

Un sistema de guiado para el telescopio de 150 cm del Observatorio Astronómico Nacional

M.H. PEDRAYES, S. ZAZUETA, J. VALDEZ, O. HARRIS AND J. BOHIGAS
Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 877, 22860 Ensenada, B.C., México

Recibido el 8 de mayo de 1992; aceptado el 6 de octubre de 1992

RESUMEN. Se describe el diseño mecánico, electrónico y óptico de un sistema de guiado excéntrico, construido para el telescopio de 150 cm del Observatorio Astronómico Nacional. Las pruebas astronómicas realizadas para caracterizar el guiador demostraron que el sistema presenta un alto nivel de confiabilidad. También se encontró que la sensibilidad de la cámara incorporada al sistema es insuficiente para resolver todas las situaciones que pudieran presentarse, y se concluye la conveniencia de sustituirla.

ABSTRACT. The mechanical, electronic and optical design of an offset guider built for the 150 cm telescope of the Observatorio Astronómico Nacional is described. Astronomical tests realized in order to characterize the guider, revealed a high confidence level for the system. The camera attached to the system is not sensitive enough to tackle all possible situations, and we conclude it is convenient to replace it.

PACS: 06.70.Td; 07.10.+i; 95.55.-n

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el telescopio de 150 cm del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) ha sido sujeto a una serie de mejoras. En 1982 el viejo espejo de aluminio fue cambiado por uno de Cervit. Entre 1990 y 1991 se hicieron modificaciones importantes en la mecánica —entre ellas se cambió el eje y el engrane de declinación— y se instaló una nueva consola que controla el telescopio a través de una computadora personal [1,2]. Una parte importante del proyecto es el diseño e instalación de un sistema de guiado fuera de eje, o guiador excéntrico.

En la práctica un telescopio difícilmente se mantiene durante largos intervalos de tiempo en la posición del objeto que se ha seleccionado para observar. Esto puede ser debido a varias razones; tensión mecánica de la estructura del telescopio, alineación imprecisa de sus ejes, oscilaciones debidas al viento, tasa imprecisa de su movimiento de guiado, refracción atmosférica, etc. Es por ello necesario vigilar y corregir periódicamente la posición del telescopio con respecto al objeto que se está observando, ya sea de manera directa a través del ocular del instrumento o mediante un instrumento dedicado, un guiador excéntrico.

El principio básico sobre el cual trabaja un guiador excéntrico consiste en capturar la imagen de una estrella situada fuera del eje óptico, llamada estrella de guiado, al tiempo que la imagen del objeto de estudio se forma en el eje óptico y sobre el instrumento que se utiliza para la investigación, ya sea un fotómetro, un espectrógrafo o una cámara.

Manteniendo en una posición fija la estrella de guiado, de manera automática o de forma manual en un monitor, se tiene la certeza de que la posición del telescopio con respecto al objeto de estudio no ha variado. Un telescopio con guiador excéntrico reporta las siguientes ventajas:

- 1) El observador no tiene que realizar el guiado con el ocular del instrumento, sino en un cuarto tibio separado de la cúpula. Con ello aísla el área del telescopio, y disminuye la turbulencia en cúpula mejorando la calidad de la imagen y aumenta la seguridad del equipo y el personal.
- 2) En el peor de los casos el guiado se lleva a cabo a través del monitor del guiador. En condiciones óptimas el guiador se comunica directamente con la consola del telescopio para corregir periódica y automáticamente la posición del telescopio, y el observador se desentiende íntegramente del problema de guiado. En cualquiera de los dos casos mejora la calidad del guiado.
- 3) Por las razones anteriores mejora drásticamente la calidad de las observaciones.
- 4) Permite hacer observaciones de imagen directa, ya que en este caso el instrumento no cuenta con ocular.
- 5) Aumenta la eficiencia del trabajo, al hacer más descansada la labor del observador que además puede dedicarse a otras tareas.
- 6) Dado que la cámara del guiador es un detector optoelectrónico bidimensional, es posible evaluar a lo largo de la noche la calidad de la imagen.

Cabe apuntar que la cámara dedicada al guiador no necesariamente alcanza a ver objetos más débiles que el ojo humano. Sus principales ventajas son su capacidad integradora, la posibilidad de realizar un análisis numérico de la imagen y de comunicar sus resultados a otros dispositivos electrónicos, amén de sustituir al ojo humano en un ambiente hostil, y corregir automáticamente la posición del telescopio.

En este trabajo presentamos el diseño y las características del guiador excéntrico para el telescopio de 150 cm del OAN, construido en las instalaciones del Instituto de Astronomía de la UNAM en Ensenada, B.C. En la Sección 2 se discute el diseño óptico y las restricciones que las características ópticas del telescopio y su instrumentación asociada impusieron al diseño mecánico. La Sección 3 está dedicada al diseño mecánico del guiador. La programación y el diseño electrónico se discuten en la Sección 4. En la Sección 5 presentamos las características de la cámara empleada por el guiador. La interfaz al usuario se discute en la Sección 6. La caracterización astronómica del instrumento y las conclusiones se presentan en la Sección 7.

