

IEE3853 Detectores para Astronomía (I-2012)

Tarea 04 – Diseño del sistema de detección para un Imager

Norman F. Sáez

nfsaez@uc.cl

2012/07/07

Introducción

El presente documento especifica sistema de detección para el telescopio ESO 1 metro, en donde el instrumento a utilizar es Imager Reducer. Los requerimientos son los siguientes:

- Especificar el CCD científico.
- Predecir readout noise, dark current y readout time.
- Estimar si el diseño óptico es adecuado o es preferible modificarlo, para el detector seleccionado. En caso de modificación, especifique los requerimientos para el nuevo diseño óptico.
- Estimar los tiempos de exposición para diversos filtros considerando la eficiencia cuántica del CCD seleccionado y la obtención de una SNR de al menos 10. Analice filtros del tipo SDSS4 (Sloan Digital Sky Survey) para su análisis.
- Especificar los requerimientos de enfriamiento criogénico, en particular temperatura de operación. Sugerir posibilidades de criogenia.

Las siguientes secciones intentan cumplir con las especificaciones de la tarea.

1 Especificación CCD a utilizar

Parámetros del sistema:

- Field of View del instrumento = $14'$
- Diámetro Plano Focal = $30.8[mm]$
- Escala en el plano focal = $\frac{FoV}{Diametro\ Plano\ Focal} = 0.4545['/mm]$
- Field of View requerido: $5'$ en x
- Field of View requerido: $5'$ en y
- Dimensiones del detector: $\frac{5'}{0.4545['/mm]} = 11[mm]$ en x

- Dimensiones del detector: $\frac{5'}{0.4545['/mm]} = 11[mm]$ en y

Entonces el detector debe tener un tamaño de $11 \times 11[mm]$. Tamaño imagen de la PSF en el plano focal: $\frac{0.00833'}{0.4545['/mm]} = 0.01833[mm] = 18.33516[\mu m]$, utilizando el dato de Optimal Sampling, podemos obtener cuanto tiene que ser el tamaño del píxel: $\frac{18.33516}{3} = 6.111[\mu m]$.

Con los datos obtenidos, se necesita:

- $11 \times 11[mm]$ como tamaño máximo del CCD.
- Tamaño mínimo de cada píxel $6.11[\mu m]$.

Con estas especificaciones no es posible obtener un CCD desde la página del proveedor. Por lo que se intentara buscar uno similar y ajustar algunos parámetros del instrumento. Los datos obtenidos para determinar que no existe un CCD que reúna las características adecuadas, se muestran en figura 1

Parametro	Valor	Unidad
FoV	14.000	[°]
Diámetro Plano Focal	30.800	[mm]
Escala Plano Focal	0.455	['/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	11.000	[mm]
Min Dim Detector Y	11.000	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.018	[mm]
Tamaño Imagen PSF	18.333	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	6.111	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion

Características del Instrumento

Características Calculadas para CCD

(a) Tabla de datos siguiendo especificaciones
(b) Simbología

Figure 1: Tabla de datos y simbología de acuerdo a las especificaciones

2 Estimar si el diseño óptico es adecuado o es preferible modificarlo, para el detector seleccionado. En caso de modificación, especifique los requerimientos para el nuevo diseño óptico.

Dado que no existían CCD que se ajustaran a las especificaciones, se plantea la siguiente solución:

- Disminuir escala en el plano focal del instrumento

Para ello, se necesita:

- Disminuir el Field of View.

o bien:

- Aumentar el diámetro.

Luego, se seleccionaron cámaras que tuvieran el diámetro focal cercano a 30.8. Las mejores cámaras escogidas fueron:

- CCD42-40, Image Area: 27.64x27.64 [mm] (o 764.411904 [mm²])
- CCD55-30, Image Area: 25.92x27.94 [mm] (o 724.3344 [mm²])
- CCD230-42, Image Area: 30.96x30.72 [mm] (o 951.0912 [mm²])

Se estudia la opción de elegir CCD42-40 debido Field of View cercano a 30.8. Para utilizar este detector, se tiene que ajustar el Field of View de las especificaciones, de tal manera que sea coherente con el tamaño máximo que pueden tener los píxeles. Ver figura 2 para revisar los datos obtenidos.

