN 16  
GND = PIN 8

# SN54/74LS138

### FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer fabricated with the low power Schottky barrier diode process. The decoder accepts three binary weighted inputs ( $A_0, A_1, A_2$ ) and when enabled provides eight mutually exclusive active LOW Outputs ( $O_0$ - $O_7$ ). The LS138 features three Enable inputs, two active LOW ( $E_1, E_2$ ) and one active HIGH ( $E_3$ ). All outputs will be HIGH unless  $E_1$  and  $E_2$  are LOW and  $E_3$  is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel ex-

pansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four LS138s and one inverter. (See Figure a.)

The LS138 can be used as an 8-output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the data input and the other Enable inputs as strobes. The Enable inputs which are not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

### TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUTS										
$E_1$	$E_2$	$E_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$O_0$	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L

H = HIGH Voltage Level  
L = LOW Voltage Level  
X = Don't Care

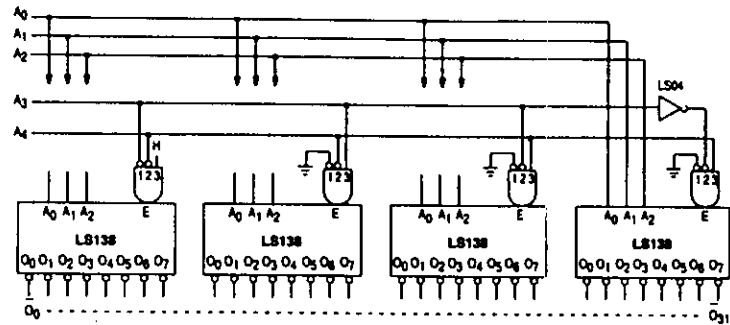


Figure a

FAST AND LS TTL DATA

# SN54/74LS138

## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

## DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74	0.35	0.5	V	
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
				0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current			10	mA	V <sub>CC</sub> = MAX

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

## AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)

Symbol	Parameter	Levels of Delay	Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
IPLH	Propagation Delay Address to Output	2		13	20	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 15 pF
IPHL	Propagation Delay Address to Output	2		27	41		
IPLH	Propagation Delay Address to Output	3		18	27		
IPHL	Propagation Delay Address to Output	3		26	39		
IPLH	Propagation Delay E <sub>1</sub> or E <sub>2</sub> Enable to Output	2		12	18		
IPHL	Propagation Delay E <sub>1</sub> or E <sub>2</sub> Enable to Output	2		21	32		
IPLH	Propagation Delay E <sub>3</sub> Enable to Output	3		17	26		
IPHL	Propagation Delay E <sub>3</sub> Enable to Output	3		25	38		

## AC WAVEFORMS

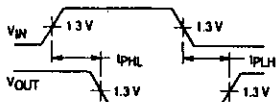


Figure 1

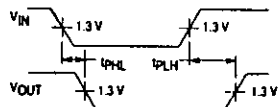


Figure 2

## FAST AND LS TTL DATA

# 1-of-8 Decoder/Demultiplexer

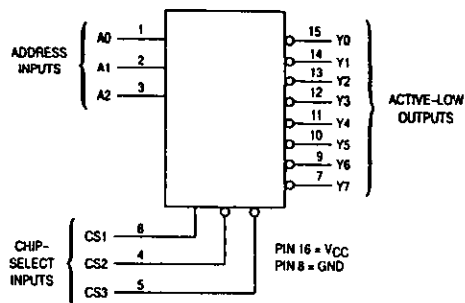
## High-Performance Silicon-Gate CMOS

The MC54/74HC138A is identical in pinout to the LS138. The device inputs are compatible with standard CMOS outputs; with pullup resistors, they are compatible with LSTTL outputs.

The HC138A decodes a three-bit Address to one-of-eight active-low outputs. This device features three Chip Select inputs, two active-low and one active-high to facilitate the demultiplexing, cascading, and chip-selecting functions. The demultiplexing function is accomplished by using the Address inputs to select the desired device output; one of the Chip Selects is used as a data input while the other Chip Selects are held in their active states.

- Output Drive Capability: 10 LSTTL Loads
- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS and TTL
- Operating Voltage Range: 2.0 to 6.0 V
- Low Input Current: 1.0  $\mu$ A
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Chip Complexity: 100 FETs or 29 Equivalent Gates

### LOGIC DIAGRAM



### FUNCTION TABLE

Inputs			Outputs										
CS1	CS2	CS3	A2	A1	A0	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	L	H	L
H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L

H = high level (steady state); L = low level (steady state);  
X = don't care

## MC54/74HC138A



J SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 620-10



N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 648-06



D SUFFIX  
SOIC PACKAGE  
CASE 751B-05



DT SUFFIX  
TSSOP PACKAGE  
CASE 948F-01

### ORDERING INFORMATION

MC54HCXXXAJ	Ceramic
MC74HCXXXAN	Plastic
MC74HCXXXAD	SOIC
MC74HCXXXADT	TSSOP

### PIN ASSIGNMENT

A0	1*	16	VCC
A1	2	15	Y0
A2	3	14	Y1
CS2	4	13	Y2
CS3	5	12	Y3
CS1	6	11	Y4
Y7	7	10	Y5
GND	8	9	Y6

### MAXIMUM RATINGS\*

Symbol	Parameter	Value	Unit
VCC	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	-0.5 to +7.0	V
V <sub>in</sub>	DC Input Voltage (Referenced to GND)	-0.5 to VCC + 0.5	V
V <sub>out</sub>	DC Output Voltage (Referenced to GND)	-0.5 to VCC + 0.5	V
I <sub>in</sub>	DC Input Current, per Pin	±20	mA
I <sub>out</sub>	DC Output Current, per Pin	±25	mA
I <sub>CC</sub>	DC Supply Current, VCC and GND Pins	±25	mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation in Still Air, Plastic or Ceramic DIP†	750	mW
	SOIC Package†	500	
	TSSOP Package†	450	
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T <sub>L</sub>	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds (Plastic DIP, SOIC or TSSOP Package) (Ceramic DIP)	260	°C
		300	

\* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

† Derating — Plastic DIP: -10 mW/°C from 65° to 125°C  
Ceramic DIP: -10 mW/°C from 100° to 125°C  
SOIC Package: -7 mW/°C from 65° to 125°C  
TSSOP Package: -6.1 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VCC	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	2.0	6.0	V
V <sub>in</sub> , V <sub>out</sub>	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	VCC	V
T <sub>A</sub>	Operating Temperature, All Package Types	-55	+125	°C
t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub>	Input Rise and Fall Time (Figure 2)	VCC = 2.0 V	0	1000
		VCC = 4.5 V	0	500
		VCC = 6.0 V	0	400

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	VCC V	Guaranteed Limit			Unit	
				-65°C to 25°C	±85°C	±125°C		
V <sub>IH</sub>	Minimum High-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1 V or VCC - 0.1 V I <sub>out</sub> † ≤ 20 $\mu$ A	2.0	1.5	1.5	1.5	V	
			3.0	2.1	2.1	2.1		
			4.5	3.15	3.15	3.15		
			6.0	4.2	4.2	4.2		
V <sub>IL</sub>	Maximum Low-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1 V or VCC - 0.1 V I <sub>out</sub> † ≤ 20 $\mu$ A	2.0	0.5	0.5	0.5	V	
			3.0	0.9	0.9	0.9		
			4.5	1.35	1.35	1.35		
			6.0	1.8	1.8	1.8		
V <sub>OH</sub>	Minimum High-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> I <sub>out</sub> † ≤ 20 $\mu$ A	2.0	1.9	1.9	1.9	V	
			4.5	4.4	4.4	4.4		
			6.0	5.9	5.9	5.9		
			V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> I <sub>out</sub> † ≤ 2.4 mA I <sub>out</sub> † ≤ 4.0 mA I <sub>out</sub> † ≤ 5.2 mA	3.0	2.48	2.34		2.20
				4.5	3.96	3.84		3.70
				6.0	5.48	5.34		5.20

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V<sub>in</sub> and V<sub>out</sub> should be constrained to the range GND ≤ (V<sub>in</sub> or V<sub>out</sub>) ≤ VCC. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or VCC). Unused outputs must be left open.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V <sub>CC</sub> V	Guaranteed Limit			Unit
				-55°C to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V <sub>OL</sub>	Maximum Low-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
			6.0	0.1	0.1	0.1	
		V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 2.4 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 4.0 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 5.2 mA	3.0	0.26	0.33	0.40	
			4.5	0.26	0.33	0.40	
			6.0	0.26	0.33	0.40	
I <sub>in</sub>	Maximum Input Leakage Current	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.1	±1.0	±1.0	μA
I <sub>CC</sub>	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND I <sub>out</sub> = 0 μA	6.0	4	40	160	μA

NOTE: Information on typical parametric values can be found in Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50 pF, Input t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6.0 ns)

Symbol	Parameter	V <sub>CC</sub> V	Guaranteed Limit			Unit
			-55°C to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Maximum Propagation Delay, Input A to Output Y (Figures 1 and 4)	2.0	135	170	205	ns
		3.0	90	125	165	
		4.5	27	34	41	
		6.0	23	29	35	
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Maximum Propagation Delay, CS1 to Output Y (Figures 2 and 4)	2.0	110	140	165	ns
		3.0	85	100	125	
		4.5	22	28	33	
		6.0	19	24	28	
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Maximum Propagation Delay, CS2 or CS3 to Output Y (Figures 3 and 4)	2.0	120	150	180	ns
		3.0	90	120	150	
		4.5	24	30	36	
		6.0	20	26	31	
t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	Maximum Output Transition Time, Any Output (Figures 2 and 4)	2.0	75	95	110	ns
		3.0	30	40	55	
		4.5	15	19	22	
		6.0	13	16	19	
C <sub>in</sub>	Maximum Input Capacitance	—	10	10	10	pF

NOTE: For propagation delays with loads other than 50 pF, and information on typical parametric values, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

C <sub>PD</sub>	Power Dissipation Capacitance (Per Package)*	Typical @ 25°C, V <sub>CC</sub> = 5.0 V	
		55	pF

\* Used to determine the no-load dynamic power consumption: P<sub>D</sub> = C<sub>PD</sub> V<sub>CC</sub><sup>2</sup> f + I<sub>CC</sub> V<sub>CC</sub>. For load considerations, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

SWITCHING WAVEFORMS

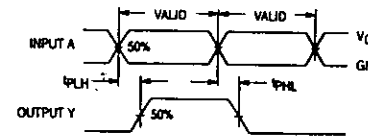


Figure 1.

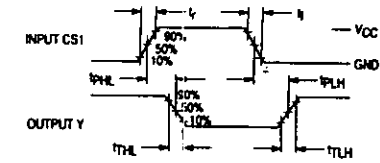


Figure 2.

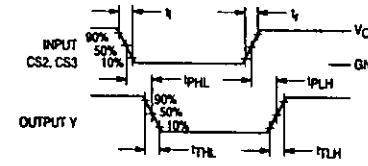
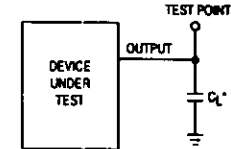


Figure 3.



\* Includes all probe and jig capacitance

Figure 4. Test Circuit

PIN DESCRIPTIONS

ADDRESS INPUTS

A0, A1, A2 (Pins 1, 2, 3)

Address inputs. These inputs, when the chip is selected, determine which of the eight outputs is active-low.

Address inputs. For any other combination of CS1, CS2, and CS3, the outputs are at a logic high.

OUTPUTS

Y0 - Y7 (Pins 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 7)

Active-low Decoded outputs. These outputs assume a low level when addressed and the chip is selected. These outputs remain high when not addressed or the chip is not selected.

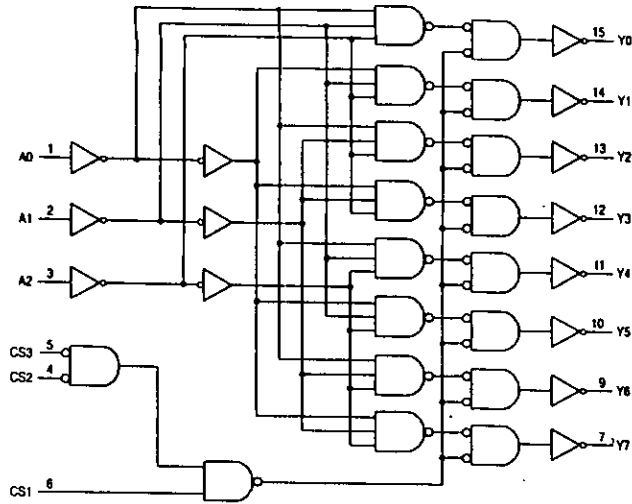
CONTROL INPUTS

CS1, CS2, CS3 (Pins 6, 4, 5)

Chip select inputs. For CS1 at a high level and CS2, CS3 at a low level, the chip is selected and the outputs follow the



EXPANDED LOGIC DIAGRAM



OUTLINE DIMENSIONS

**J SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 620-10 ISSUE V**

DIM		INCHES		MILLIMETERS	
		MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.750	0.725	0.775	18.80	19.63
B	0.200	0.225	0.175	5.08	4.43
C	—	0.200	—	5.08	—
D	0.215	0.200	0.230	5.46	5.83
E	0.050	ESC	—	1.27	ESC
F	0.050	0.050	0.050	1.27	1.27
G	0.150	0.150	0.150	3.81	3.81
H	0.020	0.015	0.025	0.51	0.38
I	0.150	0.170	0.130	3.81	3.30
J	0.200	0.180	0.220	5.08	5.59
K	0.100	0.090	0.110	2.54	2.79
L	0.200	0.180	0.220	5.08	5.59
M	0.020	0.040	0.01	0.51	1.01

NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.  
 4. DIM F MAY NARROW TO 0.16 IN 0.025 WHERE THE LEAD ENTERS THE CERAMIC BODY.

**N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R**

DIM		INCHES		MILLIMETERS	
		MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.750	0.725	0.775	18.80	19.63
B	0.200	0.225	0.175	5.08	4.43
C	0.125	0.125	0.125	3.18	3.18
D	0.215	0.200	0.230	5.46	5.83
E	0.050	ESC	—	1.27	ESC
F	0.050	0.050	0.050	1.27	1.27
G	0.100	ESC	—	2.54	ESC
H	0.020	0.015	0.025	0.51	0.38
I	0.150	0.130	0.170	3.81	3.30
J	0.200	0.180	0.220	5.08	5.59
K	0.100	0.090	0.110	2.54	2.79
L	0.200	0.180	0.220	5.08	5.59
M	0.020	0.040	0.01	0.51	1.01

NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.  
 4. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.  
 5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

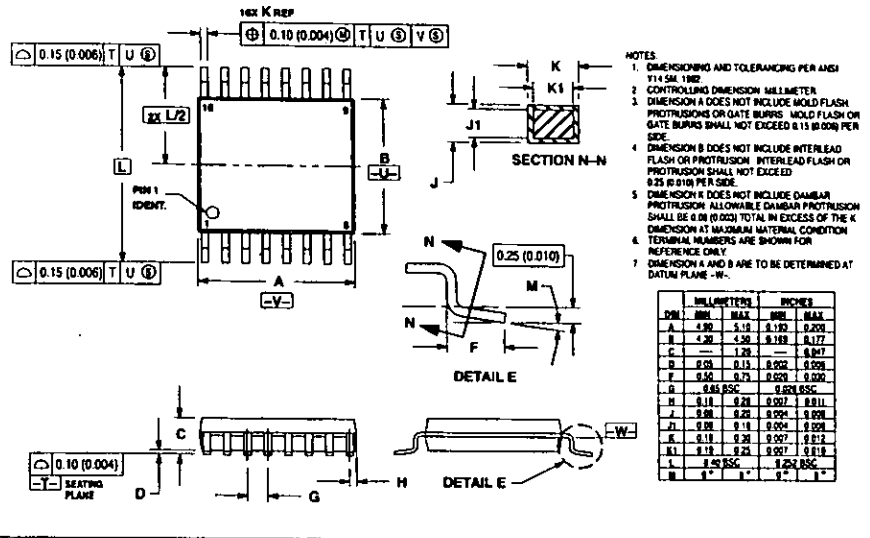
**D SUFFIX PLASTIC SOIC PACKAGE CASE 751B-05 ISSUE J**

DIM		MILLIMETERS		INCHES	
		MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.00	4.90	5.10	0.193	0.201
B	3.80	3.70	3.90	0.146	0.154
C	1.90	1.75	2.05	0.069	0.081
D	0.25	0.20	0.30	0.010	0.012
E	0.50	0.45	0.55	0.020	0.022
F	0.25	ESC	—	0.010	ESC
G	0.25	ESC	—	0.010	ESC
H	0.17	0.15	0.19	0.007	0.008
I	0.15	0.12	0.18	0.006	0.008
J	0.50	0.45	0.55	0.020	0.022
K	0.25	0.20	0.30	0.010	0.012

NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION MILLIMETER.  
 3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.  
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 IN 0.050 PER SIDE.  
 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 IN (0.050) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

OUTLINE DIMENSIONS

DT SUFFIX  
PLASTIC TSSOP PACKAGE  
CASE 948F-01  
ISSUE 0



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:  
USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution,  
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85065. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd., Tsukuba-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,  
6F Setbu-Butsuryo-Center, 3-14-2 Tsukuba-Ko-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@mail.sps.mot.com - TOUCHSTONE (802) 244-6609  
INTERNET: http://Design-NE.T.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 88 Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26529298



◇ CODELINE

MC54/74HC138A/D

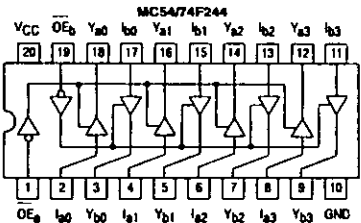
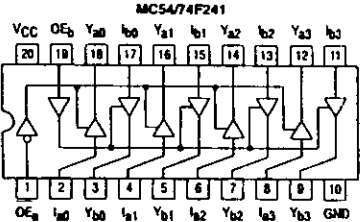
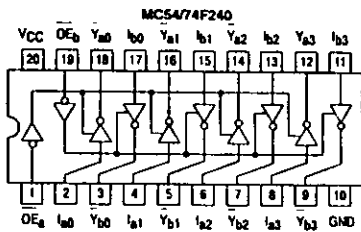
1. THIS DOCUMENT IS UNCLASSIFIED AND IS IN THE PUBLIC DOMAIN. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.

# OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

The F240, F241 and F244 are octal buffers and line drivers designed to be employed as memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented transmitters/receivers which provide improved PC board density.

- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- Outputs Sink 64 mA
- 15 mA Source Current
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects
- ESD > 4000 Volts

## CONNECTION DIAGRAMS



FAST AND LS TTL DATA

4-181

# MC54/74F240 MC54/74F241 MC54/74F244

## OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS FAST™ SCHOTTKY TTL



### ORDERING INFORMATION

- MC54FXXXJ Ceramic
- MC74FXXXN Plastic
- MC74FXXXDW SOIC

# MC54/74F240 • MC54/74F241 • MC54/74F244

### FUNCTION TABLE MC54/74F240

Inputs			Outputs		
OE <sub>a</sub>	I <sub>a</sub>	OE <sub>b</sub>	I <sub>b</sub>	Y <sub>a</sub>	Y <sub>b</sub>
L	L	L	L	H	H
L	H	L	H	L	L
H	X	H	X	Z	Z

### FUNCTION TABLE MC54/74F241

Inputs			Outputs		
OE <sub>a</sub>	I <sub>a</sub>	OE <sub>b</sub>	I <sub>b</sub>	Y <sub>a</sub>	Y <sub>b</sub>
L	L	H	L	L	L
L	H	H	H	H	H
H	X	L	X	Z	Z

### FUNCTION TABLE MC54/74F244

Inputs			Outputs		
OE <sub>a</sub>	I <sub>a</sub>	OE <sub>b</sub>	I <sub>b</sub>	Y <sub>a</sub>	Y <sub>b</sub>
L	L	L	L	L	L
L	H	L	H	H	H
H	X	H	X	Z	Z

H = HIGH Voltage Level; L = LOW Voltage Level; X = Don't Care; Z = High Impedance

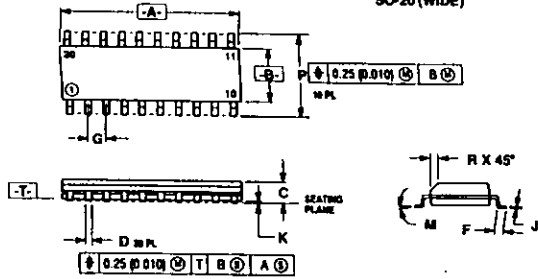
### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54, 74	4.5	5.0	5.5	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54			-12	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			-15	mA
		74			64	

FAST AND LS TTL DATA

4-182

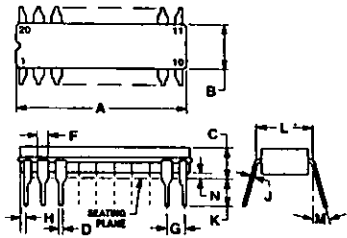
Case 751D-03 DW Suffix  
20-Pin Plastic  
SO-20 (WIDE)



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
  3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
  5. 751D-01 AND 02 OBSOLETE, NEW STANDARD 751D-03.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	12.85	12.85	0.506	0.510
B	7.40	7.80	0.291	0.309
C	2.25	2.65	0.089	0.104
D	0.25	0.40	0.010	0.016
E	0.50	0.80	0.020	0.032
F	1.37	BSC	0.054	BSC
G	0.25	0.32	0.010	0.013
H	0.10	0.25	0.004	0.010
I	0"	0"	0"	0"
J	10.00	10.30	0.394	0.415
K	0.25	0.75	0.010	0.030

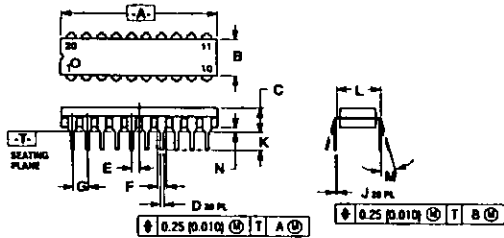
Case 732-03 J Suffix  
20-Pin Ceramic Dual In-Line



- NOTES:
1. LEADS WITHIN 0.25 mm (0.010) DIA, TRUE POSITION AT SEATING PLANE, AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
  2. DIM L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
  3. DIM A AND B INCLUDES MENISCUS.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	22.00	23.13	0.869	0.910
B	0.80	7.00	0.239	0.276
C	2.81	3.00	0.110	0.118
D	0.20	0.25	0.008	0.010
E	1.40	1.60	0.055	0.063
F	2.54	BSC	0.100	BSC
G	0.51	1.27	0.020	0.050
H	0.20	0.20	0.008	0.012
I	3.10	4.00	0.122	0.158
J	7.62	BSC	0.300	BSC
K	0"	0"	0"	0"
L	0.25	1.02	0.010	0.040

Case 730-03 N Suffix  
20-Pin Plastic



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION "L" TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
  4. DIMENSION "W" DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
  5. 730-02 OBSOLETE, NEW STANDARD 730-03.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	22.00	22.13	0.869	0.870
B	0.40	4.00	0.016	0.158
C	2.81	2.97	0.110	0.118
D	0.20	0.25	0.008	0.010
E	1.27	BSC	0.050	BSC
F	1.27	1.77	0.050	0.070
G	2.54	BSC	0.100	BSC
H	0.21	0.30	0.008	0.012
I	2.50	3.50	0.100	0.140
J	7.62	BSC	0.300	BSC
K	0"	0"	0"	0"
L	0.51	1.01	0.020	0.040

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and <sup>®</sup> are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Literature Distribution Centers:

USA: Motorola Literature Distribution, P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036

EUROPE: Motorola Ltd., European Literature Centre, 86 Tanners Drive, Bletchley, Milton Keynes, MK1 4SP, England

JAPAN: Nepron Motorola Ltd., 4-32-1, Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., Silicon Harbour Centre, No. 2, Des King Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, N.T., Hong Kong

# Octal 3-State Noninverting Buffer/Line Driver/Line Receiver

## High-Performance Silicon-Gate CMOS

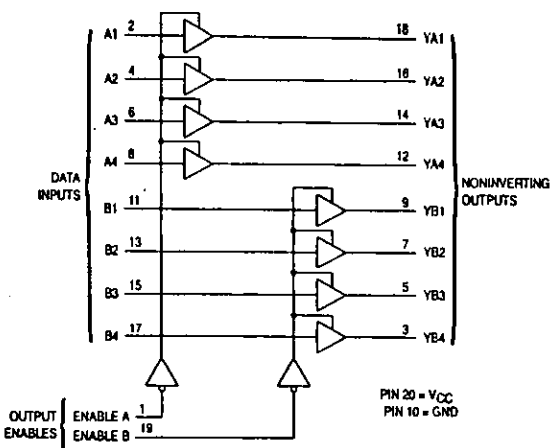
The MC54/74HC244A is identical in pinout to the LS244. The device inputs are compatible with standard CMOS outputs; with pullup resistors, they are compatible with LSTTL outputs.