2. CONSIDERACIONES ÓPTICAS

2.1. Acoplamiento al telescopio

El principal problema óptico que se debe resolver para acoplar un guiador al telescopio, es que el guiador y el instrumento de observación estén en foco simultáneamente. Ello

TABLA I. Características del telescopio de 150 cm.

Platina a Imagen	Distancia Focal	Escala de Placa
250 mm	18,933 mm	10.89"/mm
300 mm	19,174 mm	10.76"/mm
350 mm	19,416 mm	10.62"/mm
383 mm	19,575 mm	10.54"/mm
400 mm	19,658 mm	10.49"/mm
450 mm	19,899 mm	10.37"/mm
500 mm	20,141 mm	10.24"/mm

TABLA II. Instrumentación asociada al telescopio de 150 cm.

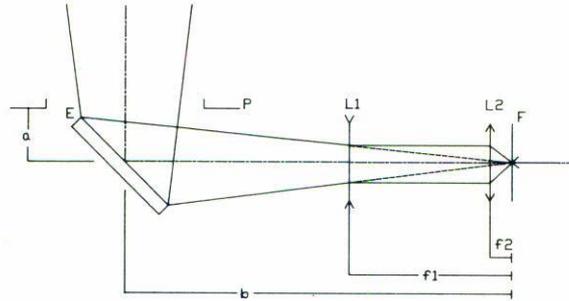
Instrumento	Cubeta	Foco
Fotómetro Strömrgren	193.0 mm	442.0 mm
Cuenta Pulsos I	152.4 mm	288.8 mm
Cuenta Pulsos II	152.4 mm	300.0 mm
Fotómetro Francés	260.2 mm	335.3 mm

determina el rango de distancias de enfoque del guiador, y en consecuencia establece una primera restricción dimensional al diseño del mismo. Para abordar este problema es necesario considerar tanto las características del telescopio como las de los instrumentos utilizados.

El telescopio de 150 cm es tipo Ritchie-Cretien con relación focal $F/13.5$. En la Tabla I se dan los parámetros relevantes al diseño [2]. De éstos el más importante es la distancia de la platina al foco. Hay que comparar este parámetro con las distancias de la platina a la posición de la imagen de entrada a cada uno de los instrumentos que se usan con este telescopio, las cuales se presentan en la Tabla II. El promedio de las distancias de enfoque nos da una posición media de la cámara, y la diferencia entre este promedio y los valores extremos el rango de desplazamiento de la misma. Como se puede ver de la Tabla II, es posible hacer foco simultáneo con todos los instrumentos si permitimos que la cámara se desplace 170 mm. Sin embargo, esto multiplica las dimensiones del guiador más de lo deseable, puesto que es conveniente minimizar su longitud a lo largo del eje focal para reducir esfuerzos estructurales del telescopio y dar cabida a posibles nuevos instrumentos. Esta dificultad puede ser evitada tomando en cuenta que las cubetas de los instrumentos, cuyas dimensiones están anotadas en la Tabla II, pueden ser redimensionadas e incluso eliminadas. El compromiso óptimo es permitir un desplazamiento de hasta 110 mm para la cámara y una longitud de 177 mm para el guiador.

2.2. Sistema óptico para la cámara

La mayor parte de las estrellas son de bajo brillo. Con el objeto de poder encontrar estrellas adecuadas para guiar es deseable concentrar su luz en el menor número posible de píxeles del detector. La escala de placa del telescopio no es adecuada para ello, razón por la cual se diseñó un sistema reductor con reducción 1:6.2 (véase Figura 1). Para esta reducción el plano focal del telescopio coincide con el plano focal del reductor, de tal manera que se puede quitar este último para tener la imagen directa del telescopio sin necesidad de cambiar el foco. Por último, las dos lentes L1 y L2 están montadas sobre un barril que permite cambiar la separación entre ellas y con ello el factor de reducción, que va entre 5.6 y 7.8.



P = platina
 E = espejo plano
 F = foco del telescopio y posición del CCD
 L1 = colimador
 L2 = objetivo
 a = 60mm
 b = 320 + 120
 f1 = -160mm
 f2 = +25mm

FIGURA 1. Reductor focal.

3. DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico tiene que considerar que el guiador realice, dentro de una estructura rígidamente acoplada al telescopio y perfectamente alineada a sus ejes, los siguientes movimientos: dos movimientos para identificación de campo, uno para cada uno de los ejes que definen el plano del cielo (ascensión recta y declinación), otro para poner en foco la cámara del guiador una vez que está en foco el instrumento asociado al telescopio, y un cuarto que desplaza longitudinalmente el espejo para interceptar o dejar pasar el haz que va a dar al instrumento. Asimismo, el guiador debe ser suficientemente ligero y compacto para minimizar los esfuerzos y torcas generadas por su acoplamiento al telescopio.

Para minimizar las deformaciones se usaron materiales con alta eficiencia estructural en lo que se refiere a dureza y rigidez. Ello permitió que los elementos estructurales tuvieran una sección delgada, lo que redundó en un mejor comportamiento en relación a deformaciones térmicas debidas a variaciones en la temperatura ambiente, normalmente comprendida entre $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Restricciones ópticas y astronómicas determinaron el diseño del guiador. Por una parte es necesario asegurar que, dentro del rango óptimo de distancias focales del telescopio, el guiador y el instrumento estén ambos en foco. También se desea que la extensión del campo cubierto por el guiador sea tal que siempre podamos encontrar estrellas más brillantes que cierto límite. En la práctica esto significa que la longitud del guiador no exceda 177 mm, y que el haz del secundario vaya a dar a un espejo plano orientado a 45° con respecto al eje focal, de tamaño proyectado igual a 100×150 mm. Es por ello que la distancia de la celda del telescopio al plano del espejo es de 60 mm. Para asegurar que el detector esté alineado con respecto al cielo se tiene la libertad de girar libremente la cámara.

En las Figs. 2 y 3 se presentan vistas globales del guiador. Como se puede ver de las figuras mismas el instrumento se compone de una carcasa sobre la que descansa el espejo

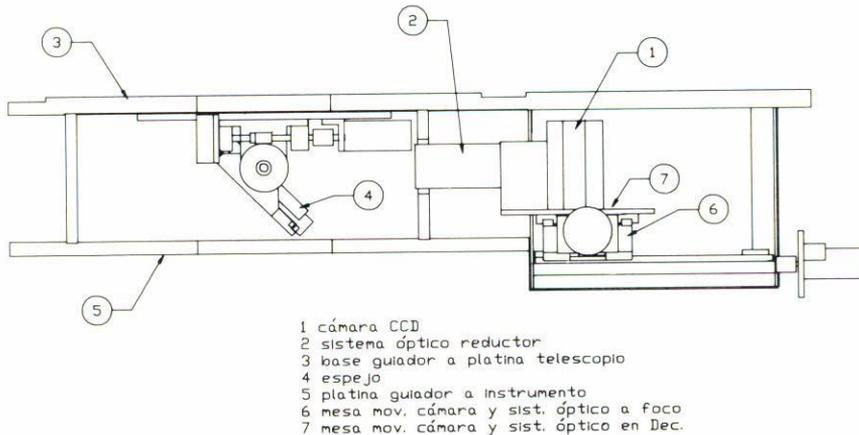


FIGURA 2. Vista lateral del guiador.

y mecanismos que lo hacen girar o desplazar linealmente (ascensión recta e intercepción del haz, respectivamente). Sobre esta carcasa se fija el instrumento que se empleará en la observación. También en la carcasa se fija la estructura que soporta la cámara y un par de mecanismos para desplazamiento en los ejes de declinación y foco. El peso del sistema es de 67 Kg.

3.1. Ascensión recta y declinación

El barrido para cubrir el campo se logra a través de dos movimientos controlados correspondientes a cada uno de los ejes. El barrido sobre el eje de declinación se logra mediante un movimiento lineal y paralelo a platina (Figs. 4 y 5); lo efectúa el sistema óptico a través de una mesa movida por un tornillo con tuerca embalada y dos juegos de guías embaladas que se deslizan sobre rieles. El tornillo está directamente acoplado al motor y al codificador. Dos chumaceras permiten el giro del tornillo. Sus características se apuntan en la Tabla III.

Dada la distancia de la celda del telescopio al plano del espejo es imposible que el movimiento correspondiente a ascensión recta también sea lineal, y se recurrió a uno de giro del espejo por su parte media (Figs. 6 y 7). La carrera de 100 mm a lo largo de este eje corresponde a un giro de ± 4.065 grados. Este giro no preserva el foco. A giro máximo la posición del foco se desplaza 0.27 mm hacia adelante, por lo que hay que corregir la posición del foco con el mecanismo de enfoque. El giro se realiza a través de un tornillo sinfín engranado al eje que soporta al espejo. Dicho eje descansa sobre dos chumaceras, cada una con un juego de baleros precargados para evitar el movimiento axial del espejo. El motor y el codificador están acoplados directamente al eje del tornillo sinfín. El engrane presenta precarga al tornillo sinfín para evitar juego entre los dientes de los engranes. Todo el mecanismo de giro está fijo a una base independiente a la carcasa