Parametro	Valor	Unidad
FoV	6.338	[°]
Diámetro Plano Focal	30.800	[mm]
Escala Plano Focal	0.206	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	24.300	[mm]
Min Dim Detector Y	24.300	[mm]
PSF Requerido	0.500	[°]
PSF Requerido	0.008	[°]
Tamaño Imagen PSF	0.040	[mm]
Tamaño Imagen PSF	40.500	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	13.500	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

(a) CCD42-40 Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 2: CCD42-40

Otra posibilidad es elegir CCD55-30. En este caso también es necesario modificar el Field of View de acuerdo a las especificaciones del detector, al igual que en CCD42-40. Ver figura 3 para revisar los parámetros obtenidos.

La última opción a considerar es CCD230-42, debido a que su image view es cercano a 30.8 y dentro de las CCD seleccionadas, es la que tiene mayor image view. Se ajusta Field of View para que cumpla con las especificaciones del detector y también el diámetro en el plano focal. De acuerdo a las especificaciones del CCD, se recalcula el Field of View para que cumpla los valores tanto de tamaño de los píxeles así como el tamaño del CCD, y se aumenta en 0.2[mm] el diámetro en el plano focal para calzar las especificaciones del detector. Ver figura 4, con los valores de los parámetros obtenidos.

Parametro	Valor	Unidad
FoV	3.800	[°]
Diametro Plano Focal	30.800	[mm]
Escala Plano Focal	0.123	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	40.526	[mm]
Min Dim Detector Y	40.526	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.068	[mm]
Tamaño Imagen PSF	67.544	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	22.515	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion

Características del Instrumento

Características Calculadas para CCD

(a) CCD55-30 Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 3: CCD55-30

Parametro	Valor	Unidad
FoV	5.740	[°]
Diametro Plano Focal	31.000	[mm]
Escala Plano Focal	0.185	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	27.003	[mm]
Min Dim Detector Y	27.003	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.045	[mm]
Tamaño Imagen PSF	45.006	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	15.002	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion

Características del Instrumento

Características Calculadas para CCD

(a) CCD230-42 Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 4: CCD230-42

Hasta el momento, se consideraran todos estos detectores como detectores válidos, ya que para todos ellos hay que hacer modificaciones al diseño original. En las siguientes preguntas, se intentara decir por la mejor opción cumpliendo las características requeridas.

3 Predecir readout noise, dark current y read-out time

Dada las características presentadas en la pregunta 2 y el datasheet de cada detector, se revisa a continuación spectral range, readout noise, dark current y readout frequency, para cada caso:

3.1 Spectral Range

			spectral range	
CCD42-40			min	max
(FI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Front Illuminated	420	1060
(FI,NIMO)	Non-Inverted Mode Operation	Front Illuminated	420	1060
(BI, AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Back Illuminated	200	1060
(BI,NIMO)	Non-Inverted Mode Operation	Back Illuminated	200	1060

CCD55-30				
(FI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Front Illuminated	420	1060
(BI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Back Illuminated	200	1100

CCD230-42				
(FI, IMO)	Inverted Mode Operation	Front Illuminated	420	1060
(BI, IMO)	Inverted Mode Operation	Back Illuminated	300	1060

(a) Spectral range para todas las cámaras propuestas

Figure 5: Spectral Range en $[nm]$

Dada los requerimientos, solamente es posible utilizar detectores del tipo Back Illuminated.

3.2 Readout Frequency

Podemos estimar readout frequency de la siguiente manera:

pixels : Número de píxeles total del CCD

tiempo : Máximo tiempo de lectura requerido

amplificadores : Número de amplificadores de salida

Dado los parámetros anteriores el readout frequency se puede calcular:

$$readout\ frequency = \frac{pixels}{tiempo * amplificadores}$$

En figura 6 están los resultados obtenidos para cada detector.

3.3 Readout Noise

Dada los requerimientos y en base a figura 7 no es posible utilizar CCD230-42, debido a que supera el readout noise requerido, descartándola.

