

Impacto de la temperatura de trabajo de la cámara CCD SBIG STL-1001E en la precisión de las mediciones fotométricas

Luis A. Mammana

abril, 2026

Resumen

Durante observaciones realizadas con la cámara CCD SBIG STL-1001E se detectaron artefactos en los *flat fields* al operar el detector a bajas temperaturas, típicamente menores que -20°C . Las estructuras observadas, con aspecto de “granos de arroz”, son compatibles con condensación interna asociada al deterioro del desecante. Al elevar la temperatura de trabajo a -5°C , dichos artefactos desaparecen, pero aumenta la corriente de oscuridad. En este trabajo se cuantifica el costo fotométrico de esa decisión operativa para exposiciones representativas de 180 s. Se comparan los presupuestos de ruido para fuentes brillantes y débiles, incluyendo corriente de oscuridad, cielo y ruido de lectura. Se muestra que el incremento de *dark current* a -5°C es real, pero su impacto sobre la incertidumbre final resulta pequeño frente al ruido combinado de cielo y lectura. En cambio, los artefactos sistemáticos introducidos por condensación en los *flats* constituyen un problema potencialmente más grave, porque no promedian estadísticamente y pueden sesgar la fotometría. La operación a -5°C aparece, por lo tanto, como una solución observacional razonable en el corto plazo, mientras se restaura el sistema de desecado.

Palabras clave: instrumentación: detectores CCD — técnicas: fotometría CCD — métodos: análisis de datos

1. Introducción

La cámara CCD SBIG STL-1001E utiliza un sistema con desecante para reducir el punto de rocío dentro de la cámara y así evitar la formación de escarcha o condensación sobre el detector (SBIG, 2003). En la situación aquí analizada, el desecante se encuentra deteriorado. Como consecuencia, al trabajar en el régimen de enfriamiento profundo aparecen marcas en los *flats* compatibles con condensación, mientras que a -5°C esas estructuras desaparecen (Sánchez, 2024).

El problema instrumental enfrenta entonces dos efectos contrapuestos: por un lado, operar más caliente elimina un error sistemático de calibración; por otro, incrementa la corriente de oscuridad y, con ello, el ruido asociado. El objetivo de este trabajo es cuantificar ese compromiso para un caso de trabajo representativo, utilizando una exposición de 180 s.

Para mantener el análisis ligado a una situación observacional real, las ecuaciones y los cálculos se ilustran con una comparación entre los efectos observados a -5°C y -27°C . Esta última temperatura no debe interpretarse como un umbral rígido ni como el único valor relevante del régimen frío: se utiliza solamente como caso testigo de una noche real, representativo del comportamiento de la cámara cuando se la opera muy por debajo de -5°C .

2. Diagnóstico rápido por píxel

En esta sección se resumen los parámetros instrumentales de la CCD empleados en los cálculos. Los valores de ganancia y de ruido de lectura adoptados en este trabajo no fueron tomados de las especificaciones nominales del fabricante (SBIG, 2003), sino medidos por el autor mediante la tarea `noao.obsutil.findgain` de IRAF, aplicada a pares de flats y bias no procesados sobre regiones limpias del detector. La corriente de oscuridad (DC) se estimó independientemente a partir de darks corregidos por *master bias*, midiendo la moda de la imagen (*dark - bias*) y convirtiéndola a electrones por píxel y por unidad de tiempo mediante la ganancia medida. Para la STL-1001E se determinó además una curva empírica $DC(T)$ a partir de darks calibrados obtenidos a distintas temperaturas de enfriado (Mammana, 2024a,b).

Como validación externa del procedimiento empleado aquí para medir ganancia, ruido de lectura y corriente de oscuridad, se aplicó la misma metodología al CCD Roper Scientific VersaArray 2048B. En ese caso, los valores obtenidos por el autor, resultan consistentes con los publicados por Fernández-Lajús et al. (2016): la corriente de oscuridad coincide dentro de los errores, la ganancia es compatible y el ruido de lectura se ubica en el mismo orden de magnitud. Esto respalda la validez del procedimiento adoptado para la caracterización instrumental de la STL-1001E (Fernández-Lajús et al., 2016; Mammana, 2024a).

