



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**CONTROL POR MINICOMPUTADORA DEL TELESCOPIO DE 2m DE
SAN PEDRO MARTIR, B. C.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

F I S I C O

P r e s e n t a :

LUIS SALAS CASALES

México, D. F.

1982



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.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
I. SISTEMA DE CONTROL DEL TELESCOPIO	4
Introducción	4
El problema de control	4
Consola	11
Lazo de Guiado	15
II. INTERCONEXION DE LA MINICOMPUTADORA	21
Introducción	21
Ganancia del lazo de velocidad	22
Mincomputadora NOVA-1200	31
Generalidades	31
Electrónica	32
Programación	37
Interfase	38
Programa de control	41

	Página
III. CORRECCION DE ERRORES	47
Introducción	47
Ecuaciones	49
Generales	49
Refracción	50
Perpendicularidad y Alineación	54
Flexiones	58
Experimento realizado	64
Análisis de datos	65
Conclusiones	81
APENDICE I	83
APENDICE II	94
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUCCION

En los terrenos del Observatorio Astronómico Nacional, Sierra de San Pedro Mártir en Baja California Norte, se inauguró en el mes de septiembre de 1979, el telescopio reflector de 2.1 m de diámetro en su espejo primario, propiedad de la UNAM.

Asimismo, se inauguraron los edificios e instalaciones asociadas a dicho telescopio y la consola electrónica destinada a controlar los movimientos de este telescopio.

El telescopio, de montura ecuatorial, tiene dos ejes perpendiculares de movimiento, y la consola, diseñada y construida en el Instituto de Astronomía y el Centro de Instrumentos de la UNAM, es capaz de detectar movimientos de un sexto de segundo de arco en cualquiera de estos ejes. Sin embargo, ya que los errores debidos a refracción en la atmósfera, flexiones del telescopio y otros muchos, son bastante mayores que esto, la consola no explota su potencial de precisión para el apunte automático.

Una computadora, que además tiene la ventaja de ser fácilmente programable, puede calcular el efecto de estos errores y corregirlos, para aprovechar la gran precisión potencial de los codificadores.

Así se podrá confiar en la calidad del posicionamiento en casos en que esto es indispensable, tales como apuntar a ciegas en observaciones diurnas en luz infrarroja, o bien en el mapeo automático de regiones.

La computadora servirá también para controlar experimentos y como medio de salida de datos, o incluso de reducción en línea.

Esta tesis trata de la conexión de una minicomputadora NOVA-1200, con la consola del telescopio.

La computadora no se encarga directamente de controlar la corriente de los motores, ya que esto le quitaría la mayor parte de su tiempo, y se pretende que realice otras tareas. Además, no se trata de duplicar la consola de control, sino de aprovechar la ya existente en todo su potencial cuando valga la pena hacerlo, es decir, cuando todas las posibles fuentes de error sean evaluadas y puedan ser contrarrestadas.

En el capítulo I se estudia brevemente el sistema de control del telescopio, con el fin de hacer notar los puntos en que habrá que tener cuidado cuando se haga la conexión y además se muestra donde se hará ésta.

En el capítulo II, se describen en detalle las mo-

dificaciones necesarias en la consola, en base a lo estudiado en el capítulo I; y se describe, por otro lado, la minicomputadora para luego pasar a describir la interconexión en sí.

En el capítulo III se estudia el tipo de errores que pueden esperarse debido a distintas causas. También se describe el experimento realizado y se analizan los datos obtenidos con el fin de determinar la magnitud de las contribuciones de cada fuente de error al total.

Los diagramas electrónicos detallados de la interconexión se describen en el Apéndice I y las subrutinas y programas desarrollados en el Apéndice II.

CAPITULO I
SISTEMA DE CONTROL DEL TELESCOPIO

Introducción

El propósito de este capítulo, es definir y analizar los conceptos relacionados con el control del telescopio, que tendrán alguna relevancia en el desarrollo ulterior de esta tesis.

El problema de control

El telescopio de 2 m. de SPM, tiene una montura de tipo ecuatorial, que le permite moverse alrededor de dos ejes; siendo el llamado de Ascensión recta, paralelo al eje de rotación terrestre y el de declinación, ortogonal a este último.



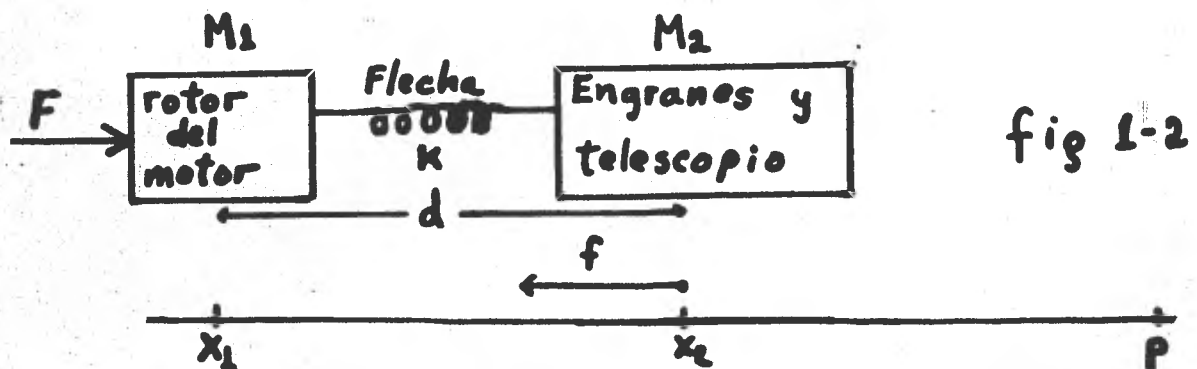
Figura 1-1

El análisis dinámico es cualitativamente el mismo para ambos ejes, y solamente varían los valores de ciertas constantes, como son momentos de inercia, coeficientes de

fricción y torsión, etcétera.

Es por esto que en el futuro consideraré únicamente el caso de un solo eje.

Con el fin de analizar en forma cualitativa el problema de control que representa mover el telescopio de un lugar a otro, tomemos el siguiente modelo: (Fig. 1-2)



Aquí, todas las variables angulares han sido substituidas por sus correspondientes lineales, de tal forma que los momentos de inercia quedan representados por las masas M_1 y M_2 , las posiciones angulares por X_1 y X_2 , la torsión de la flecha por un resorte de longitud natural d y constante K ; la torca que ejerce el embobinado del motor sobre su rotor por F y la fuerza de fricción sobre el telescopio por $F = \gamma \dot{X}_2$.

Nótese que aunque este modelo es muy simple, puede obtenerse alguna información útil de él. En este caso, el telescopio M2, se acerca al punto P, y la pregunta es, ¿que torca F debe aplicarse en cada instante? Hay muchas respuestas posibles, hay que recordar que esta torca será el resultado de una corriente aplicada a los motores por la consola del telescopio. Como el valor de la corriente debe estarse calculando continuamente por los circuitos electrónicos, no se puede elegir una respuesta demasiado complicada, sino que más bien debemos usar un criterio bastante simple.

Así pues, se considera la similitud del modelo con un oscilador armónico amortiguado, cuya ecuación diferencial homogénea es:

$$\ddot{x} + \Gamma \dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \dots \dots \dots (1-1)$$

con soluciones del tipo

$$x(t) = e^{-\frac{1}{2}\Gamma t} [A \operatorname{sen} \omega t + B \operatorname{cos} \omega t], \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{y } \omega^2 = \omega_0^2 - \frac{1}{4} \Gamma^2, \end{array} \right\} \dots (1-2)$$

por lo que se tienen tres tipos de movimientos determinados por el parámetro ω^2 , donde:

- a) $\omega^2 > 0 \Rightarrow$ oscilatorio amortiguado
- b) $\omega^2 = 0 \Rightarrow$ críticamente amortiguado
- c) $\omega^2 < 0 \Rightarrow$ sobreamortiguado

Evidentemente no es deseable tener el primer caso, ya que queremos aproximarnos a P sin oscilar a su alrededor. El último caso no es tan objetable, pero el tiempo de respuesta del sistema es mayor, por lo que el caso ideal es el segundo.

Regresando al modelo, podemos escribir las ecuaciones de movimiento de M2 y M1, de la siguiente manera:

$$M_2 \ddot{X}_2 = [d - x_2 + x_1] K - \gamma \dot{X}_2, \quad \dots \dots (1-3)$$

$$\text{y } M_1 \ddot{X}_1 = F - [d - x_2 + x_1] K \quad \dots \dots (1-4)$$

Examinando un poco los términos de la ecuación (1-3) se nota que la frecuencia ω de la ecuación (1-2) estaría dada, en primera aproximación por

$$\omega^2 = \frac{K}{M_2} - \frac{1}{4} \frac{\gamma^2}{M_2^2},$$

y considerando que en el diseño mecánico del telescopio es deseable que la fricción γ sea pequeña, el sistema corresponde al caso a. Esto conlleva a la búsqueda de alguna forma de incrementar el coeficiente de \dot{X}_2 .

Por otro lado, dar una solución analítica al sistema de ecuaciones (1-3) y (1-4) es sumamente complicado, ya que no se pueden desacoplar. Esto nos lleva a hacer una aproximación. Si sumamos ambas ecuaciones tendremos:

$$M_1 \ddot{X}_1 + M_2 \ddot{X}_2 = F - \gamma \dot{X}_2.$$

El momento de inercia del telescopio, es bastante

mayor que el del motor, y es de esperarse que las aceleraciones sean comparables a la mayor parte del tiempo, por lo que despreciaré el primer término, quedando

$$M_2 \ddot{X}_2 + \gamma \dot{X}_2 = F (1-5)$$

Ahora queda por determinar como debe ser la torca F para tener una ecuación del tipo (1-1). En primer lugar, es evidente que F debe incluir un término en X_2 , lo cual resulta claro ya que para lograr un buen posicionamiento, hay que saber cuanto falta para llegar a P . Además, como ya se había dicho, el coeficiente γ de \dot{X}_2 , es muy pequeño, por lo que hay que incluir en F un término en \dot{X}_2 , es decir, retroalimentar la información de la velocidad del telescopio con el fin de incrementar la fricción efectiva del sistema. La torca F quedaría entonces dada por:

$$F = -(\beta \dot{X}_2 + C(P - X_2)) , (1-6)$$

donde β y C son constantes.

Lo que hace la consola del telescopio, cuando éste se aproxima a alguna posición angular final; es aplicar una corriente a los motores que depende precisamente de la velocidad del telescopio en ese instante y de cuanto le falta por llegar, justamente como se describe en la ecuación (1-6). Este sistema de control se dice que está retroalimentado en posición y velocidad, justamente porque los datos de posición y velocidad se usan para corregir la aceleración, que a su vez, modificará nuevamente la posición y velocidad. Esto está orientado a lograr que la cantidad $E = P - X_2$, llamada error de posición, se acerque a cero. Los términos C

y β se conocen como ganancias del lazo de posición y velocidad respectivamente, y en particular β representa la fricción electrónica del sistema.

Tomando la torca F de la ecuación (1-6) y poniéndola en la ecuación (1-5), queda finalmente:

$$M_2 \ddot{X}_2 + (\gamma + \beta) \dot{X}_2 + C X_2 = C P, \dots \dots (1-7)$$

donde P puede ser cero sin pérdida de generalidad.

La frecuencia de oscilación del sistema (ecuación 1-2) queda:

$$\omega^2 = \frac{C}{M_2} - \frac{1}{4} \frac{(\gamma + \beta)^2}{M_2^2} \dots \dots \dots (1-8)$$

donde se pueden ajustar los parámetros C y β para tener los casos no oscilatorios, dados por la condición

$$4M_2 C \leq (\gamma + \beta)^2 \dots \dots \dots (1-9)$$

El telescopio de 2 m. de SPM, tiene dos motores de torca en cada eje. Dichos motores giran en sentidos opuestos con el fin de evitar el juego en los engranes.

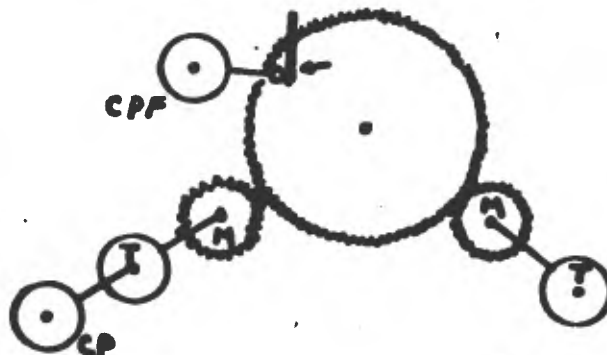


fig 1-3

Figura 1-3

Cada motor tiene integrado un tacómetro T para sensar la velocidad por medio de un nivel analógico de voltaje. Además hay dos codificadores de posición (CPF y CP) para cada eje con propósitos, en principio, distintos. Cada codificador entrega dos trenes de pulsos 90° fuera de fase cuando se mueve el telescopio. Contando el número de pulsos y tomando en consideración las fases relativas de un tren con respecto al otro, se puede calcular la magnitud y la dirección en que se movió el telescopio. El codificador de posición (CP) está en el eje de uno de los motores y da 120 pulsos/rev. en el caso de AR y 300 en declinación. El codificador fino (CPF) entrega 12,000 pulsos por revolución y está conectado por fricción al engrane principal.

Ambos codificadores guardan una relación de aproximadamente 180:1 vueltas con el engrane principal.

Finalmente me gustaría hacer notar que la ganancia del lazo de posición C, depende de la resolución del codificador que se usa, lo cual introduce la necesidad de usar diferentes ganancias del lazo de velocidad β para tratar de mantener los términos de la relación (1-9) lo más cerca no posible a la igualdad.

Consola

La consola del telescopio de 2 m. es un dispositivo electrónico que consta de alrededor de 50 circuitos impresos en tarjetas. Fue diseñada y construida por el Instituto de Astronomía y el Centro de Instrumentos entre los años 1976 a 1979. Su funcionamiento se encuentra descrito en las referencias 1 y 2, por lo que aquí no daré una descripción completa de ella, sino únicamente una visión general, encaminada a tocar con mayor profundidad aquellos temas que tienen una especial relevancia para la conexión con la minicomputadora.

La consola tiene a su cargo varias tareas:

- . Llevar cuenta del tiempo y de la posición del telescopio. No hay sistemas absolutos en este telescopio, es decir, todas estas medidas son relativas a los valores iniciales que se hallan fijado al principio de la noche. A partir de entonces, el tiempo se mide contando pulsos de un oscilador controlado por cristal, y la posición se mide contando los pulsos que envían los codificadores gruesos y esta información se puede consultar en el Display que la consola tiene para tal fin.
- . Cotejar las diferentes condiciones de seguridad del telescopio.

- . Mover el telescopio en forma continua, de tal manera que contrarreste el movimiento diurno terrestre. A este movimiento se le define como "guiado".
- . Cambiar la posición angular del telescopio en los distintos modos de operación que hay, son: preselección, calaje y manual.
- . Contar con más de un modo de mover el telescopio, significa tener varias maneras de generar un voltaje de error de posición. Este voltaje será sumado con la información tacométrica (de velocidad) de acuerdo con la ecuación (1-6) en la sección de la consola conocida como "parte de potencia" para obtener finalmente la corriente necesaria para mover los motores. Como se había dicho, hay dos motores opuestos por eje, por lo que un comparador decide a cual motor hay que mandar la corriente.

Un multiplexor con un sistema de prioridades se encarga de decidir cuál de las posibles voltajes de error pasa a la parte de potencia.

Este voltaje puede venir de 3 circuitos fundamentalmente: calaje, lazo de preselección y lazo de guiado. El sistema de prioridades da importancia a las distintas fuentes en ese orden.

El calaje es un método para mover el telescopio, generando un voltaje de error como función de la posición de una perilla accionada manualmente.

La preselección consiste en mover el telescopio a una posición pedida previamente, dando para esto las coordenadas del punto al que debe moverse el telescopio en unos interruptores circulares de 10 posiciones (tumble switches). El lazo de preselección es una malla de control que fuerza a que el error entre la posición pedida y la actual se vaya acercando a cero.

Este lazo consta principalmente de 2 partes. La primera se encarga de calcular el número de pulsos necesarios para mover al telescopio de su posición actual a la que se elige en los switches, así como la dirección en que debe moverse. Hecho esto, el error de posición se encuentra en forma digital, en el acumulador de preselección; y el telescopio comienza a moverse al tiempo que el codificador de posición manda un tren de pulsos que decrementa el acumulador de error hasta llegar a cero.

Dada la resolución de los codificadores que se usan en preselección (120 pulsos/rev. en AR y 300 en DEC), cada conteo en el acumulador de preselección equivale a 15 seg. de arco para AR y 6 para DEC; por lo que la precisión para apuntar un objeto no puede ser mayor que esto, en este modo

de operación.

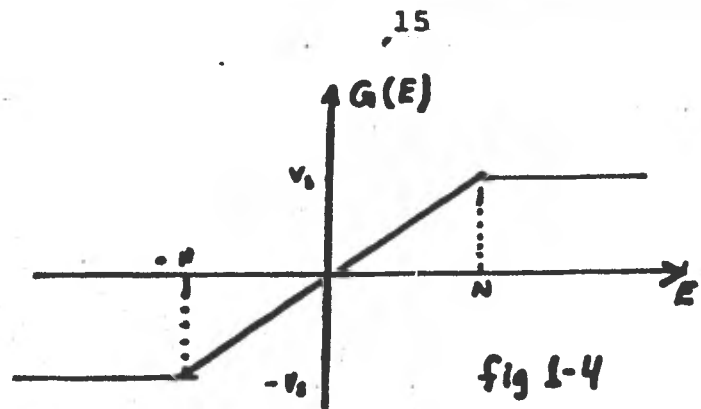
El lazo de guiado está cerrado por codificadores de mucha mayor resolución 12,000 pulsos/rev. lo cual provee el poder de realizar movimientos de 0.15 segs. de arco en cualquiera de los dos ejes.

El problema para usar este lazo en preselección es que al aumentar la resolución de los codificadores en un factor de aproximadamente 100, la ganancia del lazo de velocidad β (que da fricción al sistema) debe aumentar en un factor 10 para mantener la igualdad en (1-9). Esto ocasiona que en el lazo de guiado, la velocidad máxima a que se puede mover el telescopio es a cuando mucho 10 veces menor que en el de preselección (5'/seg V.S. 50"/seg).

Sin embargo, hay que recordar que el problema que dió origen a la relación (1-9) se refería a evitar oscilaciones en la parte final del posicionamiento. De hecho, la ecuación (1-6) no es del todo correcta, y tiene más bien la forma.

$$F = -\beta \dot{X} + G(E)$$

donde ahora G es una función del error de posición E , de la forma que se ilustra en la figura 1-4.



Claramente se ve que cuando el error de posición es todavía muy grande, $G(E)$ es constante, lo cual ocasiona que la torca F aplicada a los motores, únicamente corrija fluctuaciones de la velocidad alrededor de un valor constante.

Pensando en una corrección similar para β , que consistiera de alguna manera en hacerla pequeña cuando E fuese aún más grande, para así poder alcanzar la máxima velocidad de movimiento, fue que se justificó el uso del lazo de guiado para hacer preselección de mayor precisión con la computadora.

Lazo de Guiado

El lazo de guiado es un lazo de posición cerrado por codificadores de alta precisión (ver figura 1-5).

Actualmente tiene a su cargo generar los voltajes de error necesarios para el guiado y para el control manual de posición (hand set).

El codificador entrega 2 trenes de pulsos (A y B)

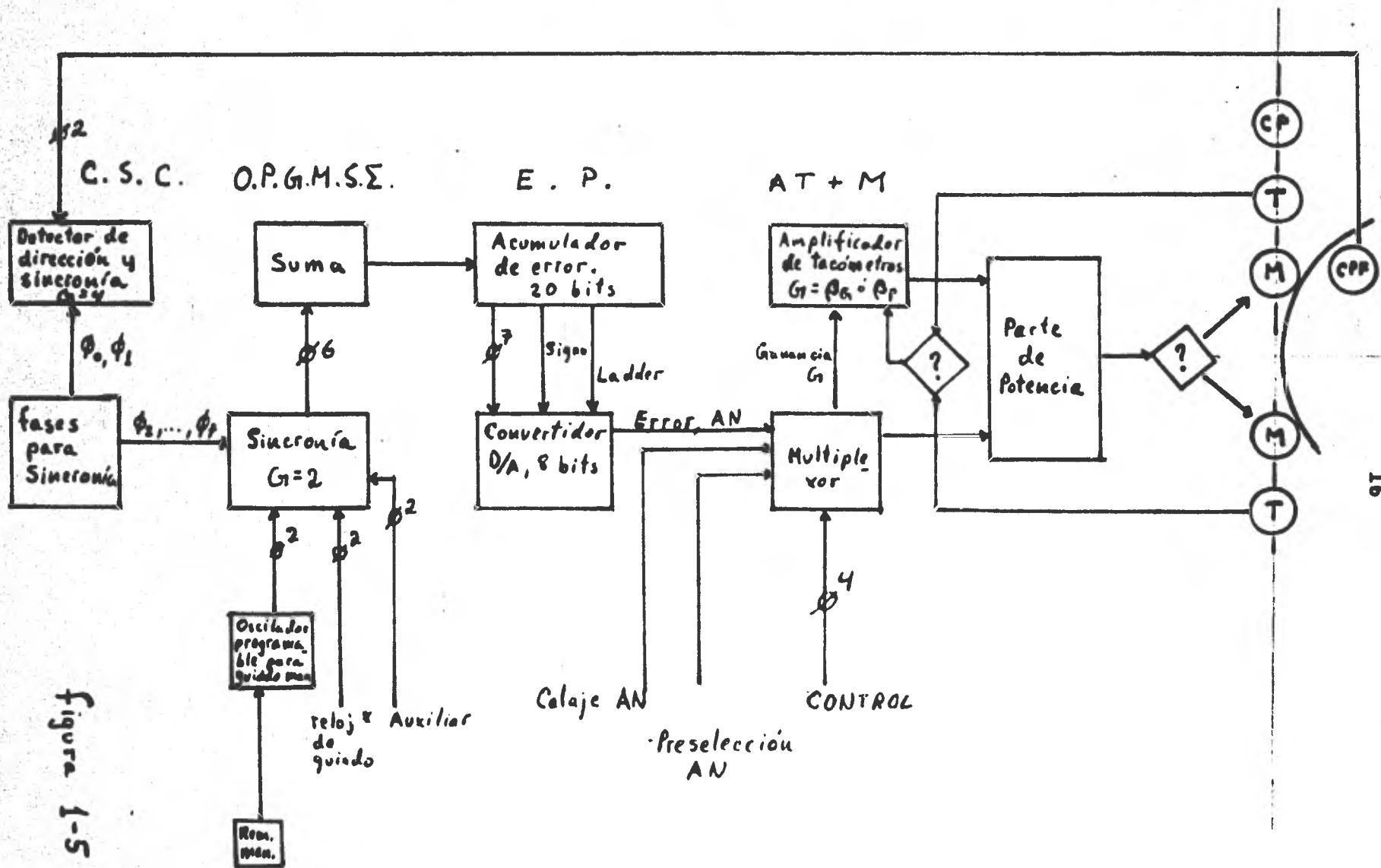


Figura 1-5

* solo para AR LAZO DE GUIADO

90° fuera de fase cuando se está movimiendo el telescopio. La primera tarjeta (comparadores, sincro, codificador) se en carga de determinar, a partir de las fases relativas, en qué dirección se está moviendo el telescopio. Luego por ca da transición de A ó B se genera un pulso (sincronizado con una de las 10 fases de un reloj maestro) lo cual da a esta etapa una ganancia de 4.

La necesidad de sincronizar pulsos en esta consola, es para poderlos sumar con pulsos provenientes de otros lados sin perder información.

En la siguiente tarjeta (oscilador programable para guiado manual, sincronía y suma) se sincronizan los pulsos que vienen de:

- a) El oscilador programable para guiado manual, que entrega trenes de pulsos como respuesta a comandos generados con los botones de la paleta de control manual. Se usa para apunte fino desde el telescopio.
- b) El reloj de guiado (solo para AR) que entrega una frecuencia de 50 htz.
- c) Una entrada auxiliar que es la que se usará para los pulsos que llegarán de la computadora.

La parte de sincronía impone una limitación a los trenes de pulsos, y es que deben tener una frecuencia menor a 50 khtz al 50% para ser muestreados adecuadamente.

Una vez sincronizados los pulsos, se mandan a una de las dos compuertas OR (dependiendo de la dirección que se indique) que conforman la parte de suma. Ahí se suman también con los pulsos que vienen del codificador, solo que es tos llegan a la compuerta opuesta, dando lugar a la retroali mentación negativa de posición.

La siguiente tarjeta (Error de Posición) es quizá el corazón del lazo de posición.

