

## EL SISTEMA CCD DE TONANTZINTLA. PRUEBAS Y PLANES FUTUROS

O. Cardona<sup>1</sup>, E. Chavira<sup>1</sup>, I. Furenlid<sup>2</sup> y B. Iriarte<sup>1</sup>1. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.  
2. Georgia State University, Atlanta, Georgia USA.

**RESUMEN.** Se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio del sistema de detección recientemente adquirido por el INAOE, también los alcances teóricos esperados con este instrumento, además del comportamiento en observaciones directas con el telescopio de un metro de la UNAM. Este sistema cuenta con un detector CCD TI 4849 con  $390 \times 584$  elementos fotosensibles, también se presentan los planes futuros de su uso con el nuevo telescopio de 2.1 m en Cananea, Sonora.

**ABSTRACT.** We present results of the laboratory tests of the CCD camera system recently acquired by INAOE, also the theoretical and observational performance of the instrument with the one meter telescope of UNAM. The system has a TI 4849 CCD with  $390 \times 584$  pixels. We will present the future plans of its use in the new 2.1 m telescope at Cananea, Sonora.

**Key words:** INSTRUMENTS — DETECTORS

## I. INTRODUCCION

Los detectores CCD se han usado en Astronomía desde los años 70's mostrando una buena eficiencia cuántica de detección y también una estabilidad geométrica buena (Elliot, 1980, Gary and Latham, 1981). Con la terminación del telescopio de 2.1 M. en Cananea, Sonora del INAOE es necesario complementar la infraestructura instrumental ya existente con un detector eficiente. Se decidió entonces comprar el sistema CCD de la Compañía Photometrics que aquí se describe.

1) Características del Sistema

El sistema CCD de detección del INAOE (Fig.1) consta de un detector CCD modelo 4849 de Texas Instruments con un formato de  $390 \times 584$  elementos sensibles (Pixel) rectangulares de  $22\mu\text{m}$  por lado, iluminado por el frente con fase virtual. El detector está en un criostato que lo mantiene a una temperatura de  $150^\circ\text{C}$ . El tamaño del arreglo de fotodiodos es de aproximadamen

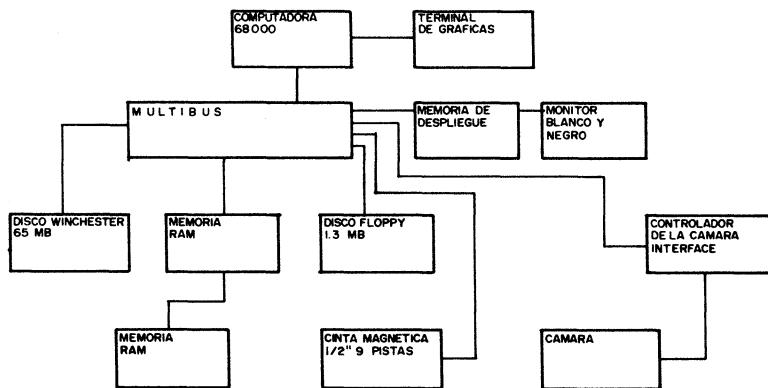


Fig. 1. Sistema CCD Tonantzintla.

te 8.4 x 12.7 mm; de un módulo electrónico de interface del controlador al criostato con el que se puede controlar la temperatura del detector. Además de un controlador de la cámara el cual maneja el CCD manualmente o por comandos de la computadora y una micro computadora con 5 MB multibus, disco Winchester de 65 MB, terminal de gráficas, monitor blanco y negro, unidad de cinta magnética de 9 pistas y unidad de discos blandos de 8".

