

## Control para el telescopio de Cananea, Sonora

J. PEDRAZA CHÁVEZ, M. ROCHA PÉREZ

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)  
Apartados postales 51 y 216, 72000 Puebla, Pue., México*

Y

C. CHAVARRÍA KLEINHENN

*INAOE e Instituto de Astronomía  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Apartado postal 70-264, 04510 México, D.F., México*

Recibido el 13 de enero de 1992; aceptado el 18 de junio de 1992

RESUMEN. Se desarrolla una consola de mandos para el telescopio de 2.15 m de Cananea, Son., basada en una PC 386 y una tarjeta de control. Para facilitar el desarrollo del programa de control se implementa un kernel que permite dividirlo en procesos y máquinas de estados, optimizando así el tiempo de ejecución y permitiendo a otros programas de aplicación ejecutarse en forma concurrente. El sistema tiene una organización modular, flexible y de fácil mantenimiento.

ABSTRACT. The control console at the Cananea, Sonora, Mexico, 2.15 m telescope was replaced. The new console is based on a 80386 personal computer and a control card. A kernel was implemented to partition the control program into general modules. This allows optimum run-time and for other programs to be run concurrently.

PACS: 06.70.Td; 95.55.Br

### 1. INTRODUCCIÓN

El INAOE cuenta con un telescopio de 2.15 m que está ubicado en la localidad de Cananea, Sonora, el cual se controlaba desde una consola de mandos que, aunque funcionaba de manera satisfactoria [6], carecía de algunas características deseables y que son ahora implementadas en la nueva consola desarrollada. Su diseño se basa en una PC-386 y una tarjeta de control de propósito general, se realiza además un cambio de motores, fuentes de alimentación, amplificadores y la programación necesaria.

Las características que se desea tenga el nuevo control son, básicamente:

- Ejecutar de manera concurrente el programa de control con otras aplicaciones. Éstas pueden ser programas comerciales y deberán poder compartir los recursos de la PC-386.
- Estar basado en un diseño modular que nos permita el manejo de otros instrumentos como parte del control.
- Proveer al usuario con una interfaz amigable que le permita realizar las funciones normalmente asociadas al control del telescopio como:
  - Mostrar, calcular y modificar la información relevante (coordenadas, contadores de tiempo, etc).

TABLA I. Principales características del telescopio de 2.15 m de Cananea Sonora.

1. Tipo	Ritchey-Chretien [9] F/12
2. Diámetro del espejo primario	2.15 m
3. Tipo de montura	Ecuatorial
4. Peso del eje de declinación	~ 17 toneladas
5. Relación de engranes en el eje de Declinación (DEC)	3600:1
6. Peso del eje de ángulo horario	~ 35 toneladas
7. Relación de engranes en el eje de ángulo horario (AH)	6000:1
8. Distancia cenital DZ máxima	75°
9. Velocidad máxima de movimiento en ambos ejes	1°/seg
10. Par a aplicar en el eje AH	~ 264 oz-in
11. Par a aplicar en el eje DEC.	~ 158.4 oz-in

TABLA II. Rango de velocidad requerido en los motores.

1. Velocidad máxima del motor AH	1000 rpm
2. Velocidad máxima del motor DEC.	600 rpm
3. Velocidad de guía	4.1780746 rpm
4. Velocidad mínima (3"/s) (para corrección en la guía)	< 1 rpm

- Calcular las correcciones por refracción atmosférica y por flexiones en la horquilla.
- Dar comandos de movimiento, leer archivos de coordenadas de trabajo, editar y validar coordenadas, etc.
- Medidas de protección como limitar la velocidad máxima de movimiento de manera gradual y automática, límites de posición, mostrar gráficamente la corriente que consumen los motores y no iniciar un movimiento que intente llevar al telescopio a una posición peligrosa.

## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TELESCOPIO A CONTROLAR

La Tabla I resume de manera simplificada las principales características del telescopio.

La característica 8 impone límites de movimiento sobre la distancia cenital y no sobre las coordenadas AH, DEC; esto se debe principalmente al tipo de celda del espejo primario. Las características 10 y 11 son el resultado de mediciones realizadas en el control anterior. El diseño mecánico del telescopio fija las características 5, 7 y 9. No hay juego mecánico entre la corona y el sinfín en ambos ejes.