Consta de un contador binario reversible de 20 bits; de los cuales el más significativo se usa para indicar el signo. Su función es almacenar el número de cuentas que co rresponden a la diferencia entre la posición actual del teles copio y aquella a que se quiere llegar. Los pulsos provenien tes de las compuertas de suma de la tarjeta anterior, llegan al contador y se suman o restan con el número de cuentas almacenadas, actualizando así el conteo de error. El número máximo de cuentas que se pueden acumular es de $\pm 524\ 288$ que corresponden a ± 21.8 grados.

En la tarjeta de error, hay también una serie de comparadores que indican mediante tres señales lógicas llamadas

LADDER, ALARMA 1 Y ALARMA; el orden de magnitud del número de cuentas E acumuladas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{LADDER} = 1 &\Leftrightarrow |E| \leq 2^7 = 128 \text{ cuentas } (19^{\circ}.2) \\ \text{ALARMA 1} = 1 &\Leftrightarrow |E| \leq 2^{11} = 2048 \text{ cuentas } (207^{\circ}.2) \\ \text{ALARMA} = 1 &\Leftrightarrow |E| \leq 2^{15} = 32768 \text{ cuentas } (4915^{\circ}.2) \end{aligned}$$

La señal "LADDER" se utiliza para habilitar un convertidor D/A de 7 bits, que junto con el bit de signo, da 256 niveles analógicos de voltaje entre $-V_s$ y $+V_s$ ($V_s = 2.3\text{v}$ para AR y 1v para DEC).

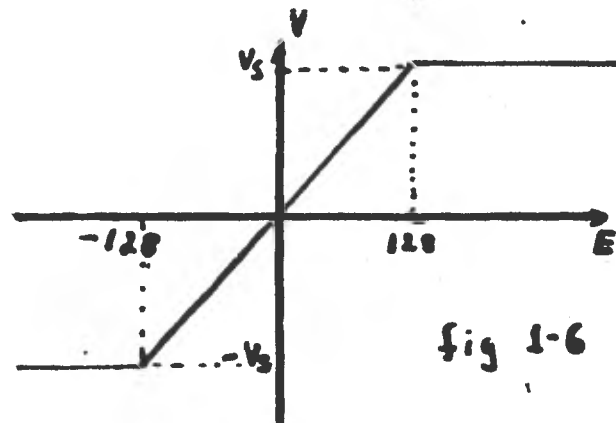


Figura 1-6

Cuando el número de cuentas acumuladas en el contador es grande (LADDER = 0) se deshabilita el convertidor y el voltaje analógico de salida es $+ \delta - V_s$ dependiendo del signo. Esto está de acuerdo con la función $G(\epsilon)$ definida en la ecuación (1-10).

Una vez que se tiene el voltaje de error en forma analógica, pasa a la siguiente tarjeta (Amplificador de tacóme-

tros + multiplexor) la cual, al igual que todas las subse---
cuentes, es compartida por los lazos de guiado, preselección
y por calaje. Un multiplexor controlado por la tarjeta de
"control maestro", se encarga de dejar pasar solo una de es-
tas tres señales de error a la parte de potencia.

En la misma tarjeta, se amplifica la señal que viene
de los tacómetros. La ganancia de esta etapa determina el
coeficiente de fricción β y se elige entre dos posibles va-
lores dependiendo de si se está en el lazo de guiado o no.
(Hay que recordar que los codificadores para el lazo de pre-
selección son de menor resolución). Como hay dos motores
por eje, y cada uno con su respectivo tacómetro, esta tarje-
ta también selecciona a uno de los dos posibles y manda fi-
nalmente los voltajes de error y tacómetro a la parte de po-
tencia.

Ahí se suman estas señales y se obtiene la corriente
necesaria para mover el motor de torca correspondiente.

CAPITULO II
INTERCONEXION DE LA MINICOMPUTADORA

Introducción

En este capítulo, se describen, como primer punto, los cambios hechos a la consola (en particular a la tarjeta de Amplificador de Tacómetros) para poder alcanzar altas velocidades en el lazo de guiado, como es requerido por esta tesis.

Hecho esto, en base a las señales que necesita recibir la consola para que una fuente externa pueda mover el telescopio, se analiza, en bloques, el diseño de las tarjetas de interfase con la computadora del lado de la consola.

Habiendo terminado de mencionar los requerimientos de la consola, se pasa a analizar someramente la arquitectura de la minicomputadora NOVA-1200 y después se describe el hardware y software desarrollado para completar la interconexión.

Los diagramas detallados de las tarjetas desarrolladas para esta tesis tanto del lado de la consola como del de la computadora, se dan en el Apéndice I.

En el Apéndice II se enlistan una serie de subrutinas relacionadas con el telescopio que pueden ser llamadas desde un programa escrito en Fortran.

Ganancia del lazo de velocidad

En el capítulo pasado se vió que la torca F depende del error de posición E en la forma.

$$F = -\beta \dot{x} + G(E)$$

donde

$$G(E) = \begin{cases} C_G \cdot E & \text{si } \|E\| \leq 128 \text{ cuentas} \\ 128 C_G & \text{si } \|E\| > 128 \text{ cuentas} \end{cases}$$

o sea que solo cuando el error es pequeño (menor que $19'' \cdot 2$) se empieza a tomar en cuenta para modificar la torca. La idea que se expuso en el capítulo pasado para alterar la ganancia β del lazo de velocidad y así alcanzar velocidades más altas, se puede expresar como:

$$F = -\beta(E) \dot{x} + G(E)$$

donde ahora también β tiene algún tipo de dependencia con E .

Evidentemente, cuando E sea menor que 128 cuentas, $\beta(E)$ tendrá que tener su valor máximo β_G que corresponde a la fricción para guiado.

Cuando E sea grande, se puede hacer que β disminuya, quitando así fricción al sistema, hasta alcanzar un valor mínimo, que según mediciones empíricas es del orden de $1/20 \beta_G$ para AR y $1/50 \beta_G$ para DEC.

Con estos valores se puede alcanzar una velocidad del orden de 1°/seg en ambos ejes.

Si β cambia lentamente, y de tal forma que la aceleración del telescopio sea pequeña, se puede aproximar la ecuación (1-7) para obtener el valor de la velocidad en función de β , dando

$$v = \frac{128 C_G}{\beta} \quad ; \quad \text{si } \|E\| < 128 \quad \dots \quad (2-1)$$

Expresando β en términos de β_0 , es, $\beta = A\beta_0$ y C_G que es la ganancia del lazo de guiado, de la forma

$$C_G = \frac{K V_s}{128} \quad ,$$

donde V_s es el voltaje de saturación del convertidor D/A (2.3 v para AR y 1v para DEC), y K es una constante, se tiene

$$v = \frac{K}{\beta_0} \cdot \frac{V_s}{A} \quad , \quad \dots \quad (2-2)$$

donde $\frac{K}{\beta_0} = 365$ para ambos ejes (determinado experimentalmente).

Para que la velocidad varíe lentamente, dando lugar a corrientes pequeñas en los motores es necesario que la atenuación A de la ganancia en el lazo de guiado sea una función que tenga la primera derivada continua en la zona cercana a su valor mínimo.

En la figura siguiente se muestra la dependencia de esta función A con el tiempo, tanto para la fase de acelera

ción, como en el frenado.

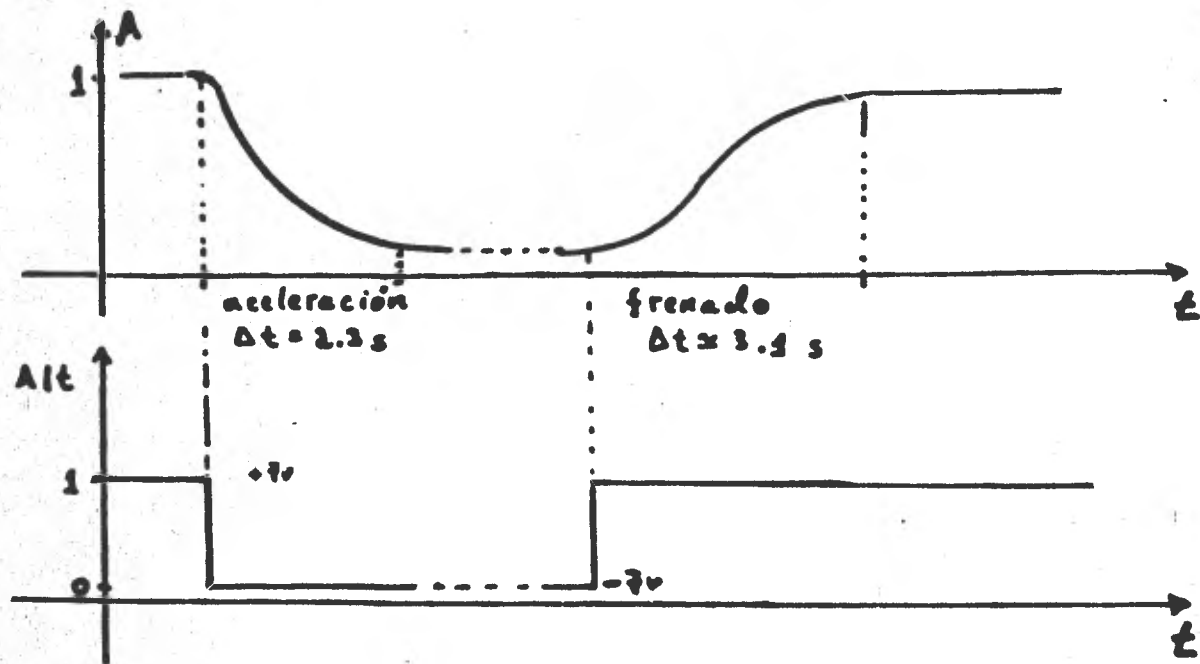


figura 2-1

En la misma figura se ve la señal lógica alt, que es generada en una de las tarjetas de interfase y ordena el cambio de ganancia en el lazo de velocidad. Esta señal es usada, en el circuito que se muestra a continuación, para generar una corriente proporcional a $A(t)$ (fig.2-2) con la cual se controla la ganancia de un amplificador de ganancia controlada por corriente (OTA), que fué intercalado en el circuito de Amplificador de Tacómetros en la consola.

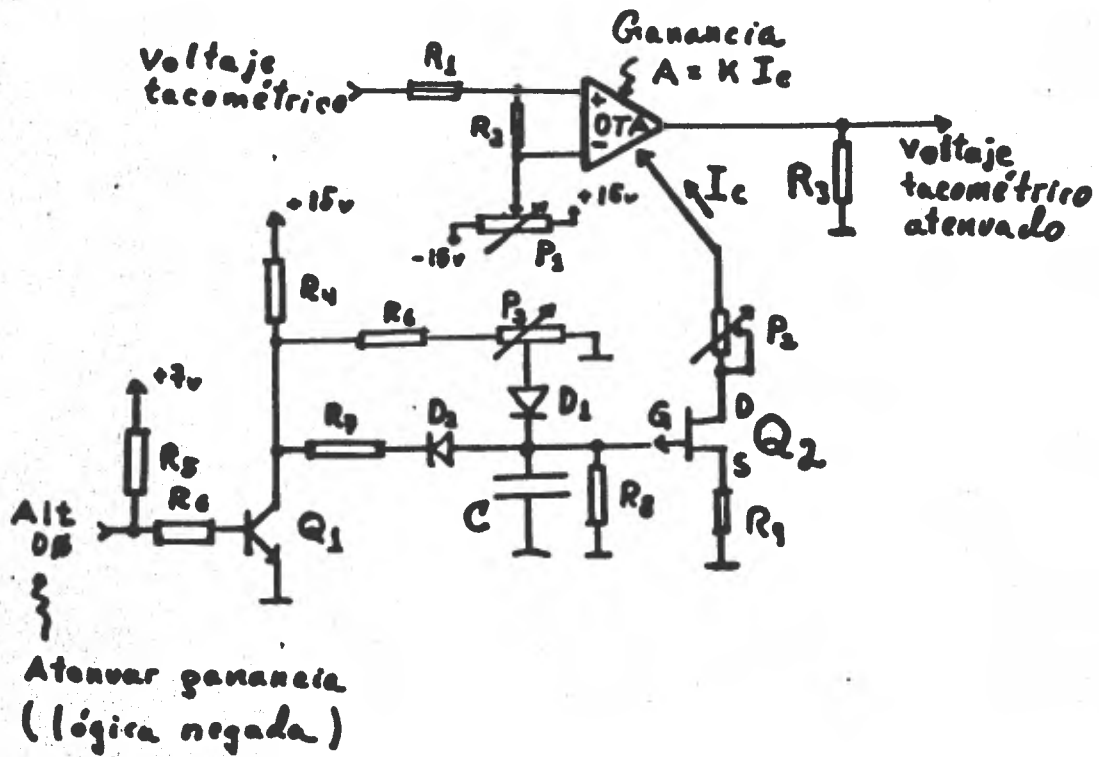


Figura 2-2

La corriente de control de ganancia I_c , que es del orden desde microamperes hasta cientos de ellos, es proporcionada por el FET canal p Q_2 , que responde a una diferencia de voltajes V_{GS} entre su compuerta G y fuente S, con una cierta resistencia de canal r ; de tal manera que para los valores de las distintas componentes usadas en este circuito, se obtuvo la siguiente gráfica.

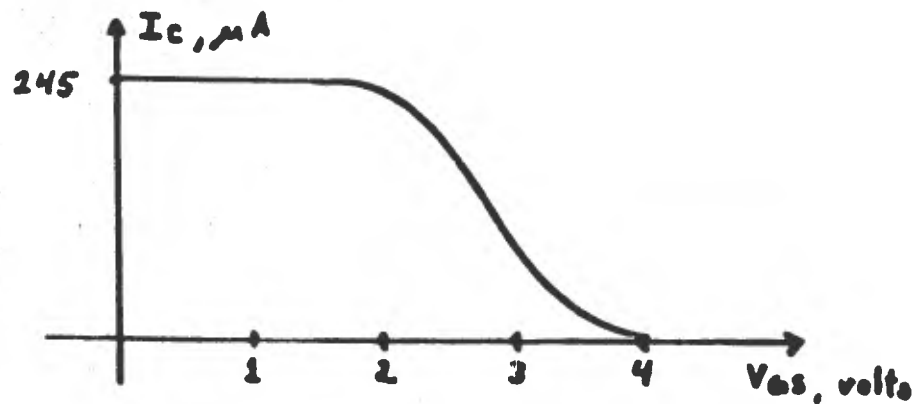


Figura 2-3

Aquí se puede notar que para valores de V_{GS} menores que 1.6 v. la corriente I_c es aproximadamente constante e igual a $245 \mu A$, valor que logra una ganancia $A = 1$ en el amplificador OTA. Luego, a medida que V_{GS} crece, I_c decrece, dando lugar a valores de A tales como los que se muestran en la tabla

V_{GS}	I_c	A
0	245	1
3.4	15	1/22
3.6	5	1/50
3.9	0	$0 = 1/\infty$

El voltaje V_{GS} está controlado básicamente por la carga o descarga del capacitor C y su respuesta temporal, aunada a la función característica del FET, logra alterar la ganancia del lazo de velocidad en la forma descrita por la figura 2-1.

Así se tiene que cuando la señal Alt está en su valor base (+7v) el transistor Q_1 conduce, por lo que el capacitor C está descargado ($V_{GS} = 0$) y de acuerdo a la figura 2-3, la ganancia del OTA es 1.

Si Alt cambia de valor a -7v, pidiendo un cambio de

ganancia, Q_1 se polariza inversamente y D_2 deja de conducir, por lo que C empieza a cargarse a un potencial dado por P_3 y con una resistencia dada por P_3 , R_6 y R_4 . Esto está ajustado de tal forma que el voltaje final sea de 3.4 v para AR y 3.6 v para DEC.

La constante de tiempo del sistema es del orden de 1.6 seg y la exponencial de carga del capacitor es la que inicia el cambio en el tiempo de I_c , aunque la función de transferencia del FET, $I_c(V_{GS})$, suaviza en un principio la caída de $I_c(t)$, para que luego sea fundamentalmente la caída de $I_c(V_{GS})$ la responsable de la caída de $I_c(t)$ (ver figura 2-4). Esto da lugar a la aceleración del telescopio.

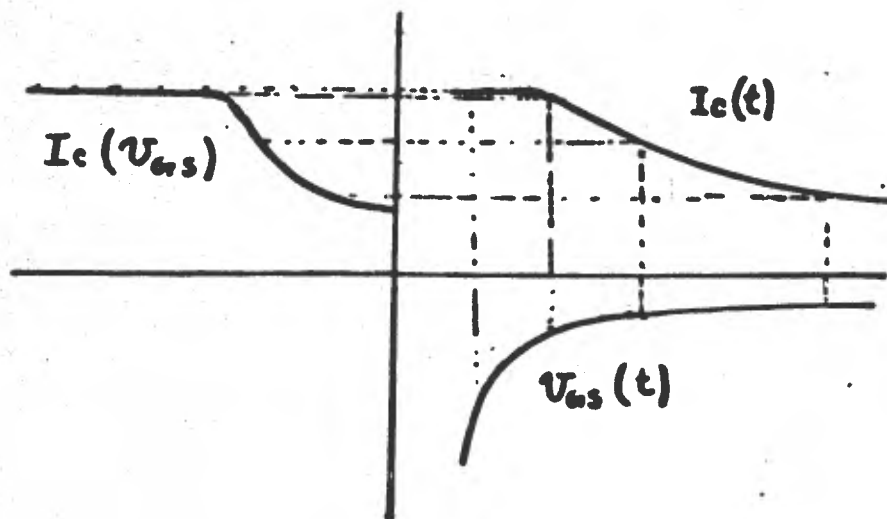


Figura 2-4

Cuando Alt, cambia de valor a +7, con el fin de comenzar a frenar al telescopio, Q_1 queda directamente polariz

zado, por lo que D_1 conduce a tierra la carga almacenada en C fundamentalmente a través de R_7 . Esto da al sistema una constante de tiempo diferente para la carga que para la descarga, y en este caso, es alrededor de 4 veces mayor, por lo que $I_c(t)$ se comporta como en la figura 2-5.

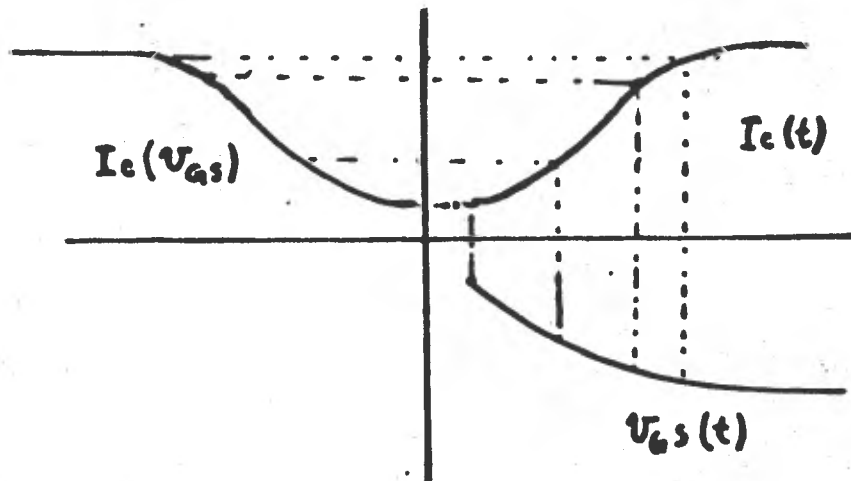


Figura 2-5

Con esto queda completada la respuesta pedida en la figura 2-1.

Para que se dé la señal Alt, es necesario que:

- 1) Esté apretado el botón de "computadora" en la consola, y que:
- 2) Se halla dado la señal ALARMA para el caso de AR y ALARMA 1 para DEC.

Estas señales se dan en las respectivas tarjetas de error de posición, como se mencionó en el capítulo 1.

Hay 2 tarjetas de interfase con la computadora del lado de la consola (figura 2-6)

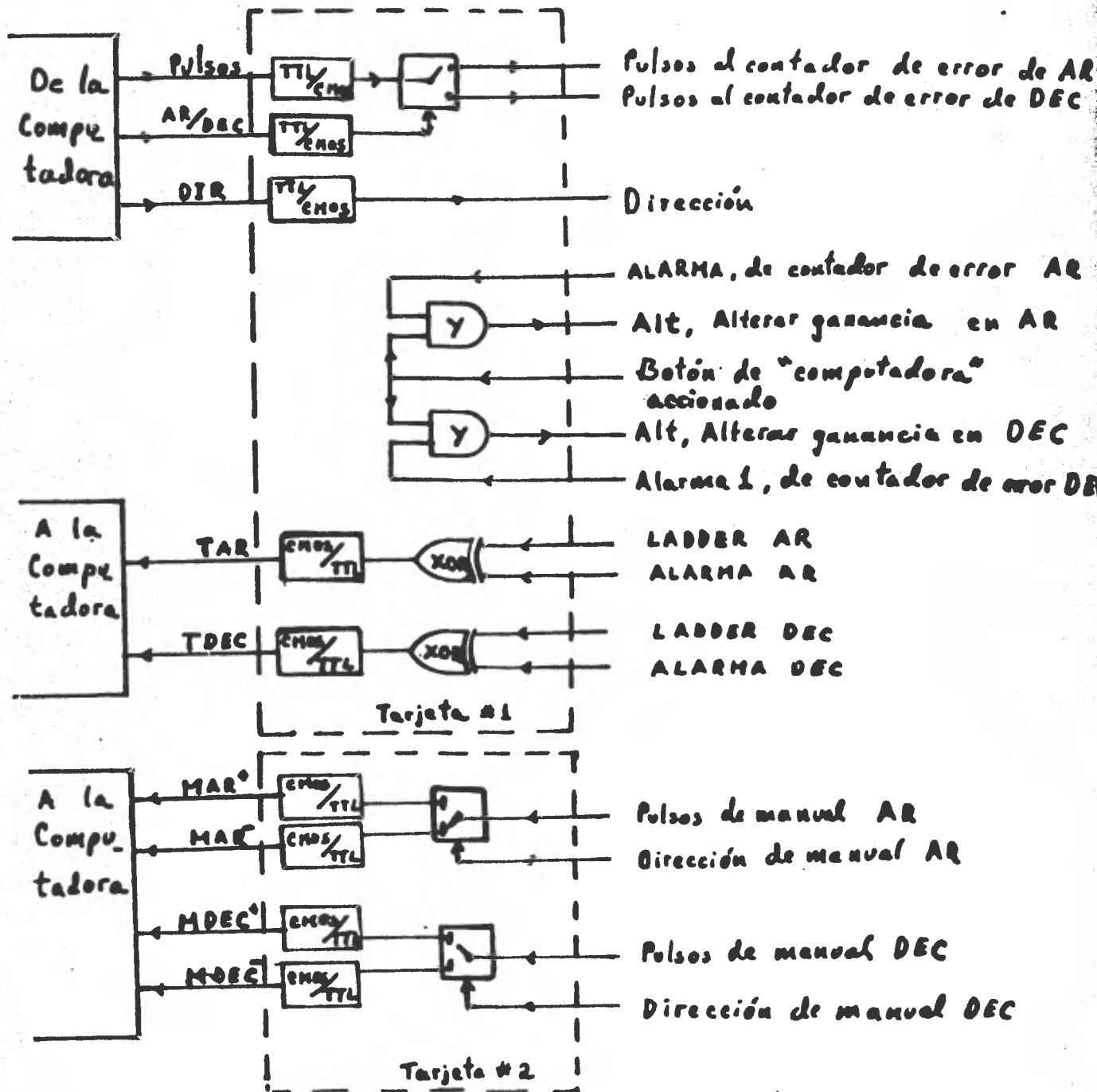


Figura 2-6

En la primera tarjeta se llevan a cabo las siguientes funciones:

- 1) Se da curso a los pulsos que pueda mandar la computadora a donde ella misma especifique. Estos pulsos es tán destinados a llegar finalmente al contador de error, pero antes pasan por la tarjeta de OPGMSX, don de se sincronizan debidamente y se suman con pulsos provenientes de otros lados. Como esta fase tiene una ganancia 2, cada pulso que manda la computadora equivale a proxímadamente a $0^{*}.3$.
- 2) Se genera la señal Alt para alterar la ganancia del lazo de velocidad.
- 3) Se generan las señales TAR y T DEC para dar a la computadora una idea de cuanto falta para vaciar el contador de error, para que aquélla decida si debe enviar más pulsos o tome noticia de qué ganancia tendrá el lazo de velocidad.

En la segunda tarjeta, se da ruta a los pulsos provenientes del control manual, hacia la computadora, para que es ta lleve cuenta del error en el que incurrió al apuntar un objeto.

Todas las señales digitales que maneja la computadora son TTL, por lo que es necesario convertir a CMOS y viceversa.