## II. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se comprobó el funcionamiento de la computadora y sus periféricos con sus propios programas de diagnóstico. Los pulsos que se mandan al CCD se verificaron con osciloscopio y se encontraron limpios. Se probó el criostato con un ciclo térmico después de haber producido un vacío de aproximadamente  $10^{-5}$  Tors. El CCD tiene dos pixeles defectuosos, uno con poca consecuencia visible (cerca de la orilla) en la fila 150 y columna 10, y otro más obvio en la fila 168 y columna 101. Estos pixeles defectuosos generan usualmente una línea brillante. Estos pixeles no son importantes para espectroscopia ya que se pone la banda del espectro sobre el CCD fuera de los defectuosos. Para imágenes directas las líneas brillantes serán invisibles solo si se les elimina con algoritmos de computadora.

Las pruebas con niveles altos de luz con un patrón de pruebas ópticas, con un promedio de 84000 fotoelectrones por pixel, correspondiendo a una razón de la señal contra el ruido de 290, mostraron una imagen en el monitor de una calidad en concordancia con la señal/ruido, haciendo lo mismo pero con bajos niveles de luz y un promedio de 63 fotoelectrones por pixel y una señal contra ruido de 3.5 suponiendo un ruido de lectura de 16 fotoelectrones. La imagen resultante estaba de acuerdo a la señal/ruido y los pixeles malos se mostraron muy claramente. Esta prueba muestra la buena calidad del CCD, considerando que la iluminación fue de 90 fotones por pixel, de los cuales 63 se registraron.

Para estudiar la eficiencia de transferencia de carga en el CCD se obtuvo una imagen débil y la corriente oscura se le sustrajo, la imagen resultante era uniforme libre de defectos visibles debidos a la transferencia de carga. Para comprobar los niveles de una exposición muy alta se obtuvo una imagen de alto contraste, la parte más oscura de la imagen contenía cerca de 16000 fotoelectrones por pixel y la más brillante alrededor de 375000. La imagen apareció muy clara sin derrame de los pixeles con alto nivel.

El voltaje de fondo se encontró alrededor de 350 unidades A/D (analógico digitales) con un valor RMS 1.8.

La linealidad se verificó con un conjunto de exposiciones del mismo objeto, incrementando el tiempo de exposición en pasos de un factor de dos. El resultado se muestra en la figura 2,

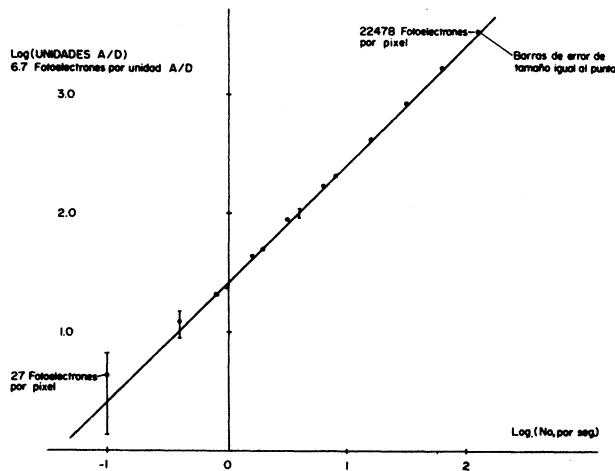


Fig. 2. Prueba de linealidad. Niveles moderados de luz.

donde el número de unidades A/D se grafica con respecto al tiempo. Ambas cantidades se dan en escala logarítmica para mostrar el gran rango usado. El punto más bajo tenía una exposición de solo 4 unidades A/D (27 fotoelectrones) y el más alto 3342 unidades A/D o cerca de 22500 fotoelectrones. Como se puede ver en la figura donde se han insertado barras de error para algunos puntos, no hay indicación de desviación de la linealidad sobre el rango estudiado. Para niveles altos de luz, arriba de aproximadamente 40000 fotoelectrones, una pequeña falta de linealidad está presente (Figura 3). Cuando se requiere alta precisión fotométrica esta falta de linealidad debe de corregirse. De las pruebas de niveles altos de luz obtuvimos también cantidades para el ruido de lectura y de la ganancia del sistema siendo éstos de 16.5 fotoelectrones y de 6.7 fotoelectrones por unidad A/D respectivamente.