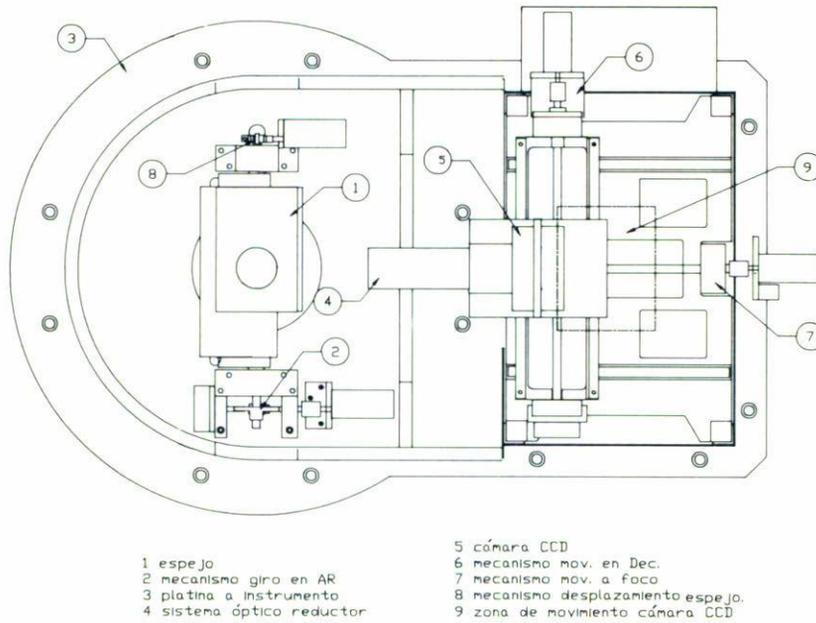


FIGURA 3. Vista superior del guiador.

- 1 cámara CCD
2 sistema óptico reductor
3 codificador mov. lineal en eje de declinación
4 motor mov. a foco
5 mesa para mov. a foco de la cámara CCD
6 guías para mov. en eje declinación

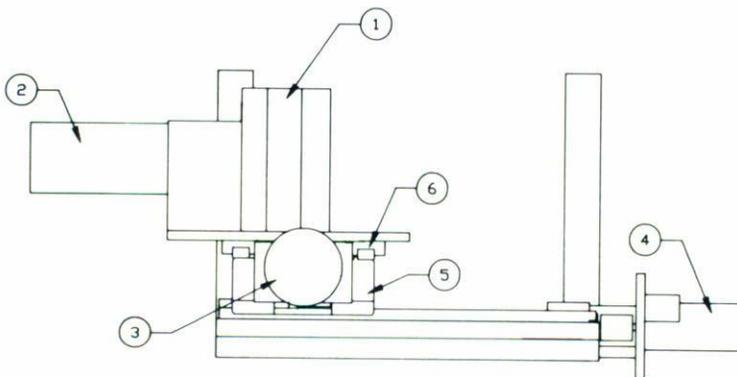


FIGURA 4. Vista lateral de los mecanismos de declinación y enfoque.

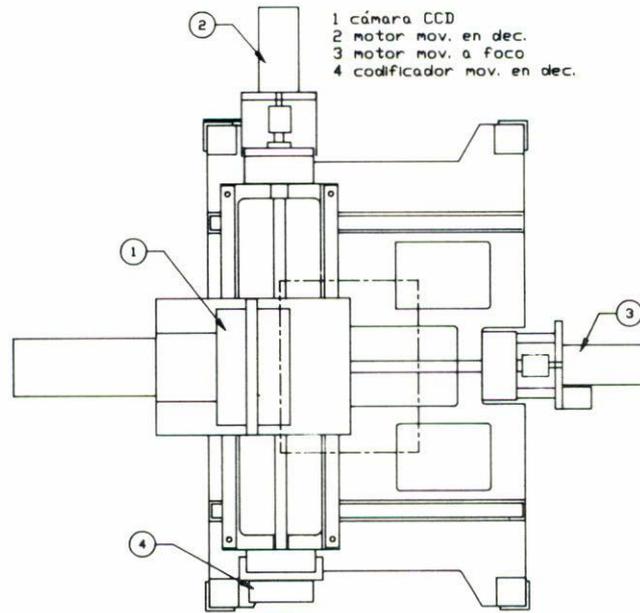


FIGURA 5. Vista superior de los mecanismos de declinación y enfoque.

con el propósito de aislar al mecanismo de los esfuerzos y flexiones que pudiera sufrir la carcasa por el peso del instrumento que soporta. Esto permite alinear este mecanismo con respecto al eje óptico del instrumento. Sus características están dadas en la Tabla IV.