Minicomputadora NOVA - 1200*

La información que se da a continuación, puede ampliarse en las referencias 3 y 4, y se da aquí con objeto de hacer notar fundamentalmente los recursos de comunicación de esta minicomputadora al exterior.

Generalidades

Las minicomputadoras NOVA 1200 tienen una capacidad de memoria de 32K (1K=1024) palabras de 16 bits cada una. Las palabras son interpretadas como instrucciones para un programa, direcciones de memoria o como datos. Todas las instrucciones básicas (lenguaje de máquina) utilizan una sola palabra. Para direccionar cualquier localidad de memoria bastan solo 15 bits de los 16 de una palabra ($2^{15} = 32 \text{ k}$), por lo que el bit más significativo en estos casos se usa para hacer direccionamientos indirectos.

La mayoría de las instrucciones aritméticas y lógicas se realizan con datos que estén en 2 de los 4 acumuladores que tiene la computadora. Puede moverse información de los acumuladores a memoria y viceversa mediante instrucciones simples.

* NOVA es una marca registrada por Data General Corporation.

Electrónica

Esquemáticamente, la computadora puede verse en la siguiente figura (2-7).

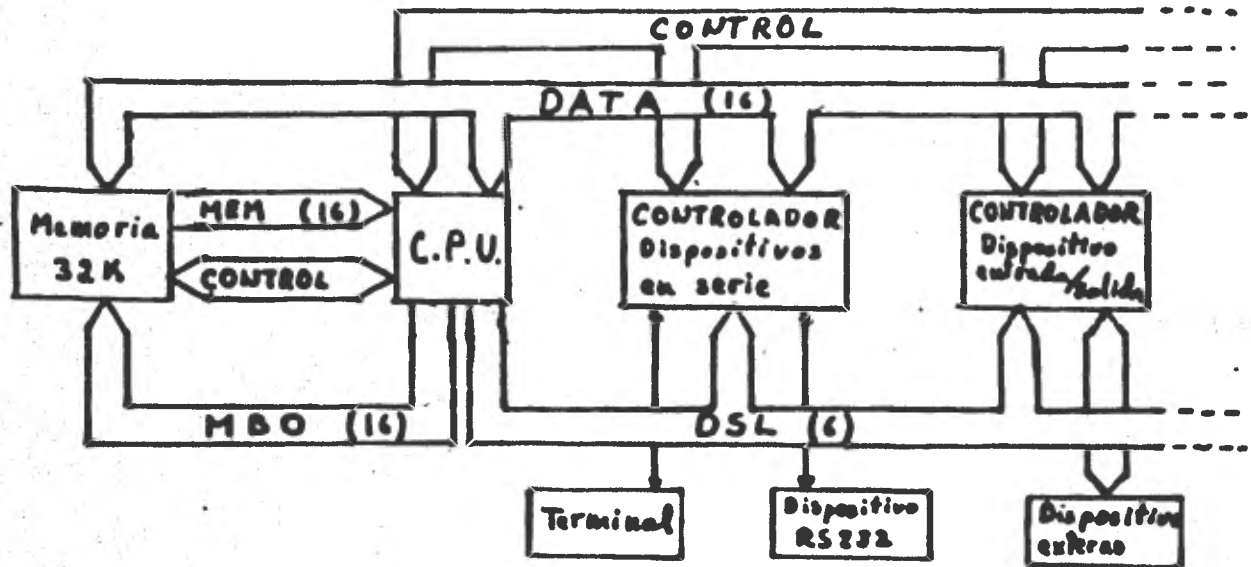


Figura 2-7

El CPU (Unidad Central de Procesamiento) ocupa una tarjeta de la computadora de 15 X 15" y contiene al contador de programa (PC), los 4 acumuladores, la unidad aritmética y lógica, y un oscilador de 23 MHz, del cual se obtienen todas las frecuencias necesarias para secuenciar el programa y sincronizar las señales de control para memoria y dispositivos externos.

El CPU se comunica con la memoria mediante dos ductos unidireccionales de 16 bits (MEM y MBO) y un ducto de control.

En el ducto MBO se transmiten del CPU a memoria, tanto direcciones como datos y por el otro, el CPU lee datos de memoria. En el ducto de control, se manda la información que permite saber si se debe iniciar un ciclo de lectura, escritura o bien uno de lectura /modificación/ escritura. La duración de estos ciclos es de aproximadamente 1200 nseg. (1200×10^{-9} seg). La memoria puede ocupar una o varias tarjetas de 15 x 15".

Para comunicarse con los dispositivos externos, se requiere usualmente de una tarjeta llamada controlador o puerto para cada dispositivo, que sirve para traducir las señales y comandos que manda el C.P.U. a comandos que entienda el dispositivo externo y viceversa.

El C.P.U. se comunica en paralelo con todos los controladores mediante:

- a) Un ducto bidireccional de 16 bits (DATA) que transmite datos entre cualquiera de los 4 acumuladores del C.P.U. y alguno de los 3 registros de entrada o salida que puede tener cada controlador. Este ducto también se usa para comunicar al controlador con la memoria cuando se trabaja en modo de acceso directo a memoria (DMA o Data chanel) que es un mecanismo mediante el cual, el controlador puede intercambiar información con la memoria, sin intervención directa del programa.

Este ducto también es usado por la lógica para manejo de interrupciones en dos formas. La primera permite al C.P.U., bajo control del programa, mandar un código por estas líneas (máscara) que impide a los controladores afectados, solicitar una interrupción al C.P.U. En la otra modalidad, el C.P.U. puede preguntar qué dispositivo es el más cercano a él que esté solicitando una interrupción y el número de dicho puerto se transmitirá al CPU por estas líneas.

- b) Un ducto de 6 líneas para seleccionar el puerto (DSL) que responderá a las otras señales de control mandadas por el CPU simultáneamente.

- c) Un ducto de control por el que se transmiten varias señales entre el CPU y los controladores. Estas señales se pueden dividir básicamente en dos tipos, atendiendo a si son controladas por programa, o sea, que se dan cuando alguna instrucción del programa lo solicita o no.

Entre las señales controladas por programa, hay 3 (DOA, DOB, DOC) que cargan la información puesta por el CPU en el ducto de DATA, en alguno de los 3 registros de entrada del controlador seleccionado por DSL. Paralelamente, las señales DIA, DIB y DIC pasan la información de alguno de los 3 registros de salida del

controlador al ducto de DATA. Además hay 3 pulsos de propósito definible, llamados IOPULS, START y CLEAR y dos banderas (BUSY y DONE) sensibles por programa.

Entre las señales no controlables por programa, se encuentran las de sincronización y solicitud de interrupciones y acceso directo a memoria. (ver figura 2-8 en la página siguiente).

Las tarjetas controladoras que estarán en un principio instaladas en la NOVA del 2 m. serán:

- a) Una tarjeta marca MDB-DUAL CONTROLER ó MIOB (Multiple Input Output Board) que contiene 4 puertos en serie (2 de entrada y dos de salida) que pueden operar en RS-232 o lazo de corriente, con el fin (en principio) de controlar dos terminales con cualquier baud rate y formato de palabra.

Los números asignados a estos puertos son: 10_8 , 11_8 , 50_8 y 51_8 que corresponden a los archivos \$TTO, \$TTI, \$TTO1 y \$TTI1 del sistema operativo DOS.

En esta tarjeta hay integrado también otro dispositivo, que es un reloj controlado por un oscilador de cristal, que interrumpirá al CPU 10 veces por segundo. El número de este puerto es 14_8 .

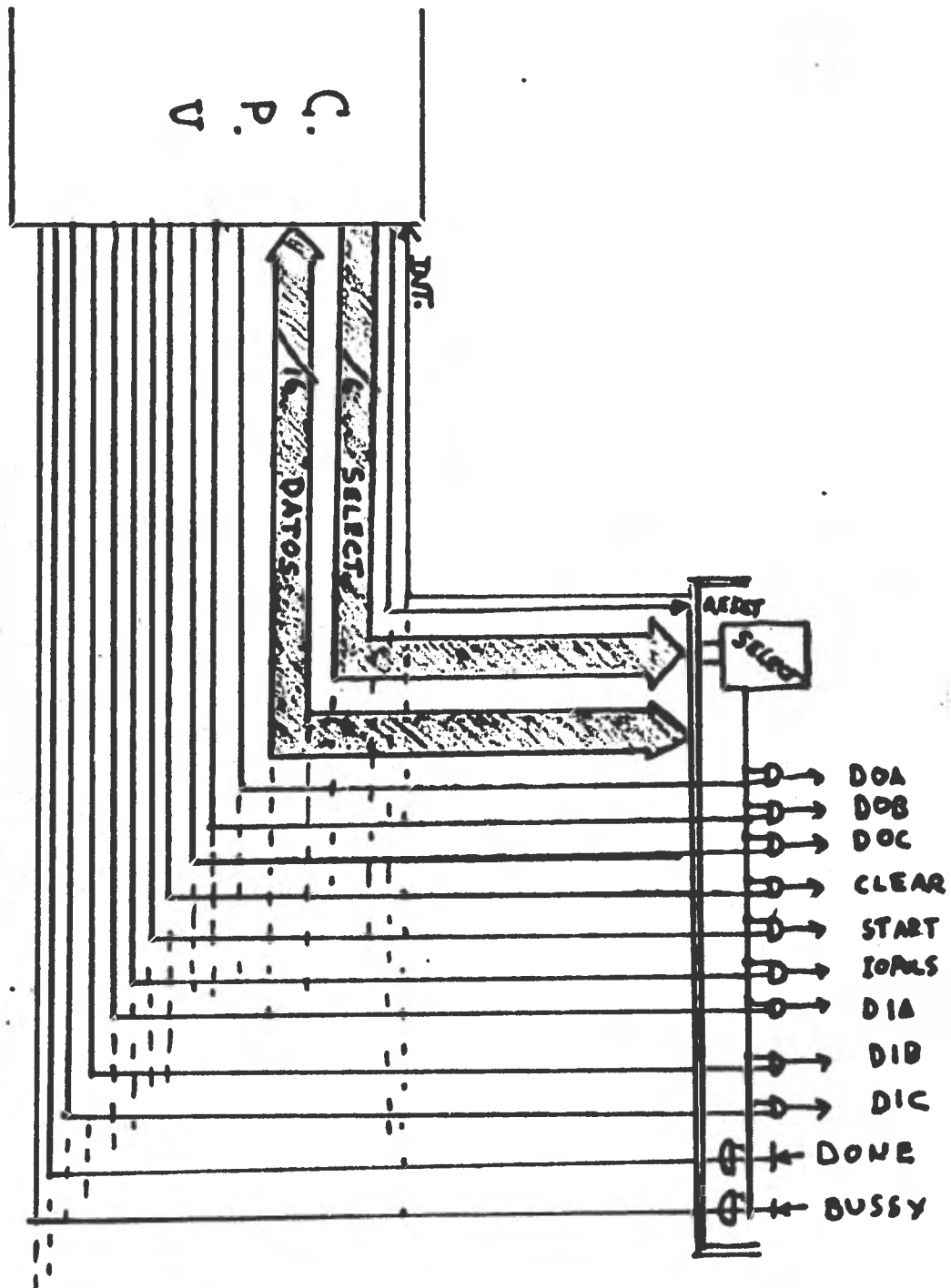


fig 2-8

- b) Una tarjeta para controlar una unidad doble de discos flexibles (floppies), marca DGC, modelo 6030. El número de este puerto es 33_g.

- c) Dos tarjetas MDB-G PIB (General purpose interface board) que constan de la lógica necesaria para decodificar el número de puerto, manejar las señales de sincronía para interrupciones, acoplarse al ducto de datos y da dos registros/contadores para entrada y dos para salida. Esto es lo básico que necesita cualquier puerto y además se deja bastante espacio para que pueda alambrar (con wire wrap) la lógica particular para controlar un dispositivo. Una de estas tarjetas se usará para comunicarse con la consola del telescopio de 2 m. y la otra para adquisición de datos fotométricos.

Programación

El sistema operativo con el que trabajará la computadora se denomina D.O.S. (Diskette Operating System de Data General Corporation) este es un sistema basado en discos flexibles de medio mega bytes que opera en tiempo real.

A través de un programa llamado C.L.I. (Comand Line Interpreter), el cual es ejecutado por el sistema operativo, el usuario puede comunicarse con dicho sistema y así manejar

archivos de disco, ejecutar programas guardados en disco, etcétera.

Se cuenta además, con varios editores, un ensamblador, compiladores de FORTRAN y ALGOL, cargador relocizable e intérprete de BASIC.

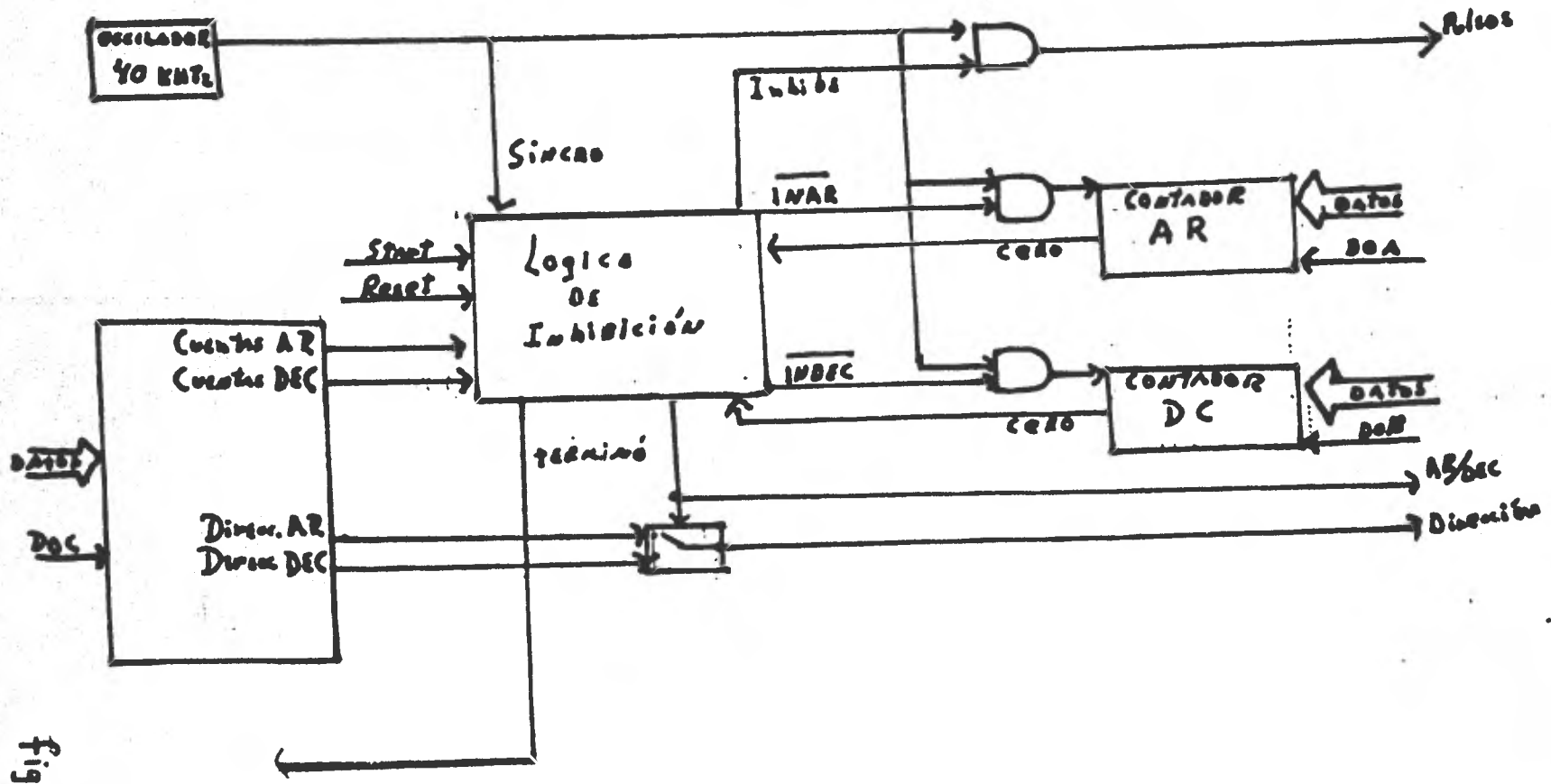
Todas las subrutinas para menjo del telescopio y adquisición de datos fotométricos, si bien algunas de ellas están escritas en Ensamblador, podrán ser llamadas desde un programa en FORTRAN.

Interfase

La filosofía básica de la interfase (figura 2-9) desarrollada para conectar la computadora a la consola, consiste en cargar dos contadores de 16 bits, uno para AR y otro para DEC, y después decrementarlos usando un oscilador de 40 KHz, a la vez que esos pulsos son mandados a la consola. Esto permite al telescopio moverse hasta 5.46° cada vez que se mandan pulsos. Tanto los pulsos para AR como para DEC, se mandan por una misma línea, mientras que en otras dos líneas se especifica el eje y la dirección en que debe moverse el telescopio. La lógica de inhibición se encarga de decidir que contador debe decrementarse en atención

INTERFASE DEL LADO DEL C.P.U.

Fig 2-9



a si ya llegó a cero el contenido de alguno y a si debían decrementarse ambos (se puede pedir que se decremente solo un contador o ambos o ninguno).

La señal para comenzar a enviar pulsos (start) enviada por el programa, se sincroniza con el oscilador para no perder pulsos.

Mediante las señales TAR y TDEC, la computadora puede saber qué tan saturados están los acumuladores de error de la consola y así decidir cuando enviar más pulsos en caso de que sean necesarios.

Por ejemplo, para el caso de AR, la señal TAR tiene los valores mostrados en la figura 2-10.

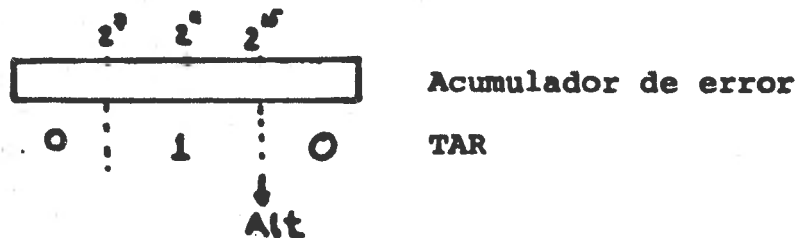


Figura 2-10

También se tienen dos contadores para llevar la cuenta de los movimientos de telescopio hechos por control manual (Hand set).

Programa de control

Las subrutinas básicas para el manejo de la interfase, incluyen 4 subrutinas en ensamblador y 1 en fortran. Todas ellas pueden ser llamadas desde un programa en Fortran.

La subrutina ESPER (KT) suspende la ejecución del programa durante KT décimas de segundo. La subrutina LEMAN (NAR, NDEC) lee los contadores para pulsos de control manual y los hace cero después de leerlos.

La subrutina TELSET (KAR, KDEC, IMODO) se encarga de mandar KAR pulsos a la consola para mover el telescopio en AR y KDEC para moverlo en DEC, con las restricciones impuestas por la palabra de control IMODO. Esta palabra se determina como sigue:

bit 11 - CAR Indica si hay o no pulsos para AR
 bit 10 - CDEC Indica si hay o no pulsos para DEC
 bit 15 - DAR Indica la dirección de movimiento para AR
 (1 = OESTE, 6 = ESTE)
 bit 14 - DDEC Indica la dirección para DEC (1 = SUR,
 6 = NORTE)
 bit 12 - C Siempre es 1 para poder mover el telescopio

(el bit 15 es el menos significativo)

Nótese que en caso que KAR sea 0 pero CAR sea 1, se

mandarán 2^{16} pulsos al telescopio, ya que la electrónica usada decrementa el contador correspondiente antes de preguntar si llegó a cero.

La subrutina YA (IVAR, MASC, IEAR, IEDEC) espera primero a que la interfase acabe de mandar pulsos al telescopio y luego a que la señal TAR o/y TDEC que indican qué tan saturados están los acumuladores de error de la consola (figura 2-11) lleguen a un valor esperado (0 ó 1). Los argumentos indican lo siguiente:

a la entrada:

- IVAR - bit 15: su valor es el valor que se espera para TAR
- bit 14: su valor es el que se espera para TDEC
- MASC - bit 15: si es cero, significa que no importa el valor de TAR
- bit 14: lo mismo para DEC

a la salida:

- IEAR - Si es 1, indica que TAR coincidió con el bit 15 de IVAR siendo el bit 15 de MASC = 1.
- IEDEC - Si es 1, indica que TDEC coincidió con el bit 14 de IVAR siendo el bit 14 de MASC = 1.

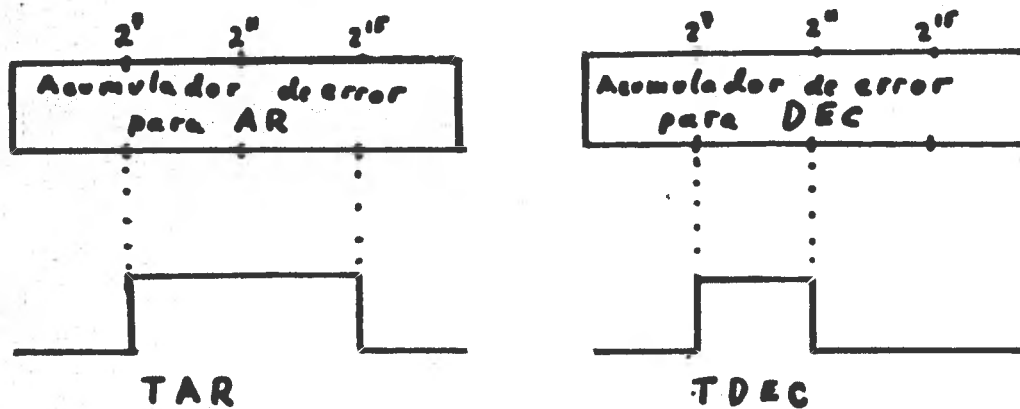


Figura 2-11

Por último, la subrutina TELM (DAR, DDEC, KD) es el corazón del software de control. A partir de la distancia angular que debe moverse el telescopio, (DAR y DDEC) dada en radianes, calcula el número de pulsos necesarios.

$$\text{PULS } (i) = \text{FACT } (i) * C * \text{Co } (i) \quad ; \quad i = 1, 2$$

donde $i = 1 \Rightarrow \text{AR}$, $i = 2 \Rightarrow \text{DEC}$,

$$C = 2.16 \times 10^6 / \pi \quad \text{pulsos/rad}$$

$$\text{CO } (1) = \text{DAR}, \quad \text{CO } (2) = \text{DDEC}$$

y FACT es un factor de corrección debido a que la relación del radio del engrane principal al de la llanta del codificador no es 180 a 1 exactamente.

(Tentativamente se tienen los valores:

$$\text{FACT } (1) = .9983141 \quad \text{y} \quad \text{FACT } (2) = .9999435)$$

Una vez conocido el número de pulsos, se calcula la parte de la palabra de control IMODO referente a la dirección del movimiento. Para esto se usa la variable KD, que es un arreglo de 2 elementos donde se tiene que

$KD (1) = 1 \Rightarrow$ dirección negativa

$KD (1) = 0 \Rightarrow$ dirección positiva

y entonces

$JDIR = 8 + 2 * KD (2) + KD (1)$

El resto de la palabra de control, se irá calculando cada vez que haya necesidad de mandar pulsos a alguno de los ejes.

El envío de pulsos se divide en 3 fases que serán: aceleración, movimiento grueso y frenado del telescopio.

El número de pulsos necesarios para aceleración, es menor o igual que una constante, y son los primeros que se reservan del total de pulsos. En seguida, de la misma manera, se reservan los pulsos que se requerirán para frenado, y los que sobren, en caso de que halla, serán destinados a movimiento grueso. Solamente estos pulsos llegarán a acumular suficientes conteos de error como para que se altere la ganancia del lazo de velocidad, y solo en este caso es estrictamente necesaria la parte de frenado, por lo que de no existir pulsos para movimiento grueso, los de frenado serán

simplemente pulsos destinados a movimiento lento y el frenado se hará normalmente con la rampa descendente del acumulador de error.

Los pulsos necesarios para aceleración, se envían siguiendo una progresión 2^{n-1} a intervalos de 1 décima de segundo, hasta llegar a un total de 800 pulsos mandados, que hacen 1600 conteos de error. Las primeras 128 cuentas que se almacenan en el contador de esta manera, ocasionan que la velocidad del telescopio aumente lentamente hasta llegar a su valor máximo para la ganancia normal del lazo de velocidad, y el resto de las cuentas, satura lo suficiente al contador para que esta velocidad no varíe durante un par de segundos. En este momento, las señales TAR y/o TDEC, tienen seguramente el valor 1.