Cuadro 1: Parámetros medidos del sistema.

Parámetro	Valor
Temperaturas comparadas	-27°C y -5°C
Tiempo de exposición	180 s
$DC_{pix}(-27^{\circ}\text{C})$	$0,04\text{ e}^{-}\text{ s}^{-1}\text{ pix}^{-1}$
$DC_{pix}(-5^{\circ}\text{C})$	$0,60\text{ e}^{-}\text{ s}^{-1}\text{ pix}^{-1}$
Ganancia g	$1,98\text{ e}^{-}\text{ ADU}^{-1}$
Ruido de lectura σ_{RN}	$15,7\text{ e}^{-}\text{ rms}$
Mediana del cielo (caso frío ilustrativo)	330 ADU/pix
Mediana del cielo a -5°C	360 ADU/pix
PIXSCALE	$0,53\text{ arcsec/pix}$
FWHM medido sobre perfiles estelares	3 arcsec

A partir de la escala de píxeles y del FWHM medido sobre perfiles estelares no saturados de la imagen, se obtiene:

$$FWHM = \frac{3\text{ arcsec}}{0,53\text{ arcsec/pix}} = 5,66\text{ pix.} \quad (1)$$

Con estos valores puede examinarse, en primer término, el problema en la escala de un píxel.

2.1. Corriente de oscuridad

La corriente de oscuridad integrada por píxel resulta:

$$N_{DC,pix}(-5^{\circ}\text{C}) = 0,60 \times 180 = 108\text{ e}^{-} \quad (2)$$

$$\sigma_{DC,pix}(-5^{\circ}\text{C}) = \sqrt{108} = 10,39\text{ e}^{-} \quad (3)$$

$$N_{DC,pix}(-27^{\circ}\text{C}) = 0,04 \times 180 = 7,2\text{ e}^{-} \quad (4)$$

$$\sigma_{DC,pix}(-27^{\circ}\text{C}) = \sqrt{7,2} = 2,68\text{ e}^{-}. \quad (5)$$

2.2. Cielo por píxel

Aquí, “cielo” designa el nivel de fondo medido en la imagen ya calibrada. Por lo tanto, representa el fondo local efectivo y no necesariamente sólo el brillo del cielo astronómico en sentido estricto; en consecuencia, no debe esperarse que tome exactamente el mismo valor en ambos conjuntos de imágenes.

$$N_{sky,pix}(-5^\circ\text{C}) = 360 \times 1,98 = 712,8 \text{ e}^- \quad (6)$$

$$\sigma_{sky,pix}(-5^\circ\text{C}) = \sqrt{712,8} = 26,7 \text{ e}^- \quad (7)$$

$$N_{sky,pix}(-27^\circ\text{C}) = 330 \times 1,98 = 653,4 \text{ e}^- \quad (8)$$

$$\sigma_{sky,pix}(-27^\circ\text{C}) = \sqrt{653,4} = 25,6 \text{ e}^-. \quad (9)$$

2.3. Fondo total por píxel

Bajo el supuesto de que las contribuciones del cielo, de la corriente de oscuridad y del ruido de lectura son estadísticamente independientes, la varianza total de fondo por píxel se obtiene como suma en cuadratura de esos tres términos.

Para el cielo, la estadística es de Poisson, de modo que:

$$\sigma_{sky,pix}^2 = N_{sky,pix}. \quad (10)$$

Para la corriente de oscuridad, también gobernada por estadística de Poisson:

$$\sigma_{DC,pix}^2 = N_{DC,pix}. \quad (11)$$

Por su parte, el ruido de lectura introduce una varianza fija:

$$\sigma_{RN}^2 = 15,7^2 = 246,49. \quad (12)$$

En consecuencia, la varianza total de fondo por píxel puede escribirse como:

$$\sigma_{bg,pix}^2 = N_{sky,pix} + N_{DC,pix} + \sigma_{RN}^2. \quad (13)$$

Tomando raíz cuadrada, el ruido de fondo equivalente por píxel resulta:

$$\sigma_{bg,pix} = \sqrt{N_{sky,pix} + N_{DC,pix} + \sigma_{RN}^2}. \quad (14)$$

Cuadro 2: Términos de ruido por píxel para 180 s.