3.2. Foco

El enfoque se realiza moviendo la mesa que contiene al mecanismo de movimiento en declinación (Figs. 4 y 5). Es desplazada por un tornillo con tuerca embalada y dos juegos de guías embaladas que se deslizan sobre rieles. El motor está directamente acoplado al tornillo, y a través de un juego de engranes a un potenciómetro que codifica su posición. Sus características están dadas en la Tabla V. La distancia del plano del espejo al plano focal de la cámara va de 340 a 460 mm. La base sobre la que descansan el mecanismo de declinación y foco permite su alineación con el eje óptico.

3.3. Intercepción del haz

El movimiento para interceptar o dejar pasar el haz que va al instrumento se realiza mediante una cremallera fija a la montura del espejo y un engrane acoplado directamente al motor (Figs. 6 y 7). El mecanismo tiene dos interruptores límite que determinan la posición del espejo. El movimiento tiene un desplazamiento fijo de 80 mm.

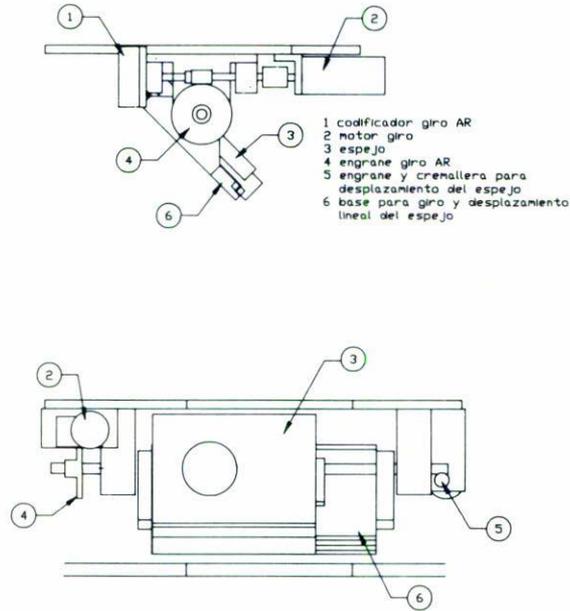


FIGURA 6. Vista lateral de los mecanismos de ascensión recta y desplazamiento del espejo.

4. DISEÑO ELECTRÓNICO

Se plantearon dos objetivos de diseño para el guiador: uno, desarrollar un instrumento autónomo que reciba comandos de una terminal o computadora a través de un puerto serie RS-232 y, dos, preferenciar el uso de la programación sobre la circuitería en la medida en que con ello se reducen las componentes del sistema y así aumenta su confiabilidad.

En la Fig. 8 se presenta un diagrama de bloques del sistema electrónico de control que consta de las siguientes componentes:

- 1) Computadora de una tarjeta basada en un microcontrolador 8052 de Intel, modelo BCC52 con 16 Kb de ROM, 8 Kb de Ram y ducto Z8 especificado por Micromint. Esta recibe los comandos de una terminal o computadora.
- 2) Tarjeta de interfaz T628 para control de motores (Fig. 9), insertable en el ducto Z8 del microcontrolador, que efectúa los movimientos comandados por la BCC52.
- 3) Etapa de amplificadores de potencia para los motores que mueven la cámara en ascensión recta, declinación y foco, y el espejo lateralmente.
- 4) Varios tipos de sensores de posición; codificadores incrementales, potenciómetros y microinterruptores.

Los movimientos de posicionamiento de la cámara se realizan con motores de corriente directa, y usan tres tipos de lazo de control:

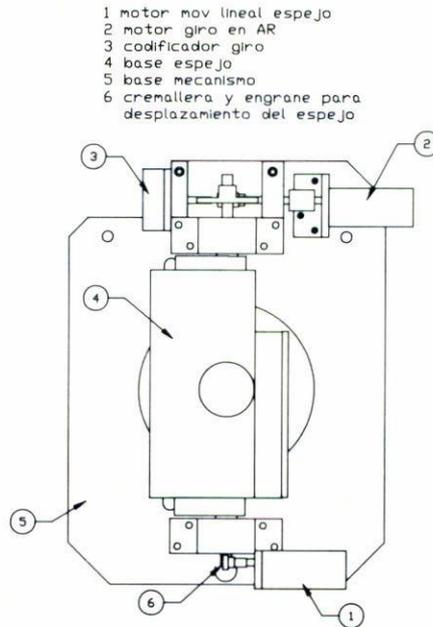


FIGURA 7. Vista inferior de los mecanismos de ascensión recta y desplazamiento del espejo.