De la Tabla I se determina el rango de velocidad requerido para los motores, resumido en la Tabla II.

Los motores seleccionados son PMI-JR16M4CH de C.D. con una  $K_T = 52.8$  oz-in/amp, un par máximo de 490 oz-in y un codificador integral de posición con una resolución de 900 pulsos/revolución. Este codificador genera dos señales en cuadratura, con las cuales

puede determinarse en todo momento la posición de cada eje [4]. La resolución resultante en la posición es  $1/250$  s para AH y  $1/10''$  para DEC.

### 3. PARÁMETROS A CONTROLAR

Para la montura ecuatorial, usada en este telescopio, las coordenadas de una estrella están dadas por el par [AH, DEC], las cuales varían con el tiempo. Una forma alternativa es por medio del par de coordenadas ascensión recta, declinación [AR, DEC], las cuales varían lentamente con el tiempo y se relacionan con las coordenadas [AH, DEC] por medio de la ecuación

$$AR = AH - HSL, \quad (1)$$

donde HSL es la hora sideral local. HSL puede calcularse a partir de la Hora Sideral Media Universal (HSMU), la longitud del observatorio y una corrección tabulada. HSMU se relaciona con la hora universal HU mediante la ecuación [1]

$$HSMU = k_0 + k_1HU + k_2HU^2 + k_3HU^3, \quad (2)$$

donde  $k_i$  son constantes. En nuestro caso despreciamos los términos de segundo y tercer orden, la corrección y usamos el Tiempo Universal Coordinado (UTC) en vez de HU, obteniendo valores aceptables de HSL para un intervalo de tiempo de varios años.

De acuerdo a lo anterior, el control debe mantener actualizados los valores para UTC y HSL para lograr una buena precisión en la coordenada de AR.

Una vez que el telescopio apunta a una estrella, se requiere mover el eje de AH a una velocidad  $V_G = 15.0410686395''/s$  para mantener AR constante. Esto sin considerar errores debidos a la refracción atmosférica, flexiones de la horquilla, etc. Este tipo particular de movimiento se le conoce como *guía*. El control debe, por tanto, realizar varios tipos de movimiento que caen dentro de alguno de los siguientes tipos:

— *Guía*. Mover el telescopio a la velocidad  $V_G$ . Una cuestión importante es que la velocidad de guía debe ser muy uniforme.

— *Movimientos manuales*. Para mover de un modo manual las coordenadas AH, DEC a una velocidad preseleccionada. Los movimientos manuales deben poder superponerse a la guía y ser ejecutados desde la PC o desde unos botones auxiliares (*handset*).

— *Posicionamientos*. Se deben implementar tres tipos de ellos; posicionar en una coordenada [AH, DEC]; posicionar en una coordenada [AR, DEC] quedando en el estado *guiando*; movimientos independientes en AH y en DEC, pudiendo ser simultáneos.

### 4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL CONTROL

Existen varios esquemas que pueden usarse para implementar el control del telescopio con sus respectivas ventajas y desventajas [5]. Los elementos elegidos para implementar el control y su integración se muestran en forma simplificada en la Fig. 1.

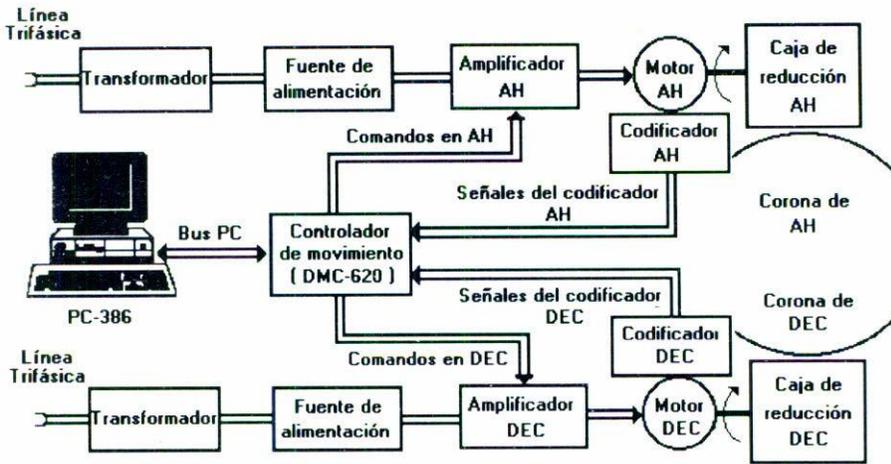


FIGURA 1. Sistema de control para el telescopio.