Temperatura	$N_{DC,pix}$ (e^-)	$\sigma_{DC,pix}$ (e^-)	$N_{sky,pix}$ (e^-)	$\sigma_{sky,pix}$ (e^-)	σ_{RN} (e^-)	$\sigma_{bg,pix}$ (e^-)
-27°C	7.2	2.68	653.4	25.6	15.7	30.1
-5°C	108.0	10.39	712.8	26.7	15.7	32.7

El resultado central de esta sección es que, aunque la corriente de oscuridad aumenta fuertemente al pasar del régimen frío a -5°C , el ruido total de fondo por píxel sólo pasa de aproximadamente 30,1 a 32,7 e^- . Esto equivale a un incremento de $\sim 8,6\%$. El efecto queda amortiguado por la contribución ya dominante del cielo y por el término fijo del ruido de lectura.

3. Formalismo fotométrico

Para una medición de apertura sobre una imagen con sustracción de cielo, la ecuación de ruido CCD puede escribirse en la forma usual de Newberry (1991):

$$\text{SNR} = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + n_{\text{pix}} (N_{\text{sky},\text{pix}} + N_{\text{DC},\text{pix}} + \sigma_{\text{RN}}^2) \left(1 + \frac{n_{\text{pix}}}{p}\right)}} \quad (15)$$

donde:

- N_* es la señal neta de la estrella, en electrones;
- n_{pix} es el número de píxeles de la apertura;
- p es el número de píxeles usados para estimar el cielo.

La incertidumbre fotométrica en magnitudes se obtiene de:

$$\sigma_m = \frac{1,0857}{\text{SNR}}. \quad (16)$$

Se asume, además, que los marcos de calibración fueron combinados a partir de un número suficiente de imágenes individuales como para que la contribución de sus propias fluctuaciones al presupuesto total de ruido resulte despreciable frente a los términos aquí considerados.

Para fijar un caso de trabajo concreto, se adopta una apertura circular representativa con radio $r = 6$ píxeles. Entonces

$$n_{\text{pix}} \approx \pi r^2 \approx \pi(6)^2 \approx 113. \quad (17)$$

Con el seeing medido sobre la imagen, este radio corresponde aproximadamente a $1,06 \text{ FWHM}$. Esta elección se adopta aquí como una apertura compacta de referencia, ya que Howell (2006) muestra que el radio de extracción que maximiza la relación señal/ruido para una fuente puntual suele ser cercano a 1 FWHM y depende débilmente del brillo de la fuente. Como contraste observacional, en la Sección 6 se considerará además una apertura de $r = 11$ pix, equivalente a $1,94 \text{ FWHM}$, próxima al extremo superior del rango recomendado por la AAVSO para fotometría de apertura. La AAVSO suele recomendar diámetros de apertura del orden de 3–4 veces el FWHM, lo que equivale a radios de aproximadamente $1,5\text{--}2 \text{ FWHM}$, y también sugiere que el anillo de cielo contenga idealmente unas 10 veces más píxeles que la apertura (AAVSO, s.f.). Tomamos, por lo tanto, como valor representativo,

$$p \approx 10 n_{\text{pix}} \approx 1130. \quad (18)$$

Con ello,

$$1 + \frac{n_{\text{pix}}}{p} = 1 + 0,1 = 1,1. \quad (19)$$

4. Términos de ruido de fondo a escala de apertura

4.1. Caso -5°C

La varianza de fondo por píxel vale:

$$N_{\text{sky},\text{pix}} + N_{\text{DC},\text{pix}} + \sigma_{\text{RN}}^2 = 712,8 + 108 + 15,7^2 = 1067,3. \quad (20)$$

Por lo tanto, la varianza total de fondo propagada a la apertura es:

$$\sigma_{bg}^2(-5^\circ\text{C}) = 113 \times 1067,3 \times 1,1 = 1,33 \times 10^5, \quad (21)$$

y el ruido de fondo equivalente:

$$\sigma_{bg}(-5^\circ\text{C}) = \sqrt{1,33 \times 10^5} = 364,4 \text{ } e^-. \quad (22)$$

Separando contribuciones en varianza:

$$\sigma_{sky,ap}^2 = 113 \times 712,8 \times 1,1 = 8,87 \times 10^4, \quad (23)$$

$$\sigma_{DC,ap}^2 = 113 \times 108 \times 1,1 = 1,34 \times 10^4, \quad (24)$$

$$\sigma_{RN,ap}^2 = 113 \times 15,7^2 \times 1,1 = 3,07 \times 10^4. \quad (25)$$

Es decir: en este caso de trabajo, el término dominante del fondo sigue siendo el cielo, seguido por el ruido de lectura; la corriente de oscuridad a -5°C aporta de manera apreciable, pero no domina.