This octal noninverting buffer/line driver/line receiver is designed to be used with 3-state memory address drivers, clock drivers, and other bus-oriented systems. The device has noninverting outputs and two active-low output enables.

The HC244A is similar in function to the HC240A and HC241A.

- Output Drive Capability: 15 LSTTL Loads
- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS, and TTL
- Operating Voltage Range: 2 to 6 V
- Low Input Current: 1  $\mu$ A
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Chip Complexity: 136 FETs or 34 Equivalent Gates

### LOGIC DIAGRAM



## MC54/74HC244A

**J SUFFIX**  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 732-03

**N SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 738-03

**DW SUFFIX**  
SOIC PACKAGE  
CASE 751D-04

**SD SUFFIX**  
SSOP PACKAGE  
CASE 940C-03

**DT SUFFIX**  
TSSOP PACKAGE  
CASE 948E-02

### ORDERING INFORMATION

MC54HCXXXAJ	Ceramic
MC74HCXXXAN	Plastic
MC74HCXXXADW	SOIC
MC74HCXXXASD	SSOP
MC74HCXXXADT	TSSOP

### PIN ASSIGNMENT

ENABLE A	1	20	VCC
A1	2	19	ENABLE B
YB4	3	18	YA1
A2	4	17	B4
YB3	5	16	YA2
A3	6	15	B3
YB2	7	14	YA3
A4	8	13	B2
YB1	9	12	YA4
GND	10	11	B1

### FUNCTION TABLE

Inputs		Outputs	
Enable A, Enable B	A, B	YA, YB	
L	L	L	
L	H	H	
H	X	Z	

Z = high impedance

### MAXIMUM RATINGS\*

Symbol	Parameter	Value	Unit
VCC	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to + 7.0	V
V <sub>IN</sub>	DC Input Voltage (Referenced to GND)	- 1.5 to VCC + 1.5	V
V <sub>OUT</sub>	DC Output Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to VCC + 0.5	V
I <sub>IN</sub>	DC Input Current, per Pin	± 20	mA
I <sub>OUT</sub>	DC Output Current, per Pin	± 35	mA
I <sub>CC</sub>	DC Supply Current, VCC and GND Pins	± 75	mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation in Still Air, Plastic or Ceramic DIP†	750	mW
	SOIC Package†	500	
	SSOP or TSSOP Package†	450	
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T <sub>L</sub>	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds (Plastic DIP, SOIC, SSOP or TSSOP Package)	260	°C
	(Ceramic DIP)	300	

\* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

† Derating — Plastic DIP: - 10 mW/°C from 65° to 125°C

Ceramic DIP: - 10 mW/°C from 100° to 125°C

SOIC Package: - 7 mW/°C from 65° to 125°C

SSOP or TSSOP Package: - 6.1 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VCC	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	2.0	6.0	V
V <sub>IN</sub> , V <sub>OUT</sub>	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	VCC	V
T <sub>A</sub>	Operating Temperature, All Package Types	- 55	+ 125	°C
t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub>	Input Rise and Fall Time (Figure 1)	VCC = 2.0 V VCC = 4.5 V VCC = 6.0 V	0 1000 400	ns

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	VCC V	Guaranteed Limit			Unit	
				- 55 to 25°C	≤ 65°C	≤ 125°C		
V <sub>IH</sub>	Minimum High-Level Input Voltage	V <sub>OUT</sub> = VCC - 0.1 V I <sub>OUT</sub> ≤ 20 $\mu$ A	2.0	1.5	1.5	1.5	V	
			3.0	2.1	2.1	2.1		
			4.5	3.15	3.15	3.15		
			6.0	4.2	4.2	4.2		
V <sub>IL</sub>	Maximum Low-Level Input Voltage	V <sub>OUT</sub> = 0.1 V I <sub>OUT</sub> ≤ 20 $\mu$ A	2.0	0.5	0.5	0.5	V	
			3.0	0.9	0.9	0.9		
			4.5	1.35	1.35	1.35		
			6.0	1.8	1.8	1.8		
V <sub>OH</sub>	Minimum High-Level Output Voltage	V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> I <sub>OUT</sub> ≤ 20 $\mu$ A	2.0	1.9	1.9	1.9	V	
			4.5	4.4	4.4	4.4		
			6.0	5.9	5.9	5.9		
			V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> I <sub>OUT</sub> ≤ 2.4 mA I <sub>OUT</sub> ≤ 6.0 mA I <sub>OUT</sub> ≤ 7.8 mA	3.0	2.48	2.34		2.2
				4.5	3.98	3.84		3.7
				6.0	5.48	5.34		5.2

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V<sub>IN</sub> and V<sub>OUT</sub> should be constrained to the range GND ≤ (V<sub>IN</sub> or V<sub>OUT</sub>) ≤ VCC. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or VCC). Unused outputs must be left open.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V <sub>CC</sub> V	Guaranteed Limit			Unit
				-55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V <sub>OL</sub>	Maximum Low-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> I <sub>out</sub> ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
			6.0	0.1	0.1	0.1	
		V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> I <sub>out</sub> ≤ 2.4 mA I <sub>out</sub> ≤ 6.0 mA I <sub>out</sub> ≤ 7.8 mA	3.0	0.26	0.33	0.4	
			4.5	0.26	0.33	0.4	
			6.0	0.26	0.33	0.4	
I <sub>in</sub>	Maximum Input Leakage Current	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.1	±1.0	±1.0	μA
I <sub>OZ</sub>	Maximum Three-State Leakage Current	Output in High-Impedance State V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> V <sub>out</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.5	±5.0	±10	μA
I <sub>CC</sub>	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND I <sub>out</sub> = 0 μA	6.0	4.0	40	160	μA

NOTE: Information on typical parametric values and high frequency or heavy load considerations can be found in Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50 pF, Input t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 5 ns)

Symbol	Parameter	V <sub>CC</sub> V	Guaranteed Limit			Unit
			-55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Maximum Propagation Delay, A to YA or B to YB (Figures 1 and 3)	2.0	96	115	135	ns
		3.0	50	60	70	
		4.5	18	23	27	
		6.0	15	20	23	
t <sub>PLZ</sub> , t <sub>PHZ</sub>	Maximum Propagation Delay, Output Enable to YA or YB (Figures 2 and 4)	2.0	110	140	165	ns
		3.0	60	70	80	
		4.5	22	28	33	
		6.0	19	24	28	
t <sub>PZL</sub> , t <sub>PZH</sub>	Maximum Propagation Delay, Output Enable to YA or YB (Figures 2 and 4)	2.0	110	140	165	ns
		3.0	60	70	80	
		4.5	22	28	33	
		6.0	19	24	28	
t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	Maximum Output Transition Time, Any Output (Figures 1 and 3)	2.0	60	75	90	ns
		3.0	23	27	32	
		4.5	12	15	18	
		6.0	10	13	15	
C <sub>in</sub>	Maximum Input Capacitance	—	10	10	10	pF
C <sub>out</sub>	Maximum Three-State Output Capacitance (Output in High-Impedance State)	—	15	15	15	pF

NOTE: For propagation delays with loads other than 50 pF, and information on typical parametric values, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

C <sub>PD</sub>	Power Dissipation Capacitance (Per Buffer)*	Typical @ 25°C, V <sub>CC</sub> = 5.0 V	
		34	pF

\* Used to determine the no-load dynamic power consumption: P<sub>D</sub> = C<sub>PD</sub> V<sub>CC</sub><sup>2</sup> + I<sub>CC</sub> V<sub>CC</sub>. For load considerations, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

SWITCHING WAVEFORMS

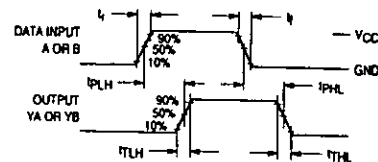


Figure 1.

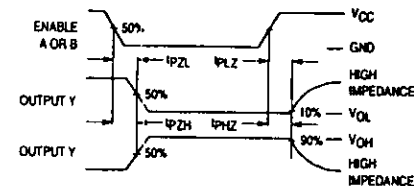
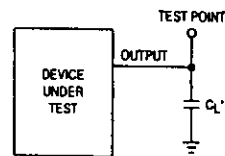


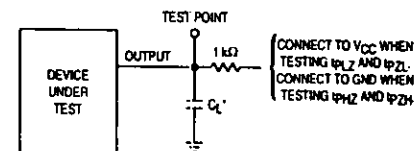
Figure 2.

TEST CIRCUITS



\* Includes all probe and jig capacitance

Figure 3. Test Circuit



\* Includes all probe and jig capacitance

Figure 4. Test Circuit

PIN DESCRIPTIONS

INPUTS

A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4  
(Pins 2, 4, 6, 8, 11, 13, 15, 17)

Data input pins. Data on these pins appear in noninverted form on the corresponding Y outputs, when the outputs are enabled.

CONTROLS

Enable A, Enable B (Pins 1, 19)

Output enables (active-low). When a low level is applied

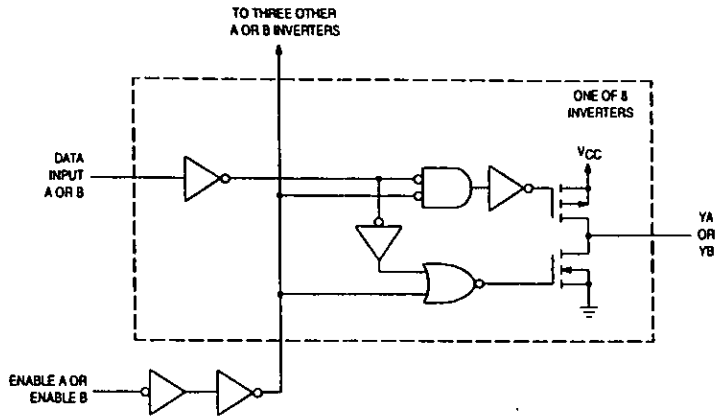
to these pins, the outputs are enabled and the devices function as noninverting buffers. When a high level is applied, the outputs assume the high impedance state.

OUTPUTS

YA1, YA2, YA3, YA4, YB1, YB2, YB3, YB4  
(Pins 18, 16, 14, 12, 9, 7, 5, 3)

Device outputs. Depending upon the state of the output-enable pins, these outputs are either noninverting outputs or high-impedance outputs.

LOGIC DETAIL



OUTLINE DIMENSIONS

**J SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 732-03  
ISSUE E**

**NOTES**

- LEADS WITHIN 0.25 (0.010) DIAMETER, TRUE POSITION AT SEATING PLANE, AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSIONS A AND B INCLUDE MENISCUS.

DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	20.30	25.15	0.800	0.990
B	6.80	7.60	0.270	0.299
C	3.41	5.08	0.134	0.200
D	0.38	0.58	0.015	0.022
E	1.90	1.65	0.075	0.065
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.51	1.27	0.020	0.050
H	0.20	0.30	0.008	0.012
J	0.13	0.18	0.005	0.007
K	7.62 BSC		0.300 BSC	
L	0°	15°	0°	15°
M	0.25	1.00	0.010	0.039

**N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 739-03  
ISSUE E**

**NOTES**

- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1982.
- CONTROLLING DIMENSION INCH.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

DIM.	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	1.010	1.070	25.66	27.11
B	0.250	0.280	6.35	6.88
C	0.150	0.180	3.81	4.57
D	0.015	0.022	0.38	0.56
E	0.060 BSC		1.52 BSC	
F	0.050	0.070	1.27	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.008	0.013	0.21	0.33
J	0.118 ± 0.010	0.08	3.00	2.03
K	0.300 BSC		7.62 BSC	
L	0°	15°	0°	15°
M	0.020	0.080	0.51	2.03

**DW SUFFIX  
PLASTIC SOIC PACKAGE  
CASE 751D-04  
ISSUE E**

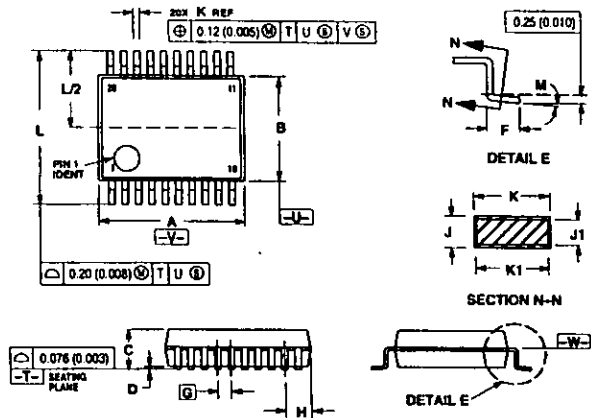
**NOTES**

- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1982.
- CONTROLLING DIMENSION MILLIMETER.
- DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
- MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.150.
- 16 BOND PER SIDE.
- DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALL DAMBAR DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.13.
- 16 BOND PITCH IN EXCESS OF D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	7.60	7.70	0.300	0.304
B	7.60	7.60	0.299	0.299
C	2.80	2.80	0.110	0.110
D	0.20	0.20	0.008	0.008
E	0.20	0.20	0.008	0.008
F	1.27 BSC		0.050 BSC	
G	0.25	0.25	0.010	0.010
H	0.10	0.25	0.004	0.010
J	0.13	0.13	0.005	0.005
K	0.13	0.13	0.005	0.005
L	0.00	15.50	0.00	0.610
M	0.25	0.25	0.010	0.010

OUTLINE DIMENSIONS

SD SUFFIX  
PLASTIC SSOP PACKAGE  
CASE 940C-03  
ISSUE B

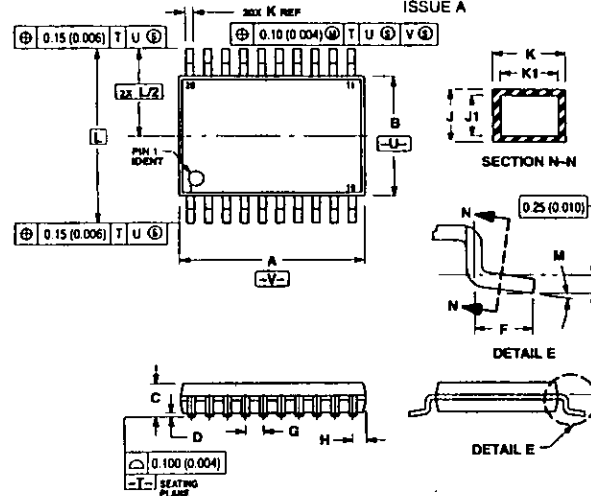


NOTES

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1987
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
3. DIMENSION A DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE
5. DIMENSION K DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.13 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF E DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION. DAMBAR INTRUSION SHALL NOT REDUCE DIMENSION K BY MORE THAN 0.07 (0.003) AT LEAST MATERIAL CONDITION
6. TERMINAL NUMBERS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY
7. DIMENSION A AND B ARE TO BE DETERMINED AT DATUM PLANE - W-

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	7.02	7.32	0.276	0.289
B	5.20	5.28	0.205	0.212
C	1.77	1.99	0.069	0.078
D	0.95	0.91	0.037	0.036
E	0.63	0.79	0.025	0.031
G	0.65 BSC	0.625 BSC		
H	0.58	0.75	0.023	0.030
J	0.08	0.20	0.003	0.008
K	0.08	0.18	0.003	0.007
K1	0.25	0.26	0.010	0.010
L	0.25	0.33	0.010	0.013
M	7.65	7.80	0.301	0.311
N	0.2	0.2	0.2	0.2

DT SUFFIX  
PLASTIC TSSOP PACKAGE  
CASE 948E-02  
ISSUE A



NOTES

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1987
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
3. DIMENSION A DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25 (0.010) PER SIDE
5. DIMENSION K DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.08 (0.003) TOTAL IN EXCESS OF E DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION
6. TERMINAL NUMBERS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY
7. DIMENSION A AND B ARE TO BE DETERMINED AT DATUM PLANE - W-

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	6.90	6.99	0.272	0.276
B	5.20	5.50	0.205	0.217
C	—	1.20	—	0.047
D	0.95	0.91	0.037	0.036
E	0.50	0.75	0.020	0.030
G	0.65 BSC	0.625 BSC		
H	0.27	0.27	0.011	0.011
J	0.08	0.20	0.003	0.008
K	0.08	0.18	0.003	0.007
K1	0.18	0.25	0.007	0.010
L	0.18	0.25	0.007	0.010
M	6.50 BSC	6.25 BSC		
N	0.2	0.2	0.2	0.2

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typical" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Max is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:  
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution,  
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217, 303-675-2140 or 1-800-441-3447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd., Osamu-SPD-BLDG. 6F Seto-Bu-kyu-Center,  
3-14-2 Tatsumi-Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 81-3-3521-8315

Motorola™ RMFAXD@email.sps.mot.com - TOUCHSTONE: 602-244-6600  
- US & Canada ONLY 1-800-774-1848

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 88 Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26529298



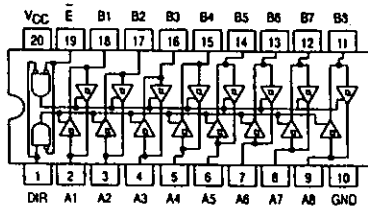


# OCTAL BUS TRANSCEIVER

The SN54/74LS245 is an Octal Bus Transmitter/Receiver designed for 8-line asynchronous 2-way data communication between data buses. Direction Input (DR) controls transmission of Data from bus A to bus B or bus B to bus A depending upon its logic level. The Enable input (E) can be used to isolate the buses.

- Hysteresis Inputs to Improve Noise Immunity
- 2-Way Asynchronous Data Bus Communication
- Input Diodes Limit High-Speed Termination Effects
- ESD > 3500 Volts

## LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)



## TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
E	DIR	
L	L	Bus B Data to Bus A
L	H	Bus A Data to Bus B
H	X	Isolation

H = HIGH Voltage Level  
L = LOW Voltage Level  
X = Indifferent

## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	54	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-3.0	mA
		54, 74			-12 -15	
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			12	mA
		74			24	

# SN54/74LS245

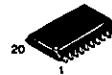
## OCTAL BUS TRANSCEIVER LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 732-03



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 738-03



DW SUFFIX  
SOIC  
CASE 751D-03

## ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic  
SN74LSXXXN Plastic  
SN74LSXXXDW SOIC

# SN54/74LS245

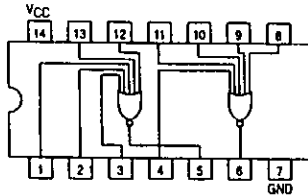
## DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V <sub>T+</sub> -V <sub>T-</sub>	Hysteresis	0.2	0.4		V	V <sub>CC</sub> = MIN	
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA	
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54, 74	2.4	3.4	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = -3.0 mA	
		54, 74	2.0				V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>CL</sub> = 12 mA V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table	
		74	0.35	0.5			I <sub>CL</sub> = 24 mA
I <sub>OZH</sub>	Output Off Current HIGH			20	µA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 2.7 V	
I <sub>OZL</sub>	Output Off Current LOW			-200	µA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 0.4 V	
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current	A or B, DR or E		20	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V	
		DR or E		0.1			V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
		A or B		0.1			V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 5.5 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			-0.2	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V	
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current (Note 1)			-40	mA	V <sub>CC</sub> = MAX	
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH			70	mA	V <sub>CC</sub> = MAX	
				90			
				95			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

## AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V, T<sub>RISE</sub> / T<sub>FALL</sub> ≤ 6.0 ns)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Data to Output		8.0 8.0	12 12	ns	C <sub>L</sub> = 45 pF, R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PZH</sub>	Output Enable Time to HIGH Level		25	40		
t <sub>PZL</sub>	Output Enable Time to LOW Level		27	40		
t <sub>PLZ</sub>	Output Disable Time from LOW Level		15	25	ns	C <sub>L</sub> = 5.0 pF, R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PHZ</sub>	Output Disable Time from HIGH Level		15	25		

**DUAL 5-INPUT NOR GATE**

**SN54/74LS260**
**DUAL 5-INPUT NOR GATE  
LOW POWER SCHOTTKY**

**J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08**

**N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648-06**

**D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02**
**ORDERING INFORMATION**

SN54LSXXXJ	Ceramic
SN74LSXXXN	Plastic
SN74LSXXXD	SOIC

**GUARANTEED OPERATING RANGES**

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	V
		74	4.75	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	°C
		74	0	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74		-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54		4.0	mA
		74		8.0	

FAST AND LS TTL DATA

5-1

**SN54/74LS260**
**DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)**

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		74	2.7	3.5		
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>CL</sub> = 4.0 mA, V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74	0.35	0.5		
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	µA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			4.0	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
				5.5		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

**AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)**

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub>	Turn-Off Delay, Input to Output		5.0	15	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 15 pF
t <sub>PHL</sub>	Turn-On Delay, Input to Output		6.0	15	ns	

FAST AND LS TTL DATA

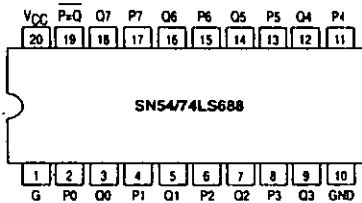
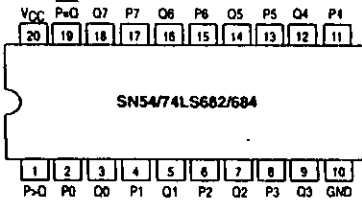
5-2

# 8-BIT MAGNITUDE COMPARATORS

The SN54/74LS682, 684, 688 are 8-bit magnitude comparators. These device types are designed to perform comparisons between two eight-bit binary or BCD words. All device types provide P = Q outputs and the LS682 and LS684 have P > Q outputs also.