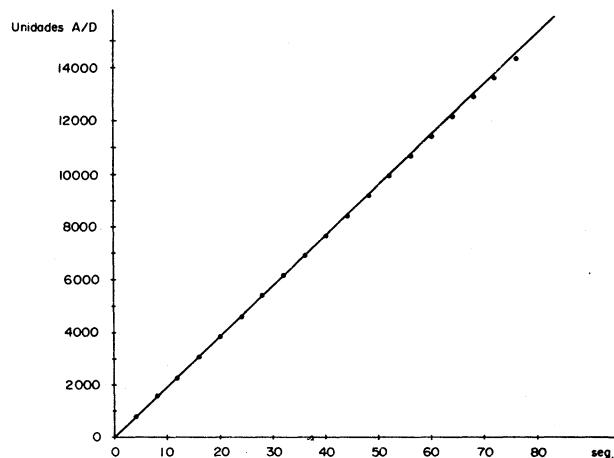


Fig. 3. Prueba de linealidad. Niveles altos de luz.

### III. COMPORTAMIENTO EN OBSERVACIONES DIRECTAS

Estimamos el desempeño del CCD como cámara directa en el foco cassegrain del telescopio de un metro en Tonantzintla de la siguiente forma. Como base para la estimación usamos la suposición estándar que recibimos  $10^3$  fotones/seg/cm $^2$   $\text{\AA}$  de una estrella de magnitud cero (magnitud V), medida afuera de la atmósfera de la tierra, además supusimos un tiempo de integración de 1800 segundos; una área efectiva del telescopio de  $7 \times 10^3$  cm $^2$ ; una extinción atmosférica de 0.7; una eficiencia óptica del telescopio más criostato (espejos primario y secundario 0.8 cada uno y 0.9 para la ventana de cuarzo del criostato) de 0.5; una eficiencia cuántica de detección del CCD en banda ancha de 0.6

Esto nos lleva al cálculo del número de fotoelectrones E de una estrella de magnitud cero por  $\text{\AA}$  por 1800 seg. con el telescopio de un metro:

$$E = 10^3 \times 1800 \times 7 \times 10^3 \times 0.7 \times 0.5 \times 0.6 = 2.6 \times 10^9$$

Antes de proseguir con las estimaciones del comportamiento tenemos que incluir el ancho de banda de los filtros, el efecto del fondo del cielo y la razón de la señal contra el ruido deseada. Suponemos un ancho de banda de filtro de 500  $\text{\AA}$  con una transmisión de 0.6, el fondo del cielo lo estimamos de los datos de Hoag (1978) con respecto de Kitt Peak. Usando esos datos junto con el número F/15 y suponiendo una visibilidad de dos segundos de arco.

Encontramos el número de fotones del fondo de cielo por elemento de resolución de cerca de 2100 en 1800 segundos de tiempo de integración; así que para estar a salvo suponemos 2000 fotoelectrones de fondo del cielo.

Para obtener datos de buena calidad fotométrica decidimos usar una razón señal-ruido de 100. Ignorando errores en el potencial de fondo, corriente oscura y observaciones de campo plano, para

las cuales se pueden repetir las observaciones cuantas veces sea necesario, podemos escribir la razón señal-ruido como

$$S/N = \frac{P}{\sqrt{P + Cielo + Ron^2}}$$

Donde  $P + Cielo$  es el número de fotoelectrones del objeto más el fondo del cielo,  $P$  es el número de fotoelectrones del objeto y  $Ron$  es el ruido de lectura, el cual es igual a 16 fotoelectrones para este CCD.