4.2. Caso -27°C

Análogamente:

$$653,4 + 7,2 + 15,7^2 = 907,1, \quad (26)$$

$$\sigma_{bg}^2(-27^\circ\text{C}) = 113 \times 907,1 \times 1,1 = 1,13 \times 10^5, \quad (27)$$

$$\sigma_{bg}(-27^\circ\text{C}) = \sqrt{1,13 \times 10^5} = 335,9 \text{ } e^-. \quad (28)$$

El Cuadro 3 resume los resultados a escala de apertura.

Cuadro 3: Términos de ruido de fondo a escala de apertura para $r = 6$ pix.

Temperatura	$\sigma_{sky,ap}^2$ (e^{-2})	$\sigma_{DC,ap}^2$ (e^{-2})	$\sigma_{RN,ap}^2$ (e^{-2})	σ_{bg} (e^-)
-27°C	$8,13 \times 10^4$	$8,96 \times 10^2$	$3,07 \times 10^4$	335.9
-5°C	$8,87 \times 10^4$	$1,34 \times 10^4$	$3,07 \times 10^4$	364.4

La diferencia de operar a -5°C en lugar de -27°C es, entonces, un aumento del ruido de fondo equivalente desde 335,9 hasta 364,4 e^- , es decir, del orden de 28,5 e^- a escala de apertura para este caso representativo. Esto corresponde a un incremento de $\sim 8,5\%$.

5. Casos de estudio

Con el fin de reemplazar la estimación basada en valores de pico por ejemplos observacionales más realistas, se realizó fotometría de apertura con IRAF sobre dos estrellas del campo, una débil ($V=17.2$) y una brillante ($V=11.7$), utilizando cuatro imágenes del caso frío ilustrativo (tras descartarse una quinta por su baja calidad) y cinco imágenes adquiridas a -5°C . Todas las imágenes empleadas en esta comparación fueron adquiridas en dos secuencias consecutivas, separadas únicamente por el tiempo necesario para ajustar y estabilizar la cámara a -5°C ; aun incluyendo ese intervalo y el tiempo muerto de aproximadamente 7 s entre exposiciones, el análisis empírico cubre un intervalo temporal total del orden de media hora, lo que reduce la

posibilidad de que la comparación entre temperaturas esté sesgada por cambios apreciables de masa de aire, transparencia atmosférica o una eventual variabilidad intrínseca de las estrellas seleccionadas.

En todos los casos se emplearon aperturas de $r = 6$ y $r = 11$ pix, con un anillo de cielo común dado por $annulus = 16$ pix y $dannulus = 8$ pix. La apertura de $r = 6$ pix ($1,06 FWHM$) sigue el criterio de Howell (2006) para una extracción cercana a la que maximiza la SNR, mientras que la de $r = 11$ pix ($1,94 FWHM$) se aproxima al extremo superior de la recomendación usual (AAVSO, s.f.). Las coordenadas de las estrellas fueron seleccionadas manualmente sobre cada imagen y la tarea `phot` se ejecutó con `calgorithm=none`, de modo que la integración se realizó exactamente sobre los centros fijados por el autor. En consecuencia, los flujos instrumentales reportados en esta sección no deben interpretarse como flujos totales de la PSF, sino como mediciones consistentes para comparar el efecto de la temperatura de trabajo. El objetivo de esta sección no es presentar una calibración fotométrica absoluta, sino comparar el comportamiento medio del flujo instrumental y, sobre todo, de la incertidumbre fotométrica reportada por IRAF ($MERR$) entre un caso frío ilustrativo y la operación a -5°C .