El controlador de movimiento es una tarjeta comercial (DMC-620) la cual posee un conjunto de instrucciones que facilitan la implementación de los diferentes tipos de movimiento que se requieren. Se conecta directamente al *bus* de la PC a través de una ranura de expansión. Cuando se desea realizar un movimiento, el programa de control que se ejecuta en la PC, envía comandos a la DMC-620 que genera el perfil de velocidad requerido y produce señales proporcionales a la corriente a aplicar a los motores en AH y/o en DEC. Estas señales son acondicionadas por el amplificador de potencia para mover el motor correspondiente.

La tarjeta DMC-620 utiliza para la compensación del lazo de control un filtro digital que no requiere retroalimentación de velocidad. El lazo de posición se cierra usando los codificadores de posición integrados a los motores. La PC muestra estas coordenadas al usuario interrogando a la DMC-620 sobre ésta y otra información importante. Como se indica en la figura, el eje del motor se acopla directamente a la caja de reducción.

El transformador se conecta a una línea de alimentación trifásica, siendo su principal función la de aislar la fuente de alimentación de la línea, y la de convertir el voltaje de entrada a un nivel conveniente. La tierra de todos los elementos queda definida por la tierra de la PC. La fuente de alimentación simplemente rectifica el voltaje que le entrega el transformador y lo filtra con un banco de capacitores [8]. Este voltaje es el que alimenta los amplificadores de potencia.

## 5. PROGRAMACIÓN

Elegidos los componentes, es necesario desarrollar la programación para implementar los comandos de movimiento, la interfaz al usuario, calcular las correcciones, etc. Existen dos maneras básicas de organizar la programación: una es desarrollar un programa dedicado exclusivamente al control, que consuma todo el tiempo de la PC y basado en una técnica de "polling" [10]. Otra, como varios módulos que cooperan entre sí para realizar el control,

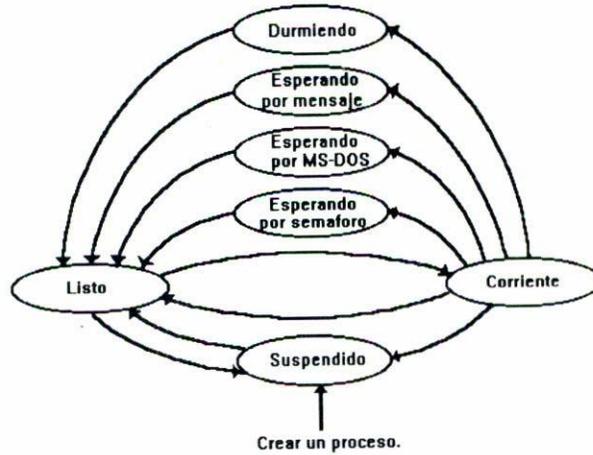


FIGURA 2. Diagrama de transiciones para procesos en el kernel.

cada uno con funciones específicas y que se ejecutan dependiendo de su prioridad. Elegimos esta última por cumplir con los requerimientos planteados en la Sec. 1.

Para poder manejar y compartir los recursos de la PC, así como para particionar el programa de control en módulos (procesos), se requiere desarrollar programación adicional que nos facilite el trabajo. Tal es el objetivo de escribir el kernel y el subkernel. Para el kernel los programas son vistos como procesos que compiten por los recursos de la máquina (como el tiempo del procesador, vectores de interrupción, MS-DOS, etc.). Varios procesos pueden cooperar entre sí para el mismo fin formando así una tarea. La tarea a implementar es la de controlar el telescopio.

Para la implementación del kernel se toma como base al kernel XINU [3] haciéndole algunas mejoras [11]. La Fig. 2 muestra el kernel desarrollado con sus estados y posibles transiciones para los procesos.