A continuación, se mandan los pulsos para movimiento grueso en trenes de 2^{16} pulsos o menos. Esto hace 2^{17} conteos de error más en el acumulador, lo cual conecta la baja ganancia en el lazo de velocidad, y el telescopio empieza a acelerar como se describió anteriormente. La señal TAR o/y TDEC toman el valor 0 y entonces es necesario esperar hasta que vuelva a valer 1 para mandar otro tren de pulsos. Para la fase de frenado es necesario también esperar a que TAR o/y TDEC valgan 1, pero esta vez no se mandan pulsos, para que el telescopio tenga ocasión de comenzar a frenar con la descarga del capacitor manejado por la señal Alt. Como el

número de conteos de error acumulados en el momento en que ocurra el comienzo del cambio de ganancia, pudiera no ser suficiente para lograr un frenado críticamente amortiguado; se cuenta con un cierto número de pulsos ya reservados para frenado, que se comienzan a enviar una vez que TAR o/y TDEC vuelven a valer 0.

Entonces el número de conteos necesarios para el frenado está dado por

$$NF = 2^n + 2 \cdot TPF,$$

donde $n = 11$ para DEC y 15 para AR y $TPF = 8000$ para DEC y $\#$ para AR, fueron valores determinados empíricamente.

Los valores resultantes de NF para AR y DEC, concuerdan con el hecho de que el momento de inercia del telescopio (tubo + yugo) alrededor del eje de AR es mucho mayor que el del tubo alrededor del de DEC.

CAPITULO III
CORRECCION DE ERRORES

Introducción

Los errores en que se incurre al apuntar a un objeto, dependen de muchos factores, tanto del mismo telescopio como errores debidos a los movimientos de la tierra y los objetos y a la atmósfera terrestre.

Poder cuantificar estos errores y así contrarrestarlos a la hora de apuntar, es siempre deseable e indispensable en casos tales como "apunte a ciegas" en observaciones diurnas de objetos en el infrarrojo.

Después de la instalación de la minicomputadora, y de verificar que todas las señales y pulsos de comunicación con la consola, se dieron correctamente, se procedió a realizar un experimento encaminado a determinar la influencia de las distintas fuentes de error sobre el apunte fino con la computadora.

Como resultado de este experimento, se descubrió que el cople del codificador fino, que debería de rodar sin deslizarse, sobre el engrane principal, "patina", por lo que el apunte con la computadora no puede usarse con alta precisión hasta que no se corrija dicho problema.

Sin embargo, de los datos tomados de la lectura del display de la consola (codificador grueso), se pudieron detectar y evaluar las siguientes fuentes de error:

- . Falta de perpendicularidad de los ejes AR y DEC
- . Falta de colimación con el espejo primario
- . Polo instrumental mal alineado.

y aunque no con gran precisión, también se detectaron flexiones en la estructura del telescopio y refracción en la atmósfera. No se corrigieron los datos por aberraciones de la luz, que son efectos debidos a la velocidad finita de ésta y que llegan a ser del orden de V/c , donde V es la velocidad de la tierra y c la de la luz, dando que

$$V/c = .0001,$$

por lo que el máximo error introducido por esta fuente será de $20''$, lo cual es comparable a la precisión de los datos tomados de la consola, y por lo tanto sería difícil notar su efecto en los errores observados.

En este capítulo se analiza someramente el efecto de estas variables sobre las lecturas de la consola. Después se describe brevemente el experimento realizado para pasar por último al análisis de los datos.

Ecuaciones

Generales

Para el desarrollo de todas las fórmulas que se usarán a continuación, es necesario un conjunto de relaciones sobre triángulos esféricos.

Un triángulo esférico está formado en la superficie de una esfera por geodésicas. Cuando estas geodésicas son un segmento de un círculo máximo (de radio máximo) de la esfera, valen las siguientes relaciones (llamadas de Gauss) entre los lados y ángulos del triángulo:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \dots (3-1a)$$

$$\sin B \sin a = \sin b \sin A \dots \dots \dots (3-1b)$$

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \sin b \cos c \cos A \dots (3-1c)$$

Estas relaciones pueden demostrarse a partir de expresar en coordenadas esféricas la posición de uno de los vértices del triángulo referido a dos sistemas coordenados figura 3-1 (x, y, z) y (x, y', z').

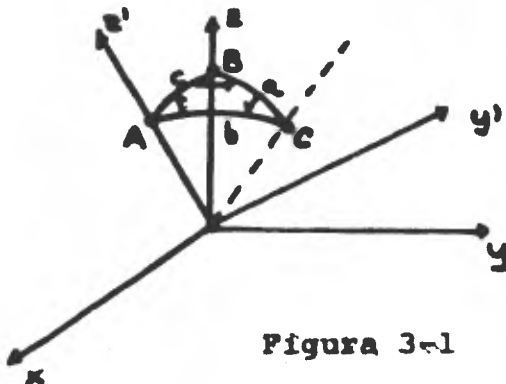


Figura 3-1

Usando después las relaciones para pasar de un sistema de coordenadas rectangulares a otro, las ecuaciones 3-1 se obtienen inmediatamente.

Refracción

Cuando la luz atravieza la atmósfera, la densidad del aire, con su variación continua, ocasiona un cambio continuo en la dirección de la trayectoria de la luz. En principio, este tipo de fenómeno es independiente del ángulo azimutal, y solamente afecta la distancia cenital, ocasionando que los objetos parezcan estar más alto de lo que en realidad están, es decir, disminuye la distancia cenital, y el error es mayor mientras más cerca se esté del horizonte.

Para calcular el ángulo cenital aparente, es necesario expresar la desviación del rayo en una capa diferencial de la atmósfera, según la ley de Snell e integrar sobre toda la trayectoria del rayo. Esto implica conocer la variación del índice de refracción como función de la altura. Hay algunas leyes aproximadas que relacionan con la densidad del aire (vgr. Ley de Dale-Gladstone, o eq. de Clausius Mosotti) y a su vez la densidad con la altura. De cualquier forma, la integral que queda no es analítica, por lo que siempre hay que hacer alguna aproximación para encontrar una solución. Una aproximación consiste en suponer que el tamaño de la capa

atmosférica en relación al radio de la tierra, es tan pequeño que su cuadrado es despreciable, tal como se hace en la referencia 5. Esto permite expandir el integrando en serie de Taylor e integrar. Tomando términos de segundo orden se tiene una expresión del tipo:

$$z_R = z_A + A \tan z_A + B \tan^3 z_A \dots\dots (3-2)$$

donde z_R y z_A son el ángulo cenital real y aparente del objeto, y A y B son constantes que se pueden escribir como:

$$A = (\mu_0 - 1)(1 - H_0)$$

$$B = -(\mu_0 - 1) \left(H_0 - \frac{1}{2} (\mu_0 - 1) \right)$$

donde μ_0 es el índice de refracción del aire y H_0 la razón de la altura de la capa de atmósfera homogénea al radio terrestre.

Tomando los valores:

$$\mu_0 = 1.6002927 \quad , \text{ a } 0^\circ\text{C y } 550 \text{ mm. de Hg y}$$

$H_0 = 0.80937626 \times 10^{-3}$ a la altura de SPM, se obtuvo la figura 3-2.

En esta fórmula no se toman en cuenta muchos factores que afectan también la refracción, como la dependencia de μ en λ , temperatura, presión, etcétera.

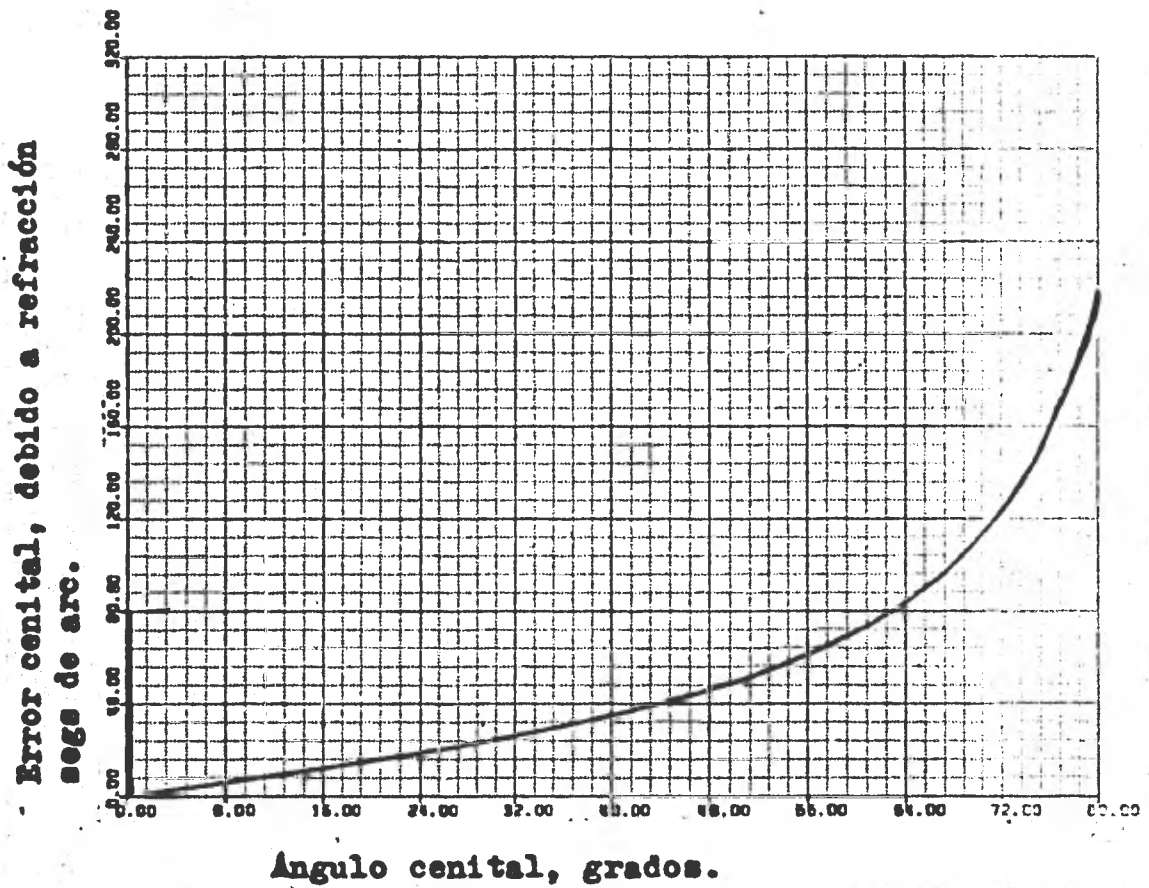


Figura 3-2

Para tener una idea de cuanto influyen estos factores, se pueden consultar las siguientes tablas (3-1 y 3-2).

z	$\partial(\delta z)$
30°	0".35
45"	0".60
60"	1".04
75°	2".24

Tabla 3-1

Error $\partial(\delta z)$ en la determinación del ángulo cenital corregido por refracción, para estrellas rojas y azules (referencia 5)

B, de Hg.	T, °C	$\delta z \approx 45^\circ$
760	0	60".4
550	0	43".71
760	-20°	65".2
550	-20°	47".7

Tabla 3-2

Refracción δz en estrellas con distancia cenital de 45° para varias condiciones de presión y temperatura. (Ley de Dale-Gladstone).

Perpendicularidad y alineación

Hay dos tipos de errores derivados de malos ajustes mecánicos en el telescopio, que son errores por perpendicularidad de los ejes principales del telescopio y por alineación.

Por alineación se entiende la coincidencia del polo norte instrumental (T) con el polo norte celeste (P). El polo instrumental es el punto al que apunta el eje de ascensión recta. Este tipo de error puede presentarse como consecuencia de asentamientos del suelo.

El telescopio tiene 3 ejes principales que son: eje óptico, eje de declinación y el de ascensión recta (figura 3-3)

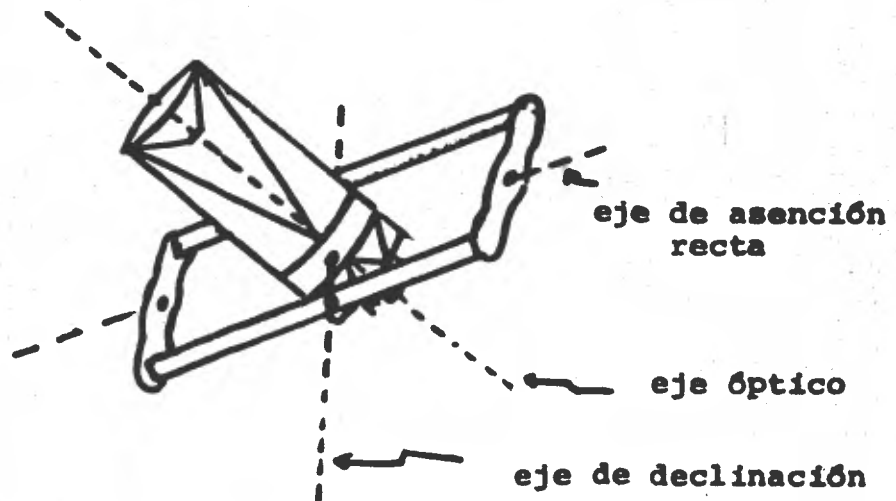


Figura 3-3

La falta de perpendicularidad del eje óptico con el eje de declinación, da lugar a errores no constantes y por

ende indeseables, y se le denomina falta de colimación (C).

También la falta de perpendicularidad entre los ejes de declinación y ascensión recta, da lugar a errores. A esta se le denomina simplemente falta de perpendicularidad (i).

Se denomina polo del eje de declinación (Q), al punto en el que su línea de visión intersecta la esfera celeste al oeste del meridiano. De hecho este polo no es un punto, ya que describe un círculo cuando el telescopio gira sobre su eje de ascensión recta. Este círculo es máximo solo cuando ambos ejes forman un ángulo recto ($i = 0$).

Para encontrar la influencia de la falta de perpendicularidad y colimación en las mediciones de ángulo horario (t) y declinación (d) hechas en la consola, considérese la figura 3-4.

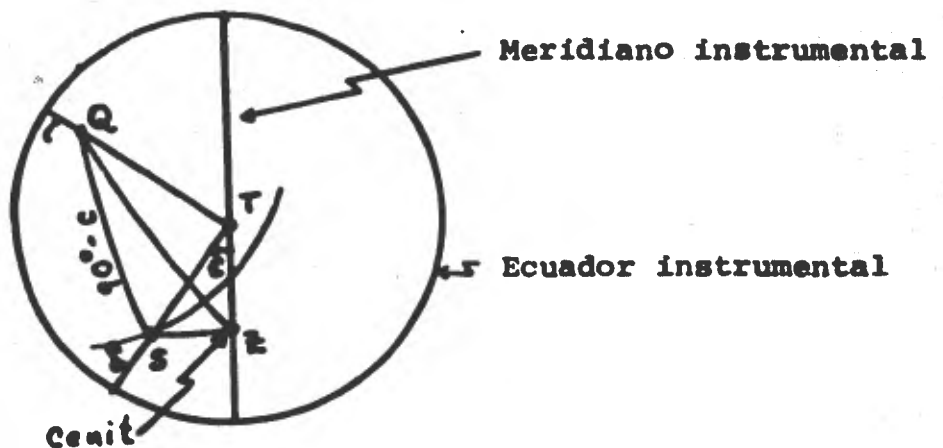


Figura 3-4

En esta figura se muestran las mediciones instrumentales (t' y d') que deberían haberse leído directamente de la consola si i y C hubieran sido cero, al apuntar a la estrella S .

Sin embargo, desde la consola se miden los ángulos d y t que se muestran en la figura 3-5, donde M es un punto sobre el meridiano instrumental y x y Δd son posibles errores sistemáticos.

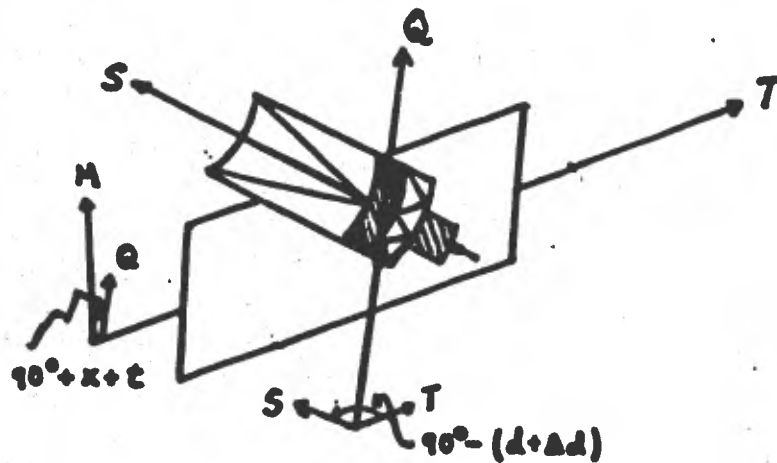


Figura 3-5

Con esto se construye el triángulo de la figura 3-6 y aplicando las relaciones 3-1, además de aprovechar el hecho de que i y c deben ser lo suficientemente pequeñas como para despreciar sus cuadrados y sus productos se llega a las ecuaciones:

$$d' = d + \Delta d \quad \dots \dots \dots (3-3a)$$

$$y \quad t' = t + X + C \sec d' - i \tan d' \quad \dots \quad (3-3b)$$

que fueron tomadas de la referencia 6.

Para pasar de las coordenadas instrumentales (t' y d') a las celestes (aparentes) ζ y δ corrigiendo así por alineación, se consideran los dos triángulos de la figura 3-7, donde γ es la distancia entre los dos polos, que se considera pequeña, ν es el ángulo horario del polo instrumental T, y φ es la latitud.

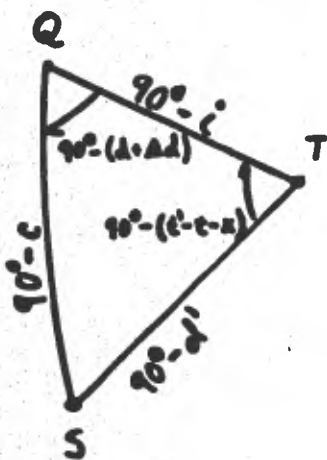


Figura 3-6

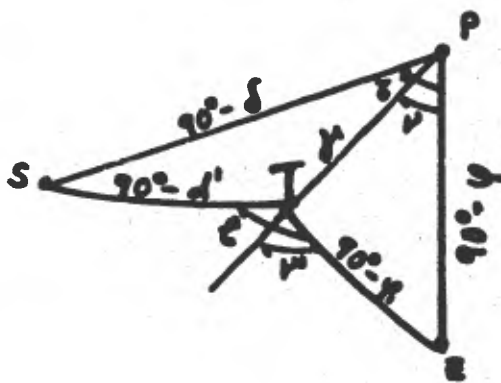


Figura 3-7

Así se llega a las siguientes ecuaciones:

$$\delta = d' - \gamma \cos(\zeta - \nu) \quad \dots \quad (3-4a)$$

$$y \quad \zeta = t' + (\nu - \nu') - \gamma \operatorname{sen}(\zeta - \nu) \tan \delta, \quad \dots \quad (3-4b)$$

donde el error en la posición del polo dado por γ y ν , se puede expresar también en términos de ξ y η definidos por

$$\xi = \gamma \cos \nu \quad \dots \dots \dots (3-5a)$$

$$\eta = \gamma \operatorname{sen} \nu, \quad \dots \dots \dots (3-5b)$$

en una forma más conveniente.

Flexiones

Hay dos tipos de flexiones que, en principio, pueden esperarse en el telescopio, que son flexiones en el tubo y en el yugo.

Las flexiones en el tubo son independientes del ángulo azimutal e incrementan o disminuyen, únicamente la distancia cenital. El diseño del tubo del telescopio de dos metros, sigue los principios de la estructura Serrurier*, que consiste en procurar que ambos espejos bajen lo mismo al flexionarse al tubo, de tal manera que el eje óptico se altere paralelamente (figura 3-8).

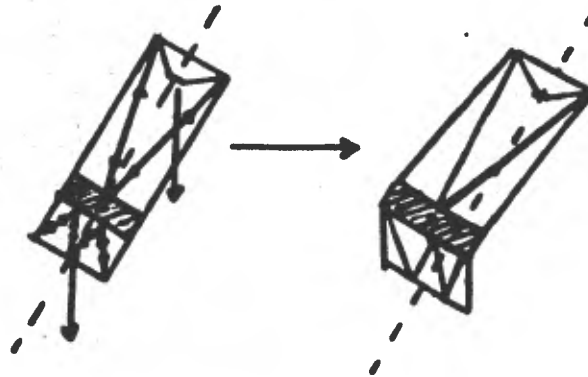


Figura 3-8

* Mark Serrurier del California Institute of Technology, diseñado para el telescopio de 200" Hale en Palomar.

Si llamamos ξ a la distancia cenital de la estrella, esta se incrementa en una distancia

$$d\xi' = e \operatorname{sen} \xi'$$

donde e podría ser cero.

En la figura 3-9 se muestran las consecuencias de la flexión en el tubo.

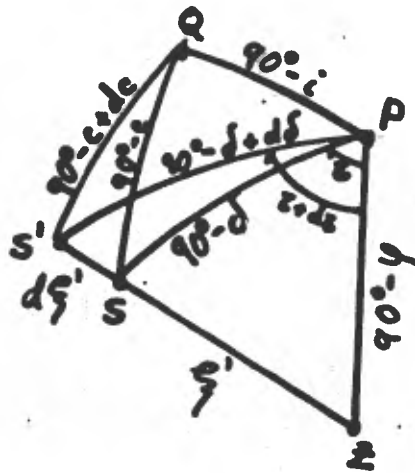


Figura 3-9

Tratando los errores como diferenciales y despreciando términos de segundo orden, se puede llegar al resultado:

$$d\delta = -e (\operatorname{sen} \psi \cos \delta - \cos \psi \operatorname{sen} \delta \cos \zeta) \dots (3-6a)$$

$$\text{y } d\zeta = e \cos \psi \operatorname{sec} \delta \operatorname{sen} \zeta \dots \dots \dots (3-6b)$$

Se puede notar que el error es cero si una estrella está en el cenit, ($\delta = \psi$ y $\zeta = 0$), y que hay simetría en el error con el ángulo horario respecto del meridiano.

Las flexiones en el yugo, en teoría, no deberían afectar el paralelismo del eje óptico. Esto es, si los esfuerzos son los mismos en ambos apoyos del telescopio, las deformaciones deberían de ser iguales en ambos lados.

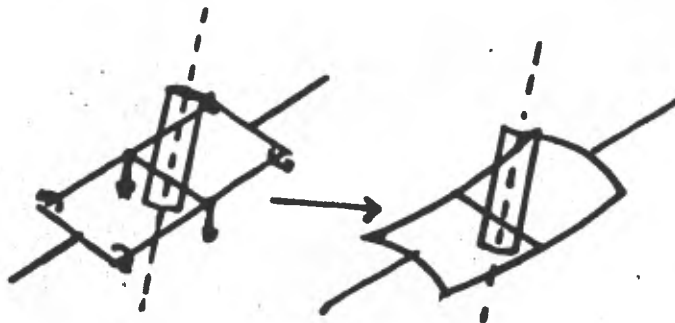


Figura 3-10

En caso de que una de estas suposiciones no se cumpliera; que los esfuerzos y/o momentos en los apoyos fueran distintos o bien, los coeficientes de Hooke variaran un poco a ambos lados del yugo, se observará un error que depende de la distancia cenital ξ del polo de declinación (Q), y que según una ley, incrementa esta distancia proporcionalmente a su seno,

$$\text{ie, } d\xi = \epsilon \text{ sen } \xi$$

Con miras a explicar cualitativamente la forma funcional de esta ley, considérese que el telescopio tiene sus

ejes perpendiculares entre sí. El máximo error debería entonces observarse cuando $\xi = 90^\circ$, $i.e.$, $\widehat{zQ} = 90^\circ$ (ver figura 3-11). Esto ocurre cuando el telescopio está sobre cualquier punto en el meridiano.

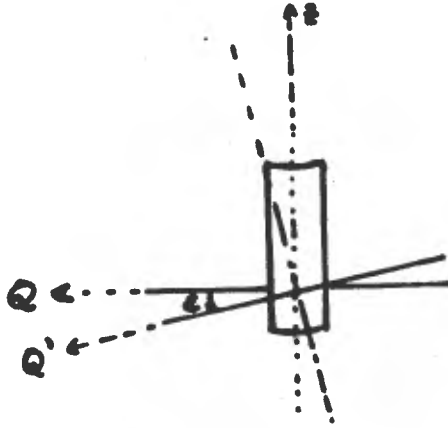


Figura 3-11

En este punto toda la deformación cae sobre la vertical y no tiene componentes horizontales (que no afectan en este caso el paralelismo del eje óptico), por lo que se explica que ahí sea precisamente máximo el error. Por otro lado, dado que \widehat{zQ} nunca es 0° ni 180° , el error tampoco será cero.