avance total:	170 mm
avance lineal por vuelta:	4 mm
exactitud sin motor:	0.012 mm
juego axial sin motor:	0.005 mm
velocidad lineal máxima para identificación de campo:	1.875 mm/s
tiempo para cubrir el campo:	80 s a 25 rpm
torca máxima requerida:	25 din mm

razón de velocidad:	9.33
rango del giro:	± 4.065 de grado sin juego axial o angular (backlash)
tiempo para cubrir el campo:	30 s a 25 rpm
torca máxima requerida:	170.5 din mm

avance total:	140 mm
avance lineal por vuelta:	4mm
exactitud:	± 0.012 mm
juego axial:	0.005 mm
error acumulado:	0.020 mm
tiempo para cubrir el campo:	64 s a 25 rpm
torca máxima requerida:	50 din mm

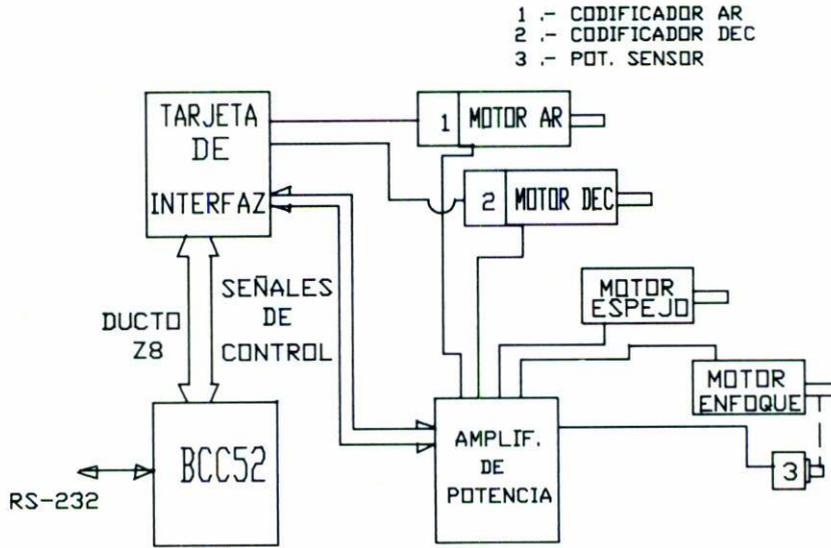


FIGURA 8. Diagrama de bloques del sistema de control.

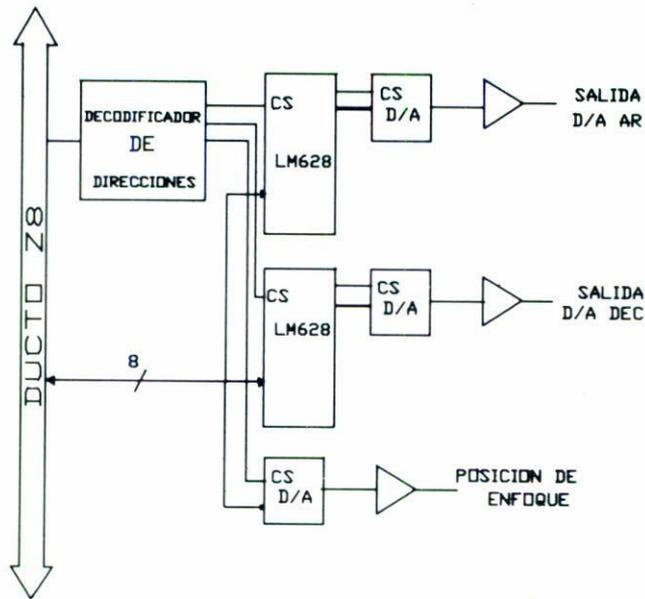


FIGURA 9. Interfaz T628.

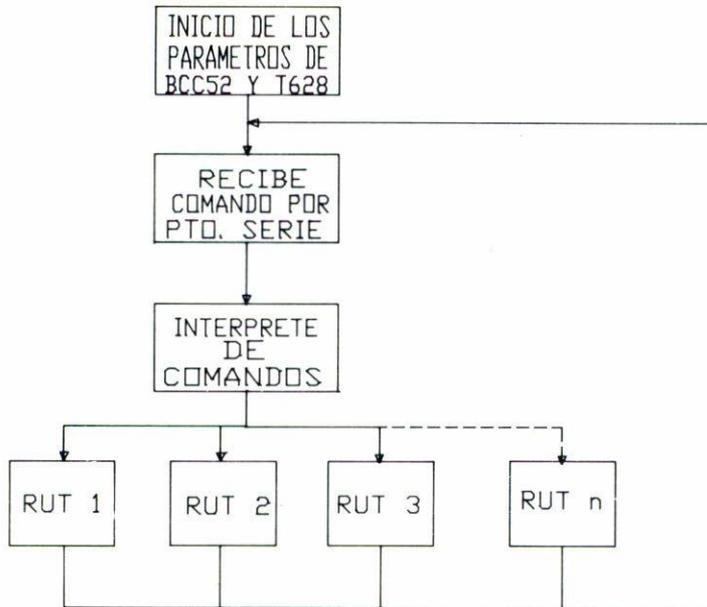


FIGURA 10. Diagrama de bloques del programa de control.