5.1. Fuente débil

Para la fuente débil, IRAF entrega flujos instrumentales netos del orden de unos pocos miles de ADU y errores fotométricos del orden de centésimas de magnitud. Los resultados se resumen en el Cuadro 4, dispuesto de modo que la comparación entre temperaturas pueda hacerse a apertura fija. Los valores $\langle MERR \rangle$ corresponden al promedio aritmético de los errores individuales reportados por IRAF para cada imagen; no representan el error del promedio.

Cuadro 4: Promedios fotométricos IRAF de la fuente débil.

R_{ap}	-27°C			-5°C			$\Delta\langle MERR \rangle$
(pix)	$\langle FLUX \rangle$	$\langle MAG \rangle$	$\langle MERR \rangle$	$\langle FLUX \rangle$	$\langle MAG \rangle$	$\langle MERR \rangle$	(mag)
6	2407	16.552	0.082	2373	16.564	0.072	-0,010
11	2637	16.463	0.155	2645	16.452	0.130	-0,025

A igualdad de apertura, los valores medios de la fuente débil muestran la variación esperable en flujo y magnitud instrumentales entre ambos conjuntos de imágenes, mientras que $\langle MERR \rangle$ permanece en el régimen de unas pocas centésimas de magnitud. Para $r = 6$ pix, $\langle MERR \rangle$ pasa de 0.082 mag en el caso frío ilustrativo a 0.072 mag a -5°C , y para $r = 11$ pix, de 0.155 a 0.130 mag. Estas diferencias son menores que la dispersión cuadro a cuadro y, por lo tanto, no resultan estadísticamente significativas.

Se observa además que, al considerar los valores medios, el flujo instrumental es levemente mayor en el caso frío ilustrativo para $r = 6$ pix (2407 ADU frente a 2373 ADU), mientras que a $r = 11$ pix el orden se invierte (2637 ADU frente a 2645 ADU). Dado que las coordenadas fueron fijadas manualmente sobre cada imagen y la tarea `phot` se ejecutó con `calgorithm=none`, este comportamiento no se atribuye a un recentrado automático. Tampoco la inspección visual sugiere contaminación por fuentes vecinas al aumentar el radio de apertura hasta $r = 11$ pix. La inversión es, por lo tanto, compatible con pequeñas diferencias de *seeing* o de forma del perfil estelar entre ambos conjuntos de imágenes.

En consecuencia, aun al promediar varias imágenes por temperatura, la fotometría empírica de la fuente débil no muestra un empeoramiento estadísticamente significativo a -5°C . Este resultado no debe interpretarse como una mejora intrínseca de la fotometría a mayor temperatura, sino como una manifestación de que, en imágenes reales, cualquier degradación esperable por la mayor corriente de oscuridad puede quedar enmascarada por otras componentes del presupuesto de error.

5.2. Fuente brillante

Para la fuente brillante, los flujos instrumentales netos son del orden de varios 10^5 ADU y los errores formales de IRAF caen a milésimas de magnitud. Los resultados se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Promedios fotométricos IRAF de la fuente brillante.

R_{ap} (pix)	-27°C			-5°C			$\Delta\langle MERR \rangle$
	$\langle FLUX \rangle$	$\langle MAG \rangle$	$\langle MERR \rangle$	$\langle FLUX \rangle$	$\langle MAG \rangle$	$\langle MERR \rangle$	(mag)
6	366565	11.090	0.0010	358842	11.113	0.0010	0.0000
11	387312	11.030	0.0020	379260	11.053	0.0014	-0,0006

La comparación de los valores medios confirma que, para una fuente brillante, la precisión fotométrica permanece esencialmente inalterada entre ambos regímenes térmicos en el nivel de precisión alcanzado por estas mediciones. En otras palabras, el costo fotométrico de operar a -5°C es, en este caso, despreciable.

En conjunto, los promedios obtenidos a partir de cuatro imágenes del caso frío ilustrativo y cinco imágenes adquiridas a -5°C refuerzan la idea ya anticipada por el presupuesto teórico de ruido: las fuentes brillantes se mantienen en un régimen claramente dominado por la propia señal de la estrella, mientras que las fuentes débiles son mucho más sensibles a los términos de fondo y al tamaño de la apertura. Al mismo tiempo, los resultados empíricos muestran que la comparación entre ambos conjuntos de imágenes no refleja de manera aislada el efecto de la temperatura de trabajo, sino el efecto combinado de todos los términos que intervienen en la medición fotométrica.