$\xi = \widehat{zQ}$, alcanza su valor mínimo cuando el telescopio está viendo todo al este o al oeste (figura 3-12). Ahí la deformación tiene un gran componente a lo largo del eje de declinación y en este caso, eso no afecta el paralelismo del eje óptico.

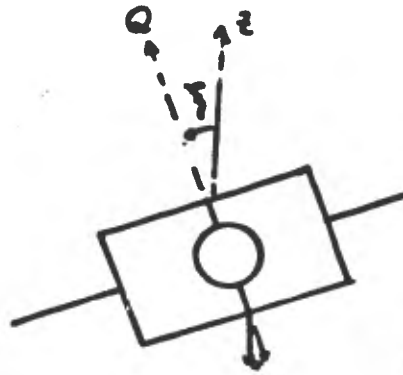


Figura 3-12

Si el telescopio estuviese ubicado a una latitud de 0° , el zenit y Q coincidirían en este caso, por lo que, en efecto, el error introducido por el yugo a 6 hrs. de ángulo horario sería 0.

En la figura 3-13 se ven las consecuencias de la flexión del yugo.

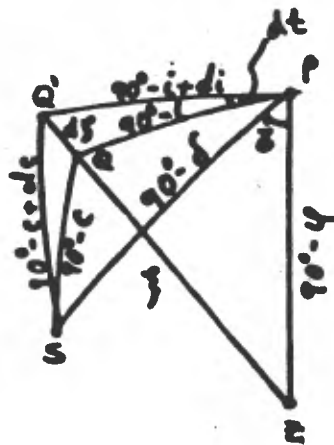


Figura 3-13

De nuevo, tratando los errores como diferenciales y despreciando términos de segundo orden se tiene:

$$\Delta t = \epsilon (\sin \varphi \tan \delta + \cos \varphi \cos \zeta) \dots (3-7)$$

y se puede ver que la flexión del yugo solamente afecta al ángulo horario medido por la consola. También es importante notar que el error introducido no es simétrico respecto del meridiano.

Resumiendo todo, se pueden conjugar todas estas fuentes de error en las siguientes ecuaciones.

$$\delta = d + \Delta d - \gamma \cos(\zeta - \nu) - e (\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos \zeta) \dots (3-8a)$$

$$\zeta = t + \Delta t - \gamma \sin(\zeta - \nu) \tan \delta + c \sec \delta - i \tan \delta + \epsilon (\sin \varphi \tan \delta + \cos \varphi \cos \zeta) + e \cos \varphi \sec \delta \sin \zeta \dots (3-8b)$$

Experimento realizado

Para determinar la contribución de los errores antes enlistados, se planeó y realizó un experimento que consistió en observar una serie de estrellas de las cuales se conoce su posición con muy alta precisión.

Esta lista fue preparada, tomando las coordenadas de 100 estrellas brillantes del catálogo Smithsonian y corrigiéndolas por precesión y movimientos propios.

La computadora se encargaba de:

- . Preguntar qué estrella de la lista quería observarse.
- . Tomar las coordenadas precisas de ésta del disco y corregirlas por refracción mediante la solución de la ecuación 3-2.
- . Calcular el número de pulsos necesarios para llegar a la estrella y mover el telescopio a la posición donde se espera encontrar a la estrella.
- . Esperar a que el observador centrara la estrella en la rendija con control manual, para tomar nota del número de pulsos usados para corregir.
- . Tomar nota de las coordenadas del display de la consola.

- Grabar en disco los siguientes datos para cada observación: tiempo sideral, identificación de la estrella, coordenadas exactas de la estrella, número de pulsos mandados por la computadora, número de pulsos de corrección mandados manualmente por el observador y coordenadas de consola.

Así se observaron un total de 46 estrellas.

Es importante apuntar que el telescopio estaba equipado con el Espectrografo Echelle y el secundario F7.5, por la influencia que sus pesos puedan tener en la determinación de las flexiones.

Análisis de datos obtenidos

La primera relación que se trató de extraer de los datos, fue la del número de pulsos mandados al lazo de guiado del telescopio, tanto por la computadora como por el control manual, para que éste se moviera una cierta distancia según su codificador fino; contra la distancia angular que se movió según el codificador grueso (medido por el display de la consola), con el fin de determinar la relación correcta entre el radio de la esfera de contacto del codificador fino y el del engrane principal.

Esto no fue posible ya que los errores entre lo que debía moverse y lo que se movió el telescopio, aunque mostraron cierta correlación con la distancia recorrida, tuvieron una dispersión demasiado grande (gráficas 3-1 y 3-2)...

Se intentó ver la dependencia de los errores en otras fuentes, tales como podría ser una posible asimetría de la bolita del codificador fino, que hace contacto con el engrane principal. El resultado fué de nuevo negativo, por lo que la única interpretación posible a lo azaroso de los errores es una fuente azarosa, como podría ser un resbalón del codificador. El error medio introducido por esta fuente de ± 1.3 (min. de arco) para DEC y ± 2 min. de arco para AR (gráficas 3-3 y 3-4) por lo que resulta inútil tratar de extraer información útil de estos datos para explicar otras posibles fuentes de error.

No obstante, como se esperaba observar efectos de refracción de hasta 2 min. de arco, sin contar los efectos por flexiones, se continuó el análisis con los datos tomados del codificador grueso (display de la consola) en contraposición a las coordenadas exactas tomadas del catálogo Smithsonian, corregidas por precesión y movimientos propios únicamente.

Así esperando encontrar un error en el ángulo cenital que fuera como:

$$z_{\text{obs}} = z_{\text{real}} + A \tan z_{\text{real}} + \tan^3 z_{\text{real}} + C \sin z_{\text{real}}$$

involucrando así errores por refracción y flexiones del tubo, se obtuvo la gráfica 3-5.

Evidentemente, los errores ahí obtenidos no se asemejan a lo esperado, y no obstante esos datos son significativos. (La resolución del display es de 15" para AR y 6" para DEC).

Fué por eso que se buscará otro tipo de dependencias.

En la gráfica 3-6 se muestra el error en la ascensión recta como función del tiempo sideral. Las líneas representan trayectorias de estrellas observadas a lo largo de la noche y por ahora, pueden considerarse líneas de igual declinación.

La tendencia de todas estas líneas a aumentar el error en AR al transcurrir el tiempo, en la misma proporción para todas las declinaciones, sólo puede deberse a un error en la frecuencia de guiado de la consola. En particular el punto marcado "A" en la gráfica, corresponde a una estrella que ocupaba casi el mismo lugar en el cielo que la correspondiente al punto "B" en el momento de ser observada; y sin embargo el error fué muy distinto. Esto descarta por completo la posibilidad de que el error dependa de la posición en

sí. Para corregir los valores de la ascensión recta observada AR_{cons} según el display, se tomó el mejor valor de la pendiente $M = .00116 \pm .2 \text{ E-3}$ de las líneas en la gráfica 3-6.

Este valor indica que hay que aumentar el valor de AR_{cons} por aproximadamente 1.2 partes por cada 1 000 de tiempo sideral que haya transcurrido desde el momento en que se fijó ese tiempo. En otras palabras, la lectura de la consola AR_{cons} para una misma estrella disminuye con el tiempo, lo cual quiere decir que la frecuencia de guiado es menor ocasionando que la estrella tienda a adelantarse aproximadamente 1" cada minuto de tiempo, lo cual es bastante posible.

Los datos tomados se corrigieron para reparar este error.

En las gráficas (3-7) a (3-10), se ilustra la relación entre error en declinación contra declinación y ángulo horario y error en AR contra lo mismo.

Como se puede ver, el error en declinación muestra una dependencia muy grande con la declinación. Según la ecuación (3-8a) dicha dependencia no puede deberse a otra cosa que refracción y/o flexiones del tubo.

En la gráfica (3-8) se ilustra con líneas las trayectorias de igual declinación, y se puede notar que si bien para ángulos horarios negativos, no hay una dependencia notable del error con AH, en el oeste esta dependencia es bastante manifiesta. Para resaltar esta dependencia, se le quitó a los datos de error en DEC, la dependencia lineal en DEC (gráfica 3-7) mostrándose el resultado en la gráfica (3-11). La dependencia del Error en DEC con el ángulo horario, sigue bastante bien una trayectoria cosenoïdal mostrada en la misma gráfica. Según la ecuación (3-8a) esto puede deberse a falta de alineación en el polo instrumental. Los valores aquí obtenidos para ξ y η fueron

$$\xi = 93^{\circ}.7$$

$$\eta = -38^{\circ}.6$$

lo cual indica que el polo instrumental está arriba y al este del norte celeste.

A reserva de explicar después con más detalle el error debido a la flexión del tubo, pasaré a analizar la situación para los errores en AR.

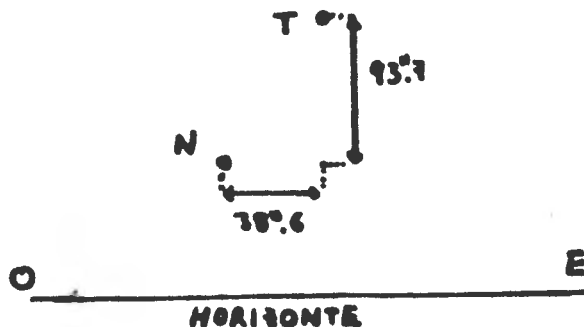


Figura 3-14

En la gráfica (3-10) se ilustra la dependencia de este error con DEC. Cuando se corrigió la AR leída por polo mal alineado, no varió casi nada. Más aún, adelantando me diré que AR fué corregida por refracción, flexión del tubo y localización del polo, sin que aún se notara diferencia con la gráfica 3-10.

Sin embargo, la gráfica (3-12) muestra que esta dependencia es perfectamente explicable en términos de la perpendicularidad de los ejes del telescopio y la colimación de la óptica.

Los valores usados para esta gráfica, indican una falta de perpendicularidad $i = -80''.2$ y de colimación $c = +53''$.

Por último, para encontrar las flexiones del tubo y del yugo, se tuvo que suponer que la refracción se comportaba como en la ecuación (3-2), ya que los datos tomados de la consola, no tenían la suficiente precisión instrumental.

En estos términos, se ilustra en la figura 3-13, el error en declinación contra declinación, habiendo sido los datos corregidos por refracción, perpendicularidad de los ejes y posición real del polo. Se nota todavía una dependencia, aunque los errores son bastante más pequeños, y esta dependencia se explica bien en términos de flexiones en el tubo de acuerdo a la ecuación (3-8a) y como se muestra en la misma gráfica.

La última relación se muestra en la gráfica 3-14, donde la ascensión recta ha sido corregida por todo lo hasta ahora encontrado y muestra todavía una pequeña relación con DEC. Interpretando este error como debido a flexiones en el yugo (que es el único término que queda libre en la ecuación (3-8b) se obtienen finalmente los puntos totalmente corregidos de la misma gráfica, que tienen una correlación de 0. El error medio que queda en esa grafica es de 20", lo cual, dado que la precisión de la consola para AR es 15", es ya suficiente para dar por terminado el análisis. La situación en DEC es similar y ahí quedan errores medios del orden de 6".

Dado que la forma secuencial en que se realizó este análisis puede involucrar el sobreestimar algunos errores y subestimar otros, resolví nuevamente el problema tomando en cuenta todas las variables simultáneamente.

Para esto definí la función de error total S

$$S = \sum_{i=1}^{46} [(\delta_i^* - \delta_i)^2 + (\zeta_i^* - \zeta_i)^2]$$

donde δ_i y ζ_i son las coordenadas exactas de las estrellas corregidas por refracción, y δ_i^* y ζ_i^* son las calculadas a partir de (3-8a) y (3-8b).

Con la condición de que S sea mínima para todos los posibles valores de $\Delta d, \Delta t, \xi, \eta, c, i, e$ y ϵ ,

se tiene un sistema lineal de 8 ecuaciones con 8 incógnitas.

La solución de dicho sistema dió los siguientes valores como resultado:

$$\Delta d = 81'' .56$$

$$\Delta t = -8.57s$$

$$\xi = 87'' .36$$

$$\eta = -32'' .4$$

$$c = 106'' .26$$

$$i = -78'' .76$$

$$e = 41'' .09$$

$$\epsilon = -33'' .51$$

Los efectos de los errores c, i, ξ y η , que deberán ser corregidos mecánicamente se muestran en la figuras 3-15 y 3-16.

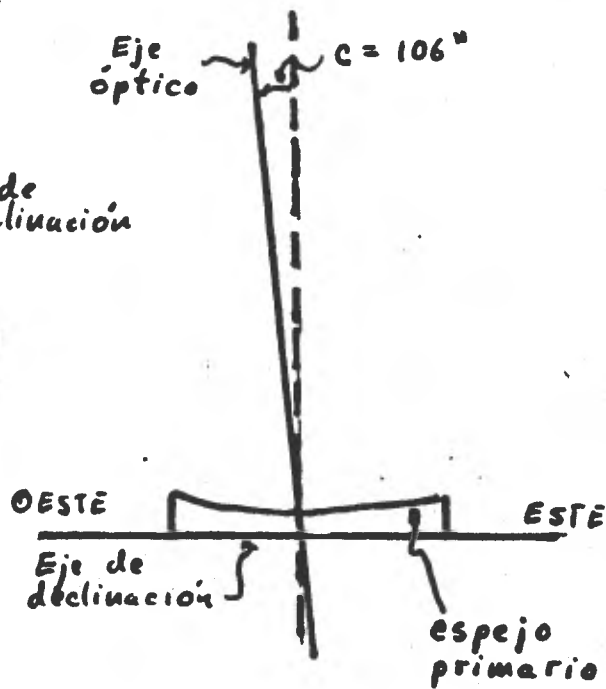
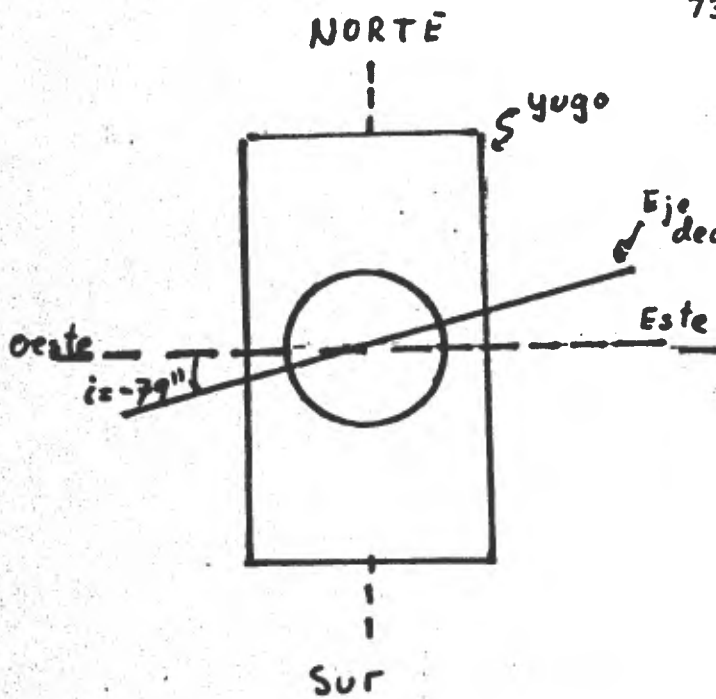


Fig 3-15
Falta de perpendicularidad (i) y de colimación (c) en el telescopio

N: Polo norte celeste.
T: Polo norte instrumental.

Fig 3-16

Error en la alineación del polo instrumental.

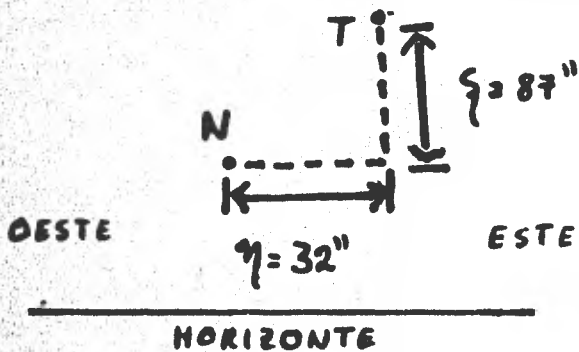
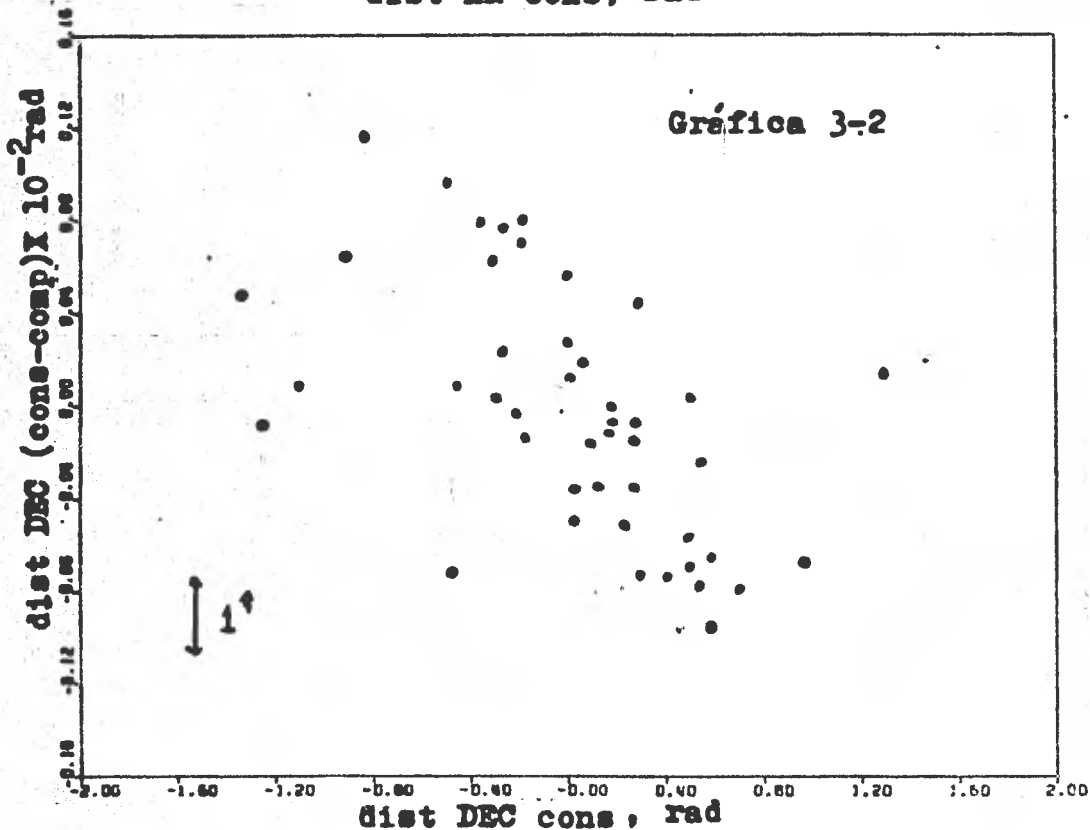
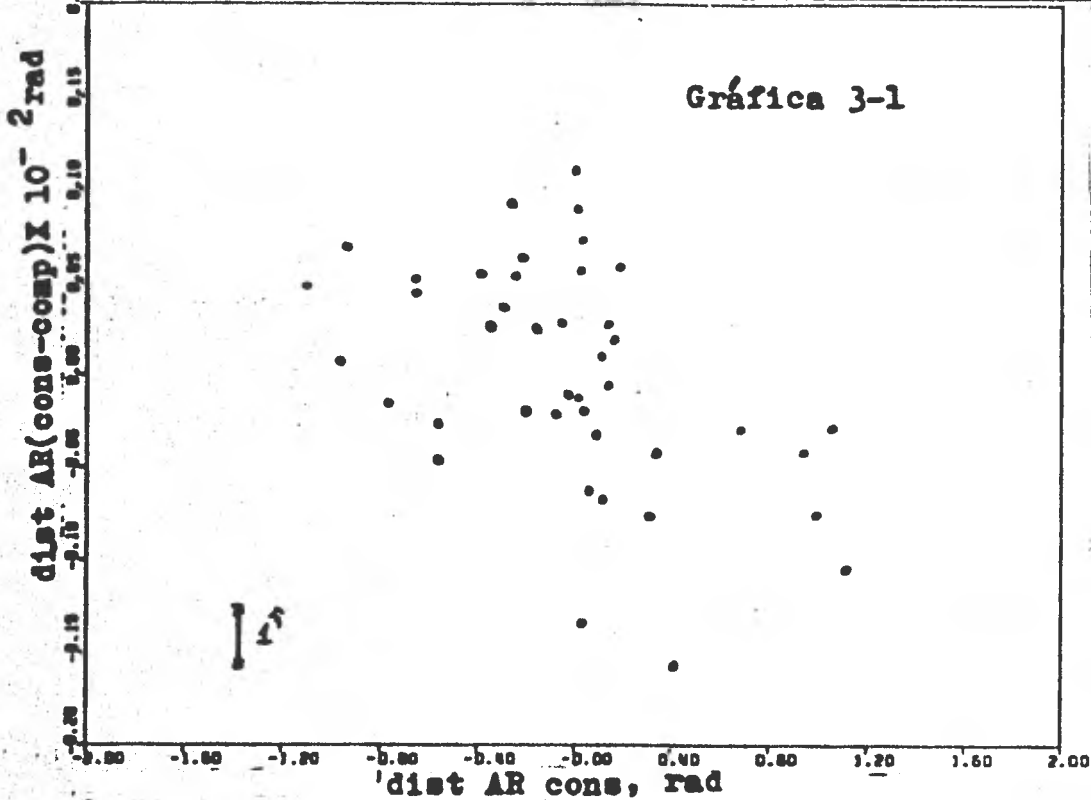
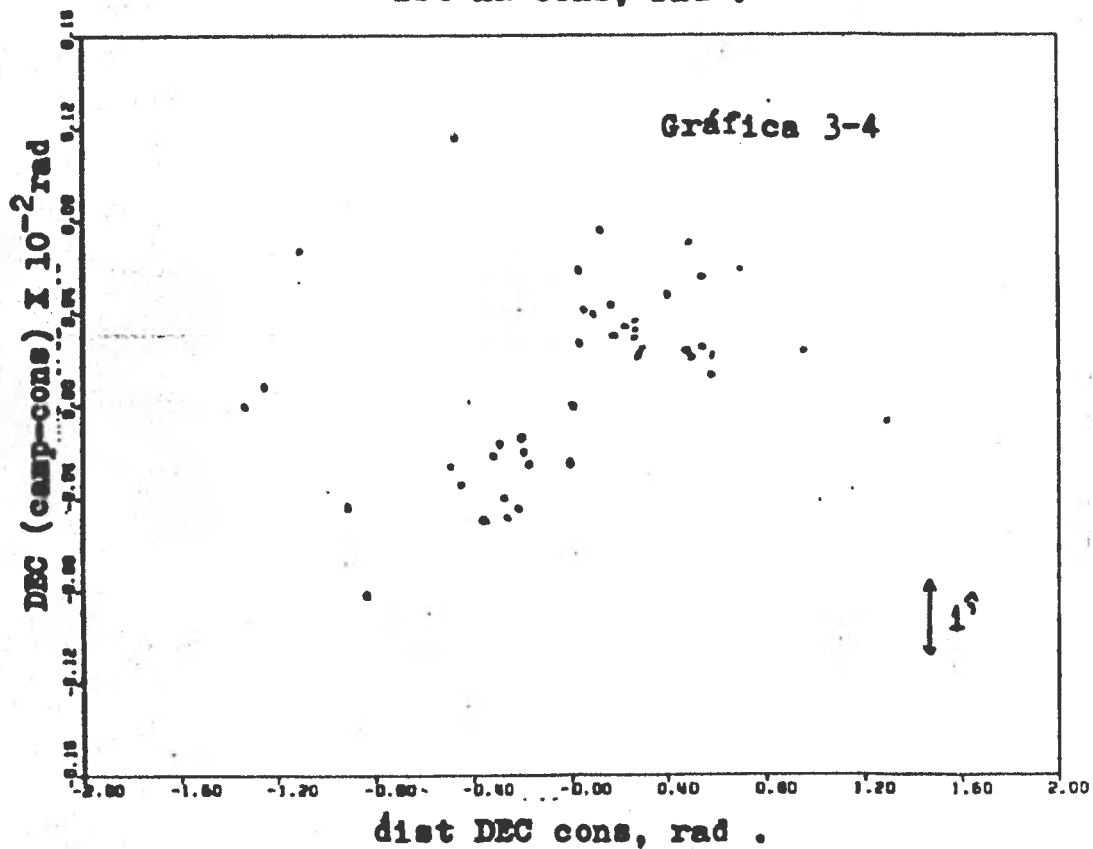
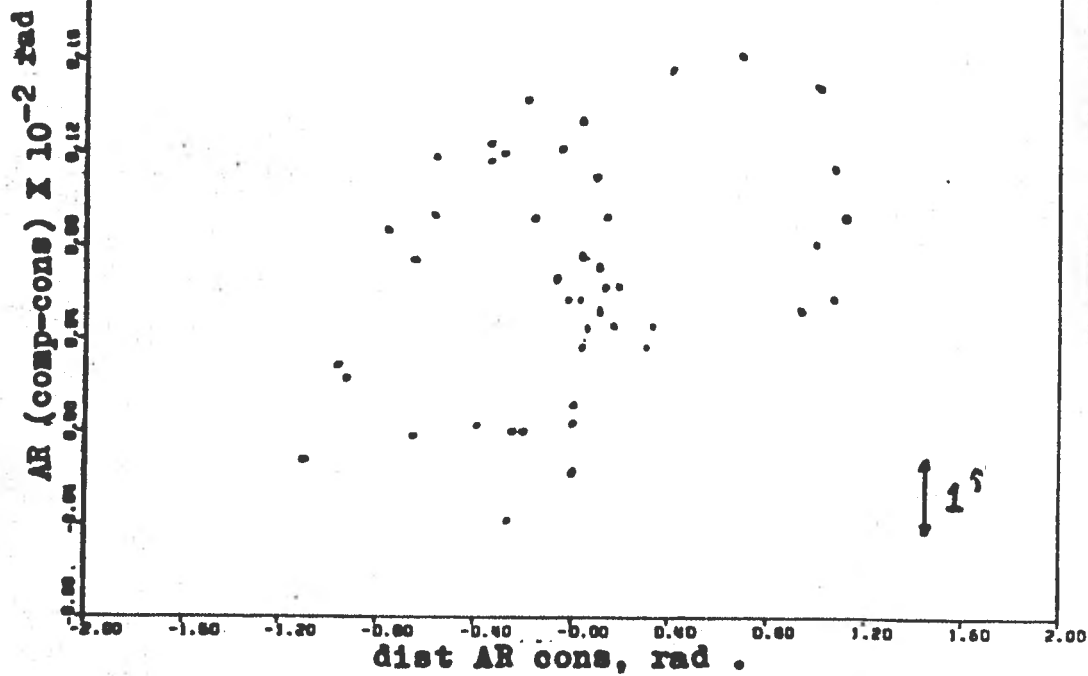