CCD42-40			CCD55-30			CCD230-42		
Parameter	Value	Units	Parameter	Value	Units	Parameter	Value	Units
Vertical Pixel	2048	[pix]	Vertical Pixel	1152	[pix]	Vertical Pixel	2064	[pix]
Horizontal Pixels	2048	[pix]	Horizontal Pixels	1242	[pix]	Horizontal Pixels	2048	[pix]
numero pixeles	4194304	[pix]	numero pixeles	1430784	[pix]	numero pixeles	4227072	[pix]
readout freq	10	[s]	readout freq	10	[s]	readout freq	10	[s]
amplis	2		amplis	2		amplis	4	
Min Readout Freq	209715.2	[Hz]	Min Readout Freq	71539.2	[Hz]	Min Readout Freq	105676.8	[Hz]
Min Readout Freq	209.7152	[kHz]	Min Readout Freq	71.5392	[kHz]	Min Readout Freq	105.6768	[kHz]

(a) CCD42-40

(b) CCD55-30

(c) CCD230-42

Figure 6: Readout Frequency para cada detector

	readout noise		units
	typical	max	
CCD42-40	3	4	e/pixel
CCD55-30	3	5	e/pixel
CCD230-42	8	14	e/pixel

(a) Readout Noise para todas las cámaras propuestas

Figure 7: Readout Noise

CCD42-40			Dark Current [e-/pixel/s]		Temperature
			min	max	
(FI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Front Illuminated	100	200	293 [K]
(FI,NIMO)	Non-Inverted Mode Operation	Front Illuminated	10000	25000	293 [K]
(BI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Back Illuminated	250	500	293 [K]
(BI,NIMO)	Non-Inverted Mode Operation	Back Illuminated	20000	45000	293 [K]

CCD55-30					Temperature
(FI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Front Illuminated	200	400	293 [K]
(BI,AIMO)	Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)	Back Illuminated	-	700	293 [K]

CCD230-42					Temperature
(FI,IMO)	Inverted Mode Operation	Front Illuminated	0.1	1	248 [K]
(BI,IMO)	Inverted Mode Operation	Back Illuminated	0.2	2	248 [K]

(a) Dark Current para todas las cámaras propuestas

Figure 8: Dark Current

3.4 Dark Current

Dark current para todos los detectores propuestas se puede revisar en 8

Cabe señalar que no es posible hacer una comparativa con todos los modelos, debido a que cada una de las cámaras cambia dark current dependiendo de la temperatura.

De acuerdo a los datos anteriores, se descarta CCD230-42, debido a su alto readout noise. Además las características del tamaño del píxel requerido y las modificaciones que se deberían hacer en el Field of View, impide la utilización de CCD55-30 descartando este detector. **La mejor opción es CCD42-40.** El Field of View es el mayor de todos y además Image Area es mayor a CCD55-30, su mas cercano rival. A favor de CCD42-40 es el tamaño del píxel comparando con CCD55-30. (CCD55-30 tiene un píxel de tamaño $\pm 22[\mu m]$ comparado con el tamaño del píxel de CCD42-40 que es de $\pm 15[\mu m]$).

Cabe señalar que existen distintos tipos de CCD42-40 y la diferencia entre ellas es la tecnología utilizada. Las tecnologías son:

- Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)

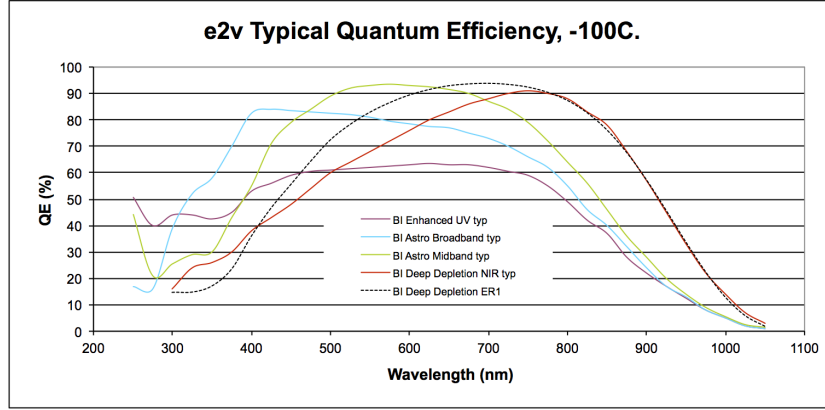
- Non-Inverted Mode Operation (NIMO)