- 1) Para posicionar la cámara en ascensión recta y declinación a través de movimientos muy finos, se usa un controlador digital de motores dedicado (LM628) con retroalimentación de codificadores incrementales. La resolución de estos movimientos es de $2.25''/\text{pulso}$ en el eje de rotación y $1\mu/\text{pulso}$ en el eje lineal. El primero de ellos desplaza el guiador en la dirección de ascensión recta y el segundo en declinación.
- 2) El movimiento de enfoque es más grueso, y se lleva a cabo con un lazo de posición analógico retroalimentado por un potenciómetro de precisión. La posición del foco se regula con un convertidor digital/analógico.
- 3) El movimiento lateral del espejo se controla con un *bit* del puerto del microcontrolador, y es sensado con microinterruptores.

El programa residente en la tarjeta BCC52 se realizó en ensamblador. El diagrama de bloques de este programa se muestra en la Fig. 10. Las rutinas RUT 1 hasta RUT N realizan principalmente dos funciones: movimientos de los motores y reporte de las variables de interés. Para una descripción más detallada véase Zazueta [4].

5. SISTEMA CCD

La cámara que se utiliza es un detector tipo CCD [4]. Las principales características del detector y la cámara se detallan en la Tabla VI. El control del instrumento se realiza a través de un sistema independiente con un convertidor analógico-digital de 12 bits y un

TABLA VI. Características del sistema CCD según fabricante.

Detector		Cámara	
Formato:	165 × 192 pixeles	Enfriado termoelectrico:	-30°C a temperatura ambiente de 20°C
Pixeles:	16 × 13.5 micras	Ruido de lectura:	< 80 e- a 35 KHz
Area activa:	2.64 × 2.64 mm	Rango dinámico:	> 68 dB
Eficiencia cuántica:	50% a 6500 Å	Cociente señal a ruido:	> 56 dB
Corriente oscura:	< 60 e-/seg/pixel a -37°C	Diámetro:	10.16 cm
		Longitud:	5.59 cm
		Peso:	700 g

programa dirigido hacia al usuario más inexperto. Tiene salida de video y el tiempo de integración va de 0.01 a 4000 segundos. El sistema de control se puede comunicar a la paleta del telescopio, o al puerto serie o paralelo de una computadora personal.

La operación de guiado del telescopio se puede realizar de tres maneras, aunque cabe apuntar que las dos últimas están en vías de ser implementadas:

- 1) Manualmente a través de la paleta, vigilando que no cambie la posición de la estrella de guiado que se despliega cada determinado número de segundos en el monitor a través de alguna de las opciones de exposición.
- 2) Un primer modo de guiado automático (autoguiado), dejando que el sistema de control de la cámara calcule las variaciones del centroide de la imagen (señales de error) y haga las correcciones necesarias enviando pulsos directamente a la paleta del telescopio. Esta opción puede efectuarse para tiempos de integración inferiores a 1 segundo. Es decir, es aplicable cuando en el campo que cubre el guiador hay al menos una estrella suficientemente brillante.
- 3) Segundo modo de autoguiado, en el que el sistema de control de la cámara envía las señales de error a la consola que controla el telescopio, para que esta traduzca estas señales en pulsos que van directamente a los motores. En este caso el tiempo de integración máximo es de 10 segundos.

6. INTERFAZ AL USUARIO

La interfaz al usuario se realiza a través de un programa para una computadora tipo PC/AT, con una unidad CD-ROM. La programación se realizó en el lenguaje C++, con el compilador Zortech versión 3.0. Se usó una biblioteca (ZINC) para generar la interfaz gráfica al usuario. Con esta interfaz gráfica se pretende minimizar el aprendizaje de comandos por parte del usuario. Las opciones del menú se seleccionan a través del ratón y el teclado se utiliza sólo cuando es necesario transmitir información extensa. Los comandos del usuario se traducen a los lenguajes de comando de los instrumentos con los que se comunica el programa, el propio guiador y la consola del telescopio. Es decir, desde este programa es posible mover ambos instrumentos.

TABLA VII. Caracterización astronómica del guiador.