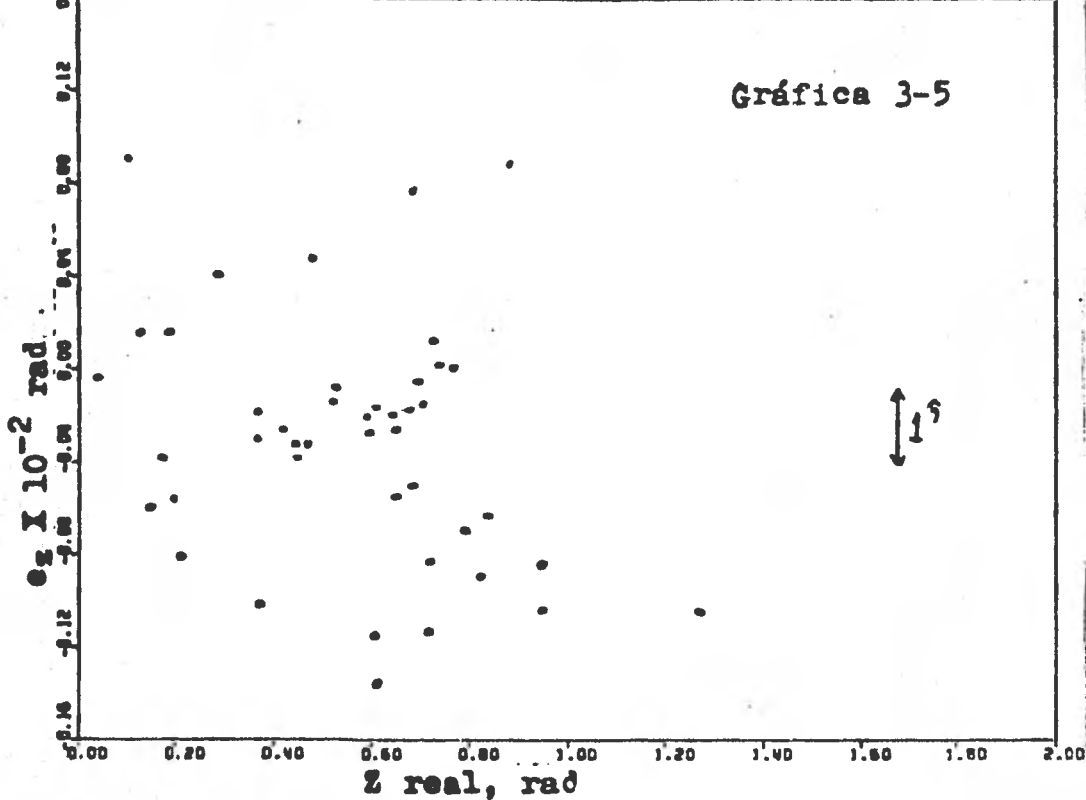
Figura 3-16



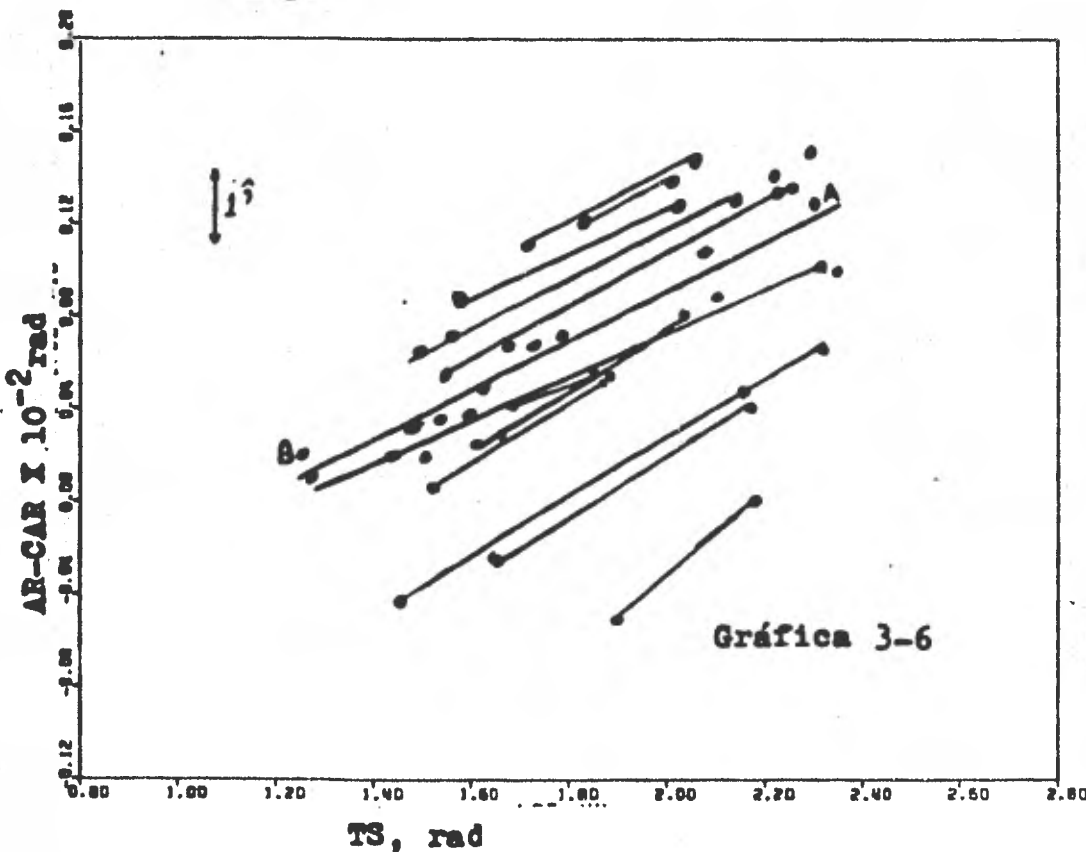
Error en el desplazamiento realizado, según el número de pulsos suministrados por el codificador fino del telescopio y el desplazamiento registrado por el codificador grueso, en función de este último, para los ejes de AR (graf. 3-1) y DEC (graf. 3-2).



Error en la posición según codificador fino y grueso, contra distancia recorrida según codificador grueso para el eje de AR (graf. 3-3) y DEC (graf. 3-4).



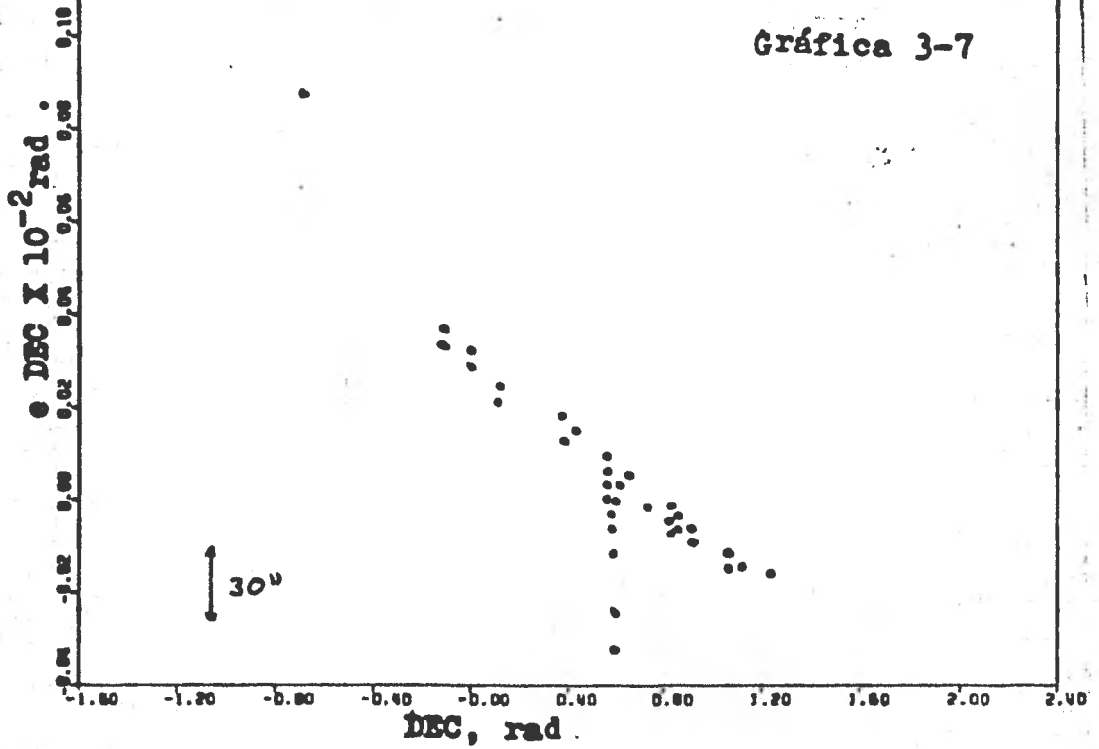
$\theta = Z \cos - Z \text{ real}$
 $Z \cos = \text{ángulo cenital medido en consola}$
 $Z \text{ real} = \text{ángulo cenital real.}$



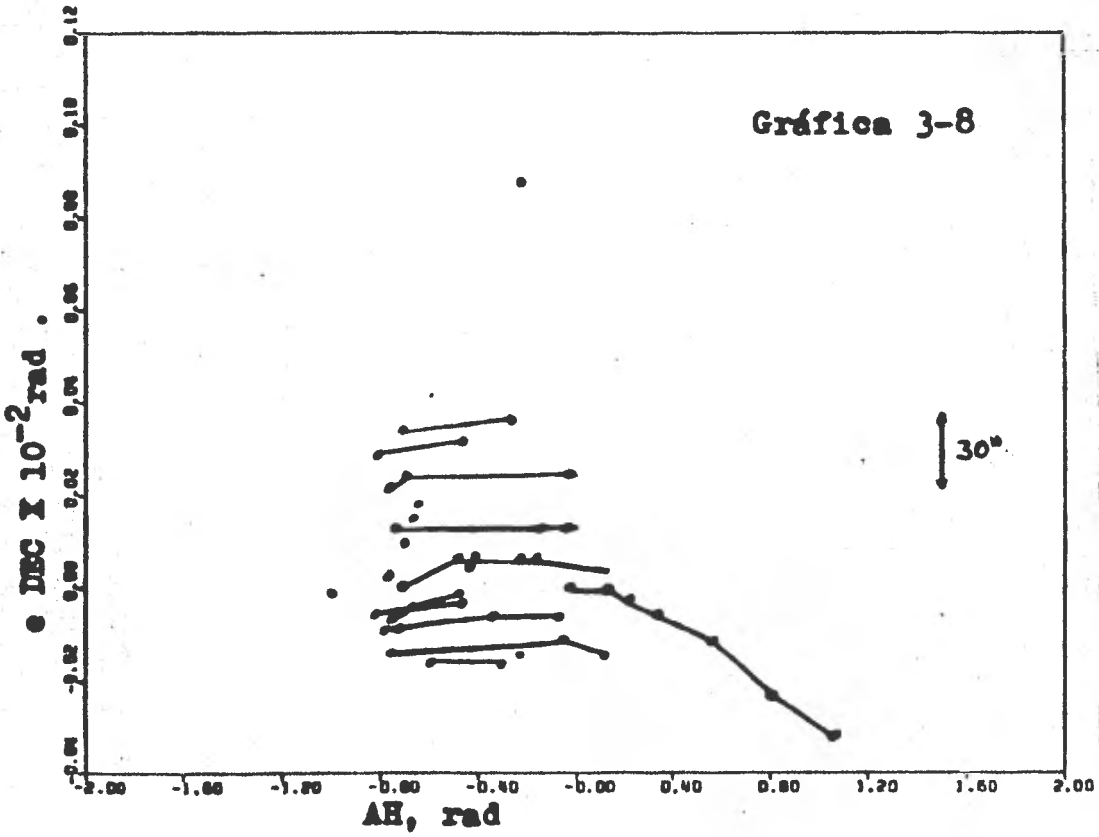
Gráfica 3-6

TS= Tiempo Sideral
 AR= Ascenⁿión recta real
 CAR= Ascenⁿión recta medida en consola.

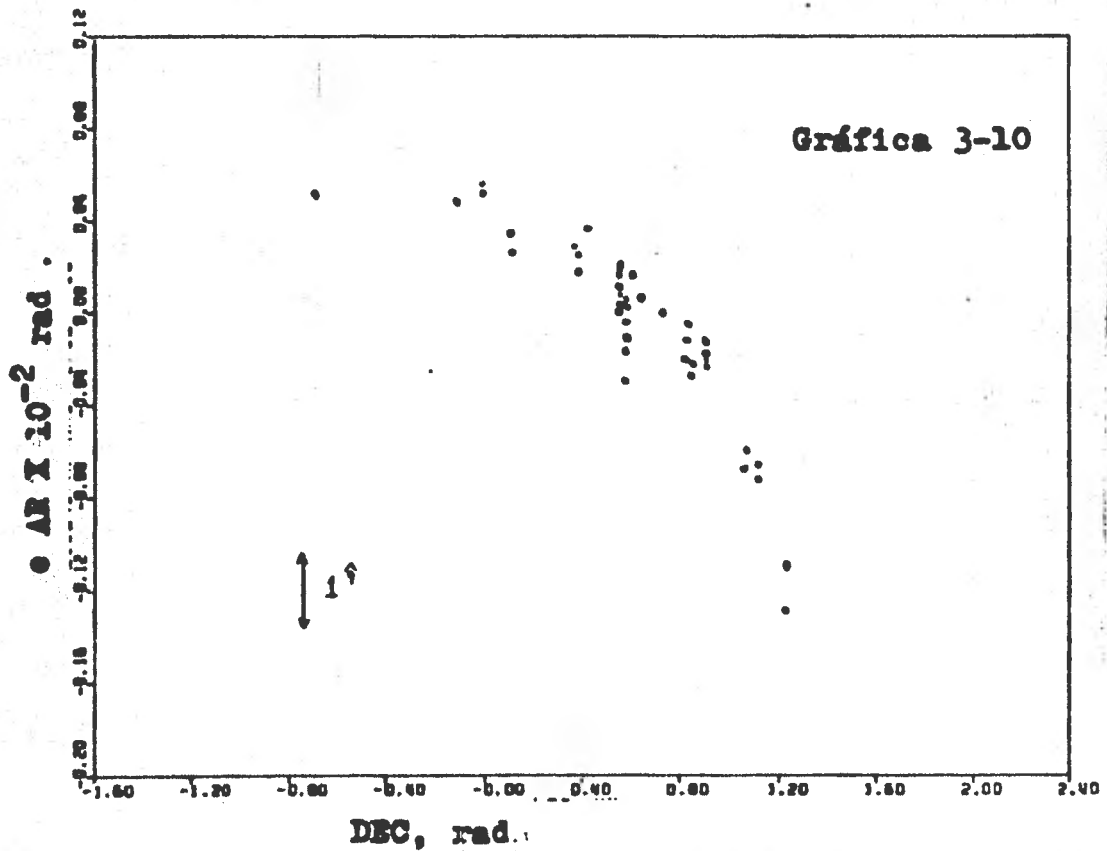
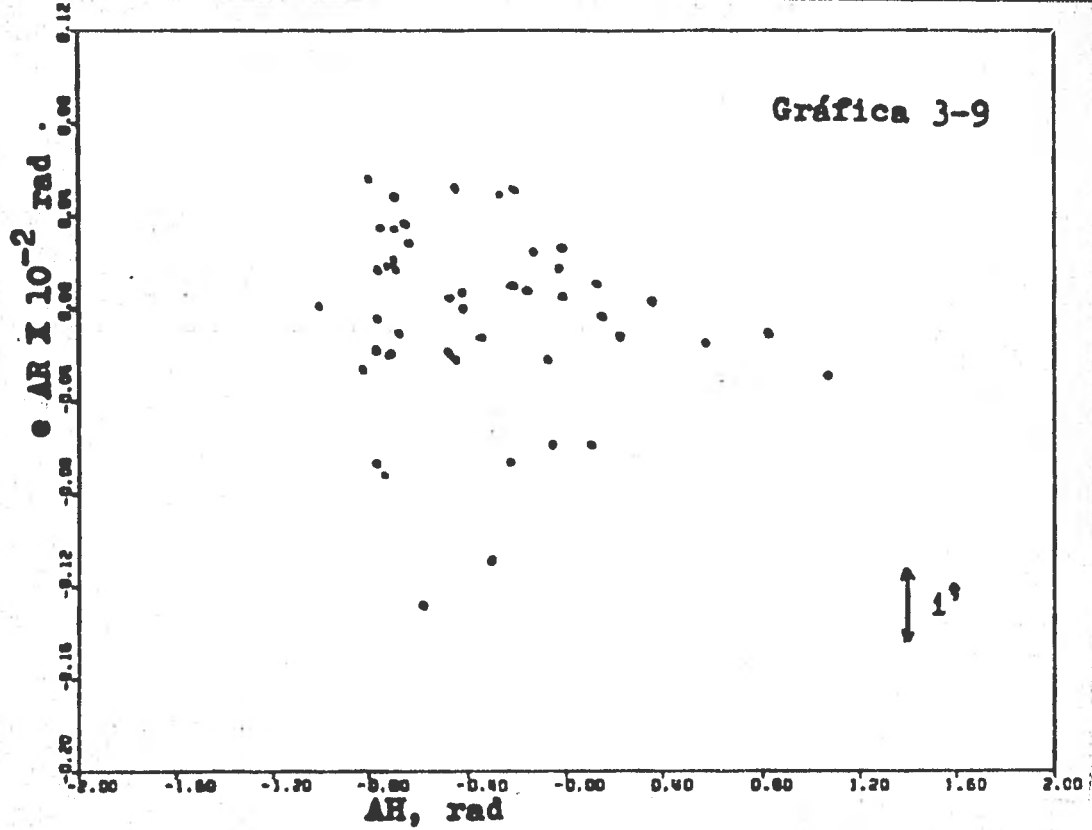
Gráfica 3-7



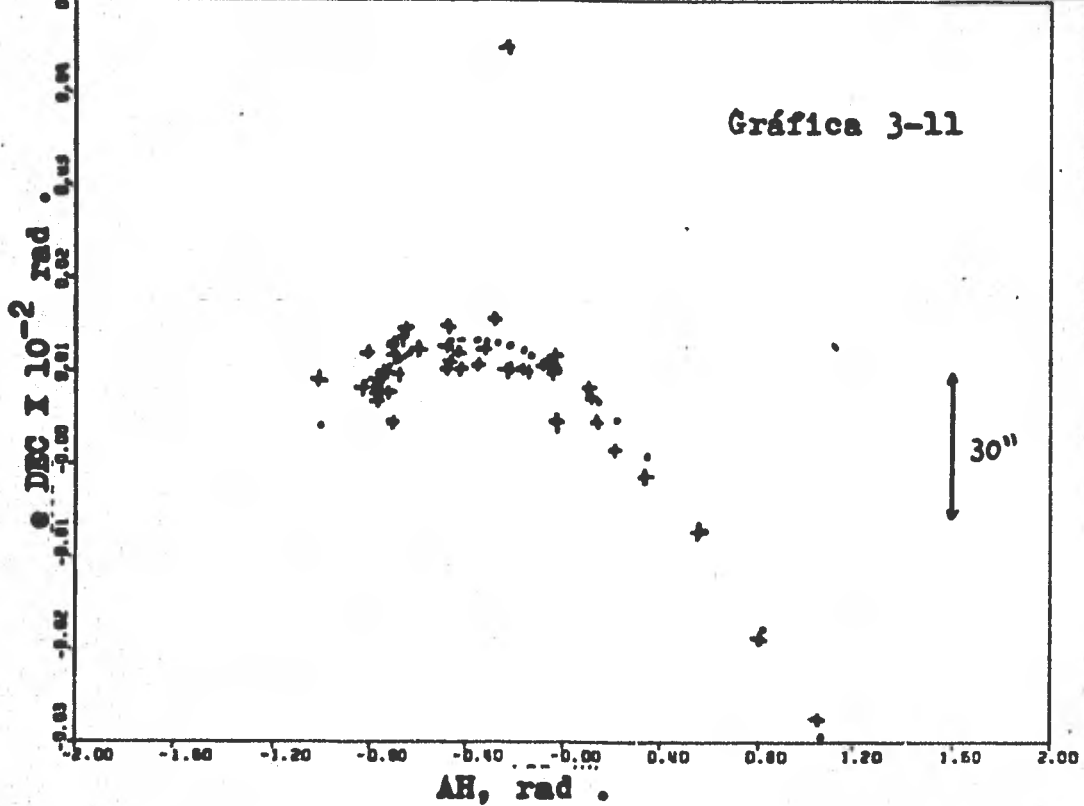
Gráfica 3-8



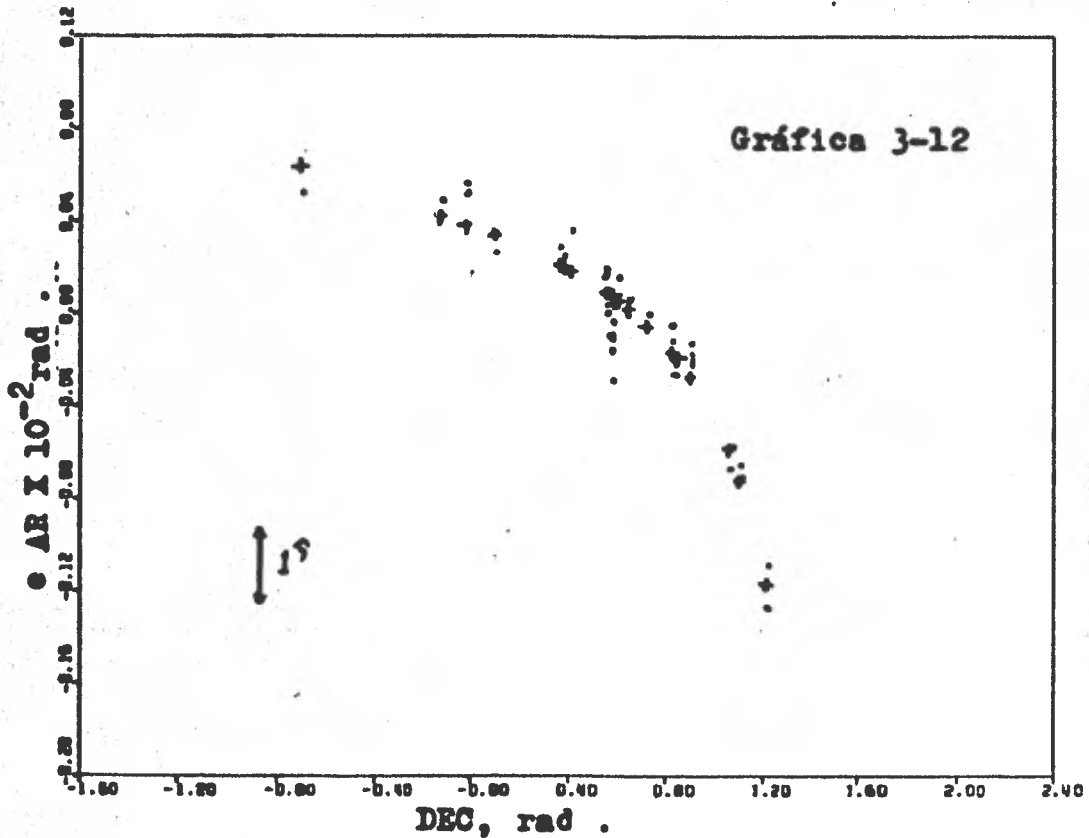
Error en Declinación (Declinación consola- Declinación real) en función de la Declinación (graf. 3-7) y del ángulo horario (graf. 3-8).