Una característica más del kernel es la inclusión de un subkernel, en el cual se puede instalar cualquier proceso que requiera un tiempo de respuesta muy corto y que cumpla con las siguientes condiciones: realizar un trabajo de manera periódica e ininterrumpida; no hacer llamadas al BIOS o al MS-DOS; y no escribir a pantalla por iniciativa propia.

El subkernel cede el control a sus procesos mediante un criterio de tiempo. Un proceso del subkernel funciona de manera similar a una interrupción desplazando al proceso del kernel que está en el estado "corriente", se ejecuta completamente y regresa el control al proceso que desplazó. A nivel de subkernel, su proceso *NULO* es el kernel junto con todos sus procesos como se muestra en la Fig. 3. El subkernel puede tener como mínimo sólo a su proceso *NULO*, pudiendo instalarse más procesos si estos son requeridos. La implementación del kernel y el subkernel se hace completamente en lenguaje ensamblador para optimizar el tiempo de ejecución y tener un código pequeño (7 KByte aprox.).

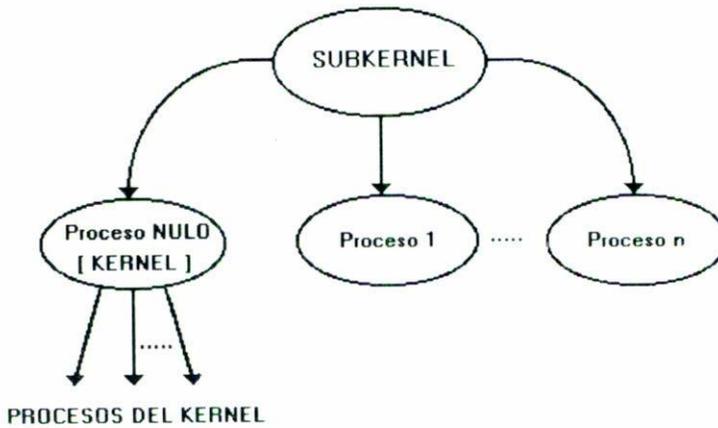


FIGURA 3. Procesos del subkernel.

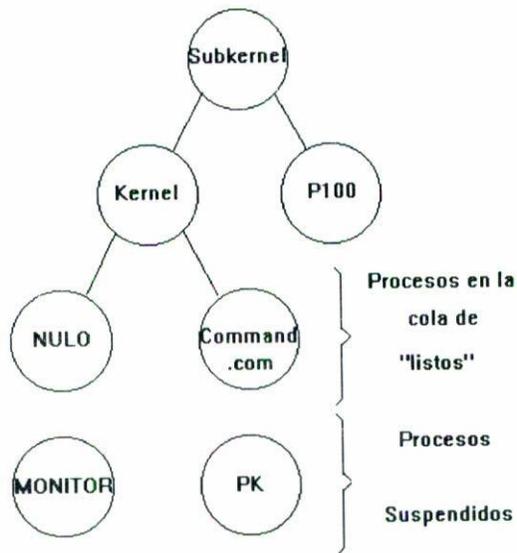


FIGURA 4. Configuración de los procesos después de instalar el control.

## 6. PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control es un programa residente constituido por tres procesos y tres máquinas de estados finitos (MEF). La configuración de los procesos es mostrada en la Fig. 4.

A nivel de subkernel se tiene solamente al proceso P100 y a su proceso *NULO* (el kernel). El subkernel cede el control a P100 cada décima de segundo. Cuando P100 se ha ejecutado completamente cede el control voluntariamente al proceso *NULO* del subkernel.

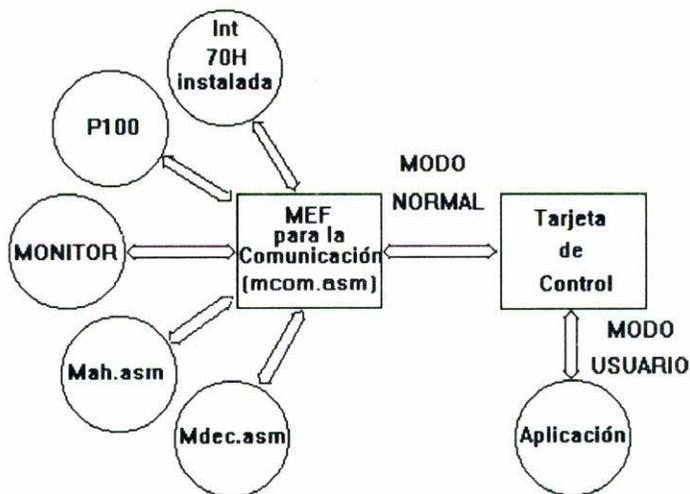


FIGURA 5. Procesos que atiende la MEF de comunicación.