Poniendo los números encontrados arriba en la expresión para  $S/N$  y resolviendo para  $P$  encontramos  $P=12600$  fotoelectrones. Podemos encontrar la magnitud límite bajo las condiciones dadas arriba de

$$R = \frac{Ex500 \times 0.6}{P}$$

La razón  $R$  es  $6.2 \times 10^7$ , correspondiendo a una magnitud límite de 19.5 como el límite al cual se puede hacer fotometría con una precisión relativa de uno por ciento. Si aceptamos una  $S/N$  de cinco como el nivel de detección de objetos débiles encontramos en una forma similar la magnitud límite de detección de 23.5 magnitudes en 1800 segundos de tiempo de integración bajo las condiciones descritas arriba.

En forma similar hemos encontrado que el espectrógrafo que se va a construir y usar en el observatorio en Cananea tendrá una magnitud límite de 10 en la dispersión de  $2.5 \text{ \AA/mm}$  y una  $S/N$  de 100 usando un tiempo de integración de 30 minutos.

#### IV. COMPORTAMIENTO OBSERVACIONAL

Con el propósito de probar el sistema CCD en el telescopio construimos una caja que se puede montar en la cámara directa del foco Cassegrain del telescopio de 1.0 m, para usar el sistema de enfoque y para poner los filtros deseados. La escala resultante fue de  $0''.30$  por ancho de pixel y con un campo  $2.^{\circ}9 \times 1.^{\circ}9$ . Como el campo es muy pequeño decidimos construir otra caja conectada a la cámara directa que nos permitiera poner una lente de 50 mm de distancia focal para incrementar la escala por un factor de 2.5.

Hemos tenido cuatro períodos de observación en agosto y en septiembre y debido a la temporada de lluvias ninguna de las noches fue fotométrica. Aún así, observamos los cúmulos abiertos NGC 6913, Perseo y NGC 6862/5, las observaciones se tomaron con un conjunto de filtros BV. Se hicieron exposiciones cortas para encontrar y centrar cada objeto en el campo del CCD. Se tomaron exposiciones de 15 min. para cada región. Primeramente se tomaron imágenes de Marte y Júpiter, con el obturador del primario casi cerrado, para ajustar el sistema al telescopio y para llevar a cabo todas las etapas de corrección y reducción, el resultado de las observaciones se publicará en cuanto termine todos los análisis necesarios. Lo que podemos decir del sistema CCD es que es bueno para imágenes directas de objetos astronómicos y esperamos usarlo de la manera más eficiente en el telescopio de 2.1 M en Cananea.

#### V. USO EN CANANEA

Esperamos que este año el telescopio de 2.1 M en Cananea esté funcionando para uso astronómico, se cuenta a la fecha, aparte del CCD como cámara directa, un espectrógrafo de baja dispersión Boller+Chivens al que se le adaptará la cámara CCD para hacer espectrofotometría de objetos débiles. Estará también, en su fase inicial de construcción un espectrógrafo de alta dispersión del tipo Ebert-Fastie el cual será acoplado al telescopio por un conjunto de fibras ópticas. Este espectrógrafo se diseñó especialmente para ser usado con el CCD. Con el último sistema se hará espectrofotometría de alta dispersión  $2.5 \text{ \AA/mm}$  de objetos relativamente brillantes.

Agradecemos el trabajo de mecanografía a la Srita. Rosario Sánchez Reche y de dibujo al G. Cerón.

#### REFERENCIAS

Elliot D.A. (Editor)

Applications of Digital Image Processing to Astronomy, SPIE, 264, 1980.

Geary, J.C. and Lantham, D.W. (Editors)

Solid State Imagers for Astronomy SPIE, 290, 1981.

Hoag, A.A. en Modern Techniques in Astronomical Photography, R.M. West and J.L. Heudier, editores (Ginebra, Eso), P, 126, 1978.

Octavio Cardona, Enrique Chavira, and Braulio Iriarte: Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica, Apartados Postales 51 y 216, 72000 Puebla, Pue., México.  
Ingemar Furenlid: Dept. of Physics and Astronomy, Georgia State University, Atlanta, GA. 30303, USA.