The LS682, LS684 and LS688 are totem pole devices. The LS682 has a 20 kΩ pullup resistor on the Q inputs for analog or switch data.

### CONNECTION DIAGRAMS (TOP VIEW)



TYPE	P = Q	P > Q	OUTPUT ENABLE	OUTPUT CONFIGURATION	PULLUP
LS682	yes	yes	no	totem-pole	yes
LS684	yes	yes	no	totem-pole	no
LS688	yes	no	yes	totem-pole	no

**SN54/74LS682**  
**SN54/74LS684**  
**SN54/74LS688**

**8-BIT MAGNITUDE COMPARATORS**

**LOW POWER SCHOTTKY**



J SUFFIX  
 CERAMIC  
 CASE 732-03



N SUFFIX  
 PLASTIC  
 CASE 738-03



DW SUFFIX  
 SOIC  
 CASE 751D-03

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXCJ Ceramic  
 SN74LSXXCN Plastic  
 SN74LSXXDW SOIC

### FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
DATA	ENABLES		P = Q	P > Q
P, Q	G, GT	G2		
P = Q	L	L	L	H
P > Q	L	L	H	L
P < Q	L	L	H	H
X	H	H	H	H

H = HIGH Level, L = LOW Level, X = Irrelevant

**SN54/74LS682 • SN54/74LS684 • SN54/74LS688**

### GUARANTEED OPERATING RANGES

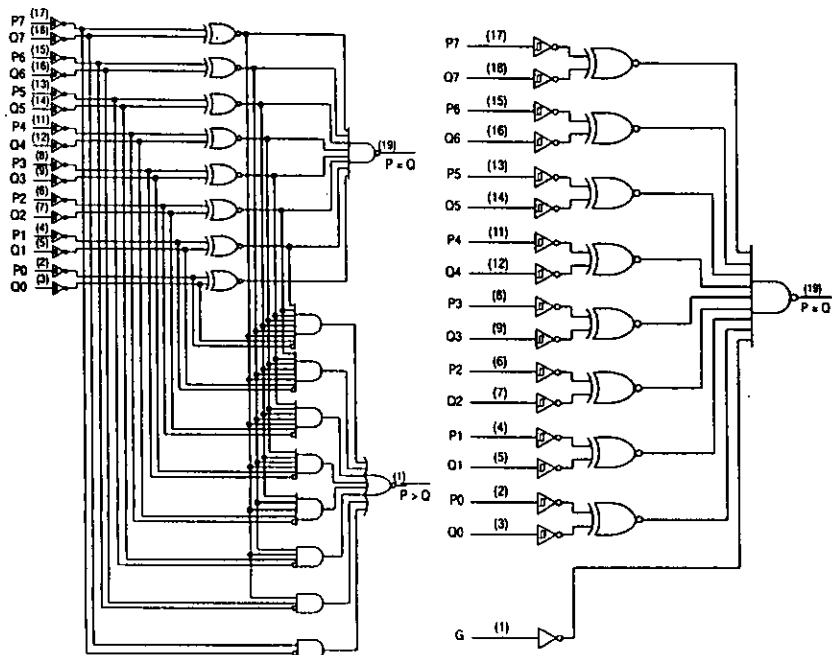
Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA	
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table	
		74	2.7	3.5			
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 12 mA, V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table	
		74	0.35	0.5			
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current	LS628-Q Inputs			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
		Others			0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 5.5 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current	LS682-Q Inputs			-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
		Others			-0.2	mA	
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-30		-130	mA	V <sub>CC</sub> = MAX	
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current	LS682			70	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
		LS684			65	mA	
		LS688			65	mA	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

LOGIC DIAGRAMS



SN54/74LS682 thru LS684

SN54/74LS688

AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C)

SN54/74LS682

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, P to P = Q		13 15	25 25	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 45 pF R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Q to P = Q		14 15	25 25	ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, P to P > Q		20 15	30 30	ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Q to P > Q		21 19	30 30	ns	

SN54/74LS684

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, P to P = Q		15 17	25 25	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 45 pF R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Q to P = Q		16 15	25 25	ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, P to P > Q		22 17	30 30	ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Q to P > Q		24 20	30 30	ns	

SN54/74LS688

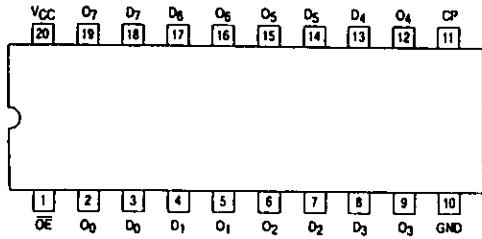
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, P to P = Q		12 17	18 23	ns	V <sub>CC</sub> = 5.0 V C <sub>L</sub> = 45 pF R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Q to P = Q		12 17	18 23	ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, G, G1 to P = Q		12 13	18 20	ns	

# OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUTS

The MC54/74F374 is a high-speed, low-power octal D-type flip-flop featuring separate D-type inputs for each flip-flop and 3-state outputs for bus-oriented applications. A buffered Clock (CP) and Output Enable (OE) are common to all flip-flops.

- Edge-triggered D-Type Inputs
- Buffered Positive Edge-triggered Clock
- 3-State Outputs for Bus-Oriented Applications
- ESD > 4000 Volts

CONNECTION DIAGRAM (TOP VIEW)



FUNCTION TABLE

Inputs		Outputs	
D <sub>n</sub>	CP	OE	O <sub>n</sub>
H	┌	L	H
L	┌	L	L
X	X	H	Z

H = HIGH Voltage Level  
 L = LOW Voltage Level  
 X = Don't Care  
 Z = High Impedance

## MC54/74F374

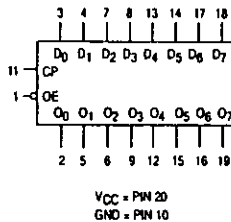
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUTS  
 FAST™ SCHOTTKY TTL



ORDERING INFORMATION

MC54FXXXJ Ceramic  
 MC74FXXXN Plastic  
 MC74FXXXDW SOIC

LOGIC SYMBOL



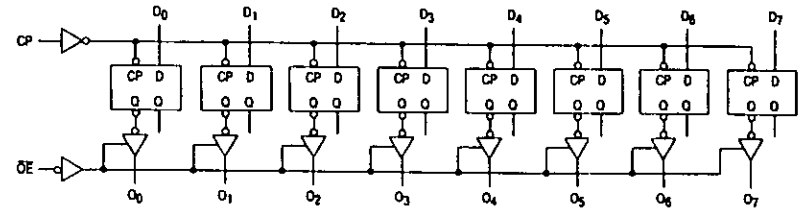
## MC54/74F374

### FUNCTIONAL DESCRIPTION

The F374 consists of eight edge-triggered flip-flops with individual D-type inputs and 3-state true outputs. The buffered clock and buffered Output Enable are common to all flip-flops. The eight flip-flops will store the state of their individual D inputs that meet the setup and hold time requirements on the

LOW-to-HIGH Clock (CP) transition. With the Output Enable (OE) LOW, the contents of the eight flip-flops are available at the outputs. When the OE is HIGH, the outputs go to the high impedance state. Operation of the OE input does not affect the state of the flip-flops.

### LOGIC DIAGRAM



### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage	
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage	
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	I <sub>IN</sub> = -18 mA	V <sub>CC</sub> = MIN
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54.74	2.4	3.3	V	I <sub>OH</sub> = -3.0 mA	V <sub>CC</sub> = 4.5 V
		74	2.7	3.3	V	I <sub>OH</sub> = -3.0 mA	V <sub>CC</sub> = 4.75 V
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage		0.35	0.5	V	I <sub>OL</sub> = 24 mA	V <sub>CC</sub> = MIN
I <sub>OZH</sub>	Output OFF Current — HIGH			50	μA	V <sub>OUT</sub> = 2.7 V	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>OZL</sub>	Output OFF Current — LOW			-50	μA	V <sub>OUT</sub> = 0.5 V	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>IN</sub> = 2.7 V	V <sub>CC</sub> = MAX
				100	μA	V <sub>IN</sub> = 7.0 V	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			-0.6	mA	V <sub>IN</sub> = 0.5 V	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current (Note 2)	-80		-150	mA	V <sub>OUT</sub> = 0 V	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CCZ</sub>	Power Supply Current (All Outputs OFF)		55	86	mA	D <sub>1n</sub> = GND OE = 4.5 V	V <sub>CC</sub> = MAX

NOTES:

1. For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
2. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

# MC54/74F374

## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54, 74	4.5	5.0	5.5	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — HIGH	54, 74			-3.0	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — LOW	54, 74			24	mA

## AC CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	54/74F			54F		74F		Unit
		T <sub>A</sub> = +25°C V <sub>CC</sub> = +5.0 V C <sub>L</sub> = 50 pF			T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10% C <sub>L</sub> = 50 pF		T <sub>A</sub> = 0°C to +70°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10% C <sub>L</sub> = 50 pF		
		Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
f <sub>max</sub>	Maximum Clock Frequency	100			60		70		MHz
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay CP to O <sub>n</sub>	4.0	6.5	8.5	4.0	10.5	4.0	10	ns
t <sub>PHL</sub>	CP to O <sub>n</sub>	4.0	6.5	8.5	4.0	11	4.0	10	
t <sub>PZH</sub>	Output Enable Time	2.0	9.0	11.5	2.0	14	2.0	12.5	ns
		2.0	5.8	7.5	2.0	10	2.0	8.5	
t <sub>PHZ</sub>	Output Disable Time	2.0	5.3	7.0	2.0	8.0	2.0	8.0	ns
		2.0	4.3	5.5	2.0	7.5	2.0	6.5	

## AC OPERATING REQUIREMENTS

Symbol	Parameter	54/74F			54F		74F		Unit
		T <sub>A</sub> = +25°C V <sub>CC</sub> = +5.0 V			T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10%		T <sub>A</sub> = 0°C to +70°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10%		
		Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
t <sub>s</sub> (H)	Setup Time, HIGH or LOW	2.0			2.5		2.0		ns
t <sub>s</sub> (L)	D <sub>n</sub> to CP	2.0			2.0		2.0		
t <sub>h</sub> (H)	Hold Time, HIGH or LOW	2.0			2.0		2.0		ns
t <sub>h</sub> (L)	D <sub>n</sub> to CP	2.0			2.5		2.0		
t <sub>w</sub> (H)	CP Pulse Width,	7.0			7.0		7.0		ns
t <sub>w</sub> (L)	HIGH or LOW	6.0			6.0		6.0		

# LM12 80W Operational Amplifier

## General Description

The LM12 is a power op amp capable of driving  $\pm 25V$  at  $\pm 10A$  while operating from  $\pm 30V$  supplies. The monolithic IC can deliver 80W of sine wave power into a 4 $\Omega$  load with 0.01% distortion. Power bandwidth is 60 kHz. Further, a peak dissipation capability of 800W allows it to handle reactive loads such as transducers, actuators or small motors without derating. Important features include:

- input protection
- controlled turn on
- thermal limiting
- overvoltage shutdown
- output-current limiting
- dynamic safe-area protection

The IC delivers  $\pm 10A$  output current at any output voltage yet is completely protected against overloads, including shorts to the supplies. The dynamic safe-area protection is provided by instantaneous peak-temperature limiting within the power transistor array.

The turn-on characteristics are controlled by keeping the output open-circuited until the total supply voltage reaches 14V. The output is also opened as the case temperature

exceeds 150°C or as the supply voltage approaches the  $BV_{CEO}$  of the output transistors. The IC withstands overvoltages to 80V.

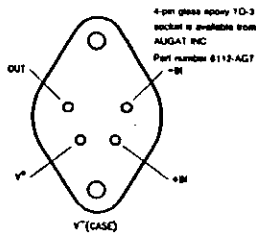
This monolithic op amp is compensated for unity-gain feedback, with a small-signal bandwidth of 700 kHz. Slew rate is 9V/ $\mu s$ , even as a follower. Distortion and capacitive-load stability rival that of the best designs using complementary output transistors. Further, the IC withstands large differential input voltages and is well behaved should the common-mode range be exceeded.

The LM12 establishes that monolithic ICs can deliver considerable output power without resorting to complex switching schemes. Devices can be paralleled or bridged for even greater output capability. Applications include operational power supplies, high-voltage regulators, high-quality audio amplifiers, tape-head positioners, x-y plotters or other servo-control systems.

The LM12 is supplied in a four-lead, TO-3 package with V on the case. A gold-eutectic die attach to a molybdenum interface is used to avoid thermal fatigue problems. The LM12 is specified for either military or commercial temperature range.

LM12 80W Operational Amplifier

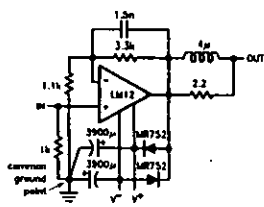
## Connection Diagram



4-pin glass epoxy TO-3 socket is available from AUGAT INC. Part number 6112-AG7.

TL74875A-1

## Typical Application\*



\*Low distortion (0.01%) audio amplifier

TL74875A-2

Order Number LM12CLK  
See NS Package Number KD4A

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Junction Temperature	(Note 3)
Storage Temperature Range	-55°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
<b>Operating Ratings</b>	
Total Supply Voltage	15V to 80V
Case Temperature (Note 4)	0°C to 70°C

## Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	Typ 25°C	LM12CL	
			Limits	Units
Input Offset Voltage	$\pm 10V \leq V_S \leq \pm 0.5 V_{MAX}$ , $V_{CM} = 0$	2	15/20	mV (max)
Input Bias Current	$V = +4V < V_{CM} < V^* - 2V$	0.15	0.7/1.0	$\mu A$ (max)
Input Offset Current	$V = +4V < V_{CM} \leq V^* - 2V$	0.03	0.2/0.3	$\mu A$ (max)
Common Mode Rejection	$V^* + 4V \leq V_{CM} \leq V^* - 2V$	66	70/88	dB (min)
Power Supply Rejection	$V^* = 0.5 V_{MAX}$ , $6V \geq V \geq -0.5 V_{MAX}$	90	70/88	dB (min)
	$V^* = 0.5 V_{MAX}$ , $6V \leq V^* < 0.5 V_{MAX}$	110	75/70	dB (min)
Output Saturation Threshold	$I_{ON} = 1 \text{ ms}$ , $\Delta V_{IN} = 5(10) \text{ mV}$ , $I_{OUT} = 1A$	1.8	2.2/2.8	V (max)
	BA	4	5/7	V (max)
	10A	5		V (max)
Large Signal Voltage Gain	$I_{ON} = 2 \text{ ms}$ , $V_{SAT} = 2V$ , $I_{OUT} = 0$	100	30/20	V/mV (min)
	$V_{SAT} = 8V$ , $R_L = 4\Omega$	50	15/10	V/mV (min)
Thermal Gradient Feedback	$P_{DISS} = 50W$ , $I_{ON} = 85 \text{ ms}$	30	100	$\mu V/W$ (max)
Output-Current Limit	$I_{ON} = 10 \text{ ms}$ , $V_{DISS} = 10V$	13	18	A (max)
	$I_{ON} = 100 \text{ ms}$ , $V_{DISS} = 58V$	1.5	0.9/0.6	A (min)
Power Dissipation Rating	$I_{ON} = 100 \text{ ms}$ , $V_{DISS} = 70V$	100	80/88	W (min)
	$V_{DISS} = 58V$	80	52/88	W (min)
DC Thermal Resistance	(Note 5)	2.3	2.9	$^{\circ}C/W$ (max)
	$V_{DISS} = 58V$	2.7	4.5	$^{\circ}C/W$ (max)
AC Thermal Resistance	(Note 5)	1.6	2.1	$^{\circ}C/W$ (max)
Supply Current	$V_{OUT} = 0$ , $I_{OUT} = 0$	80	120/140	mA (max)

Note 1: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. The maximum voltage for which the LM12 is guaranteed to operate is given in the operating ratings and in Note 4. With inductive loads or output shorts, other restrictions described in applications section apply.

Note 2: Neither input should exceed the supply voltage by more than 30 volts nor should the voltage between any input and any other terminal exceed 50 volts.

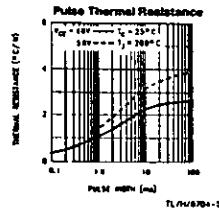
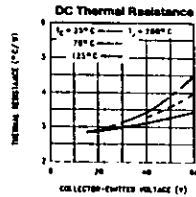
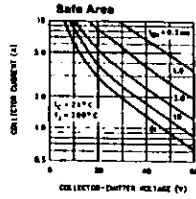
Note 3: Operating junction temperature is internally limited near 225°C within the power transistor and 160°C for the control circuitry.

Note 4: The supply voltage is  $\pm 30V$  ( $V_{MAX} = 80V$ ) unless otherwise specified. The voltage across the conducting output transistor (output is outside  $V_{CM}$ ) and internal power dissipation is  $P_{DISS}$ . Temperature range is 0°C to 70°C, where  $T_C$  is the case temperature. Shaded regions indicate limits of 25°C unless otherwise type refers to limits of operation over the full temperature range. Min. not heat sink. The package will heat at a rate of 10°C/°C per volt of internal dissipation.

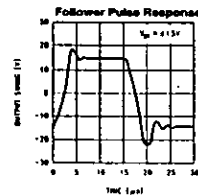
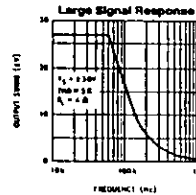
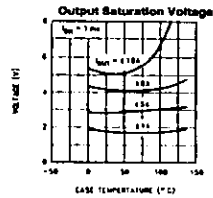
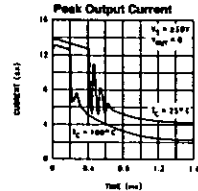
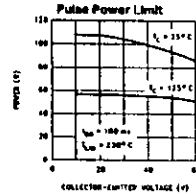
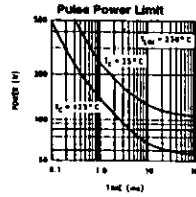
Note 5: The thermal resistance is based upon a peak temperature of 70°C in the center of the power transistor and a case temperature of 25°C measured at the center of the package bottom. The maximum junction temperature of the control circuitry can be estimated based upon a dc thermal resistance of 8°C/W or an ac thermal resistance of 0.6°C/W for one operating voltage.

Although the output and supply leads are resistant to electrostatic discharges from handling, the input leads are not. The part should be treated accordingly.

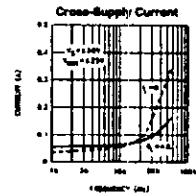
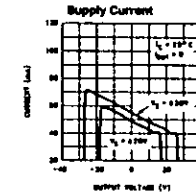
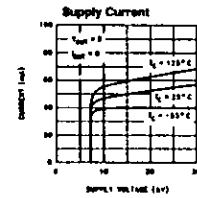
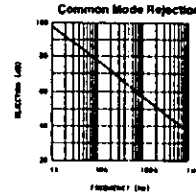
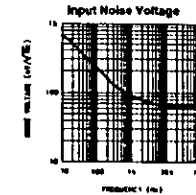
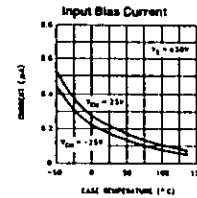
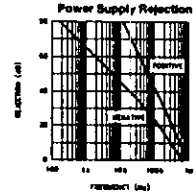
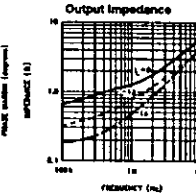
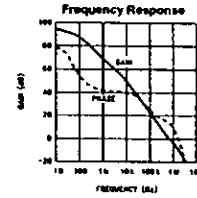
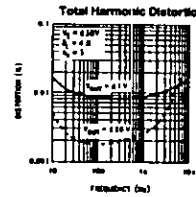
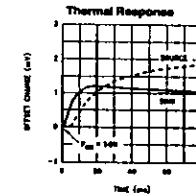
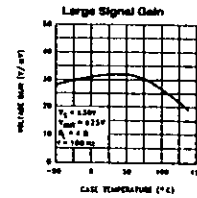
### Output-Transistor Ratings (guaranteed)



### Typical Performance Characteristics



### Typical Performance Characteristics (Continued)





## Application Information

### GENERAL

Twenty five years ago the operational amplifier was a specialized design tool used primarily for analog computation. However, the availability of low cost IC op amps in the late 1960's prompted their use in rather mundane applications, replacing a few discrete components. Once a few basic principles are mastered, op amps can be used to give exceptionally good results in a wide range of applications while minimizing both cost and design effort.

The availability of a monolithic power op amp now promises to extend these advantages to high-power designs. Some conventional applications are given here to illustrate op amp design principles as they relate to power circuitry. The inevitable fall in prices, as the economies of volume production are realized, will prompt their use in applications that might now seem trivial. Replacing single power transistors with an op amp will become economical because of improved performance, simplification of attendant circuitry, vastly improved fault protection, greater reliability and the reduction of design time.

Power op amps introduce new factors into the design equation. With current transients above 10A, both the inductance and resistance of wire interconnections become important in a number of ways. Further, power ratings are a crucial factor in determining performance. But the power capability of the IC cannot be realized unless it is properly mounted to an adequate heat sink. Thus, thermal design is of major importance with power op amps.