Por su parte el kernel inicia teniendo al COMMAND.COM y a su proceso *NULO* en la cola de “listos”. Los procesos MONITOR y PK inician en el estado “suspendido”. Las funciones de cada uno de ellos es la siguiente:

*Proceso P100.* Encargado de mantener actualizada en pantalla la información importante para el usuario. Además tiene a su cargo funciones de supervisión y el sensado de los botones para movimientos manuales al OESTE-ESTE, NORTE-SUR alternos al teclado de la PC.

*Proceso MONITOR.* Realiza la interfaz con el usuario para poder enviar comandos de movimiento, modificar y visualizar variables, etc. Se escribe completamente en lenguaje C para aprovechar las ventajas de un lenguaje de alto nivel. Pasa del estado “suspendido” al “listo” cuando se presionan las teclas {ALT-ENTER}. La transición inversa se hace cuando dentro del MONITOR se presiona {F10}.

*Proceso de tiempo constante PK.* Calcula los errores en el posicionamiento del telescopio por flexiones en la horquilla y por refracción atmosférica, además del cálculo de otras variables de interés como la distancia cenital y la velocidad máxima. Este proceso se hace “listo” una vez por segundo, determina si hay necesidad de actualizar estas variables y correcciones, y de ser así, se ejecuta consumiendo un máximo del 10% del tiempo del CPU. De otra forma, regresa al estado “suspendido”.

Las máquinas de estados finitos se instalan a nivel de subkernel y se ejecutan vía interrupción 70H la cual se genera a razón de 1024 Hz. Las funciones de cada una de ellas es como sigue.

*MEF para la comunicación (mcom.asm).* Se encarga de servir a los procesos y demás máquinas de estados que requieran enviar comandos a la DMC-620 y de pasarles las respuestas de los comandos enviados. La Fig. 5 muestra la relación de ésta MEF con los demás módulos del programa.

*MEF de ángulo horario.* Se compone de dos partes: una escrita en ensamblador

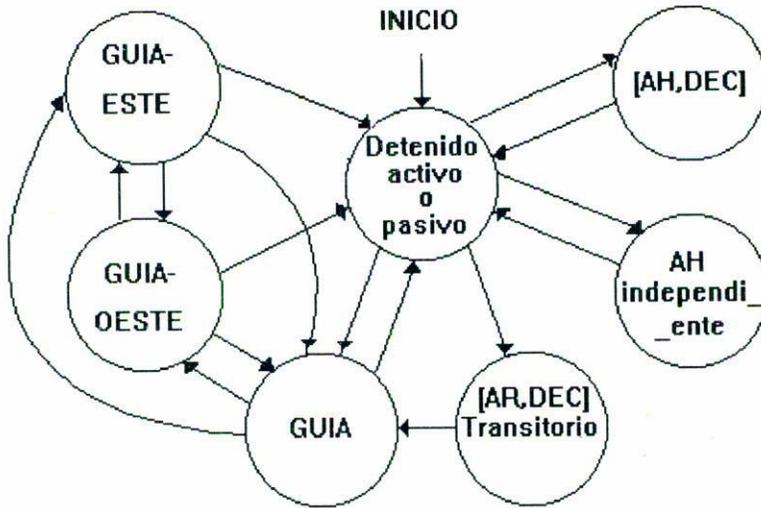


FIGURA 6. Estados posibles para la MEF de ángulo horario.