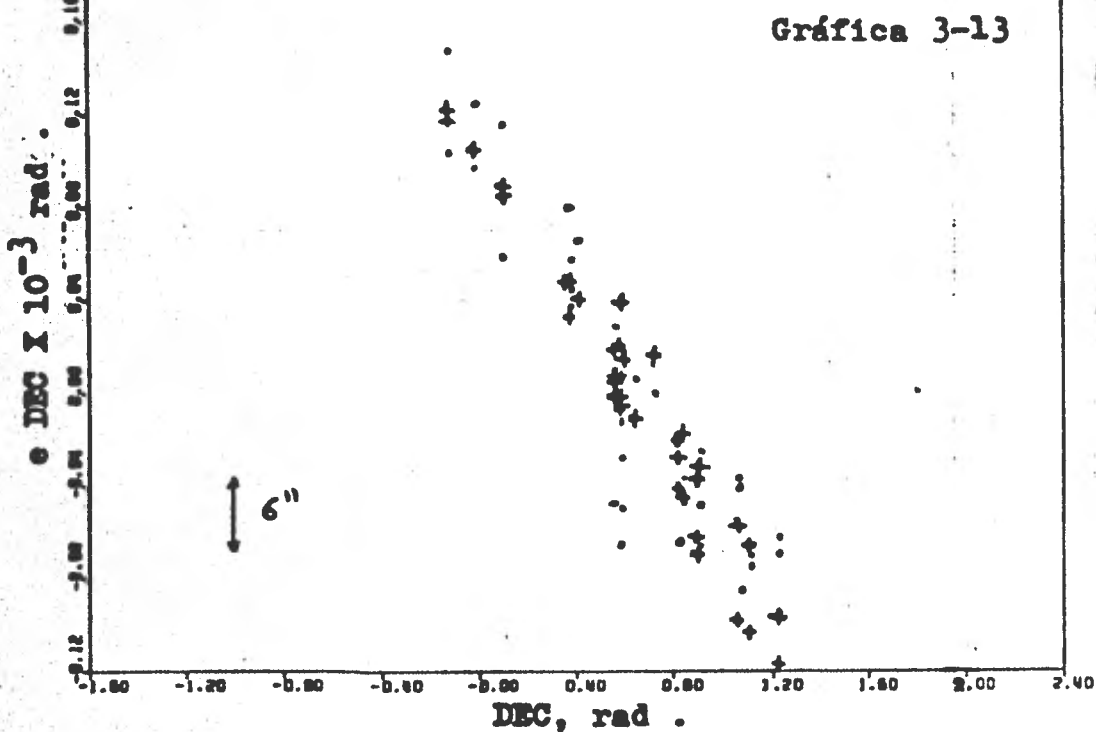
Error en Ascensión Recta (AR real - AR consola) en función de AH (graf. 3-9) y de la DEC (graf. 3-10).



Error en la declinación contra ángulo horario.
 + error medido, quitando la dependencia lineal con DEC
 • error teórico, explicado por mala alineación.

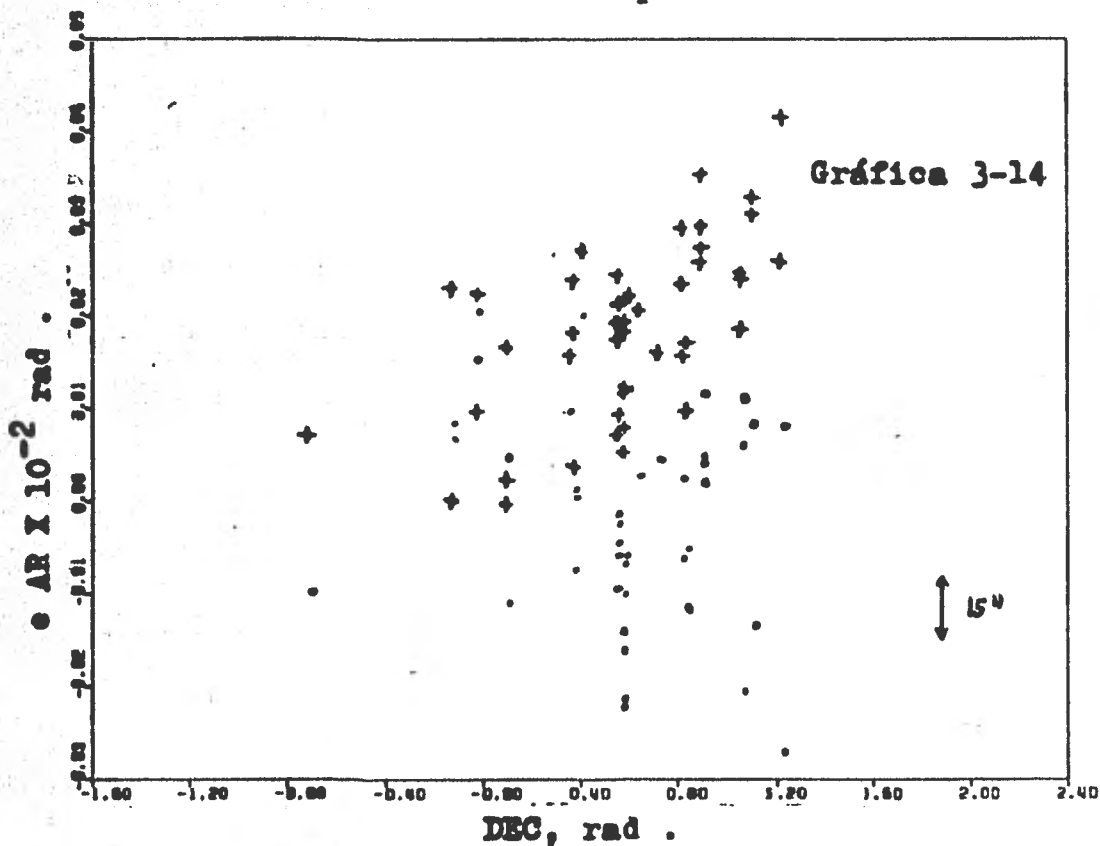


Error en Ascensión Recta en función de la declinación.
 • datos obtenidos experimentalmente
 + datos teóricos al ser afectados por falta de perpendicularidad y colimación.



Error en declinación V.S. declinación

- Datos corregidos por refracción, alineación y perpendicularidad.
- + Datos teóricos afectados por flexión del tubo.



Error en Ascensión recta V.S. Declinación

- Datos corregidos por todo.
- + Datos corregidos por todo, menos por flexión del yugo.

CONCLUSIONES .

Se diseñó, construyó y probó una interfase entre una minicomputadora NOVA-1200 y la consola del telescopio de 2 m. de San Pedro Mártir.

Se substituyó una tarjeta ya existente de la consola (Amplificador de Tacómetros), por una nueva versión para poder alcanzar altas velocidades de movimiento del telescopio, cuando está bajo control de la computadora. Esta nueva versión trabajó satisfactoriamente.

Se elaboraron varios programas relacionados con el telescopio.

Se observó una serie de estrellas usando la computadora, y se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Hay alguna fuente azarosa que introduce un error en el orden de minutos de arco en la posición final del telescopio cuando es movido por la computadora. Dado que las señales y pulsos que se dan en la interfase son correctos, se sugiere que la fuente de este error radica en la forma de amarre del codificador fino al engrane principal.

- b) A partir de los datos tomados del codificador grueso mediante el display de la consola, se pudieron evaluar otras fuentes de error, que fueron: falta de alineación, perpendicularidad y colimación.

- c) De una forma menos confiable, también se pudo atribuir parte de los errores a flexiones y no se pudieron corroborar los valores teóricos para las constantes de refracción.

APENDICE I

Circuitos electrónicos desarrollados para: conectar la consola del telescopio de 2 m. de SPM a una minocomputadora NOVA-1200.

Los circuitos desarrollados para la interconexión son los D1, D2, D3 y D4. En los diagramas D5 y D6 se ilustra el alambrado realizado y en el D7 la versión modificada de la tarjeta de amplificador de tacómetros de la consola. Los diagramas D1 y D2 corresponden a la parte de la interfase que reside del lado de la computadora y los D3 y D4 están del lado de la consola.

La electrónica correspondiente a los diagramas D1 y D2, se instaló en una tarjeta de interfase de propósito general de marca MDB (ver referencia 9, para diagramas), que contiene la electrónica básica que necesita todo controlador para comunicarse con el CPU de NOVA. Además tiene dos contadores de 16 bits, adaptados como registros de salida, que se usaron en esta interfase para contar el número de pulsos que se mandan a la consola para AR y DEC. Cuando alguno de estos contadores llega a cero, se dan las señales QAR o QDEC del diagrama D1. En este diagrama se encuentra la lógica explicada por la figura 2-9 de esta tesis. Aquí se generan las señales:

- A: que indica en qué dirección se debe mover el telescopio (DIR).
- B: Que indica si los pulsos que se están mandando son los de AR o DEC (AR/DEC).
- C: Que debe ser 1 para que la consola tome en cuenta los pulsos.
- \bar{P} : Que es el canal por el cual se envían los pulsos.

También se reciben las señales TAR y TDEC descritas en el capítulo II.

En el diagrama D2, instalado en la misma tarjeta, se reciben los pulsos generados por acción del mando de control manual, provenientes de la consola. Estos pulsos cargan los contadores reversibles 11F a 11K y 10F a 10K, que pueden leerse por acción de las señales DIA y DIB, generadas por programa.

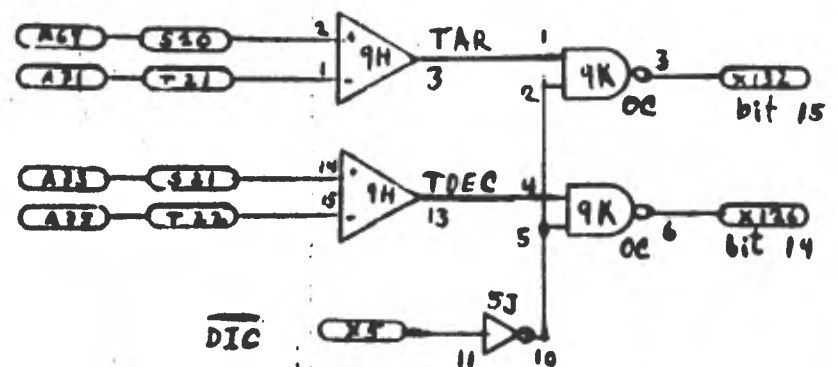
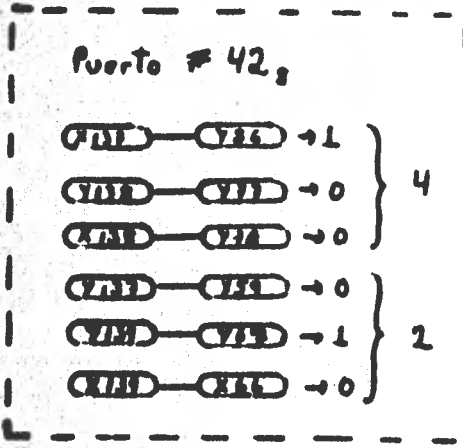
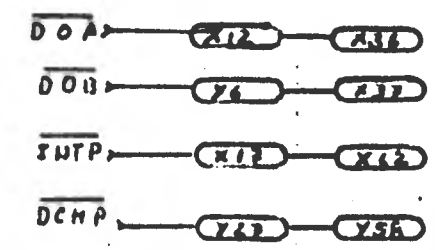
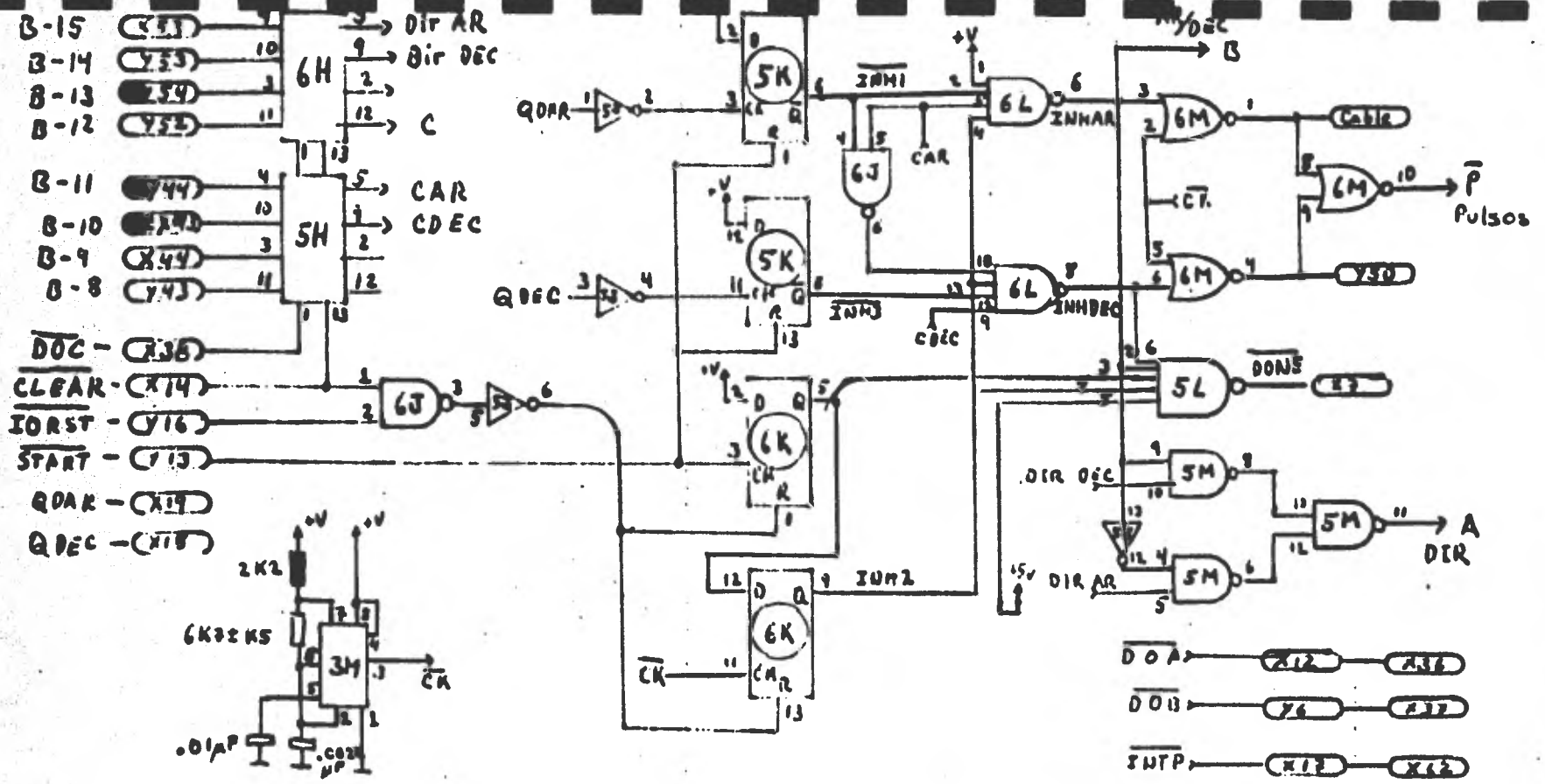
En la consola hay dos tarjetas para completar la interfase, que ocupan los lugares 3ª y 2ª y sus diagramas son D3 y D4 respectivamente.

Estas dos tarjetas corresponden al esquema dado por la figura 2-6 de la tesis, y ahí se explican en detalle sus

funciones.

En el diagrama D6 se ilustra el alambrado realizado dentro de la consola con estas dos tarjetas.

En D5 el alambrado para ir de estas tarjetas a la mi nicomputadora.

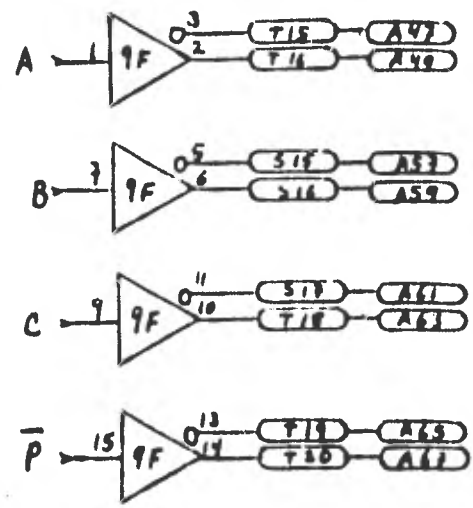
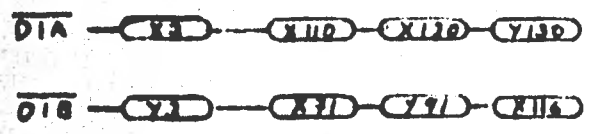
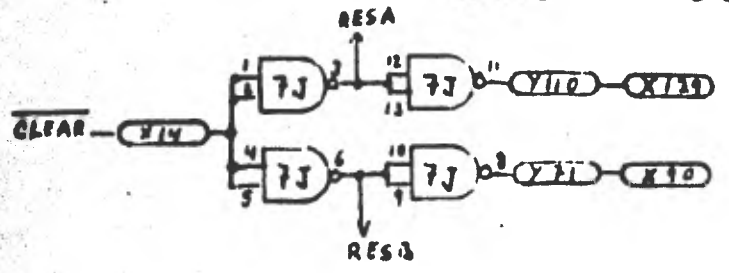
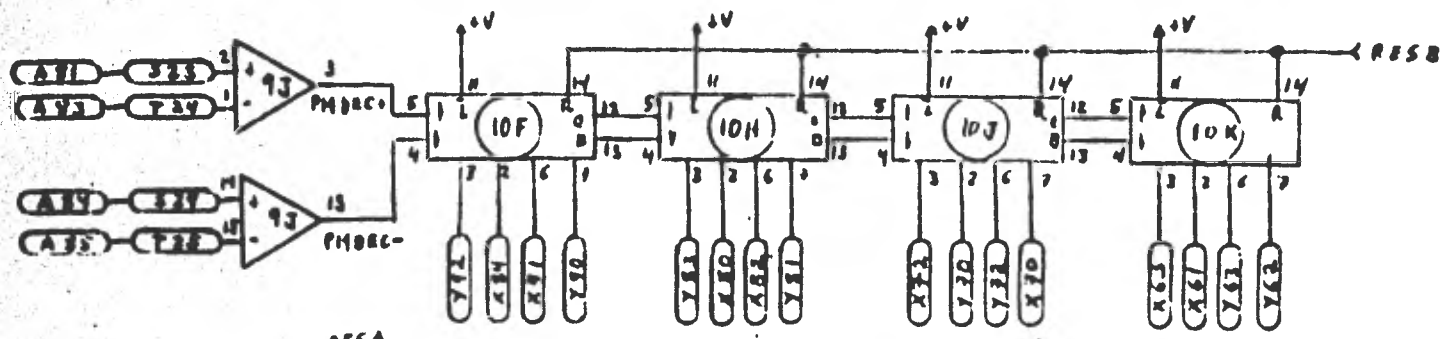
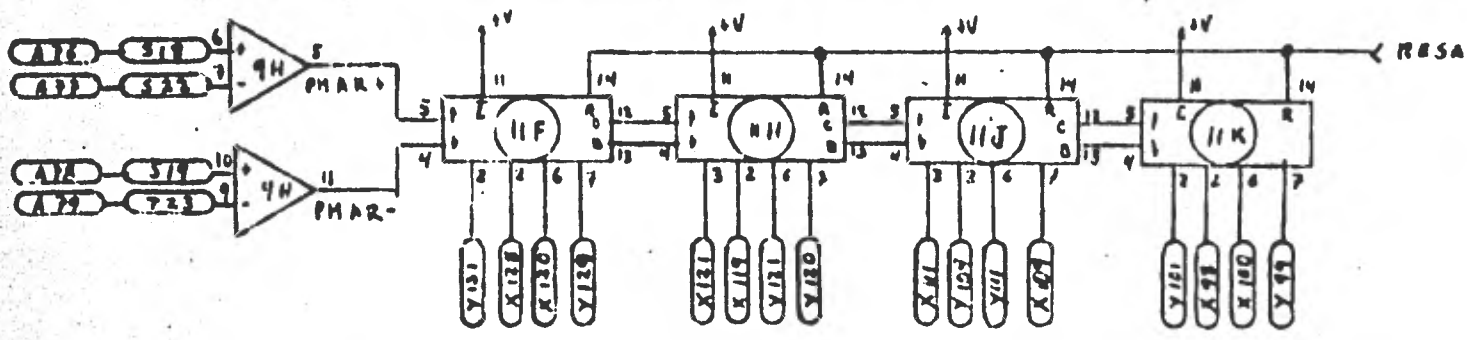