This application summary starts off by identifying the origin of strange problems observed while using the LM12 in a wide variety of designs with all sorts of fault conditions. A few simple precautions will eliminate these problems. One would do well to read the section on supply bypassing, lead inductance, output clamp diodes, ground loops and reactive loading before doing any experimentation. Should there be problems with erratic operation, blow-outs, excessive distortion or oscillation, another look at these sections is in order.

The management and protection circuitry can also affect operation. Should the total supply voltage exceed ratings or drop below 15-20V, the op amp shuts off completely. Case temperatures above 150°C also cause shut down until the temperature drops to 145°C. This may take several seconds, depending on the thermal system. Activation of the dynamic safe-area protection causes both the main feedback loop to lose control and a reduction in output power, with possible oscillations. In ac applications, the dynamic protection will cause waveform distortion. Since the LM12 is well protected against thermal overloads, the suggestions for determining power dissipation and heat sink requirements are presented last.

### SUPPLY BYPASSING

All op amps should have their supply leads bypassed with low-inductance capacitors having short leads and located close to the package terminals to avoid spurious oscillation problems. Power op amps require larger bypass capacitors. The LM12 is stable with good-quality electrolytic bypass capacitors greater than 20  $\mu$ F. Other considerations may require larger capacitors.

The current in the supply leads is a required component of the load current. If adequate bypassing is not provided, this distorted signal can be fed back into internal circuitry. Low distortion at high frequencies requires that the supplies be bypassed with 470  $\mu$ F or more, at the package terminals.

### LEAD INDUCTANCE

With ordinary op amps, lead inductance problems are usually restricted to supply bypassing. Power op amps are also sensitive to inductance in the output lead, particularly with heavy capacitive loading. Feedback to the input should be taken directly from the output terminal, minimizing common inductance with the load. Sensing to a remote load must be accompanied by a high-frequency feedback path directly from the output terminal. Lead inductance can also cause voltage surges on the supplies. With long leads to the power source, energy stored in the lead inductance when the output is shorted can be dumped back into the supply bypass capacitors when the short is removed. The magnitude of the transient is reduced by increasing the size of the bypass capacitor near the IC. With 20  $\mu$ F local bypass, these voltage surges are important only if the lead length exceeds a couple feet (> 1  $\mu$ H lead inductance). Twisting together the supply and ground leads minimizes the effect.

### GROUND LOOPS

With fast, high-current circuitry, all sorts of problems can arise from improper grounding. In general, difficulties can be avoided by returning all grounds separately to a common point. Sometimes this is impractical. When compromising, special attention should be paid to the ground returns for the supply bypasses, load and input signal. Ground planes also help to provide proper grounding.

Many problems unrelated to system performance can be traced to the grounding of line-operated test equipment used for system check-out. Hidden paths are particularly difficult to sort out when several pieces of test equipment are used but can be minimized by using current probes or the new isolated oscilloscope pre-amplifiers. Eliminating any direct ground connection between the signal generator and the oscilloscope synchronization input solves one common problem.

### OUTPUT CLAMP DIODES

When a push-pull amplifier goes into power limit while driving an inductive load, the stored energy in the load inductance can drive the output outside the supplies. Although the LM12 has internal clamp diodes that can handle several amperes for a few milliseconds, extreme conditions can cause destruction of the IC. The internal clamp diodes are imperfect in that about half the clamp current flows into the supply to which the output is clamped while the other half flows across the supplies. Therefore, the use of external diodes to clamp the output to the power supplies is strongly recommended. This is particularly important with higher supply voltages.

Experience has demonstrated that hard-wire shunting the output to the supplies can induce random failures if these external clamp diodes are not used and the supply voltages are above  $\pm 20$ V. Therefore it is prudent to use output

## Application Information (Continued)

clamp diodes even when the load is not particularly inductive. This also applies to experimental setups in that blow-outs have been observed when diodes were not used in packaged equipment. It may be possible to eliminate these diodes, providing that fault conditions can be controlled.

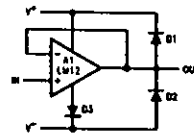


FIGURE 4

Heat sinking of the clamp diodes is usually unimportant in that they only clamp current transients. Forward drop with 15A fault transients is of greater concern. Usually, these transients die out rapidly. The clamp to the negative supply can have somewhat reduced effectiveness under worst case conditions should the forward drop exceed 1.0V. Mounting the diode to the power op amp heat sink improves the situation. Although the need has only been demonstrated with some motor loads, including a third diode (D3 above) will eliminate any concern about the clamp diodes. This diode, however, must be capable of dissipating continuous power as determined by the negative supply current of the op amp.

### REACTIVE LOADING

The LM12 is normally stable with resistive, inductive or smaller capacitive loads. Larger capacitive loads interact with the open-loop output resistance (about 1 $\Omega$ ) to reduce the phase margin of the feedback loop, ultimately causing oscillation. The critical capacitance depends upon the feedback applied around the amplifier; a unity-gain follower can handle about 0.01  $\mu$ F, while more than 1  $\mu$ F does not cause problems if the loop gain is ten. With loop gains greater than unity, a speedup capacitor across the feedback resistor will aid stability. In all cases, the op amp will behave predictably only if the supplies are properly bypassed, ground loops are controlled and high-frequency feedback is derived directly from the output terminal, as recommended earlier. So-called capacitive loads are not always capacitive. A high-Q capacitor in combination with long leads can present a series-resonant load to the op amp. In practice, this is not usually a problem, but the situation should be kept in mind.

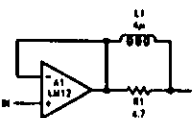


FIGURE 7

Large capacitive loads (including series-resonant) can be accommodated by isolating the feedback amplifier from the load as shown above. The inductor gives low output impedance at lower frequencies while providing an isolating impedance at high frequencies. The resistor kills the Q of series resonant circuits formed by capacitive loads. A low inductance, carbon-composition resistor is recommended. Optimum values of L and R depend upon the feedback gain

and expected nature of the load, but are not critical. A 4  $\mu$ H inductor is obtained with 14 turns of number 18 wire, close spaced, around a one-inch-diameter form.

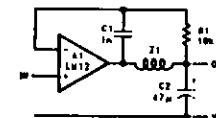


FIGURE 8

The LM12 can be made stable for all loads with a large capacitor on the output, as shown above. This compensation gives the lowest possible closed-loop output impedance at high frequencies and the best load-transient response. It is appropriate for such applications as voltage regulators.

A feedback capacitor, C<sub>1</sub>, is connected directly to the output pin of the IC. The output capacitor, C<sub>2</sub>, is connected at the output terminal with short leads. Single-point grounding to avoid dc and ac ground loops is advised.

The impedance, Z<sub>1</sub>, is the wire connecting the op amp output to the load capacitor. About 3 inches of number 18 wire (70 nH) gives good stability and 18 inches (400 nH) begins to degrade load-transient response. The minimum load capacitance is 47  $\mu$ F, if a solid-tantalum capacitor with an equivalent series resistance (ESR) of 0.1 $\Omega$  is used. Electrolytic capacitors work as well, though capacitance may have to be increased to 200  $\mu$ F to bring ESR below 0.1 $\Omega$ . Loop stability is not the only concern when op amps are operated with reactive loads. With time-varying signals, power dissipation can also increase markedly. This is particularly true with the combination of capacitive loads and high-frequency excitation.

### INPUT COMPENSATION

The LM12 is prone to low-amplitude oscillation bursts coming out of saturation if the high-frequency loop gain is near unity. The voltage follower connection is most susceptible. The glitching can be eliminated at the expense of small-signal bandwidth using input compensation. Input compensation can also be used in combination with LR load isolation to improve capacitive load stability.

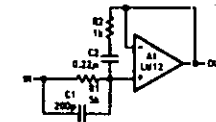
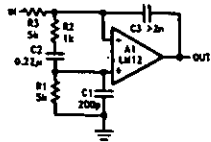


FIGURE 8

An example of a voltage follower with input compensation is shown here. The R<sub>1</sub>C<sub>1</sub> combination across the input works with R<sub>2</sub> to reduce feedback at high frequencies without greatly affecting response below 100 kHz. A lead capacitor, C<sub>1</sub>, improves phase margin at the unity-gain crossover frequency. Proper operation requires that the output impedance of the circuitry driving the follower be well under 1  $\Omega$  at frequencies up to a few hundred kilohertz.

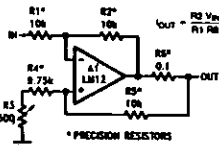
## Application Information (Continued)



TLN4784-10

Extending input compensation to the integrator connection is shown here. Both the follower and the integrator will handle 1 µF capacitive loading without LR output isolation.

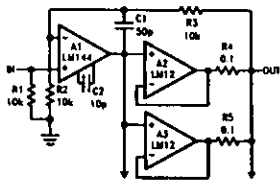
### CURRENT DRIVE



TLN4784-11

This circuit provides an output current proportional to the input voltage. Current drive is sometimes preferred for servo motors because it aids in stabilizing the servo loop by reducing phase lag caused by motor inductance. In applications requiring high output resistance, such as operational power supplies running in the current mode, matching of the feedback resistors to 0.01% is required. Alternately, an adjustable resistor can be used for trimming.

### PARALLEL OPERATION

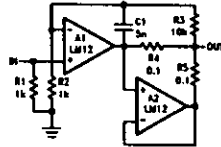


TLN4784-12

Output drive beyond the capability of one power amplifier can be provided as shown here. The power op amps are wired as followers and connected in parallel with the outputs coupled through equalization resistors. A standard, high-voltage op amp is used to provide voltage gain. Overall feedback compensates for the voltage dropped across the equalization resistors.

With parallel operation, there may be an increase in unloaded supply current related to the offset voltage across the

equalization resistors. More output buffers, with individual equalization resistors, may be added to meet even higher drive requirements.

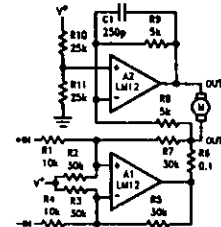


TLN4784-13

This connection allows increased output capability without requiring a separate control amplifier. The output buffer, A<sub>2</sub>, provides load current through R<sub>5</sub> equal to that supplied by the main amplifier, A<sub>1</sub>, through R<sub>4</sub>. Again, more output buffers can be added.

Current sharing among paralleled amplifiers can be affected by gain error as the power-bandwidth limit is approached. In the first circuit, the operating current increase will depend upon the matching of high-frequency characteristics. In the second circuit, however, the entire input error of A<sub>2</sub> appears across R<sub>4</sub> and R<sub>5</sub>. The supply current increase can cause power limiting to be activated as the slew limit is approached. This will not damage the LM12. It can be avoided in both cases by connecting A<sub>1</sub> as an inverting amplifier and restricting bandwidth with C<sub>1</sub>.

### SINGLE-SUPPLY OPERATION



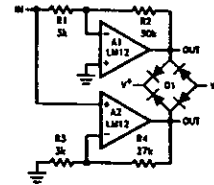
TLN4784-14

Although op amps are usually operated from dual supplies, single-supply operation is practical. This bridge amplifier supplies bi-directional current drive to a servo motor while operating from a single positive supply. The output is easily converted to voltage drive by shorting R<sub>6</sub> and connecting R<sub>7</sub> to the output of A<sub>2</sub>, rather than A<sub>1</sub>.

Either input may be grounded, with bi-directional drive provided to the other. It is also possible to connect one input to a positive reference, with the input signal varying about this voltage. If the reference voltage is above 5V, R<sub>2</sub> and R<sub>3</sub> are not required.

## Application Information (Continued)

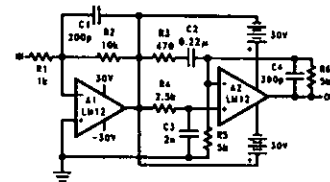
### HIGH VOLTAGE AMPLIFIERS



TLN4784-15

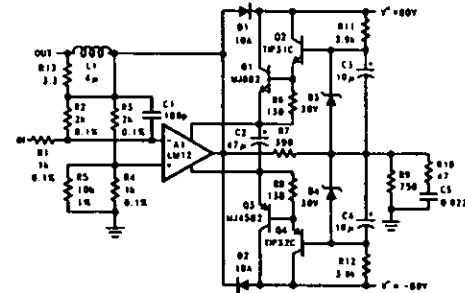
The voltage swing delivered to the load can be doubled by using the bridge connection shown here. Output clamping to the supplies can be provided by using a bridge-rectifier assembly.

One limitation of the standard bridge connection is that the load cannot be returned to ground. This can be circumvented by operating the bridge with floating supplies, as shown above. For single-ended drive, either input can be grounded.



TLN4784-17

This circuit shows how two amplifiers can be cascaded to double output swing. The advantage over the bridge is that the output can be increased with any number of stages, although separate supplies are required for each.

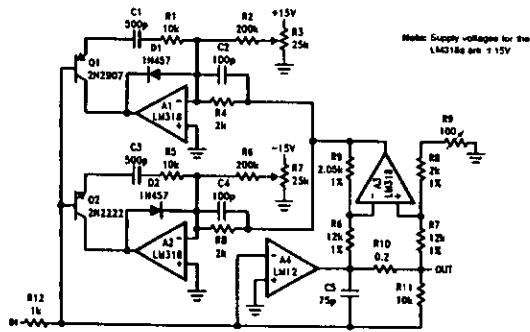


TLN4784-16

Discrete transistors can be used to increase output drive to ±70V at ±10A as shown above. With proper thermal design, the IC will provide safe-area protection for the external transistors. Voltage gain is about 80ry.

## Application Information (Continued)

### OPERATIONAL POWER SUPPLY

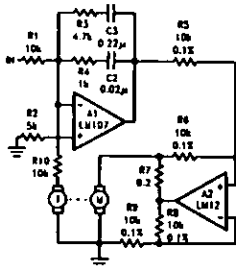


TL706704-18

External current limit can be provided for a power op amp as shown above. The positive and negative current limits can be set precisely and independently. Fast response is assured by  $D_1$  and  $D_2$ . Adjustment range can be set down to zero with potentiometers  $R_3$  and  $R_7$ . Alternately, the limit can be programmed from a voltage supplied to  $R_5$  and  $R_9$ . This is the set up required for an operational power supply or voltage-programmable power source.

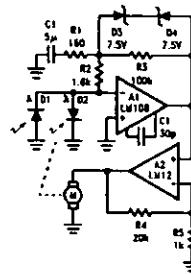
### SERVO AMPLIFIERS

When making servo systems with a power op amp, there is a temptation to use it for frequency shaping to stabilize the servo loop. Sometimes this works; other times there are better ways, and occasionally it just doesn't fly. Usually it's a matter of how quickly and to what accuracy the servo must stabilize.



TL706704-20

This motor/tachometer servo gives an output speed proportional to input voltage. A low-level op amp is used for frequency shaping while the power op amp provides current drive to the motor. Current drive eliminates loop phase shift due to motor inductance and makes high-performance servos easier to stabilize.



TL706704-21

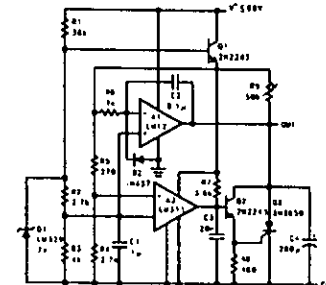
This position servo uses an op amp to develop the rate signal electrically instead of using a tachometer. In high-performance servos, rate signals must be developed with large error signals well beyond saturation of the motor drive. Using a separate op amp with a feedback clamp allows the rate signal to be developed properly with position errors more than an order of magnitude beyond the loop-saturation level as long as the photodiode sensors are positioned with this in mind.

## Application Information (Continued)

### VOLTAGE REGULATORS

An op amp can be used as a positive or negative regulator. Unlike most regulators, it can sink current to absorb energy dumped back into the output. This positive regulator has a 0-50V output range.

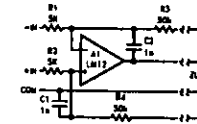
TL706704-22



TL706704-23

Dual supplies are not required to use an op amp as a voltage regulator if zero output is not required. The 4V to 50V regulator operates from a single supply. Should the op amp not be able to absorb enough energy to control an overvoltage condition, a SCR will crowbar the output.

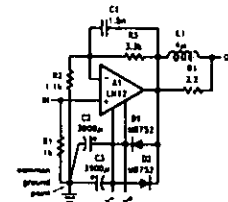
### REMOTE SENSING



TL706704-24

Remote sensing as shown above allows the op amp to correct for dc drops in cables connecting the load. Even so, cable drop will affect transient response. Degradation can be minimized by using twisted, heavy-gauge wires on the output line. Normally, common and one input are connected together at the sending end.

### AUDIO AMPLIFIERS



TL706704-25

A power amplifier suitable for use in high-quality audio equipment is shown above. Harmonic distortion is about 0.01 percent. Intermodulation distortion (60 Hz/7 kHz, 4:1) measured 0.015 percent. Transient response and saturation recovery are clean, and the 9 V/μs slew rate of the LM12 virtually eliminates transient intermodulation distortion. Using separate amplifiers to drive low- and high-frequency speakers gets rid of high-level crossover networks and attenuators. Further, it prevents clipping on the low-frequency channel from distorting the high frequencies.

## Application Information (Continued)

### DETERMINING MAXIMUM DISSIPATION

It is a simple matter to establish power requirements for an op amp driving a resistive load at frequencies well below 10 Hz. Maximum dissipation occurs when the output is at one-half the supply voltage with high-line conditions. The individual output transistors must be rated to handle the power continuously at the maximum expected case temperature. The power rating is limited by the maximum junction temperature as determined by

$$T_J = T_C + P_{DSS} \theta_{JC}$$

where  $T_C$  is the case temperature as measured at the center of the package bottom,  $P_{DSS}$  is the maximum power dissipation and  $\theta_{JC}$  is the thermal resistance at the operating voltage of the output transistor. Recommended maximum junction temperatures are 200°C within the power transistor and 150°C for the control circuitry.

If there is ripple on the supply bus, it is valid to use the average value in worst-case calculations as long as the peak rating of the power transistor is not exceeded at the ripple peak. With 120 Hz ripple, this is 1.5 times the continuous power rating.

Dissipation requirements are not so easily established with time varying output signals, especially with reactive loads. Both peak and continuous dissipation ratings must be taken into account, and these depend on the signal waveform as well as load characteristics.

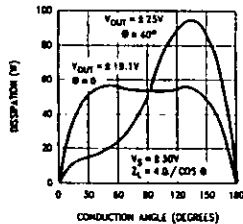
With a sine wave output, analysis is fairly straightforward. With supply voltages of  $\pm V_S$ , the maximum average power dissipation of both output transistors is

$$P_{MAX} = \frac{2V_S^2}{\pi^2 Z_L \cos \phi}, \quad \phi < 40^\circ$$

and

$$P_{MAX} = \frac{V_S^2}{2Z_L} \left[ \frac{4}{\pi} - \cos \phi \right], \quad \phi > 40^\circ$$

where  $Z_L$  is the magnitude of the load impedance and  $\phi$  its phase angle. Maximum average dissipation occurs below maximum output swing for  $\phi < 40^\circ$ .



TLN4974-26

The instantaneous power dissipation over the conducting half cycle of one output transistor is shown here. Power dissipation is near zero on the other half cycle. The output level is that resulting in maximum peak and average dissipation. Plots are given for a resistive and a series RL load. The latter is representative of a 4 $\Omega$  loudspeaker operating below resonance and would be the worst case condition in most

audio applications. The peak dissipation of each transistor is about four times average. In ac applications, power capability is often limited by the peak ratings of the power transistor. The pulse thermal resistance of the LM12 is specified for constant power pulse duration. Establishing an exact equivalency between constant-power pulses and those encountered in practice is not easy. However, for sine waves, reasonable estimates can be made at any frequency by assuming a constant power pulse amplitude given by

$$P_{PK} = \frac{V_S^2}{2Z_L} \left[ 1 - \cos(\phi - \theta) \right]$$

where  $\phi = 60^\circ$  and  $\theta$  is the absolute value of the phase angle of  $Z_L$ . Equivalent pulse width is  $t_{ON} = 0.4\tau$  for  $\theta = 0$  and  $t_{ON} = 0.2\tau$  for  $\theta \geq 20^\circ$ , where  $\tau$  is the period of the output waveform.

### DISSIPATION DRIVING MOTORS

A motor with a locked rotor looks like an inductance in series with a resistance, for purposes of determining driver dissipation. With slow-response servos, the maximum signal amplitude at frequencies where motor inductance is significant can be so small that motor inductance does not have to be taken into account. If this is the case, the motor can be treated as a simple, resistive load as long as the rotor speed is low enough that the back emf is small by comparison to the supply voltage of the driver transistor.

A permanent-magnet motor can build up a back emf that is equal to the output swing of the op amp driving it. Reversing the motor from full speed requires the output drive transistor to operate, initially, along a loadline based upon the motor resistance and total supply voltage. Worst case, this loadline will have to be within the continuous dissipation rating of the drive transistor; but system dynamics may permit taking advantage of the higher pulse ratings. Motor inductance can cause added stress if system response is fast.

Shunt- and series-wound motors can generate back emfs that are considerably more than the total supply voltage, resulting in even higher peak dissipation than a permanent-magnet motor having the same locked-rotor resistance.

### VOLTAGE REGULATOR DISSIPATION

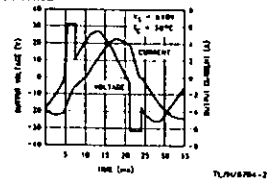
The pass transistor dissipation of a voltage regulator is easily determined in the operating mode. Maximum continuous dissipation occurs with high line voltage and maximum load current. As discussed earlier, ripple voltage can be averaged if peak ratings are not exceeded; however, a higher average voltage will be required to insure that the pass transistor does not saturate at the ripple minimum.

Conditions during start-up can be more complex. If the input voltage increases slowly such that the regulator does not go into current limit charging output capacitance, there are no problems. If not, load capacitance and load characteristics must be taken into account. This is also the case if automatic restart is required in recovering from overload.

Automatic restart or start-up with fast-rising input voltages cannot be guaranteed unless the continuous dissipation rating of the pass transistor is adequate to supply the load current continuously at all voltages below the regulated output voltage. In this regard, the LM12 performs much better than IC regulators using foldback current limit, especially with high-line input voltage above 20V.

## Application Information (Continued)

### POWER LIMITING



Should the power ratings of the LM12 be exceeded, dynamic safe-area protection is activated. Waveforms with this power limiting are shown for the LM12 driving  $\pm 26V$  at 30 Hz into 3 $\Omega$  in series with 24 mH ( $\phi = 45^\circ$ ). With an inductive load, the output clamps to the supplies in power limit, as above. With resistive loads, the output voltage drops in limit. Behavior with more complex RCL loads is between these extremes.

Secondary thermal limit is activated should the case temperature exceed 150°C. This thermal limit shuts down the IC completely (open output) until the case temperature drops to about 145°C. Recovery may take several seconds.