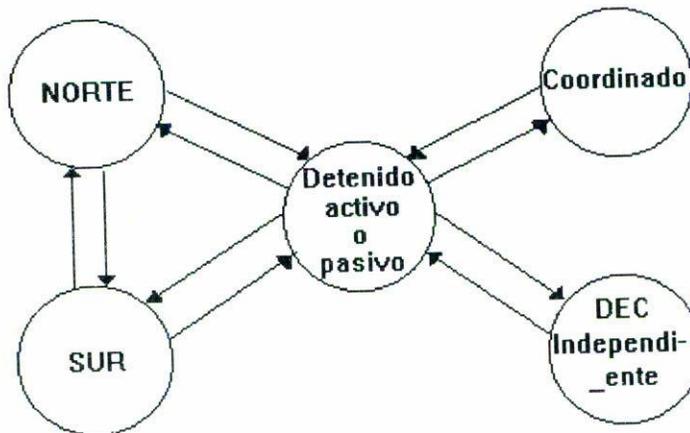


FIGURA 7. Estados posibles para la MEF de declinación.

(*mah.asm*) que se encarga de supervisar los movimientos en el eje de ángulo horario, producir la parte fraccionaria de  $V_G$  y los movimientos coordinados en ambos ejes, y otra parte escrita en instrucciones de la DMC-620, cargada y ejecutada en ella. Los movimientos que se implementan y sus transiciones se muestran en la Fig. 6.

*MEF de declinación (mdec.asm)*. Encargada de supervisar los movimientos en el eje de declinación. Los movimientos que se pueden realizar y sus transiciones se muestran en la Fig. 7.

## 7. RESULTADOS

Este control fue desarrollado y simulado completamente en el INAOE. Posteriormente se hizo su traslado al observatorio de Cananea, Sonora, donde se desconectó la antigua consola, se ensambló la nueva, se hizo un cambio de motores, se sintonizaron los lazos de posición y se ajustaron los límites de corriente de los amplificadores para finalmente proceder a realizar pruebas. Se puso de manifiesto que resulta difícil sintonizar los lazos de posición, en parte porque el telescopio no está bien balanceado y la longitud de los cables desde los amplificadores hasta los motores es muy grande.

Las pruebas en el apuntado y la toma de imágenes mostraron que en un posicionamiento el objeto a observar siempre cae dentro del campo de observación ( $6 \times 10$  minutos de arco), aunque no siempre en el centro debido a que hay que mejorar la orientación del telescopio al polo y a que el programa de control, aunque calcula los errores debidos a refracción atmosférica y flexiones de la horquilla, no los corrige. Sin embargo, esta precisión es suficiente para permitir al usuario trabajar sin problemas.

## 8. CONCLUSIONES

El control desarrollado cumple con los objetivos planteados inicialmente (Sec. 1). Su característica de modularidad y de procesamiento concurrente nos permite integrar otros instrumentos periféricos al telescopio. Los primeros serán el control automático del movimiento de la cúpula, el mecanismo de enfoque y el espectrógrafo. Una versión posterior del programa de control incluirá algunas características nuevas como la corrección del apuntado con los errores calculados y una base de datos de estrellas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alejandro Cornejo R. por sus valiosos comentarios y sugerencias en la redacción del texto.

## REFERENCIAS

1. U.S. Naval Observatory, Royal Greenwich Observatory, *The Astronomical Almanac for the year 1992*. U.S. Government Printing Office (1991).
2. A.E. Roy, D. Clarke, *Astronomy, Principles and practice*. Adam Hilger Ltd., Bristol (1982).
3. D. Comer, *Operating system design. The XINU approach*. Prentice Hall, New Jersey (1983).
4. J. Tal, *Motion Control Applications*. Galil Motion Control (1989).
5. M. Trueblood, R. Genet, *Microcomputer control of telescopes*. Willman-Bell, Inc. (1985).
6. J. Pedraza Chávez, "Reemplazo del control del telescopio de 2.1 de Cananea", Reporte de trabajo, Tonantzintla Pue. (1990).
7. Galil Motion Control Inc., *DMC-600 Series, User Manual*.
8. Galil Motion Control Inc., *PSS Series, User Manual*.
9. G. Walker, *Astronomical Observations, An optical perspective*. Cambridge University Press, (1987).
10. N.A. Alexandridis, *Microprocessor System Design Concepts*. Computer Science Press, Inc. (1984).
11. M. Rocha P., "Control para el telescopio de 2.1 m". Tesis de Maestría. Tonantzintla, Puebla (1991).