Escala de placa:	10.69"/mm
Campo cubierto:	$\pm 532.8''$ en AR y +1065.6 a -532.8 en DEC
Escala de movimientos:	12.388 pulsos/" en AR y 92.731 pulsos/" en DEC
Precisión:	$\pm 15''$ para desplazamiento máximo
Reductor focal:	1:5.6
Escala de placa en la cámara con reductor focal:	0.828"/pixel en AR y 0.954"/pixel en DEC
Magnitud límite con reductor focal:	13 para un tiempo de exposición de 10 segundos

El programa maneja dos catálogos:

- a) Catálogo para el telescopio, en el que se almacenan las posiciones de los objetos que se van a observar. El catálogo es un archivo ASCII con formato fijo compatible con el de la consola del telescopio, y lo edita el usuario.
- b) Catálogo para el guiador. Este es el *Guide Star Catalog* del Hubble Space Telescope. Está escrito en dos discos ópticos y contiene más de 18 millones de fuentes astronómicas, de las que más de 15 millones han sido clasificadas como estrellas [5,6,7,8]. Este catálogo es prácticamente transparente para el usuario, pues el programa busca las estrellas más brillantes situadas alrededor del objeto que se va a observar y contenidas en el campo del guiador. El usuario selecciona la que considere más conveniente. Una vez hecho esto, el guiador se desplaza automáticamente a la estrella de guiado. A partir de aquí el control del guiado pasa al sistema CCD.

7. CARACTERIZACIÓN ASTRONÓMICA Y CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas con el guiador durante su instalación permitieron caracterizarlo desde el punto de vista astronómico. Sus características se resumen en la Tabla VII. Destaca de manera positiva la alta resolución angular del instrumento, que es de 12.388 y 92.731 pulsos por segundo de arco en ascensión recta y declinación, respectivamente. Esta resolución significa que el máximo error esperado al mover el guiador de un extremo al otro del campo es de $15''$, mucho menor que el campo visible de la cámara, que es aproximadamente igual a $160''$. Con un tiempo de exposición de 10 segundos, igual al tiempo máximo de exposición para la segunda opción de autoguiado, el telescopio situado a un ángulo horario de 3 horas 30 minutos y declinación cercana a 12 grados y una señal con un FWHM de 4 píxeles, se encontró una magnitud límite aproximadamente igual a 13. El campo total cubierto por el guiador es de 1065 y 1600 segundos de arco en ascensión recta y declinación, respectivamente.

La instalación de este sistema de guiado en el telescopio de 150 cm del OAN deberá redundar en un mejor aprovechamiento de este instrumento. Dadas las características ópticas del telescopio era necesario diseñar un instrumento relativamente compacto. Esto fue posible gracias a que en los últimos años han habido avances tecnológicos que han

permitido reducir el tamaño y peso de las cámaras CCD sin sacrificar mayormente su calidad. Asimismo, al realizar el movimiento de barrido en ascensión recta a través de un giro, se pudo obtener un diseño más compacto para el guiador, reduciendo así sus esfuerzos mecánicos y mejorando su confiabilidad. El diseño modular, tanto en lo que se refiere a la mecánica como a la electrónica, facilita las labores de mantenimiento así como posibles mejoras futuras a algunos de los componentes del guiador. La interfaz del usuario se considera adecuada, pero está abierta a las mejorías que se vayan sugiriendo a través de su uso. La principal limitación encontrada fue la magnitud límite alcanzada. En la mayor parte de las zonas del cielo se espera encontrar estrellas más brillantes que esta magnitud, pero pueden existir regiones del cielo, como el polo galáctico o extensas zonas de formación estelar, en donde las estrellas más brillantes estén por debajo de este límite. Es claro que una de las mejoras más deseables del guiador consiste en incrementar su sensibilidad. Se está contemplando añadir un intensificador a la cámara actual o bien adquirir una nueva cámara CCD intensificada.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo prestado por los otros integrantes del grupo técnico de Ensenada fue invaluable. La administración resolvió con gran presteza todas las situaciones urgentes que se nos fueron presentando. Finalmente, la paciencia y calidad del trabajo secretarial de Renée Papritz es apreciado.

REFERENCIAS

1. S. Zazueta, R. Ibarra, Reporte Técnico No. 81, Instituto de Astronomía, UNAM (1991).
2. R. Ibarra, S. Zazueta, Reporte Técnico, Instituto de Astronomía, UNAM (1991) (en prensa).
3. R. Noble, (1987), comunicación personal.
4. S. Zazueta, Reporte Técnico, Instituto de Astronomía, UNAM (1992) (en prensa).
5. S. McCarthur, "Lynxx/Lynxx Plus. CCD Digital Imaging System. User's Manual" (1991).
6. H. Jenkner, B.M. Lasker, C.R. Sturch, B.J. Mclean, M.M. Shara, J.L. Russell, *Astron. J.* 99 (1990) 2081.
7. B.M. Lasker, C.R. Sturch, B.J. Mclean, J.L. Russell, H. Jenkner, M.M. Shara, *Astron. J.* 99 (1990) 2019.
8. J.B. Russell, B.M. Lasker, B.J. Mclean, C.R. Sturch, H. Jenkner, *Astron. J.* 99 (1990) 2059.