### POWER SUPPLIES

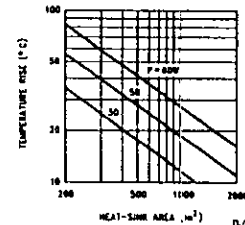
Power op amps do not require regulated supplies. However, the worst-case output power is determined by the low-line supply voltage in the ripple trough. The worst-case power dissipation is established by the average supply voltage with high-line conditions. The loss in power output that can be guaranteed is the square of the ratio of these two voltages. Relatively simple off-line switching power supplies can provide voltage conversion, line isolation and 5 percent regulation while reducing size and weight.

The regulation against ripple and line variations can provide a substantial increase in the power output that can be guaranteed under worst-case conditions. In addition, switching power supplies can convert low-voltage power sources such as automotive batteries up to regulated dual high-voltage supplies optimized for powering power op amps.

### HEAT SINKING

A semiconductor manufacturer has no control over heat sink design. Temperature rating can only be based upon case temperature as measured at the center of the package bottom. With power pulses of longer duration than 100 ms,

case temperature is almost entirely dependent on heat sink design and the mounting of the IC to the heat sink.



The design of heat sink is beyond the scope of this work. Convection-cooled heat sinks are available commercially, and their manufacturers should be consulted for ratings. The preceding figure is a rough guide for temperature rise as a function of fin area (both sides) available for convection cooling.

Proper mounting of the IC is required to minimize the thermal drop between the package and the heat sink. The heat sink must also have enough metal under the package to conduct heat from the center of the package bottom to the fins without excessive temperature drop.

A thermal grease such as Wakaheid type 170 or Thermalloy Thermacote should be used when mounting the package to the heat sink. Without this compound, thermal resistance will be no better than 0.5°C/W and probably much worse. With the compound, thermal resistance will be 0.2°C/W or less, assuming under 0.005 inch compressed thickness runout for the package and heat sink. Proper torquing of the mounting bolts is important. Four to six inch-pounds is recommended.

Should it be necessary to separate V from the heat sink, an insulating washer is required. Hard washers like beryllium oxide eroded aluminum and mica require the use of the thermal compound on both faces. Two-mil mica washers are most common, giving about 0.4°C/W interface resistance with the compound. Silicone rubber washers are also available. A 0.5°C/W thermal resistance is claimed without thermal compound. Experience has shown that these rubber washers deteriorate and must be replaced should the IC be dismounted.

Isolate insulating pads for low-watt TO-3 packages are available from Power Devices, Inc. Thermal grease is not required and the resistors should not be resealed.

## Definition of Terms

**Input offset voltage:** The absolute value of the voltage between the input terminals with the output voltage and current at zero.

**Input bias current:** The absolute value of the average of the two input currents with the output voltage and current at zero.

**Input offset current:** The absolute value of the difference in the two input currents with the output voltage and current at zero.

**Common-mode rejection:** The ratio of the input voltage range to the change in offset voltage between the extremes.

**Supply-voltage rejection:** The ratio of the specified supply-voltage change to the change in offset voltage between the extremes.

**Output saturation threshold:** The output swing limit for a specified input drive beyond that required for zero output. It is measured with respect to the supply to which the output is swinging.

**Large signal voltage gain:** The ratio of the output voltage swing to the differential input voltage required to drive the output from zero to either swing limit. The output swing limit is the supply voltage less a specified quasi-saturation voltage. A pulse of short enough duration to minimize thermal effects is used as a measurement signal.

**Thermal gradient feedback:** The input offset voltage change caused by thermal gradients generated by heating of the output transistors, but not the package. This effect is delayed by several milliseconds and results in increased gain error below 100 Hz.

**Output-current limit:** The output current with a fixed output voltage and a large input overdrive. The limiting current drops with time once the protection circuitry is activated.

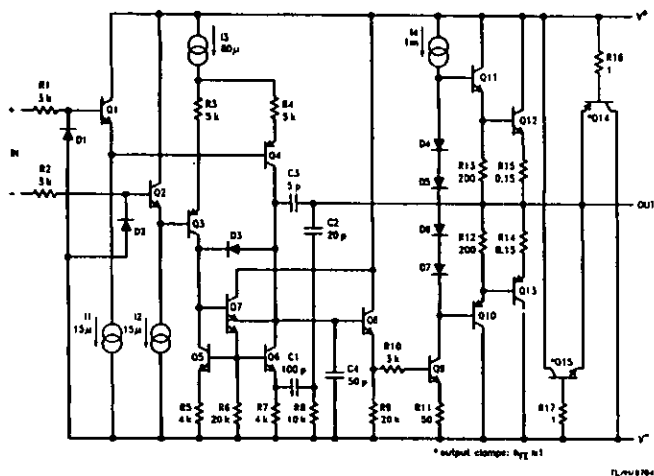
**Power dissipation rating:** The power that can be dissipated for a specified time interval without activating the protection circuitry. For time intervals in excess of 100 ms, dissipation capability is determined by heat sinking of the IC package rather than by the IC itself.

**Thermal resistance:** The peak, junction-temperature rise, per unit of internal power dissipation, above the case temperature as measured at the center of the package bottom.

The dc thermal resistance applies when one output transistor is operating continuously. The ac thermal resistance applies with the output transistors conducting alternately at a high enough frequency that the peak capability of neither transistor is exceeded.

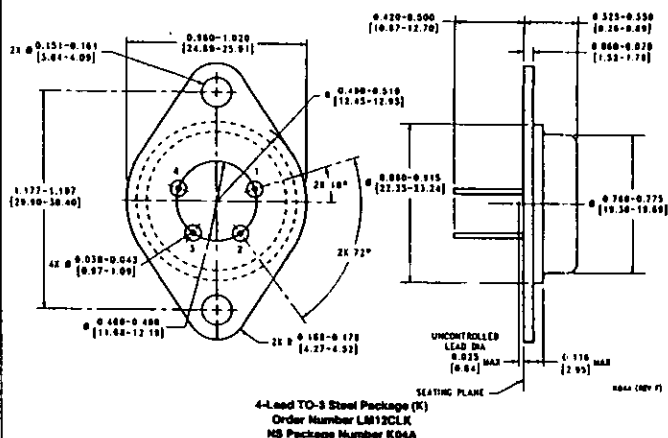
**Supply current:** The current required from the power source to operate the amplifier with the output voltage and current at zero.

## Equivalent Schematic (excluding active protection circuitry)



## LM12 80W Operational Amplifier

### Physical Dimensions inches (millimeters)



### LIFE SUPPORT POLICY

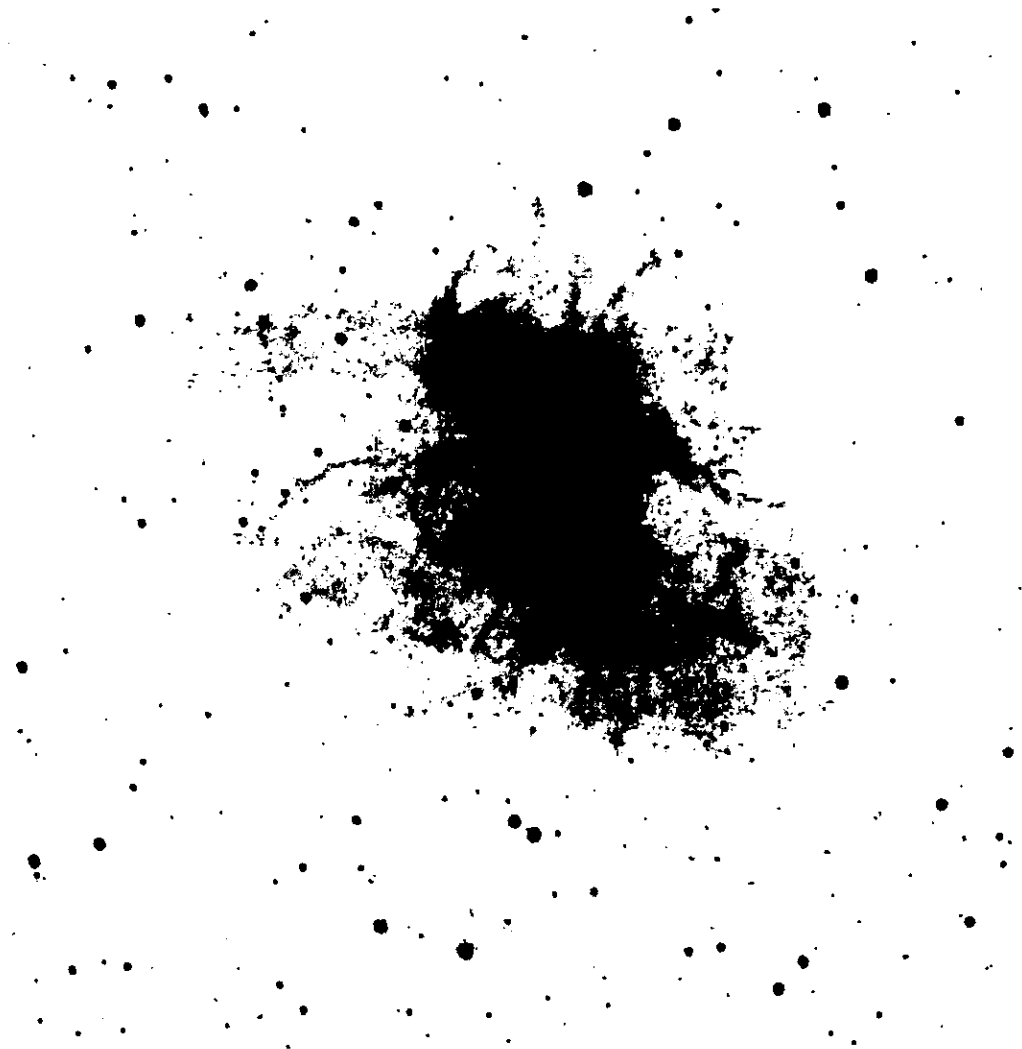
NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which: (a) are intended for surgical implant into the body of (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

<b>National Semiconductor Corporation</b> 1111 West Garden Road Sunnyvale, CA 95051 Tel: (408) 737-8000 Fax: (408) 737-7010	<b>National Semiconductor Europe</b> Tel: +49 89 2 180-530 35 35 Email: <a href="mailto:order@ns.com">order@ns.com</a> Deutsch: Tel: +49 89 2 180-530 35 35 English: Tel: +49 89 2 180-530 35 35 Français: Tel: +49 89 2 180-530 35 35 Italiano: Tel: +49 89 2 180-530 35 35	<b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b> 13th Floor, Street 888, Queen Central, 3 Canton Rd. Hong Kong Tel: (852) 2727-1000 Fax: (852) 2727-0000	<b>National Semiconductor Japan Ltd.</b> Tel: 01-662-200-2100 Fax: 01-662-200-2400
---	--	---	--

# APÉNDICE D

## DATOS DEL FABRICANTE DE LA TARJETA PCL-750



NEBULOSA DEL CANGREJO "SOSTENGO QUE EL SENTIMIENTO RELIGIOSO  
CÓSMICO ES LA MOTIVACIÓN MAS FUERTE Y  
NOBLE PARA LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA"

ALBERT EINSTEIN

## APENDICE D

### DATOS DEL FABRICANTE DE LA TARJETA PCL-750

La tarjeta PCL-750 es una tarjeta de desarrollo que permite construir prototipos y adicionarlos al hardware de la computadora, su diseño permite conectarse al slot de expansión la PC.

Características.

Esta tarjeta permite utilizar:

Bus de datos: Por medio de Buffers se protege el bus y sé accesa a los datos.

Bus de direcciones: Por medio de Buffers se protege el bus y sé accesa a las direcciones que direccionará los datos a diferentes periféricos.

Puerto de direcciones I/O (Decodificador): De la línea de direcciones permite tener 8 líneas de escritura/lectura.

Puerto: Se utiliza El bus de la PC (slot de 62 terminales).

Descripción del bus de la PC.

Osc :Señal de salida del oscilador con una frecuencia de 14.31818 MHz.

CLK: Salida de la señal del reloj, esta se deriva del oscilador Osc, y su frecuencia es de 4.77 MHz. Aproximadamente.

Reset drv (manejador de reset): Señal de salida que permite dar el estado de reset a algún periférico.

A0 – A19: Salidas, Las líneas de dirección que permiten indicar a algún periférico en particular activarse, o indicar alguna localidad de memoria, etc.

D0 – D7: Líneas bidireccionales que permiten la transmisión de datos.

AEN (Adres Lath Eneable): Esta señal de salida es manejada por el manejador del controlador del bus para indicar que las direcciones actuales son validas para empezar un nuevo ciclo de bus, se activa en alto.

I/O CH RDY: (I/O Chanel Ready): Esta señal es usada para extender la duración de los ciclos del bus ya que no todos los periféricos utilizan la misma velocidad.

I/O CH CK̄ (I/O Chanel Check): Señal de entrada que permite reportar una condición de error, Cuando este en un nivel bajo genera una interrupción no enmascarada al microprocesador.

GND	B1	A1	-I/O CH CK
+RESET DRV	B2	A2	+D7
+5V DC	B3	A3	+D6
+IRQ2	B4	A4	+D5
-5V DC	B5	A5	+D4
+DRQ2	B6	A6	+D3
-12V DC	B7	A7	+D2
NO USADO	B8	A8	+D1
+12V DC	B9	A9	+D0
GND	B10	A10	+I/O CH RDY
-MEMW	B11	A11	+AEN
-MEMR	B12	A12	+A19
-IOW	B13	A13	+A18
-IOR	B14	A14	+A17
-DACK3	B15	A15	+A16
+DRQ3	B16	A16	+A15
-DACK1	B17	A17	+A14
+DRQ1	B18	A18	+A13
-DACK	B19	A19	+A12
CLOCK	B20	A20	+A11
+IRQ7	B21	A21	+A10
+IRQ6	B22	A22	+A9
+IRQ5	B23	A23	+A8
+IRQ4	B24	A24	+A7
+IRQ3	B25	A25	+A6
-DACK2	B26	A26	+A5
+T/C	B27	A27	+A4
+ALE	B28	A28	+A3
+5V DC	B29	A29	+A2
OSC	B30	A30	+A1
GND	B31	A31	+A0

FIG. 81.



IRQ2 –IRQ7: Señales de entrada que mandan al microprocesador una llamada prioritaria, la más prioritaria es la IRQ2 y la menos la IRQ7.

IOR: Esta señal de salida indicara que se realizara el proceso de lectura.

IOW: Esta señal de salida indicara que se realizara el proceso de escritura.

MEMW: Esta señal que se activa en un bajo indicara que sé escribirá a la memoria un dato del bus.

MEMR: Esta señal de salida que se activa en un bajo indicara que sé leerá a la memoria un dato del bus.

DRQ1 – DRQ3: estas señales de entrada se activan en bajo, se usan para interfacear los requerimientos de ciclos de DMA.

DACK0 –DACK3: Estas señales de salida activadas en bajo para indicar al controlador de DMA la correspondiente DRQ.

AEN (Adres Eneable): Esta señal de salida activa en bajo nos indica que sé está llevando a cabo el correspondiente ciclo de DMA.

TC: Esta señal se usa para indicar el final de un ciclo de DMA.

+5V, +12V, -5V, -12V DC: Señales de alimentación del sistema, a los que se pueden conectar los elementos de esta tarjeta.

GND: Señal de tierra del sistema.

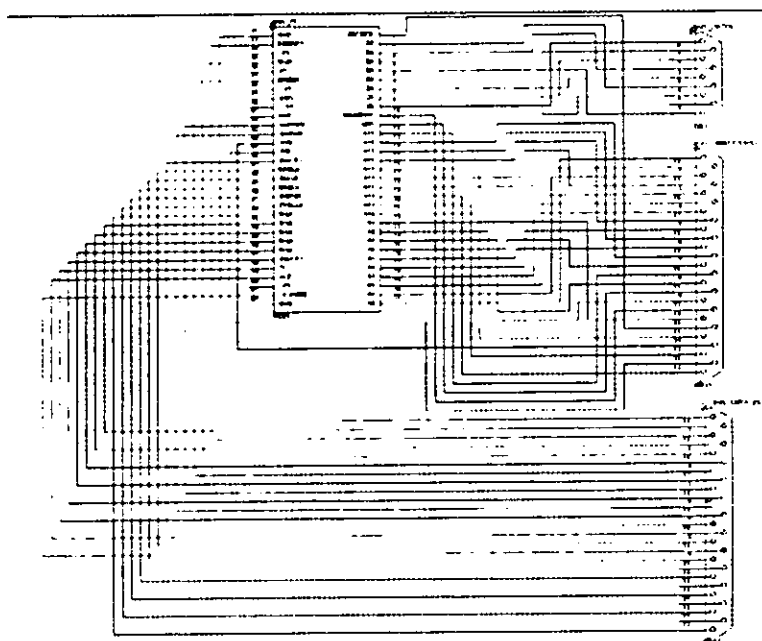
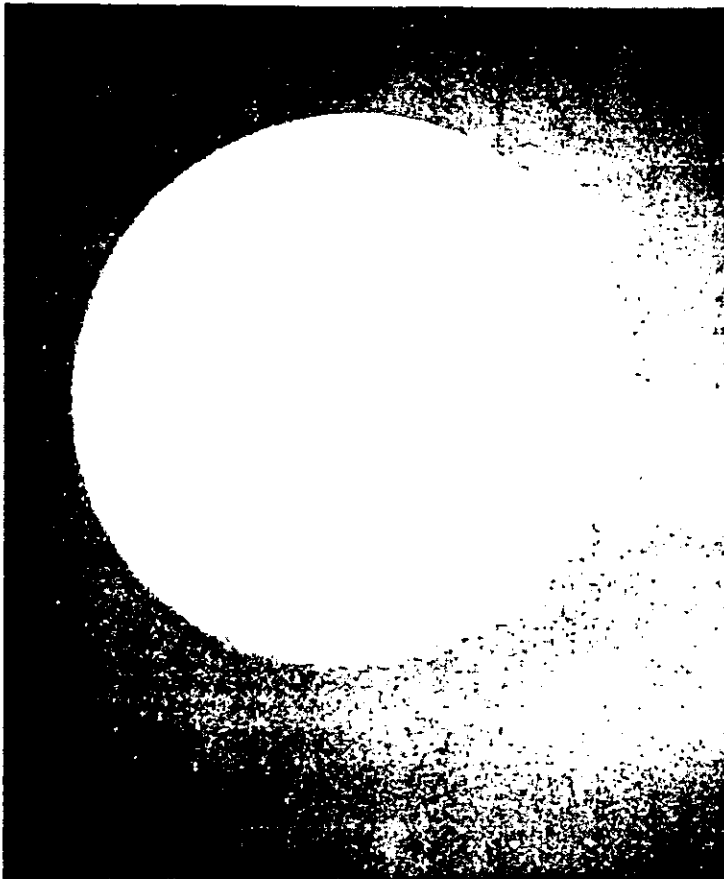


FIG.83. cableado a la tarjeta enlace

# APÉNDICE E

## DATOS DE LA TARJETA ENLACE



LUNA

"MI CORAZÓN TIEMBLA COMO  
UNA POBRE HOJA  
SUEÑO QUE GIRAN LOS  
PLANETAS  
LAS ESTRELLAS PRESIONAN  
CONTRA MI VENTANA  
DOY VUELTAS DORMIDO  
MI CAMA ES UN PLANETA TIBIO"

MARVIN MERCER

## APENDICE E

Esta tarjeta esta dividida en 6 partes, estas son:

- a) Codificación
- b) Protección entrada/salida de datos
- c) Conteo
- d) Protección a la entrada del censor (optoacoplamiento)
- e) Sincronización del reloj
- f) Detección del estado del puerto

### CODIFICACIÓN

La computadora nos proporciona las direcciones a las que manda los datos del puerto, de la A0 a la A15.

Se utilizaran las direcciones \$308 a la \$30F

Cada 4 bits se forma un número en hexadecimal, y se escribe anteponiendo un signo de pesos "\$".

Utilizando las siguientes señales codificamos la entrada y salida de datos del puerto.

A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, AEN, IOR, IOW.

Los Circuitos Integrados a utilizar son:

74LS02 ( Compuerta NOR) CI 5

74LS08 ( Compuerta AND ) CI 18

74LS138 ( Decodificador ) CI 2, CI 3, CI 4

Del CI 5 utilizaremos solo una de sus compuertas, las otras tres serán ocupadas en otra parte de la tarjeta.

## CÓDIGO

A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
3			0				8		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3			0				9		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3			0				A		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3			0				B		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3			0				C		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
3			0				D		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
3			0				E		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
3			0				F		
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

Donde encontramos

A3=1

A4=0

A5=0

A6=0

A7=0

A8=1

A9=1

A0, A1, A2, AEN, IOR, IOW: varían según la dirección o la acción.

Los pin de entrada 5, 6 se conectaran al bus en A4 y A5, (como la dirección deseada tiene en ambos un cero, la salida será uno)

El CI 18 es una AND, sus entradas se conectan a: pin 4 a A3, y el pin 5 a la salida del CI 5 pin 4, (como la dirección deseada tiene A3=1, y la salida de la NOR un 1, a la salida de la AND tendremos un 1)

El CI 2 tiene 3 pin para direccionarlo, y lo haremos con A9, A8, A7, que tienen el valor 110 en binario, en decimal es el 6, por lo tanto en esta salida cambiara de 1 a 0 cuando se habilite esa dirección.

AEN, si habilita será un 0, en caso contrario un 1

La salida de la AND, que en estas direcciones nos da un 1 (pin 6 de la AND) aparecerá en 1.

E1 y E2 son negados, se accionan en un 0, E3 se acciona con un 1

Un (1) uno lógico es  $V = 5V$  (nivel alto), y un (0) cero lógico es  $V = 0V$  (nivel bajo).

Como consecuencia, si se mandan una de estas direcciones:

- a) CI 2 manda una señal que habilita o deshabilita el sistema (también la manda a la protección de entrada)
- b) Con la secuencia de las señales de IOR, y de IOW, lee o escribe datos la PC
- c) El CI 3 y el CI 4 con sus salidas habilitara al dispositivo que este conectado a dicha dirección (con la acción que sea requerida : leer, escribir, o accionar, etc.)

## PROTECCIÓN A LA ENTRADA/SALIDA DEL BUS DE LA PC

Para proteger al bus de la PC, es necesario pasar la señal por un buffer o por un optoacoplador, acción que hace básicamente la tarjeta 1 entre otras cosas)

Sin embargo es necesario pasar por estos dispositivos los datos de salida para poder utilizar una corriente mayor, con una fuente que no sea la de la PC.