NOVA-1200

Diagrama de interfase
NOVA-CONSOLA

Telescopio 2.1 m
Instituto de Astronomia, UAM

Diagrama 1/2 *ver*
D1



NOVA-1200

Diagrama de interfase
NOVA-CONSOLA

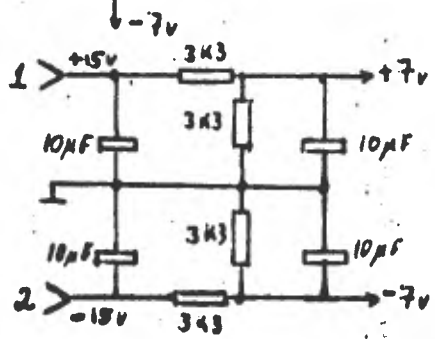
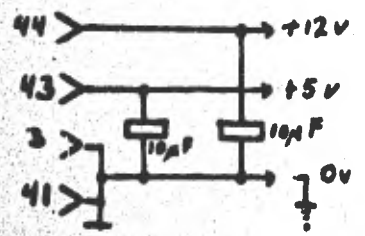
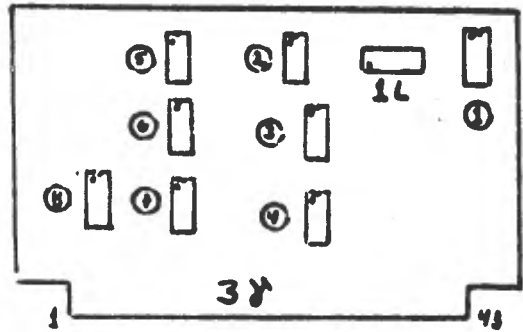
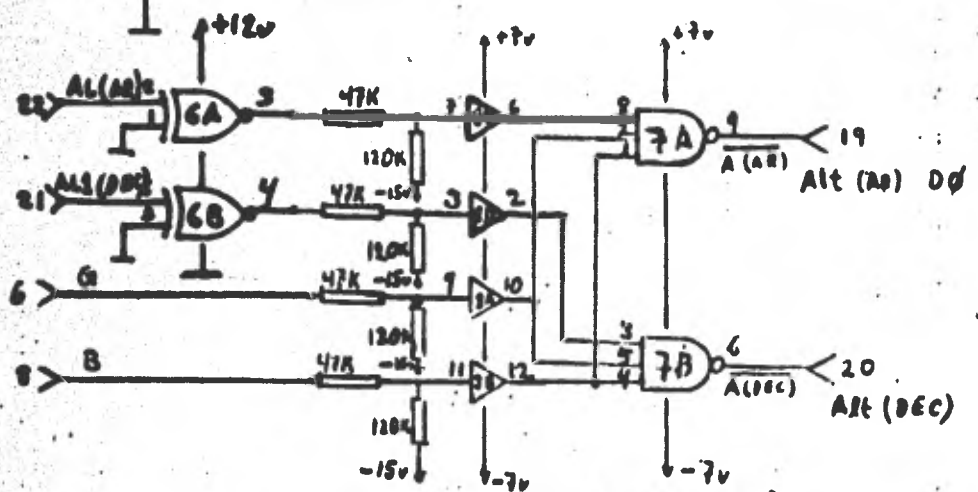
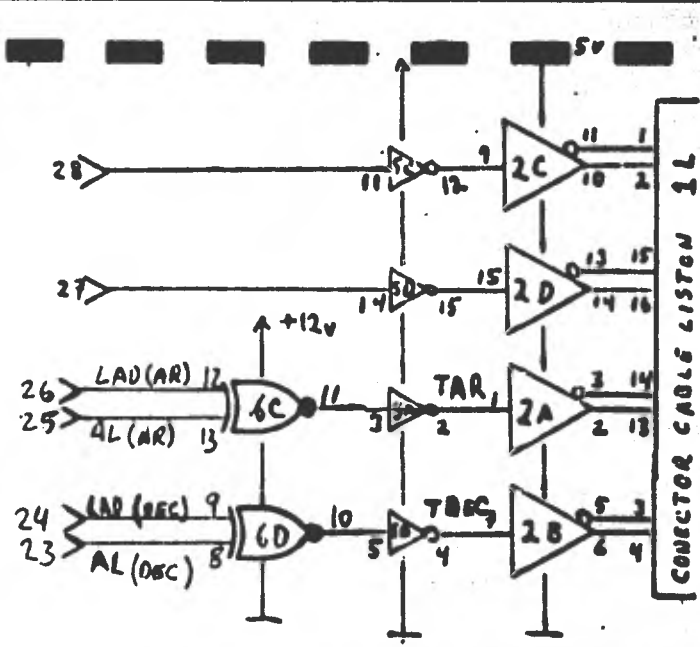
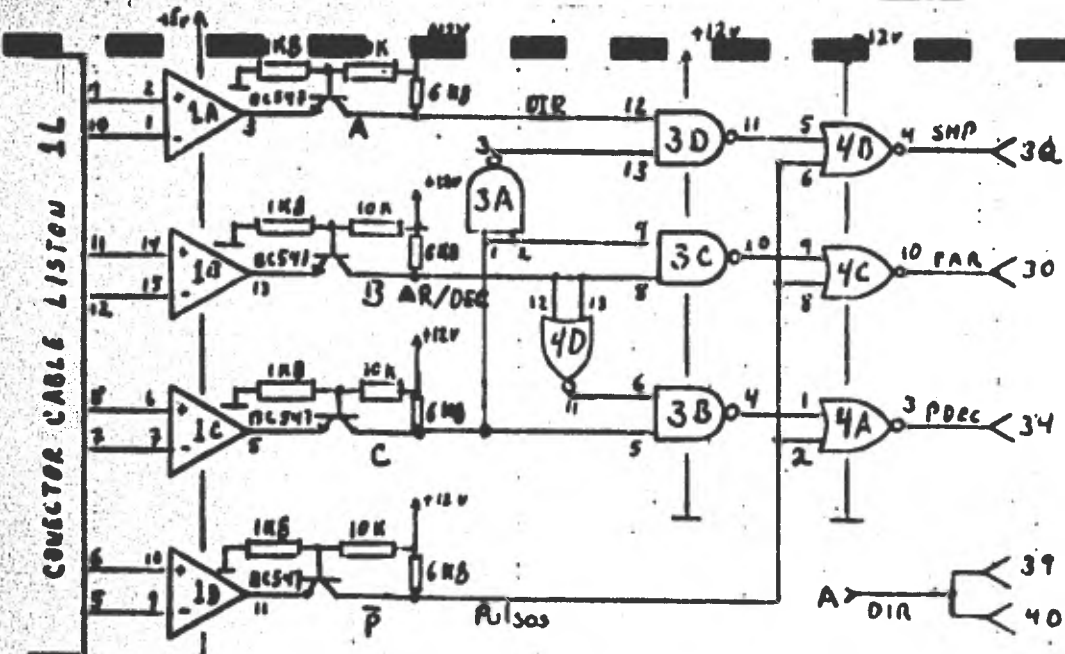
Telescopio 2.1 m

Instituto de Astronomía UNAM

Diagrama 2/2 rev D2

Lista de componentes para la tarjeta de interfase
NOVA-CONSOLA, del lado de la computadora, correspondiente a
los diagramas D1 y D2.

<u>NUM</u>	<u>Parte</u>	<u>Descripción</u>	<u>Posición</u>
1	SN74197	Contador/Registro 4 bits	6H
2	SN74197	Contador/Registro 4 bits	5H
3	SN7474	Flip Flop tipo D, doble	5K
4	SN7474	Flip Flop tipo D, doble	6K
5	SN7404	Seis buffers inversores	5J
6	SN7400	Cuatro compuertas NAND (2 ent.)	6J
7	SN7440	Dos compuertas NAND (4 ent.)	6L
8	SN7402	Cuatro compuertas NOR (2 ent.)	6M
9	SN7430	Compuerta NAND (8 ent.)	5L
10	SN7400	Cuatro compuertas NAND (2 ent.)	5M
11	SN7402	Cuatro compuertas NOR (2 ent.)	7H
12	SN7400	Cuatro compuertas NAND (2 ent.)	7J
13	MC1555	Circuito temporizador	3M
14	Am26LS32	4 Buffers receptores para línea de transmisión diferencial balanceada	9H
15	Am26LS31	4 Buffers transmisores	9F
16	Am26LS32	4 Buffers receptores	9J
17	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	10F
18	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	10H
19	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	10J
20	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	10K
21	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	11F
22	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	11H
23	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	11J
24	SN74193	Contador binario reversible 4 bits	11K
25	SN7403	4 Compuertas NAND (2 ent.) O.C.	9K



Lista de componentes

N	tipo	Descripción
1	Am26LS32K	4 buff. receptores
2	Am26LS31K	4 buff. transmisores
3	CD 4011	4 comp. NAND
4	CD 9001	4 comp. NOR
5	CD 4049	6 buff. inversores
6	CD 4077	4 comp. NXOR
7	CD 4023	3 comp. NAND ₃
8	CD 4050	6 buff.

TARJETA CONSOLA

Diagrama de interfase
NOVA - CONSOLA

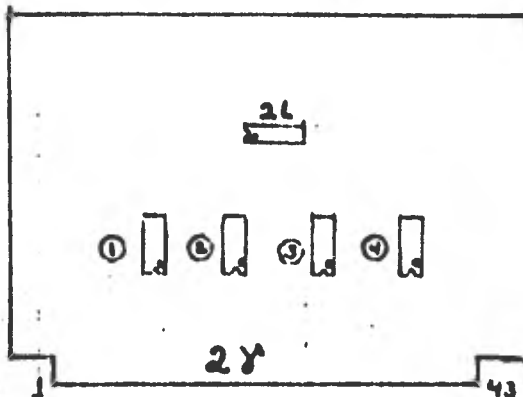
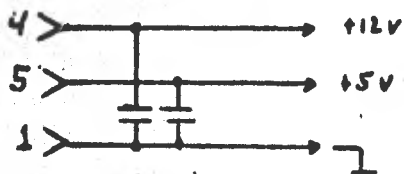
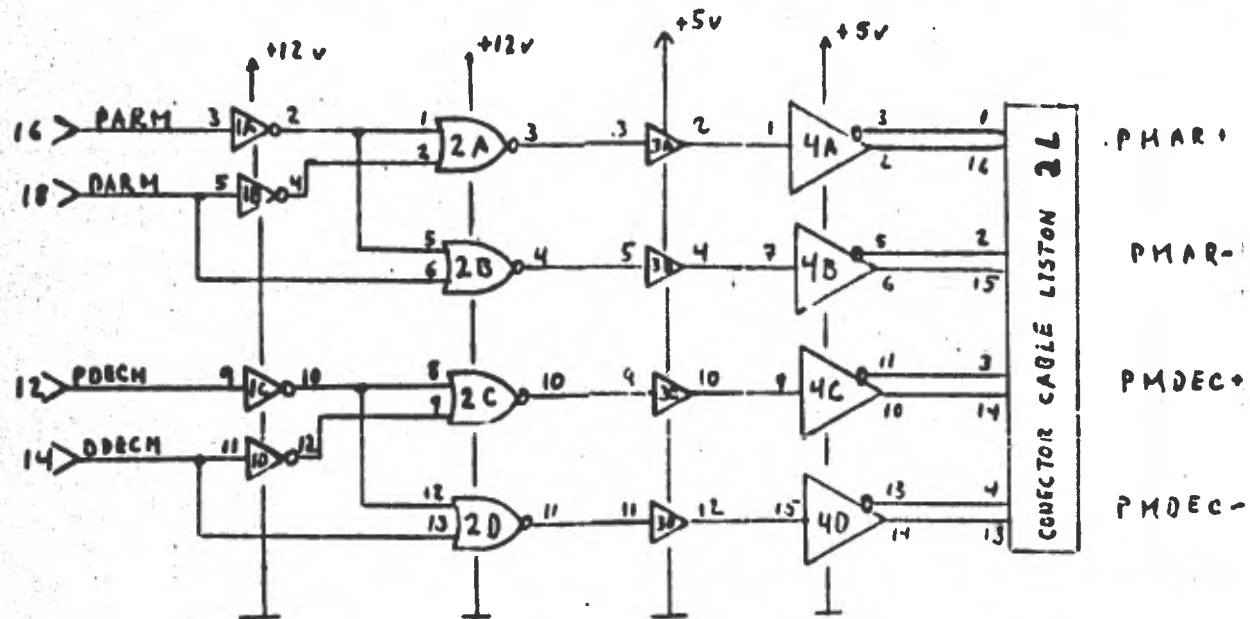
Telescopio de 2.1 m

I. de Astronomia UNAM

Tarjeta # 1/2

rev

D3



Lista de partes

U	tipo	Descripción
1	CD4009	6 buff inversores
2	CD4001	4 Nand NOR
3	CD4050	6 buff
4	Am26LS31PC	4 buff transición

TARJETA CONSOLA

Diagrama de interfase

NOVA-CONSOLA

Telescopio de 2.1 m

I. de Astronomía, UNAM

Tarjeta # 2/2

REV

D.4

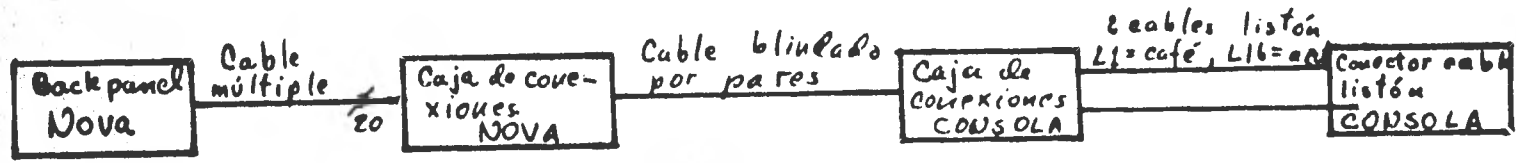


Diagrama D-5 91
 Conexiones y cableado entre la computadora y la consola.

A 47	Ne-Ba-Gr	T1-2	} Na-Ca	T1-1	1C14	1L10
A 49	Ba-Ro-Ca	T1-1		T1-2	1C16	1L9
A 57	Ba-Ne	T1-4	} Ve-Az	T1-3	1C10	1L12
A 59	Ba-Ve	T1-3		T1-4	1C12	1L11
A 61	Ba-Az	T1-6	} Na-Az	T1-5	1C13	1L7
A 63	Ba-Ro	T1-5		T1-6	1C15	1L8
A 65	Ba-Ca	T1-8	} Ba-Az	T1-7	1C9	1L5
A 67	Am-Ba-No	T1-7		T1-8	1C11	1L6
A 69	Ba-Na	T2-1	} Gr	T2-3	1C8	1L13
A 71	Az-Ba-Ne	T2-2		T2-4	1C6	1L14
A 73	Na-Ba-No	T2-3	} Na-Gr	T2-1	1C7	1L4
A 75	Am-Ba	T2-4		T2-2	2C5	1L3
A 76	Ne-Ba-Ve	T2-5	} Ve-Ba	T2-5	2C2	2L1
A 77	Ca-Ba-Na	T2-6		T2-6	2C2	2L16
A 78	Ba-Gr	T2-7	} Ca	T2-7	2C3	2L2
A 79	Ba	T2-8		T2-8	2C4	2L15
A 81	Ba-Ca-Ne	T2-9	} No-Ve	T2-9	2C5	2L3
A 83	Ba-Ro-No	T2-10		T2-10	2C6	2L14
A 84	Cu-Ba-Am	T1-9	} Ro	T1-9	2C7	2L4
A 85	Ca-Ba-Ve	T1-10		T1-10	2C8	2L13

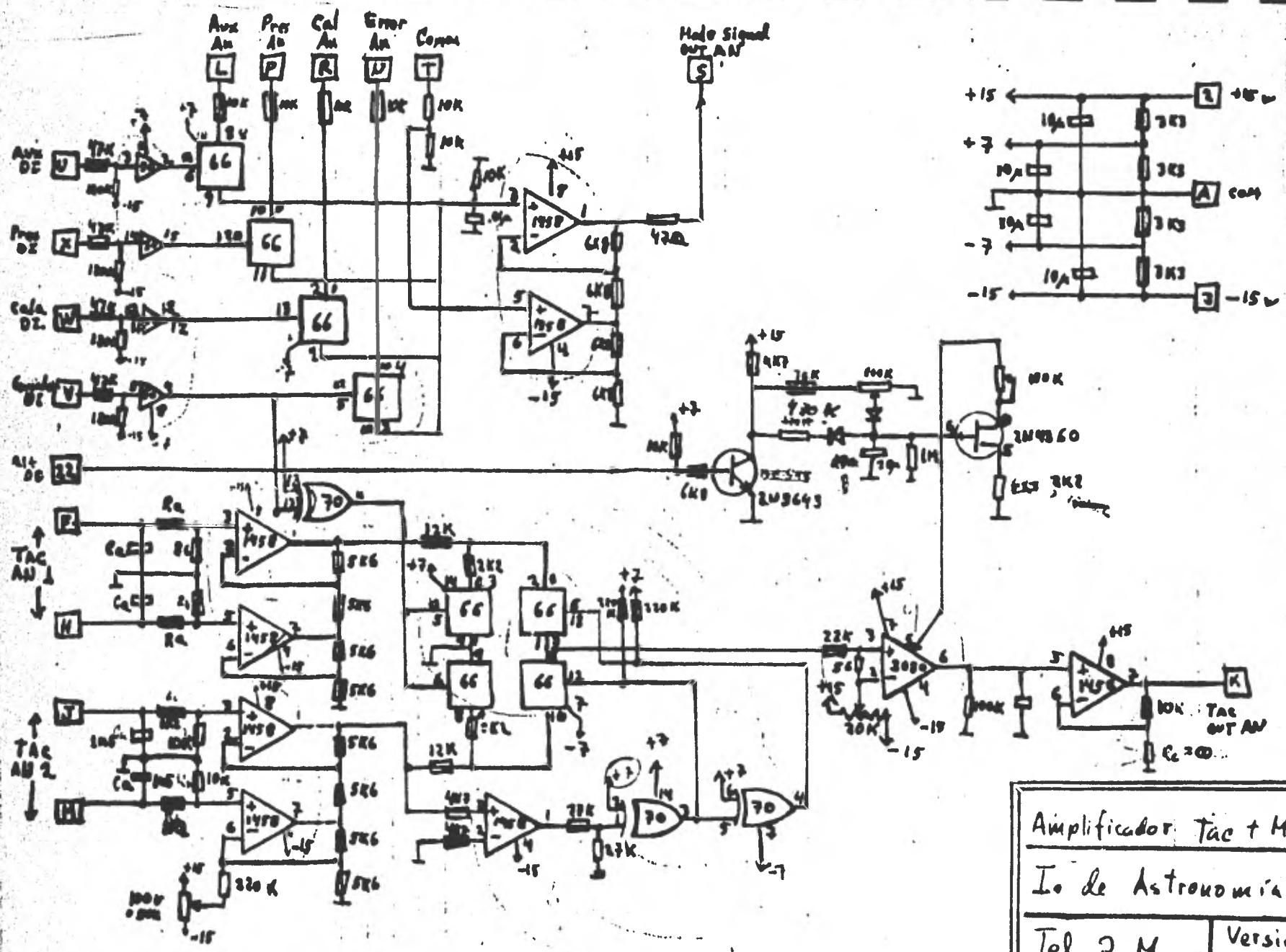
Diagrama D-6

92

Conexiones entre las tarjetas para interfase y otras tarjetas en la consola.

Señal	T. interfase*	Direcc.	T. consola
PDEC	3Y-34 (U)	→	8β-10 (OPGMSE, DEC)
PAR	3Y-30 (S)	→	5β-10 (OPGMSE, AR)
LAD(AR)	3Y-26 (P)	←	6β-17 (EP, AR)
LAD(DEC)	3Y-25 (R)	←	9β-17 (EP, DEC)
AL(AR)	3Y-24 (N)	←	6β-7 (EP, AR)
AL(DEC)	3Y-23 (I)	←	9β-7 (EP, DEC)
ALL(AR)	3Y-22 (M)	←	6β-9 (EP, AR)
ALL(DEC)	3Y-21 (H)	←	9β-9 (EP, DEC)
DIR	3Y-39 (O)	→	(8β, 5β) - L (OPGMSE, AR, DEC)
G	3Y-6 (C)	←	13α-V (AT+M, AR)
B	3Y-8 (D)	←	Tablero, botón a +12
AIE(AR)	3Y-14 (I)	→	13α-22 (AT+M, AR)
AIE(DEC)	3Y-20 (L)	→	16Y-22 (AT+M, DEC)
PARM	2Y-16 (J)	←	8β-6 (OPGMSE, AR)
PDECM	2Y-12 (G)	←	5β-6 (OPGMSE, DEC)
DAR M.	2Y-18 (K)	←	8β-11 (OPGMSE, AR)
DDECM	2Y-14 (H)	←	5β-11 (OPGMSE, DEC)

* Numeración de estas tarjetas de 0 a 44. Entre paréntesis la numeración normal de 0 a 22 y A a Z.



Amplificador TAC + Modo	
Io de Astronomia	
Tel 2 M	Version II
SPM	Nov 81
	DZ

APENDICE II

Subrutinas desarrolladas para el control del telescopio.

Las subrutinas siguientes integran la librería TEL2M,LB.

La subrutina STJD es debida a H.L. Johnson y la subrutina PRECE a M. Tapia del Instituto de Astronomía.

- 1 Subrutina RAD (AR, DEC, JN, SAR, SDEC)

Propósito: Convertir de horas y grados a radianes

Variables: AR, DEC doble precisión.

SAR, SDEC reales

JN arreglo entero de 4 elementos.

Entrada: JN(1), JN(2), SAR coordenadas AR

JN(3), JN(4), SDEC coordenadas DEC

Salida: AR y DEC en radianes.

- 2 Subrutina HOCR (AR, DEC, JN, SAR, SDE_, IRH)

Propósito: Convertir de radianes a horas y grados.

Variables: Las mismas que RAD

IRH es entero

Entrada: AR y DEC en radianes

IRH = 0 si AR $(0, 2\pi)$

IRH = 1 si AR $(-\pi, \pi)$

Salida: JN(1) JN(2), SAR, coordenadas de AR

JN(3), JN(3), SDEC, coordenadas de DEC

- 3 Subrutina: EQHOR (AH, DEC, Z, SAZ, CAZ, IER)
 Propósito: Convertir de coordenadas ecuatoriales a horizontales en la latitud de SPM.
 Variables: AH, DEC, Z, SAZ, CAZ; doble precisión.
 IER, entero.
 Entrada: AH y DEC son coordenadas ecuatoriales en radianes.
 Salida: Z es distancia cenital (rad), SAZ y CAZ son sen y cos del Azimut,
 IER = 0 \Rightarrow nada
 IER = 1 \Rightarrow Z = 0
 IER = 2 \Rightarrow Z = 80°
- 4 Subrutina: HOREQ (AH, DEC, Z, SAZ, CAZ)
 Propósito: Convertir de coordenadas horizontales a ecuatoriales, en la latitud de SPM.
 Variables: mismas que EQHOR, excepto IER.
 Entrada: Z, SAZ y CAZ
 Salida: AH y DEC.
- 5 Subrutina: STJD (ST, DJ)
 Propósito: Calcular tiempo sideral y día juliano.
 Variables: ST y DJ; doble precisión
 Entrada: Ninguna
 Salida: ST, tiempo sideral en radianes;
 DJ, día juliano.

- 6 Subrutina: PRECE (AR, DEC, T θ , T1)
 Propósito: Corregir las coordenadas de una estrella por movimiento de precesión terrestre.
 Variables: AR, DEC, T θ y T1: doble precisión.
 Entrada: AR y DEC son las coordenadas en el año T θ . T1 es el año para el cual se quieren las correcciones. AR y DEC están en radianes y T θ y T1 en años cristianos.
 Salida: AR y DEC como coordenadas corregidas en radianes.
- 7 Subrutina: POAP (Z)
 Propósito: Calcula la distancia cenital aparente de un objeto, corrigiendo por refracción, a partir de la real.
 Usa la ecuación: $Z_R = A_A + A \tan Z_A + B \tan^3 Z_A$ descrita en el capítulo III.
 Variables: Z distancia cenital en radianes, doble precisión.
 Entrada: Z real.
 Salida: Z aparente.
- 8 Subrutina: PORE (Z)
 Propósito: Calcula la distancia cenital real a partir de la aparente.
 Variables: Z, doble precisión
 Entrada: Z aparente
 Salida: Z real.

- 9 Subrutina: REDON (COR, AL1, AL2)
 Propósito: Ajusta una variable angular COR para que
 caiga en el intervalo
 $[AL1, AL2)$, donde $AL2-AL1 = 2$
 Variables: COR, AL1 y AL2, doble precisión.
 Entrada: COR
 Salida: $COR \in [AL1, AL2)$
- 10 Subrutina: GUARDA (AR, DEC, ST)
 Propósito: Guarda en disco la posición del telescopio
 en el instante ST.
 Usa el canal 1 con el archivo POSTEL.VA de DPJ.
 Variables: AR, DEC, ST en doble precisión.
- 11 Subrutina: SACA (AR, DEC, ST)
 Propósito: Lee las últimas coordenadas del telescopio
 del disco.
 Variables: Mismas que GUARDA.
- 12 Subrutina: TELM (AR, DEC, KD)
 Propósito: Mover el telescopio una distancia angular
 AR y DEC respectivamente en cada eje. La
 dirección del movimiento se especifica en
 KD. Esta subrutina llama a las subrutinas
 TELSET, YA y ESPER, y todas ellas están des-
 critas en el capítulo II, por lo que no se
 describen más aquí.

Variabes: AR y DEC doble precisión KD, arreglo entero de 2 elementos.

Entrada: AR y DEC magnitud del desplazamiento angular en radianes.

KD (1) es la dirección de movimiento para AR y KD (2) para DEC.

KD = 1 desplazamiento negativo

KD = β desplazamiento positivo

Salida: La subrutina regresa el control al programa principal, cuando el último tren de pulsos para frenado, ha sido enviada.

13 Subrutina LEMAN (NAR, NDEC)

Propósito: Leer el número de pulsos usados por control manual para mover el telescopio, y cerrar los contadores.

Variabes: NAR y NDEC son enteros.

Salida: NAR y NDEC dan el número de pulsos.

BIBLIOGRAFIA

1. Ruiz, E., Reséndiz G., Iriarte A.
Reporte Técnico # 3,
Instituto de Astronomía, UNAM.
Consola de Control para el Telescopio de
2.12 m., San Pedro Mártir, B.C.
2. Pimentel, J., Sierra, J.
Reporte Técnico
Centro de Instrumentos, UNAM.
Sistema de Potencia,
Telescopio 2 m, San Pedro Mártir, B.C.
3. How to use the NOVA Computers
Data Gen. Corp. Southboro, Massachusetts,
1974 15-000009-08
4. How to mantain the NOVA,
Data Gen. Corp. 1969.
5. Woolard, and Clemence,
Spherical Astronomy
Academic Press, N.Y. and London, 1966.

6. Chavunet, William
A Manual of Spherical and Practical Astronomy.
Dover Pub. N.Y. 1960.
7. Smithsonian Astrophysical Observatory
Star Catalog.
Washington D.C. 1966.
8. The American Ephemeris and Nautical Almanac for 1979.
Washington D.C. 1977.
9. General Purpose Int. Board for Data General NOVA 1200
M.D.B. Systems Inc.
Technical Description.
10. Goreva, G.I.
New Techniques in Astronomy
Ed. por Hector C. Ingrao
Gordon and Breach Science Publ.
N.Y. Lond. Paris, 1973.
11. Fortran IV User's Manual
Data Genral Corp. 1973.
93-000053-06.

12. R.D.O.S. User's Manual
Data General Corp. 1975.
93-00007

13. Andoyer, H.
Cours d'astronomie
Fac. des Sciences de Paris 1906.

14. Rhodes W. Fairbridge
The Enciclopedia of Atmospheric Sciences.
Reinhold Pub. Corp. 1967.

15. Anuario del Obs. Ast. Nac. para 1980
Inst. de Ast. de la UNAM.
México, 1980.

16. Extented Assembler
Data General Corp.
093-000040.