AIMO tiene 100-1000x dark current más bajo que NIMO, a la misma temperatura. Si hay problemas para el enfriamiento, AIMO podría ser mejor. Es por esto que se fabrican pocos modelos CCD42-40 NIMO. Por las razones anteriores, **se decide utilizar tecnología AIMO**.

Luego de consultar directamente al proveedor (Alice Reinheimer alice.reinheimer@e2v-us.com) sobre la disponibilidad de todos los detectores CCD42-40 los detectores disponibles son los siguientes:

- CCD42-40, AIMO, basic process, midband AR coated device.
- CCD42-40, AIMO, basic process with broadband AR coating.

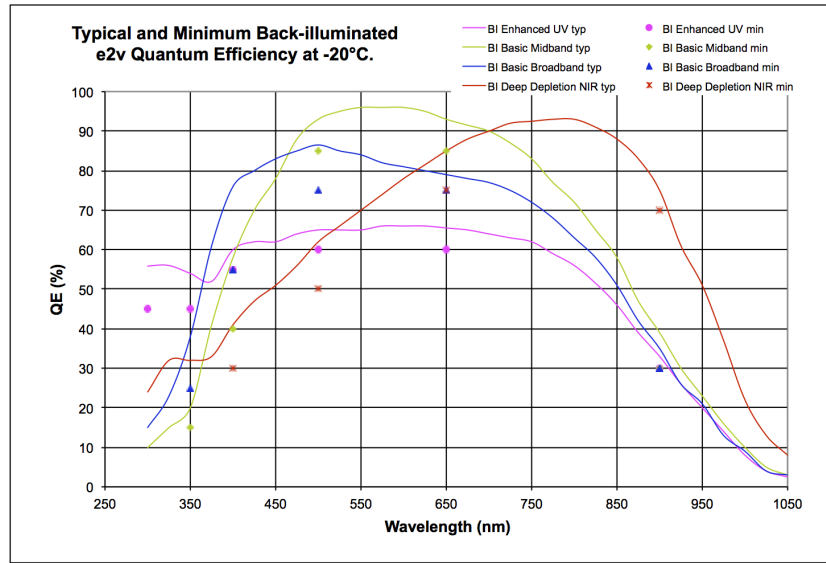
Se revisa cuidadosamente que tipo de coating cubre mejor las especificaciones iniciales. Los gráficos adjuntos en figura 9 muestran Quantum Efficiency a -100 grados celsius. En la figura 10 muestra Quantum Efficiency a -20 grados celsius.



(a) QE v/s Wavelength, -100 C

Figure 9: Quantum Efficiency (%) v/s Wavelength ([nm]) , -100 [C], Back Illuminated

Broadband coating es mejor para longitudes de onda entre 300 y 450 μm sin embargo es peor desde 450 a 900 μm comparado con midband. Debido a que midband cubre un rango de longitud de onda mayor, **se prefiere elegir midband coating en desmedro de las longitudes de onda 300 a 450 μm** . En las temperaturas -100 y -20 celsius, se observa el mismo comportamiento.



(a) QE v/s Wavelength, -20 C

Figure 10: Quantum Efficiency (%) v/s Wavelength ([nm]), -20 [C], Back Illuminated

- 4 Estimar los tiempos de exposición para diversos filtros considerando la eficiencia cuántica del CCD seleccionado y la obtención de una SNR de al menos 10. Analice filtros del tipo SDSS4 (Sloan Digital Sky Survey) para su análisis.

Para poder analizar esta pregunta es necesario tener en consideración solamente CCD42-40, ver la figura 11

Figure 11: Quantum Efficiency (%) v/s Wavelength ([nm])

- 5 Especificar los requerimientos de enfriamiento criogénico, en particular temperatura de operación. Sugerir posibilidades de criogenia.