Los buffer que utilizo son de 2 tipos, el 74LS244 y el 74LS245 ( las características que da el fabricante son mencionadas en los apéndices al final)

Los 74LS244 son habilitados en bajo, esta señal es mandada del las salidas del CI 3 para cada uno, de la dirección \$308, a la \$30C.

El 74LS245 es habilitado con un bajo, que obtiene de la salida 6 del CI 2, y la dirección de escritura o lectura del pin del bus IOR.

## CONTEO

Se realiza un conteo por medio de los contadores 74LS191, si se lee este conteo se puede determinar si se realizó el movimiento en forma adecuada, ya que se reciben señales del codificador de cada eje, indicando si el movimiento es ascendente o descendente.

## PROTECCIÓN A LA ENTRADA DEL SENSOR (OPTOACOPPLAMIENTO)

Para proteger al sistema de una descarga o de una toma excesiva de corriente, se aíslan las señales del telescopio que llegan a la tarjeta con optoacopladores 4N28, estos utilizan de un lado del circuito un diodo (en la entrada) y un transistor que se enciende cuando el diodo es encendido (a la salida, completamente independiente), así mismo se utilizan los 74ls244 para aislar y proteger el bus de datos y/o direcciones.

## SINCRONIZACIÓN DEL RELOJ

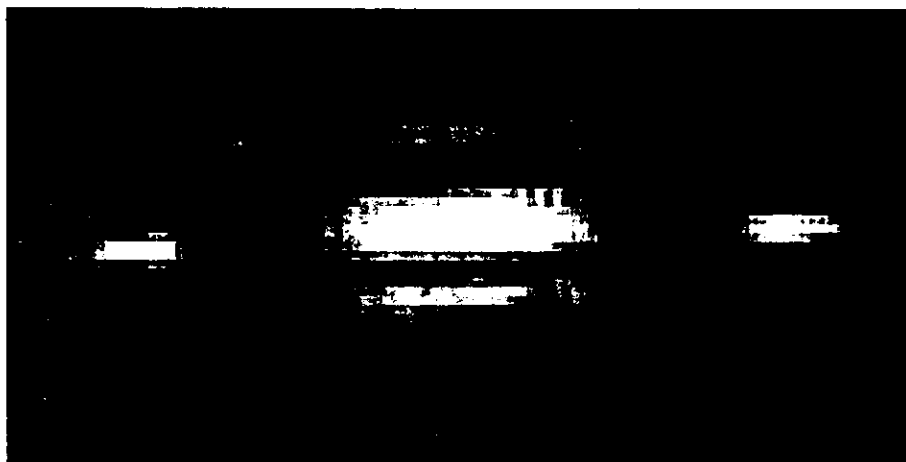
El reloj del sistema (del HC11) manda una señal que es monitoreada por un 74LS393 y enviada de regreso al sistema.

## DETECCIÓN DEL ESTADO DEL PUERTO

El estado del puerto puede ser monitoreado por dos puntos, por un cable serial que indique a la pc que se ha terminado un proceso del HC11 o por esta tarjeta con la entrada del flip flop 74LS74 el cual puede realizar este registro por vía paralelo.

# APÉNDICE F

## LENGUAJE PASCAL Y DELPHI



SATURNO

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

LEMA DE LA UNAM,  
JOSE VASCONCELOS

## APENDICE F

### DELPHI y PASCAL

#### PASCAL

El lenguaje que utilizo para mostrar las pantallas para el usuario son realizadas en el DELPHI, este programa es una nueva versión del lenguaje PASCAL, pero orientada a objetos, muestra ventajas y desventajas con respecto a la programación lineal , como por ejemplo:

##### Ventajas:

- Realización de pantallas y de gráficos de forma muy simple.
- Enlace de procedimientos de forma accesible.
- Permite el uso de otras aplicaciones realizadas anteriormente en Lenguaje PASCAL con un mínimo (o sin) cambios.

##### Desventajas:

- Gasto de demasiada memoria debido a la interfaz gráfica y al monitoreo de los objetos
- Gasto de tiempo en la lectura de las interrupciones de la maquina (principalmente)para el monitoreo gráfico, esta característica es común en todo el ambiente Windows.

Características y formato de las partes de un programa en PASCAL o en DELPHI .

##### Tipo de datos:

Los datos que maneja DELPHI pueden ser de los siguientes tipos:

#### CONSTANTES

Cuando un programa utiliza muchas veces el mismo numero, no es necesario escribirlo todas las veces que aparece, y en su lugar se puede escribir una constante, esta es una palabra (puede ser solo una letra) que es igualada al principio del programa al valor que se va a repetir , y si es necesario cambiarlo solo se deberá hacerse en el programa una sola vez.

Esto permite evitar equivocarse al asignarle valor erróneo al escribir un numero largo como por ejemplo a pi, y que se escribirá mas de una vez en el proceso, o también se pueden escribir cadenas de caracteres que serán llamadas varias veces, solo que estas deberán estar entre comillas, con el siguiente formato.

`pi=3.141592655359`

`St1='El ángulo es: '`

Su formato es :

`constante1:tipo`

`constanten: tipo n;`



## VARIABLES:

TIPO	RANGO DE VALORES	BYTES DE MEMORIA REQUERIDOS	TIENE SIGNO
Enteros			
Byte	0 a 255	1	no
Word	0 a 65535	2	no
ShortInt	-128 a 127	1	si
SmallInt	-32768 a 32767	2	si
Integer	-2147483648 a 2147483647	4	si
Cardinal	0 a 2147483647	4	no
LongInt	-2147483648 a 2147483647	4	si
Comp	$-2^{63} a + 2^{63}$	8	si

TIPO	RANGO DE VALORES	BYTES DE MEMORIA REQUERIDOS	TIENE SIGNO
Reales			
Real	$+2.9 * 10^{-39} a + 1.7 * 10^{38}$	6	si
Single	$+1.5 * 10^{-45} a + 3.4 * 10^{38}$	4	si
Double	$+5.0 * 10^{-324} a + 1.7 * 10^{308}$	8	si
Extended	$+3.4 * 10^{-4932} a + 1.1 * 10^{4392}$	10	si

TIPO	RANGO DE VALORES	BYTES DE MEMORIA REQUERIDOS	TIENE SIGNO
Booleano			
Boolean	Booleano preferido de 1 byte	1	no
ByteBool	Booleano de 1 byte	1	no
Bool	Booleano de 1 word	2	no
WordBool	Booleano de 1 word	2	no
LongBool	Booleano de Double Word	4	no

TIPO	RANGO DE VALORES	BYTES DE MEMORIA REQUERIDOS
Carácter		
ANSIChar	Un carácter ANSI	1
WideChar	Un carácter Unicode	2
Char	Un carácter ANSI	1

TIPO	LONGITUD	ELEMENTOS QUE CONTIENE	TERMINADO EN NULL
String			
ShortString	255	ANSIChar	no
ANSIString	hasta 3 Gb	ANSIChar	si
String	bien 255 o hasta 3 Gb	ANSIChar	si o no

WideString	hasta 1.5 Gb	WideChar	si
------------	--------------	----------	----

Las variables se asignan como sigue :

```
declinación, azimut : real;
```

Su formato es :

```
variable1,variable2,...varn :tipo1;
variable1,variable2,...varn :tipo2;
...
variable1,variable2,...varn :tipon;
```

## OPERADORES MATEMATICOS, LOGICOS Y RELACIONALES

Los operadores tienen el siguiente peso:

\* / mas peso

+ - menor peso

Y se realizan en orden de izquierda a derecha

Cuando se realiza una operación y este resultado generalmente se lo asignamos a una variable, la asignación se realiza con (:=) y no solo con (=) , ya que el símbolo de igualdad solo se usa para declarar Types, o para comparar valores.

```
X := a * b + c / d;
```

Primero se multiplica  $a * b$  , luego divide  $c / d$  y luego suma el resultado.

Además se deberá cuidar que no se asignen valores erróneos a las variables, por ejemplo a un numero real se le puede asignar un entero, pero a un entero no se le puede asignar un irracional.

## ESTRUCTURAS DE DATOS

Los tipos de estructuras de datos que se pueden manejar son de tres tipos.

### ARREGLOS ( arrays )

Los arreglos se manejan en forma de matrices, estos pueden ser unidimensionales (vectores) o multidimensionales, y pueden contener cualquier tipo de variables que se dese utilizar, se declaran usando el siguiente formato.

Unidimensional de tipo real

Nombre arreglo 1 = array [1..n] of Real

Multidimensional ( 3 x n ) de tipo entero

Nombre arreglo 2 = array [1..n<sub>1</sub>, 1..n<sub>2</sub>, 1..n<sub>3</sub>] of Integer

nota : n es entera.

Se le puede asignar a una variable el tipo de un arreglo (en si se esta creando un nuevo tipo de variable).

variable 1 : nombre arreglo 1;

### REGISTROS ( records )

Estos son arreglos no de tipo matricial, sino del estilo de una agenda o base de datos, al registro se le pueden asignar variables de diverso tipo, y su asignación se le puede hacer en forma indistinta a lo largo del programa.

Se declara como sigue:

```
nombrecord = record
  variable 1 : tipo 1
  ...
  variable n : tipo n
End ;
```

Y se pueden llamar estas variables y asignarles valores en el momento que se necesite, solo cuidando de no asignarles valores no compatibles, como ya se menciona.

## DELPHI



FIG. 84. Logotipo de DELPHI

Al utilizar DELPHI se introduce un ambiente grafico que nos permite tener un acceso mas amigable y flexible, los menús que DELPHI nos presenta son:

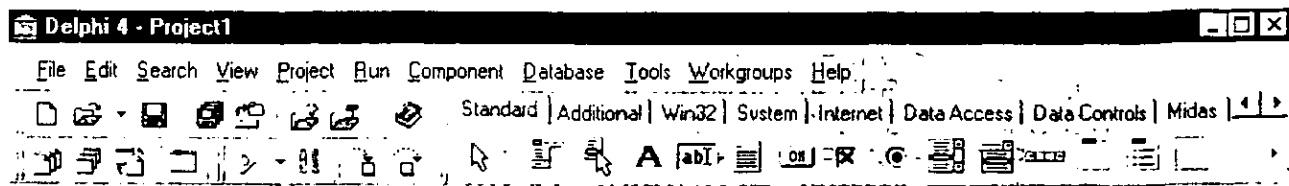


FIG. 85. MENÚ PRINCIPAL DE DELPHI

De los menús estándar, adicional, win32, system, etc. que aparecen en la sección de abajo a la derecha, nos permite acarrear elementos gráficos a nuestra mesa de trabajo, y dando un doble clic nos permitirá apreciar en el cuadro de dialogo sus características.

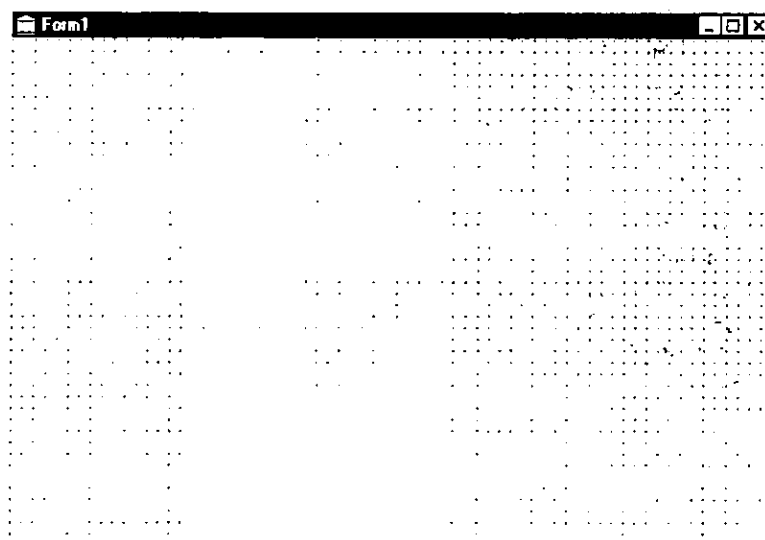


FIG. 86. MESA DE TRABAJO

Al crear una nueva aplicación en File, New, aparecerán los cuadros de dialogo (características y programación).

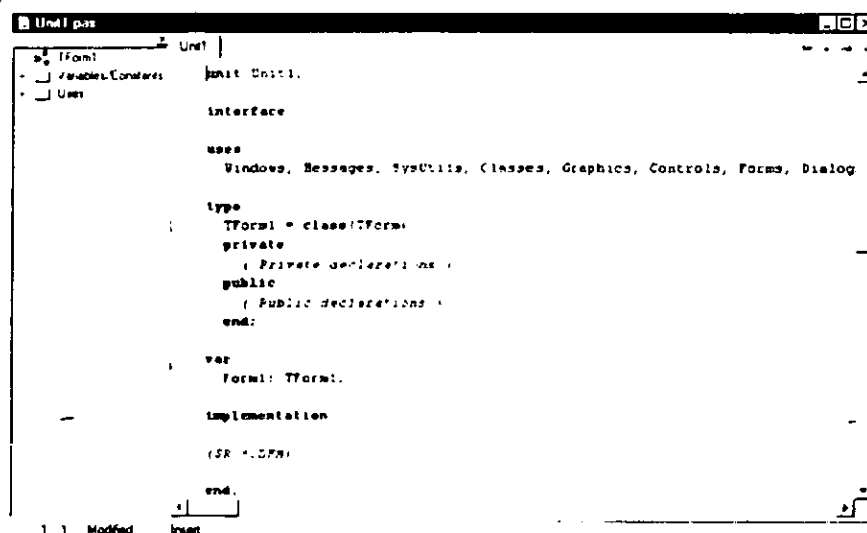


FIG. 87. CUADROS DE DIALOGO DE PROGRAMACIÓN.

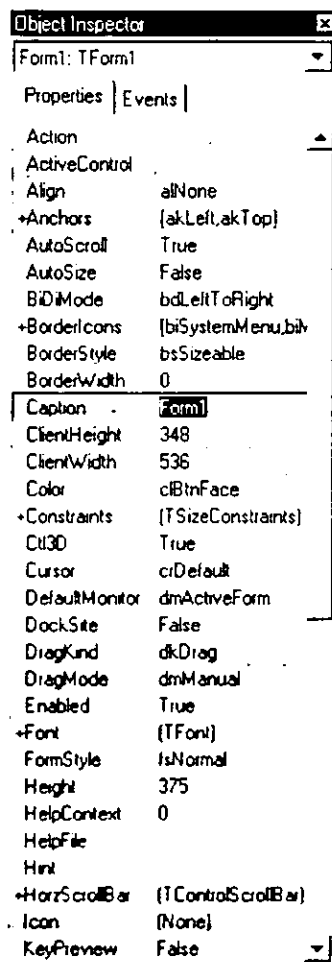
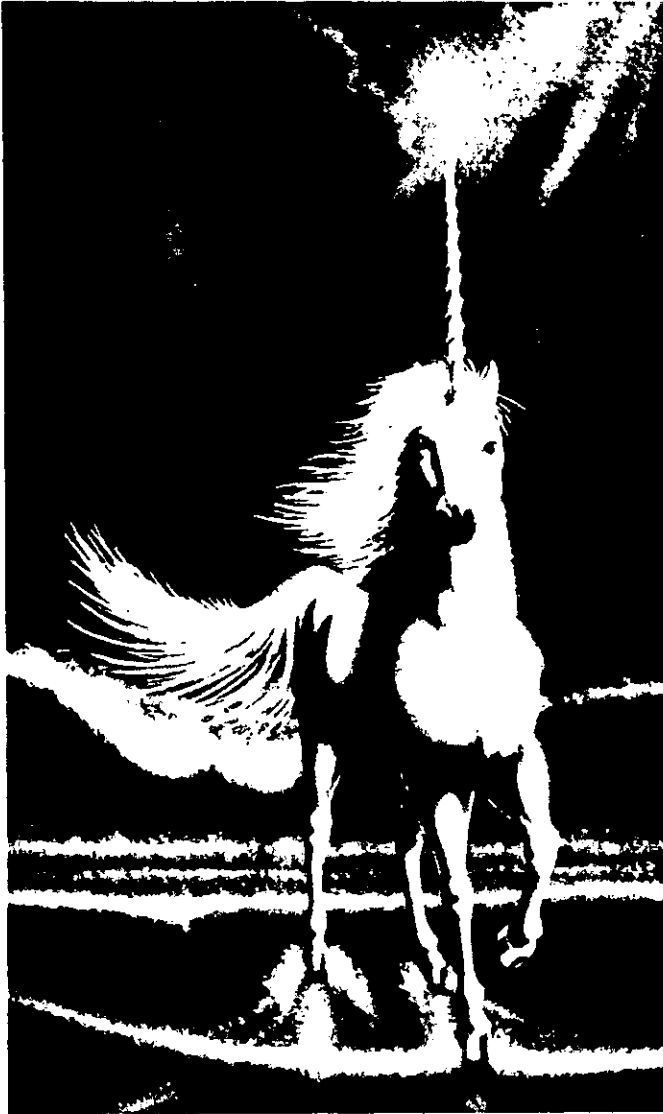


FIG. 87. CUADROS DE DIALOGO DE CARACTERÍSTICAS.

En el cuadro de dialogo de programación es donde programaremos e introduciremos nuestros procedimientos, mientras que en cuadro de dialogo de características modificaremos sus parámetros.

# APÉNDICE G

## MATLAB



UNICORNIO

EL UNIVERSO HABÍA SIDO CREADO EX PROFESO, MANIFESTABA EL CIRCULO. EN CUALQUIER GALAXIA QUE NOS ENCONTREMOS, TOMAMOS LA CIRCUNFERENCIA DE UN CIRCULO, LA DIVIDIMOS POR SU DIÁMETRO Y DESCUBRIMOS UN MILAGRO: OTRO CIRCULO QUE SE REMONTA KILÓMETROS Y KILÓMETROS DESPUÉS DE LA COMA DECIMAL. MAS ADENTRO, HABÍA MENSAJES MAS COMPLEJOS. YA NO IMPORTA QUE ESPECTO TENEMOS, DE QUE ESTAMOS HECHOS NI DE DONDE PROVENIMOS. EN TANTO Y EN CUANTO HABITEMOS EN ESTE UNIVERSO POSEAMOS UN MÍNIMO TALENTO PARA LA MATEMÁTICA, TARDE O TEMPRANO LO DESCUBRIREMOS PORQUE YA ESTA AQUÍ, EN EL INTERIOR DE TODAS LAS COSAS. NO ES NECESARIO SALIR DE NUESTRO PLANETA PARA HALLARLO. EN LA TEXTURA DEL ESPACIO Y EN LA NATURALEZA DE LA MATERIA, AL IGUAL QUE EN UNA GRAN OBRA DE ARTE, SIEMPRE FIGURA, EN LETRAS PEQUEÑAS, LA FIRMA DEL ARTISTA. POR ENCIMA DEL HOMBRE DE LOS DEMONIOS, DE LOS GUARDIANES Y CONSTRUCTORES DE TÚNELES, HAY UNA INTELIGENCIA QUE PRECEDE AL UNIVERSO. EL CIRCULO SE HA CERRADO.

CARL SAGAN

## APÉNDICE G

### MATLAB

#### EL PROGRAMA, SU LENGUAJE Y SU PAQUETERÍA

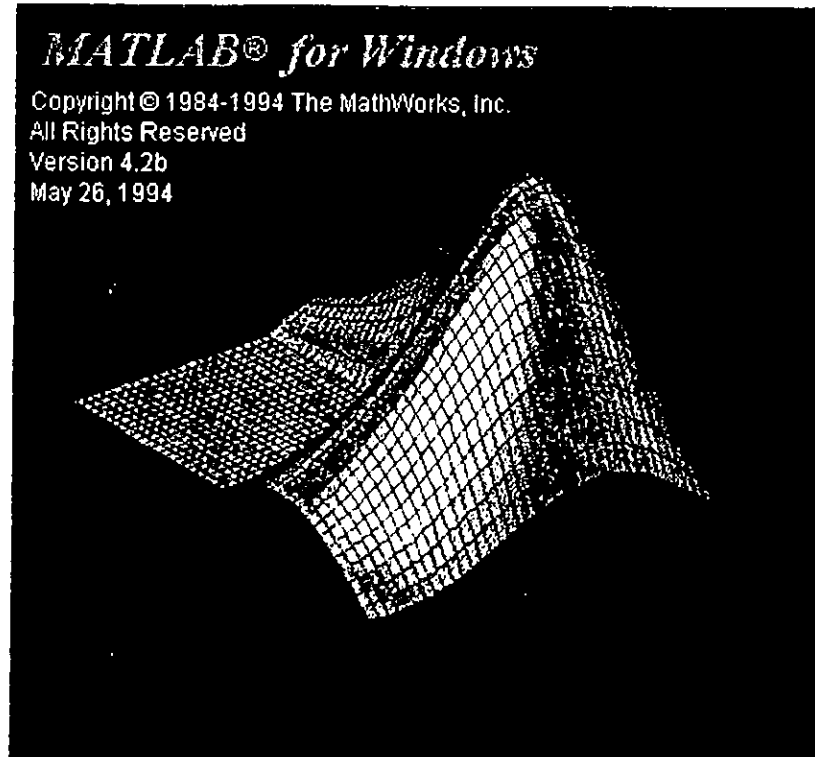


FIG. 88. LOGOTIPO DE MATLAB

El programa MATLAB es un paquete que permite realizar análisis matemático en una forma muy simple, la forma de introducir los datos es por medio de un formato matricial, y es por medio de mnemónicos que son procesados los datos.