6. Discusión

Los resultados teóricos y empíricos presentados en las secciones anteriores permiten separar con claridad dos aspectos distintos del problema.

En primer lugar, el aumento de corriente de oscuridad al operar la cámara a -5°C es real y cuantificable. Para una exposición de 180 s, la señal media debida a DC_{pix} pasa de 7,2 a $108 e^-$ por píxel entre el caso frío ilustrativo y la operación a -5°C . Considerado de manera aislada, ese cambio parece importante y podría sugerir una degradación fotométrica severa.

En segundo lugar, cuando ese término se incorpora al presupuesto completo de ruido, su efecto se modera. En el caso analizado, la mediana del cielo aporta del orden de $653\text{--}713 e^-$ por píxel y el ruido de lectura añade una varianza fija de $15,7^2 \simeq 246,5 e^{-2}$ por píxel. Por esa razón, el ruido total de fondo por píxel sólo aumenta de $\sim 30,1$ a $\sim 32,7 e^-$. A escala de apertura, el incremento también es moderado: para el caso representativo de $r = 6$ pix, σ_{bg} pasa de 335,9 a $364,4 e^-$.

En tercer lugar, la fotometría instrumental obtenida con IRAF debe interpretarse con cautela. Para la fuente brillante, los errores formales medios permanecen en el nivel de 10^{-3} mag en ambos regímenes térmicos y para ambas aperturas consideradas. Para la fuente débil, los valores medios de $MERR$ se ubican en el rango de unas pocas centésimas de magnitud y, aun al promediar cuatro imágenes del caso frío ilustrativo y cinco imágenes adquiridas a -5°C , no muestran un empeoramiento estadísticamente significativo.

Este resultado empírico no contradice el presupuesto teórico de ruido, porque la comparación entre conjuntos de imágenes reales no aísla únicamente el efecto de la temperatura de trabajo. El error formal reportado por IRAF depende también del fondo efectivo, de su dispersión local y del perfil de la imagen. Dado que las coordenadas fotométricas fueron seleccionadas manualmente y la tarea `phot` se ejecutó con `calgorithm=none`, el centrado no parece constituir aquí el factor

dominante. En el régimen estudiado, cualquier degradación esperable por la mayor corriente de oscuridad queda enmascarada por las restantes componentes del presupuesto de error.

Expresado en términos de relación señal/ruido, los promedios de la fotometría instrumental de IRAF tampoco muestran una disminución estadísticamente significativa a -5°C . Este comportamiento no debe interpretarse como una mejora intrínseca de la fotometría al operar la cámara a mayor temperatura, sino como una consecuencia de que la comparación entre dos conjuntos de imágenes reales incorpora, además del efecto térmico, diferencias en el fondo local, en su dispersión y en el perfil estelar.

Debe señalarse, además, que el presente análisis se concentra en el presupuesto de error aleatorio y no cuantifica en detalle el sesgo sistemático que podrían introducir los *flats* afectados por condensación. Ese efecto es de naturaleza multiplicativa y conceptualmente distinto del de los puntos calientes, que quedan en gran medida corregidos mediante la sustracción de darks. La cuantificación precisa de esas estructuras en términos de contraste relativo respecto del nivel medio del *flat* requeriría un estudio específico.

Finalmente, el problema de los *flats* afectados por condensación es de naturaleza distinta. No introduce simplemente un término adicional de ruido aleatorio, sino estructuras sistemáticas en la calibración de sensibilidad píxel a píxel. Ese tipo de error no desaparece al promediar imágenes y puede trasladarse a la fotometría como sesgos espaciales. Desde el punto de vista científico, esta diferencia es crucial: una penalización moderada en el ruido aleatorio puede ser menos dañina que una calibración sistemáticamente contaminada.