Los comandos más utilizados son

La asignación de una variable

$$A = [3 \ 4];$$

Que correspondería a

$$3x+4$$

El símbolo » es el prompt del MATLAB.

```

MATLAB Command Window
File Edit Options Windows Help
Commands to get started: intro, demo, help help
Commands for more information: help, whatsnew, info, subscribe

» help

HELP topics:

toolbox\local          - Local function library.
matlab\datafun        - Data analysis and Fourier transform functions.
matlab\elfun          - Elementary math functions.
matlab\elmat          - Elementary matrices and matrix manipulation.
matlab\funfun         - Function functions - nonlinear numerical methods.
matlab\general        - General purpose commands.
matlab\color          - Color control and lighting model functions.
matlab\graphics       - General purpose graphics functions.
matlab\iofun          - Low-level file I/O functions.
matlab\lang           - Language constructs and debugging.
matlab\matfun         - Matrix functions - numerical linear algebra.
matlab\ops            - Operators and special characters.
matlab\plotxy        - Two dimensional graphics.
matlab\plotxyz       - Three dimensional graphics.
matlab\polyfun        - Polynomial and interpolation functions.
matlab\sounds         - Sound processing functions.
matlab\sparfun        - Sparse matrix functions.
matlab\specfun        - Specialized math functions.
matlab\specmat        - Specialized matrices.
matlab\strfun         - Character string functions.
matlab\dde            - DDE Toolbox.
matlab\demos          - The MATLAB Expo and other demonstrations.
simulink\simulink     - SIMULINK model analysis and construction functions.
simulink\simdemos    - SIMULINK demonstrations and samples.
simulink\blocks       - SIMULINK block library.
simulink\sb2s1        - SystemBuild 3.0 model import into SIMULINK.
toolbox\symbolic      - Symbolic Math Toolbox.
toolbox\signal        - Signal Processing Toolbox.
mutools\commands     - Mu-Analysis and Synthesis Toolbox.: Commands directory
mutools\subs         - Mu-Analysis and Synthesis Toolbox -- Supplement
toolbox\mmle3         - MMLE3 Identification Toolbox.
toolbox\splines       - Spline Toolbox.
toolbox\optim         - Optimization Toolbox.
toolbox\robust        - Robust Control Toolbox.
toolbox\control       - Control System Toolbox.
toolbox\ncd           - Nonlinear Control Design Toolbox.
toolbox\uitools       - User Interface Utilities.
toolbox\ident         - System Identification Toolbox.
nnet\nnet             - Neural Network Toolbox.
nnet\ndemos          - Neural Network Demonstrations and Applications.

For more help on directory/topic, type "help topic".

»

```

FIG. 89. TOOLBOX EN MATLAB



Y esta tabla nos presenta las funciones disponibles

INDICE DE FUNCIONES.

ABS	ACCDM2	ACCEVA2	ACOS	ACOSH	ACOT
ACOTH	ACSC	ACSCH	ACSL	ACSL2	AGENTS
AIRFOIL	ALL	ANDREW	ANGLE	ANIMINIT	ANS
ANY	ARITH	ASEC	ASECH	ASIN	ASINH
ATAN	ATAN2	ATANH	AUREAD	AUWRITE	AXES
AXIS	BALANCE	BANDEM	BAR	BBLWRAP	BCKPRP12
BCKPRP62	BENCH	BESSEL	BESSELA	BESSELI	BESSELJ
BESSELK	BESSELY	BETA	BETACORE	BETAINC	BETALN
BIGPOP	BINPATCH	BLANKS	BLT	BONE	BREAK
BRIGHTEN	BUCKY	BUCKYDEM	BUILDOPT	BUTTONV	CAPTURE
CART2POL	CART2SPH	CAXIS	CCODEGEN	CD	CDF2RDF
CEDIT	CEIL	CENSUS	CENSUSEX	CEVAL	CHOICES
CHOICEX	CHOL	CINVERT	CLA	CLABEL	CLC
CLEAR	CLF	CLG	CLOCK	CLOSE	CMDLNBGN
CMDLNEND	CMDLNWIN	CODEC	COLMMD	COLON	COLORBAR
COLORMAP	COLORMENU	COLPERM	COLSTYLE	COMET	COMET3
COMPAN	COMPASS	COMPUTER	COND	CONDEST	CONJ
CONTACT1	CONTACT2	CONTACT3	CONTOUR	CONTOUR3	CONTOURC
CONTRAST	CONV	CONV2	COOL	COPPER	CORRCOEF
COS	COSH	COT	COTH	COV	CPLXDEMO
CPLXGRID	CPLXMAP	CPLXPAIR	CPLXROOT	CPUTIME	CROSS
CRTANIM1	CRTANIM2	CRULLER	CRULSPIN	CSC	CSCH
CSVREAD	CSVWRITE	CTRLDEMS	CUMPROD	CUMSUM	CYLINDER
DATE	DBCLEAR	DBCONT	DBDOWN	DBLCART1	DBLPEND1
DBLPEND2	DBQUIT	DBSTACK	DBSTATUS	DBSTEP	DBSTOP
DBTYPE	DBUP	DC2SC	DDEADV	DDEEXEC	DDEINIT
DDEPOKE	DDEREQ	DDETERM	DDEUNADV	DEBLANK	DEBUG
DEC2HEX	DECONV	DEL2	DELETE	DELSQ	DELSQDEMO
DELSQSHOW	DEMO	DET	DIAG	DIALOG	DIARY DIFF
DIFFUSE	DIR	DISP	DLMREAD	DLMWRITE	DMPERM
DOS DOT	DRAWACC	DRAWNOW	DSKDEMO2	E2PI	EARTHMAP
ECHO	EIG	EIGMOVIE	ELLIPJ	ELLIPK	ELLIPKE
ELSE	ELSEIF	END	EPS	ERF	ERFC
ERFCORE	ERFCX	ERFINV	ERROR	ERRORBAR	ERRORDLG
ETIME	ETREE	ETREEPLOT	EVAL	EVALMCW	EXIST
EXISTTB	EXP	EXPINT	EXPM	EXPM1	EXPM2
EXPM3	EXPO	EXPOBTNS	EXPOMAP	EXPOMENU	EYE
FCLOSE	FEATHER	FEOF	FERROR	FEVAL	FFT
FFT2	FFTDEMO	FFTSHIFT	FGETL	FGETS	FIGFLAG
FIGURE	FILL	FILL3	FILTDEM	FILTDEM2	FILTER
FILTER2	FIND	FINDSTR	FINITE	FITDEMO	FITFUN
FIX	FLAG	FLIPLR	FLIPUD	FLOOR	FLOPS
FMIN	FMIN5	FOPEN	FOPTIONS	FOR	FORMAT
FOURIER	FPLOT	FPLOTDEMO	FPRINTF	FREAD	FREWIND
FSCANF	FSEEK	FTELL	FULL	FUNCTION	FUNFUNS
FUNM	FWRITE	FZERO	GALLERY	GALLINIT	GAMMA
GAMMAINC	GAMMALN	GCA	GCD	GCF	GCO

GET	GETENV	GETFRAME	GINPUT	GLOBAL	GPLOT
GRADIENT	GRAF2D	GRAF2D2	GRAF3D	GRAFCPLX	GRAY
GRAYMON	GRID	GRIDDATA	GTEXT	HADAMARD	HANKEL
HARDCOPY	HELP	HELPDLG	HELPFUN	HESS	HEX2DEC
HEX2NUM	HIDDEN	HIGHLIGHT	HILB	HINT	HIST
HLPMAKER	HNDLAXIS	HNDLGRAF	HOLD	HOME	HOSTID
HOT	HSV	HSV2RGB	HUMPS	I	ICUBIC
IDDEMS	IF	IFFT	IFFT2	IMAG	IMAGE
IMAGEDEMO	IMAGEEXT	IMAGESC	IMREAD	IMTEXT	IMWRITE
INF INFO	INPUT	INQUIRE	INSIDE	INT2STR	INTERP1
INTERP2	INTERP3	INTERP4	INTERP5	INTERP6	INTERPFT
INTRO	INV	INVERF	INVERTER	INVHILB	ISEMPTY
ISGLOBAL	ISHOLD	ISIEEE	ISINF	ISLETTER	ISNAN ISREAL
ISSPACE	ISSPARSE	ISSTR	ISUNIX	ISVMS	J
JET	KEYBOARD	KLEIN1	KNOT	KRON	LABELACC
LALALA	LASTERR	LAYOUT	LCM	LEGEND	LEGENDRE
LENGTH	LIBINTRO	LIFE	LIN2MU	LINE	Linspace
LOAD	LOG	LOG10	LOG2	LOGLOG	LOGM
LOGO	LOGSPIN	LOGSPACE	LOOKFOR	LORENZ	LORENZEQ
LOTKA	LOWER	LS	LSCAN	LSCOV	LU
MAGIC	MAKEMAZE	MAKEVASE	MATDEMS	MATLABRC	MATLABRO
MATMANIP	MAX	MAZE	MEAN	MEDIAN	MEMBRANE
MEMORY	MENU	MENULIST	MESH	MESHCH	MESHDOM
MESHGRID	MESHZ	META	MEXDEBUG	MIN	MKPP
MODES	MORE	MOVEAXIS	MOVIE	MOVIEIN	MU2LIN
MUDEMS	MVFRAME	MVINIT	MVSTORE	NAN	NARGCHK
NARGIN	NARGOUT	NESTDISS	NESTED	NEURAL	NEWPLOT
NEXTPOW2	NNLS NNZ	NONZEROS	NORM	NORMEST	NULL
NUM2STR	NUMDEMS	NUMGRID	NZMAX	ODE23	ODE23P
ODE45	ODEDEMO	ONECART	ONES	OPTDEMS	ORIENT
ORTH	PACK	PAREN	PASCAL	PATCH	PATH
PATHLEN	PAUSE	PCOLOR	PEAKS	PENNY	PHONE
PI	PINK	PINV	PLANEROT	PLAYSOUN	PLOT
PLOT3	PLTCHAR	PLTMAT	PNDANIM1	PNDANIM2	PNDANIM3
POL2CART	POLAR	POLY	POLYDER	POLYEIG	POLYFIT
POLYLINE	POLYMARK	POLYVAL	POLYVALM	POPUPCB	POW2
PPVAL	PRINT	PRINTOPT	PRISMPROD	PUNCT	PUZZLE
PWD	QR	QRDELETE	QRINSERT	QUAD	QUAD8
QUAD8STP	QUADDEMO	QUADSTP	QUAKE	QUESTDLG	QUIT
QUIVDEMO	QUIVER	QZ	RAND	RANDN	RANDPERM
RANK	RAT	RATS	RBBOX	RCOND	RCTDEMS
README	REAL	REALMAX	REALMIN	REFRESH	RELOP
REM	RESET	RESHAPE	RESI2	RESIDUE	RETURN
RGB2HSV	RGBPLOT	RJR	ROOTS	ROSE	ROSSER
ROT90	ROTATE	ROUND	RREF	RREFMOVIE	RSF2CSF
SAVE	SAXIS	SC2DC	SCHUR	SCRIPT	SEC
SECH	SEMILOGX	SEMILOGY	SEPDEMO	SEPLOT	SET
SETMENU	SETSTR	SHADING	SHG	SHOWWIND	SIGDEMO1
SIGDEMO2	SIGN	SIMCAD	SIMINTRO	SIMPPEND	SIN
SINH	SITEID	SIZE	SLASH	SLICE	SOLVMAZE
SOR	SORT	SOUND	SPALLOC	SPAPIDM2	SPARSE

SPARSFUN	SPARSITY	SPAUGMENT	SPCONVERT	SPDIAGS	SPECULAR
SPEYE	SPFUN	SPH2CART	SPHARM2	SPHERE	SPINMAP
SPINNER	SPIRAL	SPLDEMS	SPLINE	SPLINE2D	SPONES
SPPARMS	SPRANDN	SPRANDSYM	SPRANK	SPRINTF	SPY
SPYPART	SQDEMO	SQRT	SQRTM	SSCANF	SSDISP
SSFORMAT	SSHOW	SSINIT	SSPAUSE	STAIRS	STATDEMS
STD	STEM	STR2MAT	STR2NUM	STR2RNG	STRCMP
STRINGS	STRMAKER	STRREP	STRTOK	SUBPLOT	SUBSCRIBE
SUBSPACE	SUM	SUNSPOTS	SUPERQUAD	SURF	SURFACE
SURFC	SURFL	SURFNORM	SVD	SWAPPREV	SYMBFACT
SYMMMD	SYMRCM	SYSIDDM	TABLE1	TABLE2	TAN
TANH	TBWARN	TEMPDIR	TEMPNAME	TERMINAL	TEXT
TFFUNC	TIC	TITLE TOC	TOEPLITZ	TORI4	TRACE
TRAPZ	TRAVEL	TREELAYOUT	TREEPLOT	TRIL	TRIU
TRUSS	TUBE	TYPE	UICONTROL	UIGETFILE	UIGUIDE
UIMENU	UIPUTFILE	UISETCOLOR	UISETFONT	UITEXT	UNIX
UNMESH	UNMKPP	UNWRAP	UPPER	VANDER	VER
VERSION	VIBES	VIEW	VIEWMTX	VISDEMS	VMS
WARNDLG	WATCHOFF	WATCHON	WATERFALL	WAVREAD	WAVWRITE
WHAT	WHATSNEW	WHEEL	WHICH	WHILE	WHITE
WHITEBG	WHO	WHOSWHY	WILKINSON	WK1CONST	WK1READ
WK1WREC	WK1WRITE	WRLDTRV	WRLDTRV2	XLABEL	XOR
XPACCEL	XPBANPLT	XPBOMBS	XPCALC	XPCTRL	XPEZPLT
XPGALLRY	XPGIV	XPIMAGE	XPKLEIN	XPLANG	XPMOVIE
XPMU	XPPAGE	XPPOLYTL	XPQUAD	XPR	XPSOUND
XPSUBPLT	XPTXT	XPZ	XYCRULL	XYKLEIN	XYLINK1A
XYLINK1B	XYLINK1C	XYLINK1D	XYZCHK	YLABEL	ZERODEMO
ZEROS	ZLABEL	ZOOM			

Como se puede observar son muchas las funciones que presenta el programa, en particular nos interesa el toolbox de Control, las funciones matriciales, los métodos de graficación y de simulación son los puntos que nos interesan.

El toolbox de Control tiene un "Demo" que muestra como se pueden realizar estos procesos de análisis, como puede verse en el programa xpctrl.m.

Aquí se muestran los comandos para graficar un sistema en el plano "s", obteniendo la graficación de:

- Los polos y ceros
- Diagrama de Bode
- Respuesta al escalón
- Respuesta al impulso
- Diagrama de Niquist

```

»num=[1 0]
den=[1 1 1]
rlocus(num,den)
title('Root Locus');

```

```

num =
    1    0
den =
    1    1    1

```

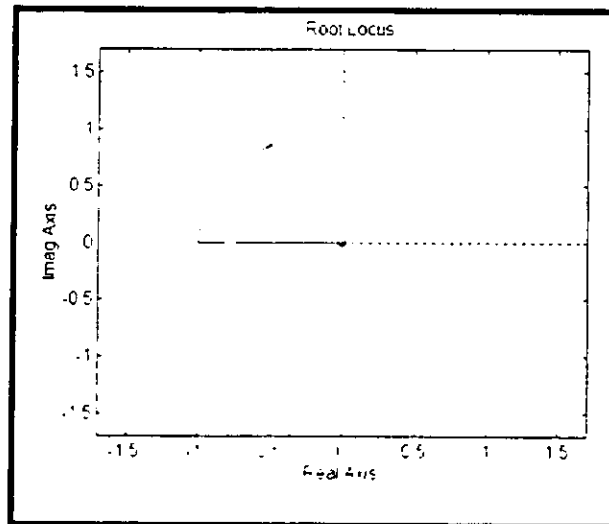


FIG. 90. EJEMPLO DEL METODO DEL LUGAR DE LAS RAICES.

```

» [mag,phase,w]=bode(num,den);
loglog(w,mag)
title('Bode Magnitude Plot');

```

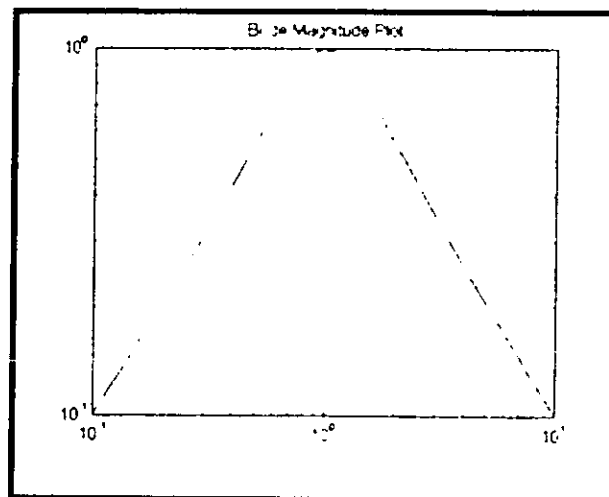


FIG. 91. EJEMPLO DE LA MAGNITUD DE UN DIAGRAMA DE BODE

```
» step(num,den)
title('Step Response Plot');
```

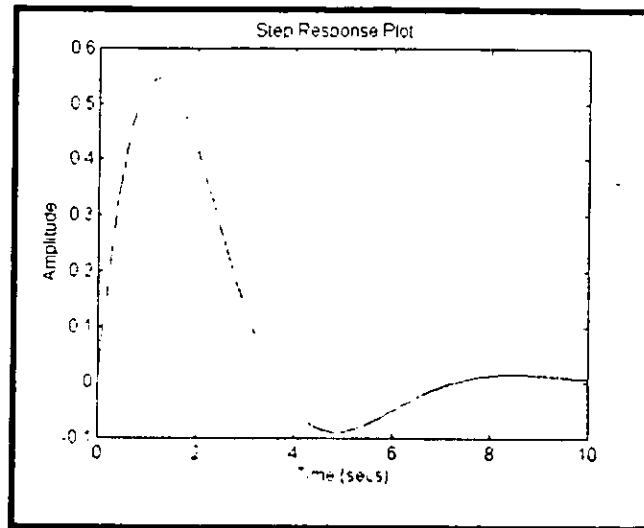


FIG. 92. EJEMPLO DE LA RESPUESTA A UNA ENTRADA ESCALÓN.

```
» impulse(num,den)
title('Impulse Response Plot');
```

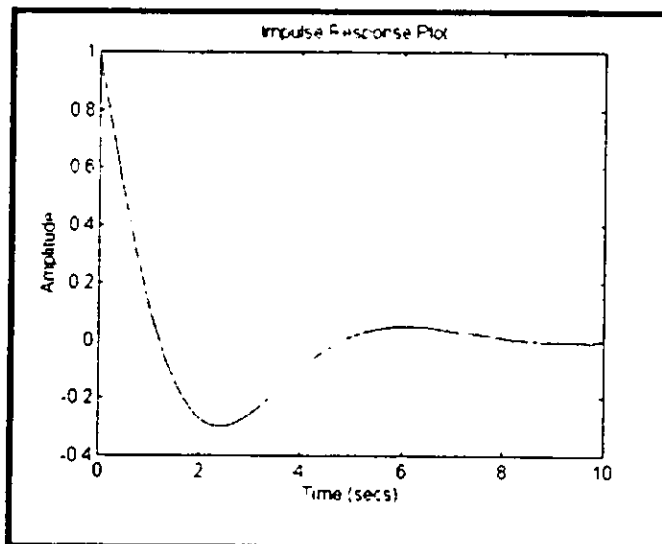


FIG. 93. EJEMPLO DE LA RESPUESTA A UNA ENTRADA IMPULSO.

```
» nyquist(num,den)
title('Nyquist Plot');
```

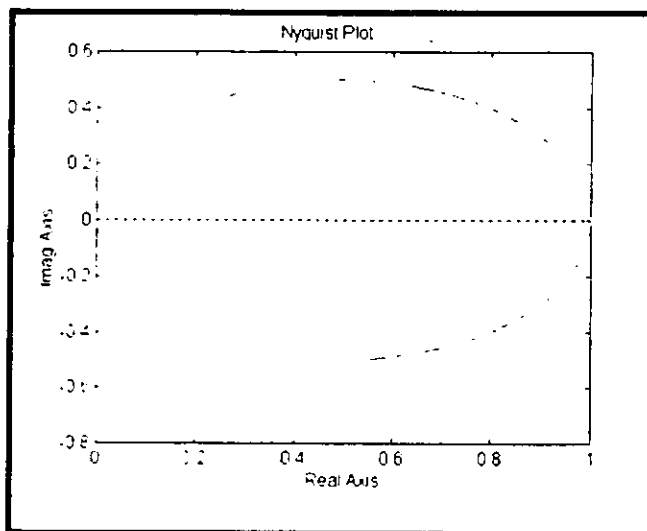


FIG. 94. EJEMPLO DE UN DIAGRAMA DE NYQUIST.

Otro proceso realizado con el MATLAB es la simulación por medio del simulink

Este nos presenta los siguientes menús:

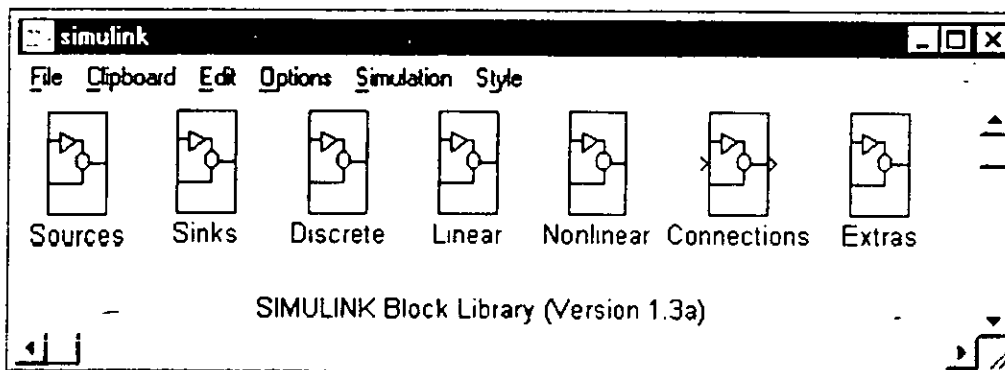


FIG. 95A. MENU DE SIMULINK.

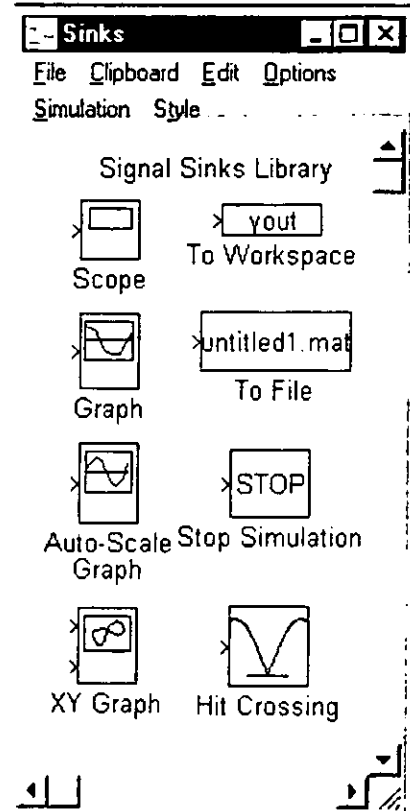
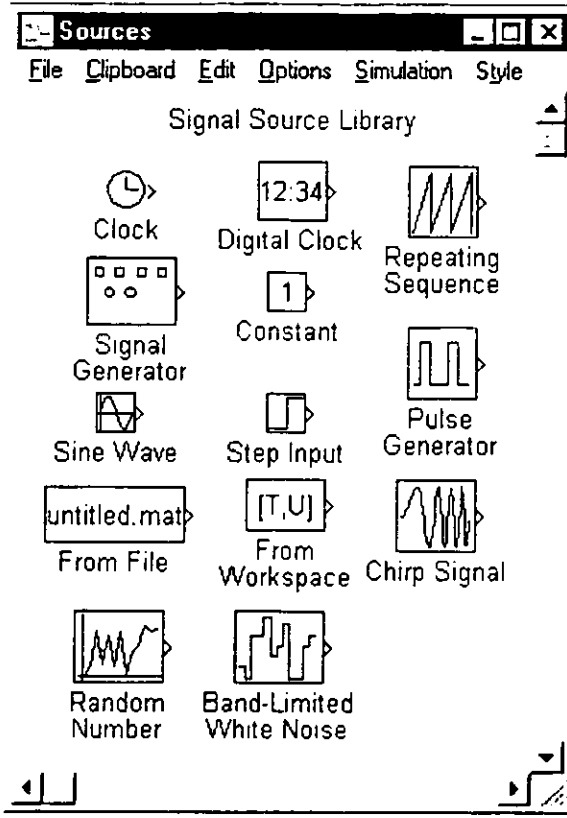
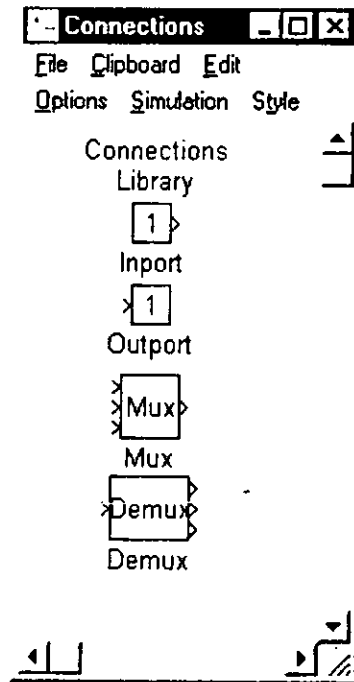
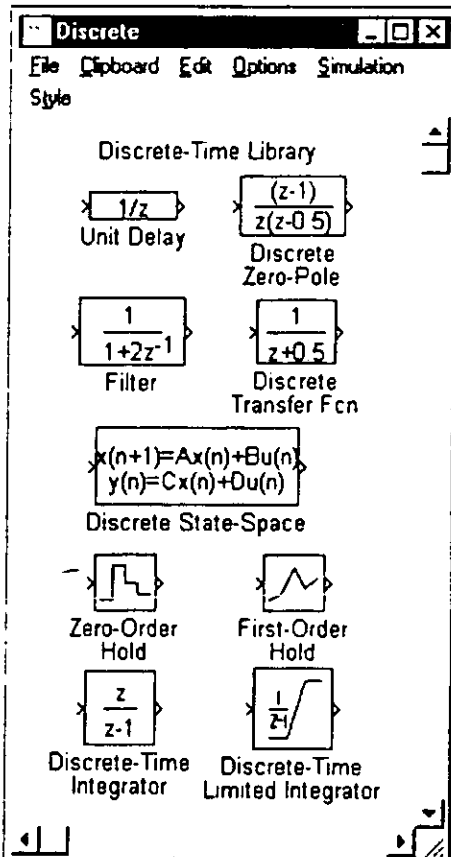


FIG. 95B. MENUS DE SIMULINK.



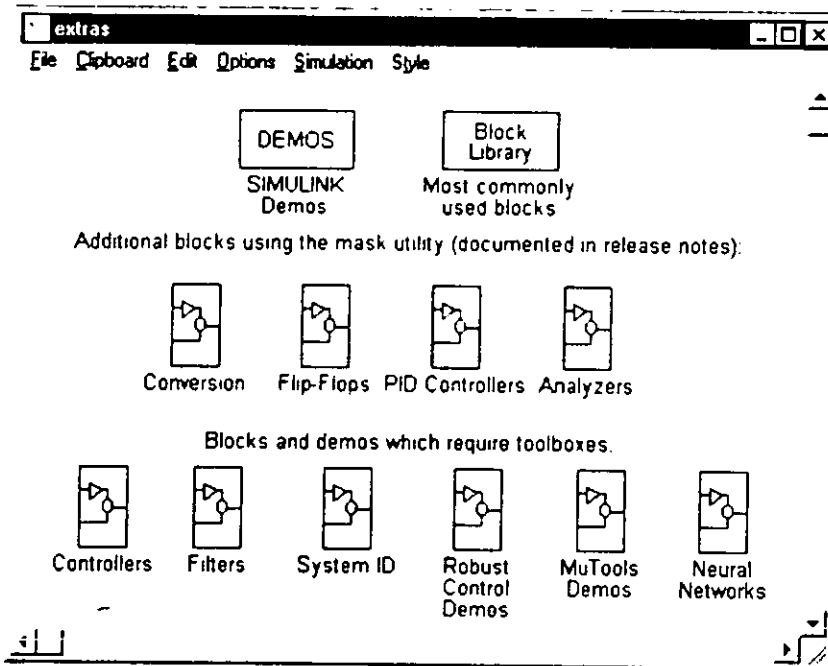
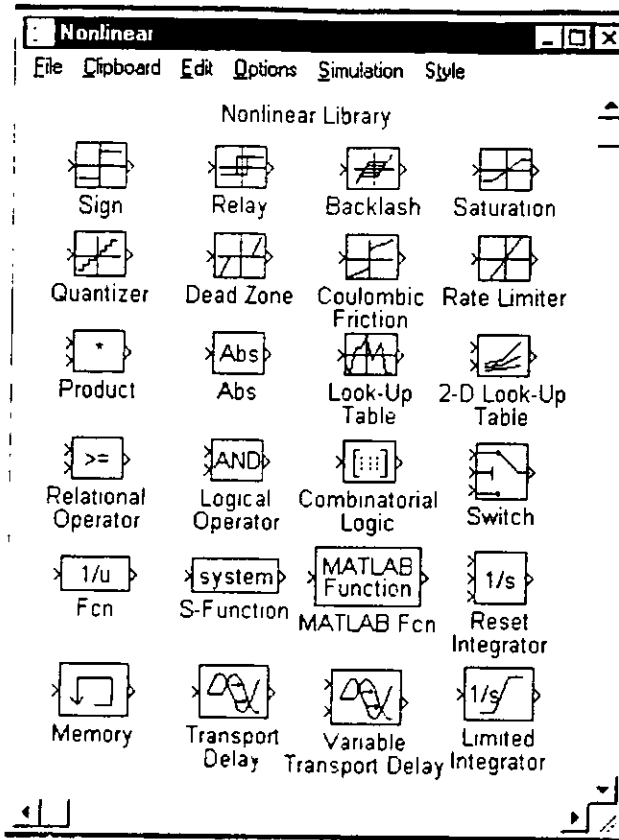


FIG. 95C. MENUS DE SIMULINK.

Por medio de este programa se realizaron los análisis de

La estructura, sin y con motor, el motor y el sistema completo



Los tres fueron vistos en el capítulo 3, y se realizó la simulación del sistema completo con el simulink también en el mismo capítulo.

Para realizar la simulación se llama al simulink, en el menú llamado file se abre una nueva simulación.

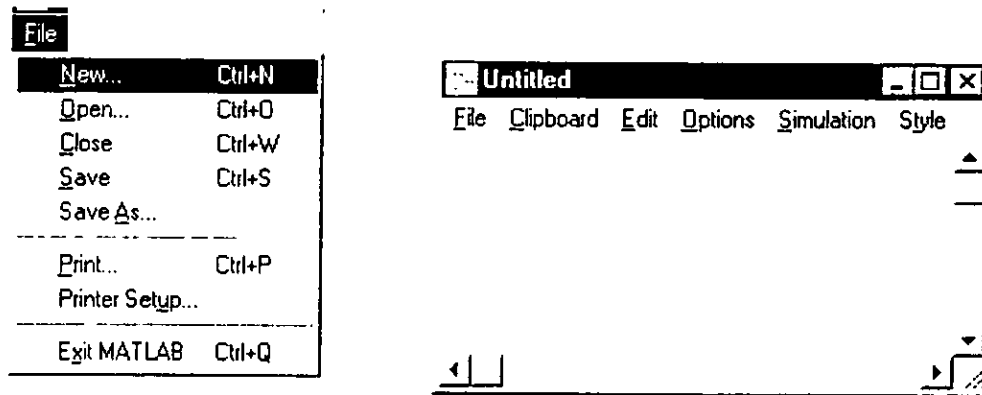


FIG. 96. MENU FILE/NEW.

En esta nueva pantalla se pegan los elementos que sean necesarios, acarreándolos de los menús del simulink (lineal, source, discrete, etc.).

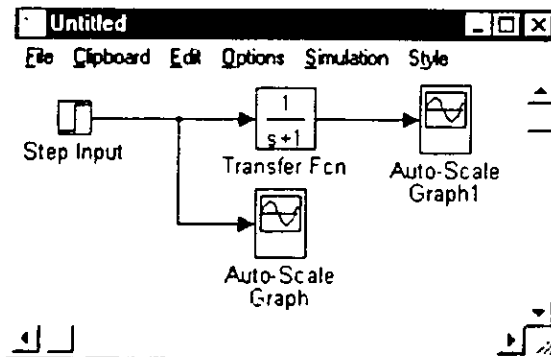


FIG. 97. EJEMPLO DE UNA SIMULACIÓN EN SIMULINK.

Ya que se alambro el diagrama en el menú simulación se inicia oprimiendo start, y para detenerla en el mismo menú con stop.

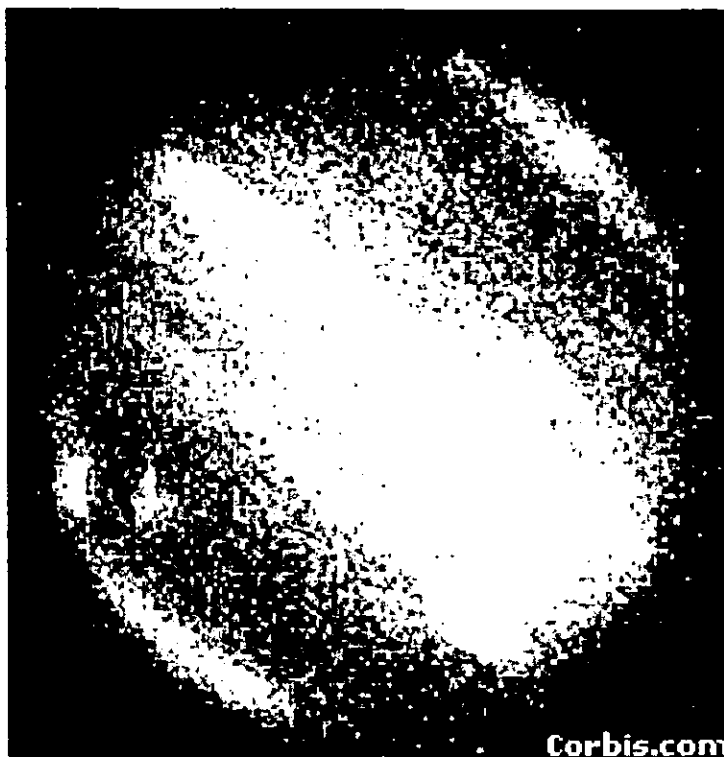


FIG. 98. MENU SIMULACION.

Finalmente se visualizan las gráficas que se generan, si no es satisfactoria se modifican los bloques que se colocaron en la pantalla, para modificarlos basta con oprimir el ratón 2 veces sobre dicho elemento y cambiar sus parámetros.

# APÉNDICE H

## GLOSARIO



### JUPITER

"LAS SIRENAS POSEEN UN ARMA MAS LETAL AUN QUE SU CANTO: SU SILENCIO... ES POSIBLE QUE ALGUIEN HAYA PODIDO ESCAPAR DE SU CANTO; PERO DE SU SILENCIO, JAMÁS."

PARÁBOLAS DE FRANZ KAFKA

## GLOSARIO

**Aberración.** Cambio de posición geométrica de un cuerpo celeste cuando su luz atraviesa la atmósfera o algún instrumento óptico. Se utiliza para registrar las variaciones de posición del cuerpo en estudio, al cambiar el sitio de observación.

**Aberración diurna.** Desplazamiento angular aparente de los cuerpos celestes, producido por el movimiento de rotación de la Tierra.

**Acimut o azimut.** Distancia angular, medida hacia el Este, desde el Norte geográfico hasta el punto definido por la intersección con el horizonte del círculo vertical que pasa por el objeto celeste. También es común referirla al Sur geográfico.

**Altitud o Altura.** Distancia angular entre el horizonte y el cuerpo celeste. Se mide a lo largo del gran círculo que pasa por el objeto astronómico y el cenit del lugar. Es positiva cuando el objeto está sobre el horizonte y negativa cuando está por debajo.

**Ángulo horario.** Distancia angular entre el meridiano del lugar y el círculo horario que pasa por el objeto celeste. Se mide en el plano del ecuador celeste.

**Anillo de diamante.** Efecto producido cuando los últimos rayos de luz provenientes de la superficie solar, pasan a través de un valle en el limbo de la Luna. Se observa como un punto muy luminoso sobre el segmento de arco formado por lo pequeña fracción, de la superficie solar, que resto por ocultar el disco lunar poco antes o después de un eclipse total de Sol. Última perla de Bailly visible al principio o al final de la fase de totalidad de un eclipse Total de Sol.

**Anuario astronómico.** Guía de posiciones de objetos celestes y acontecimientos astronómicos que se publica cada año.

**Ascensión Recta.** Ángulo, en el plano del ecuador celeste, que mide la separación entre los círculos horarios del punto Vernal y del objeto celeste.

**Astrología.** Un sistema no científico de fundamentos subjetivos, con el que se pretende explicar el comportamiento humano tomando como base las posiciones de los astros.

**Azimut.** Ver Acimut.

**Cenit o Zenit.** Punto de la esfera celeste que se encuentra exactamente encima del observador.

**Círculo Horario.** Gran círculo, en la bóveda celeste, que contiene a los polos celestes y algún objeto astronómico.

**Coordenadas geográficas.** Latitud y longitud de un punto de la superficie terrestre, relativas al centro de la Tierra.

**Coordenadas celestes eclípticas.** Latitud y longitud eclípticas de un punto de la bóveda celeste. Pueden ser geocéntricas o heliocéntricas.

**Coordenadas celestes ecuatoriales.** Ascensión Recta y Declinación de un punto de la bóveda celeste. Pueden ser geocéntricas o heliocéntricas.

**Declinación.** Distancia angular en la esfera celeste que se mide desde el ecuador celeste, a lo largo del círculo horario que pasa por el objeto celeste. Es positiva al norte y negativa al sur.

**Declinación magnética.** Desviación de las líneas del campo magnético de la Tierra, respecto de la línea norte sur geográfica. Cambia periódicamente con el tiempo.

**Deflección de la vertical.** Diferencia angular entre el cenit astronómico y el cenit geodésico

**Día.** Es el intervalo de 86 400 segundos del Sistema Internacional de Tiempo.

**Día Juliano.** Intervalo de tiempo en días y fracción de día a partir del medio día del primero de enero del año 4713 AC. en el meridiano de Greenwich.

**Día medio.** Tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol medio o ficticio, por el meridiano. Su duración es de 24 horas.

**Día sideral.** Tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos del punto vernal o de alguna estrella por el meridiano. Su duración es de 23 horas, 56 minutos, 4.098904 segundos.

**Día Solar.** Tiempo transcurrido entre dos tránsitos del Sol por el meridiano. Varía durante el año y por consiguiente es necesario definir el día solar medio. La causa es la variación de la velocidad de rotación de la Tierra y de su movimiento en torno al Sol.

**Diámetro Angular.** Ángulo que subtende el diámetro aparente de un cuerpo celeste cercano. Por ejemplo, los tamaños aparentes de la Luna y el Sol son, aproximadamente, de medio grado.

**Distancia Cenital.** Distancia angular medida a partir del cenit, es igual 90° menos su altura sobre el horizonte.

**Ecuador.** Gran círculo en la superficie de un cuerpo, que resulta de la intersección de esta con el plano que pasa por su centro y es perpendicular al eje de rotación del cuerpo.

**Ecuador celeste.** Proyección del ecuador de la Tierra, en la bóveda celeste.

**Eclíptica, plano de la.** Plano medio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

**Eclíptica.** Trayectoria que describe el Sol en la bóveda celeste, a lo largo del año. Se llama así por que los eclipses ocurren cuando la Luna se encuentra cerca del plano que la contiene.

**Ecuación del tiempo.** Diferencia entre los ángulos horarios del Sol verdadero y el Sol medio o ficticio. Diferencia entre el tiempo solar aparente y el tiempo solar medio.

**Efemérides.** Predicción de la posición de un astro. Lista de posiciones astronómicas y otros datos que cambian con el tiempo.

**Equinoccio Vernal.** Día del año en el que se inicia la primavera en el hemisferio norte, la duración del día y la noche son iguales. Nodo ascendente de la eclíptica sobre el ecuador celeste. Momento en el cual la longitud aparente del Sol es cero.

**Esfera Celeste.** Esfera imaginaria donde parecen estar colocadas a la misma distancia, todos los objetos celestes. En su centro está la Tierra cuyo plano ecuatorial contiene al ecuador terrestre y sus polos, son la intersección de la proyección del eje de rotación de la Tierra con tal esfera.

**Excentricidad de una órbita.** Para una órbita elíptica, es la razón de la distancia entre los focos y el diámetro mayor de la órbita. Parámetro que especifica la forma de una sección cónica.

**Greenwich.** Región conurbada de Londres cercana al río Támesis, donde se encontraba un observatorio astronómico. El meridiano de lugar se toma como origen, es decir, es el meridiano cero.

**Hora Civil o Legal.** Hora regida por el Sol medio o ficticio. Hora referido a un meridiano horario o "Uso horario". La Tierra se divide en 24 usos horarios y se obtienen al dividir entre 15 los 3600 de circunferencia del ecuador.

**Hora Local.** Hora regida por la posición del Sol verdadero. Cuando este pasa por el meridiano del lugar define las 12 horas del lugar.

**Hora Sideral, o Tiempo Sideral.** Tiempo transcurrido desde el paso del meridiano del lugar por el primer punto de Aries. El día sideral es 3m 55.91s menor que día solar. Se refiere al tiempo medido que se basa en las estrellas fijas.

**Hora Universal.** Hora local de Greenwich. La hora local de algún lugar, se obtiene restando a la hora de Greenwich la longitud del lugar en horas.

**Horizonte.** Plano perpendicular a la línea que va del observador al cenit del lugar. Gran círculo formado por la intersección de la esfera celeste con el plano perpendicular a la línea que une al observador con el cenit del lugar, llamado horizonte astronómico.

**Inclinación.** Ángulo entre dos planos uno orbital el otro de referencia. Elemento orbital que especifica la orientación de una órbita.

**J.** Se refiere al calendario Juliano.

**Latitud celeste.** Distancia angular en la esfera celeste medida al norte o al sur de la eclíptica. Se mide a lo largo del gran círculo que pasa por los polos de la eclíptica y el objeto astronómico.

**Latitud terrestre.** Distancia angular en la Tierra, medida al norte o al sur de su ecuador, a lo largo del meridiano de un lugar.

**Meridiano.** Círculo máximo en la esfera celeste que pasa por los polos y el cenit del observador.

**Messier, Charles.** Astrónomo francés autor de un catálogo de objetos de aspecto difuso.

**Messier, catálogo.** Enlistado de objetos que al ser vistos con telescopios pequeños son de aspecto difuso. Contiene cúmulos estelares, nebulosos y galaxias.

**Movimiento directo.** Movimiento, visto desde el polo norte de la eclíptica en sentido contrario a las manecillas del reloj.

**Movimiento diurno.** Movimiento aparente de los cuerpos celestes, causada por la rotación de la Tierra que hace ver que la esfera celeste se mueve de este a oeste.

**Movimiento medio.** Es el movimiento elíptico no perturbado con velocidad angular uniforme.

**Movimiento propio.** Proyección en la esfera celeste, del movimiento especial de una estrella relativo al sistema solar. Se tabula en los catálogos de estrellas como combos en la ascensión y declinación de la estrella.

**Nadir.** Punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cenit.

**Nutación.** Oscilación de corto periodo del polo de un cuerpo que roto libremente. Se produce por el torque de fuerzas gravitatorias externos. La Nutación de los polos de la Tierra se discute en términos de la oblicuidad y longitud eclípticas.

**Oblicuidad.** Ángulo entre los planos ecuatorial y orbital de un cuerpo. En la Tierra, es el ángulo entre los planos del ecuador y la eclíptica, también llamada oblicuidad de la eclíptica.

**Paso superior por el meridiano.** Tránsito de un objeto celeste por el meridiano del observador.

**Polar.** Estrella Polar. Se localiza a solo  $0.9^\circ$  del Polo Norte Celeste.

**Precesión.** Movimiento progresivo y uniforme, del polo del eje de rotación de un cuerpo que roto libremente, sujeto al torque ejercido por un fuerza gravitatorio externa. En la Tierra el componente de la precesión causado por el Sol y la Luna en la deformación ecuatorial de la Tierra, produce lo llamado precesión lunisolar y el componente causado por la acción de los planetas la llamada precesión planetaria. Lo sumo de todos ellos es llamada precesión general.

**Primer Punto de Aries.** Punto imaginario sobre la esfera celeste donde se interceptan el ecuador celeste y la eclíptica pasando de declinación positivo o negativo. No existe ninguno estrella en esta posición.

**Polo Norte Celeste.** Punto de intersección de la proyección del eje de rotación terrestre (ideal) con el círculo vertical que pasa por la estrella Polar.

**Punto Vernal.** Ver primer punto de Aries.

**Tiempo sideral.** Medida de tiempo basada en el movimiento diurno del punto vernal. Está dado por la razón de rotación terrestre respecto a las estrellas.

**Tiempo universal.** Medida de tiempo basado en el movimiento diurno del Sol. Hora local en el meridiano de Greenwich, se determina por la observación del movimiento diurno de las estrellas.

**Variación Horaria.** Diferencia entre el tiempo sideral y el solar. Los días solares son casi 4 minutos más largos que los siderales.

**Zenit o Cenit.** Ver Cenit.

MATLAB, SIMULINK, DELPHI, PASCAL, MOTOROLA, INTEL, NATIONAL, IBM, MICROSOFT, WINDOWS, PENTIUM, AMD, y las familias de los circuitos son marcas y/o productos registrados, con derechos de autor, su uso fue realizado sin fines de lucro, en equipos con licencia, la cual fue suprimida en las imágenes para evitar Piratería.