En consecuencia, la conveniencia de operar a -5°C o en un régimen más frío depende del programa observacional considerado. Para fuentes brillantes, el costo fotométrico de trabajar a -5°C resulta despreciable. Para fuentes débiles, la pérdida de sensibilidad existe en el presupuesto teórico, aunque en los promedios empíricos aquí analizados no se manifiesta de manera aislada. Mientras el desecante continúe deteriorado, la eliminación de artefactos sistemáticos en los *flats* constituye una ventaja observacional de peso.

7. Conclusiones

1. El deterioro del desecante provoca condensación interna al operar la STL-1001E en el régimen frío, generando artefactos detectables en los *flat fields*.
2. Operar a -5°C elimina, en la experiencia aquí analizada, las estructuras espurias observadas en los *flat fields*.
3. Esa elección incrementa la corriente de oscuridad desde 0,04 hasta 0,60 $e^{-}\text{ s}^{-1}\text{ pix}^{-1}$, lo que en 180 s implica pasar de 7,2 a 108 e^{-} por píxel.
4. Sin embargo, una vez incorporados el cielo y el ruido de lectura al presupuesto de ruido, el impacto sobre el fondo total resulta moderado: el ruido de fondo por píxel pasa de $\sim 30,1$ a $\sim 32,7\text{ }e^{-}$, y para una apertura representativa de $r = 6\text{ pix}$ el ruido de fondo equivalente pasa de 335,9 a 364,4 e^{-} .
5. El presupuesto teórico de ruido muestra que, para fuentes brillantes, la penalización fotométrica asociada a operar a -5°C es despreciable.
6. La fotometría instrumental con IRAF confirma ese comportamiento para la fuente brillante analizada: al promediar cuatro imágenes del caso frío ilustrativo y cinco imágenes adquiridas a -5°C , los errores formales permanecen en el nivel de 10^{-3} mag para ambas aperturas consideradas.
7. Para la fuente débil representativa de la noche analizada, la fotometría IRAF, promediada sobre cuatro imágenes del caso frío ilustrativo y cinco imágenes adquiridas a -5°C , arroja

errores medios del orden de unas pocas centésimas de magnitud. Esa comparación no muestra un empeoramiento evidente a -5°C , pero el resultado debe interpretarse sólo como ilustrativo, ya que la incertidumbre final no depende exclusivamente de la temperatura de trabajo, sino también del fondo efectivo, de su dispersión local y del perfil de la imagen.

8. En el régimen aquí estudiado —fuentes puntuales, exposiciones de 180 s y aperturas de entre 1,06 y 1,94 FWHM— operar la cámara a -5°C constituye una estrategia científicamente defendible: elimina un problema sistemático de calibración a costa de un aumento moderado del ruido aleatorio, cuya relevancia no aparece de manera empíricamente aislable en los ejemplos analizados.
9. Una vez resuelto el problema del desecante, la operación en un régimen más frío volverá a ser preferible, especialmente para programas que requieran integraciones más largas, aperturas mayores o la mejor sensibilidad posible sobre fuentes débiles u objetos extendidos.

Referencias

AAVSO. 2022. *Guide to CCD/CMOS Photometry with Monochrome Cameras*.

Fernández-Lajús, E., Gamen, R., Sánchez, M., Scalia, M. C., & Baume, G. 2016. “Medición de coeficientes de extinción en CASLEO y características del CCD ROPER-2048B del telescopio JS”. *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*, 58, 190.

Howell, S. B. 2006. *Handbook of CCD Astronomy*, 2nd ed., Cambridge University Press.

Newberry, M. V. 1991. *PASP*, 103, 122.

Mammana, L. A. 2024a. *Estimación de la corriente de oscuridad, ganancia y ruido de lectura de las CCDs Sophia 2048B-152-VS-X eXcelon, Roper Scientific Versarray 2048B y SBIG STL-1001E*. Nota técnica interna, CASLEO.

Mammana, L. A. 2024b. *Estudio de la evolución de la corriente de oscuridad con la temperatura de enfriado de la CCD*. Nota técnica interna, CASLEO.

SBIG. 2003. *Operating Manual, Research Camera Models STL-1001E, STL-1301E, STL-4020M, STL-6303E and STL-11000M*, Revision 1.0, October 2003.

Sánchez, R. 2024. *Informe Técnico del 28 may 2024*. CASLEO/Área de Óptica Instrumental.