



## PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL DE SAN PEDRO MÁRTIR



### Procedimiento de limpieza del CCD Marconi 5.

**PTI-OAN:0027**

Joel Herrera, Francisco Valenzuela, Javier Hernández L., Ilse Plauchu F,  
Félix Díaz, Edgar Cadena, Hazael Serrano y Gerardo Guisa.

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Astronomía, Observatorio  
Astronómico Nacional, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ens., B.C., C.P. 22860, Méx.

### Resumen

Este documento describe el procedimiento de limpieza llevado a cabo en el detector CCD (Charge-Coupled Device) Marconi 5 (Ref. 1) del observatorio astronómico Nacional. En este caso el detector sufrió daños debido a la aparición de manchas microscópicas en su superficie de silicio, cuyo origen no pudo ser determinado (Figura 1). El mismo detector ya había tenido problemas previos debido a que una estructura que enmarca al CCD se encontraba perdiendo trozos de pintura en forma de cascaras, en algunas ocasiones estos fragmentos se llegaron a depositar sobre el CCD y en su momento fueron limpiados. La única hipótesis que tenemos del posible origen de las manchas repentinas es que esta contaminación se hubiese encontrado atrapada en la pintura y al resquebrajarse, esta haya sido liberada condensándose sobre el CCD. El objetivo principal de este procedimiento fue eliminar estas manchas sin causar daños a los delicados filamentos de oro conectados a la superficie de silicio ni a la superficie misma. Además, se aprovechó la oportunidad para eliminar la pintura negra resquebrajada que recubría el marco del silicio y representaba un riesgo potencial para la integridad del detector.

**Keywords:** CCD, microgotas, alcohol, Aspensor piezoeléctrico

Recibido: 26-09-2023

Aceptado: 25-10-2023

Publicado: 27-10-2023

PTI-OAN:0027

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS

OAN-SPM

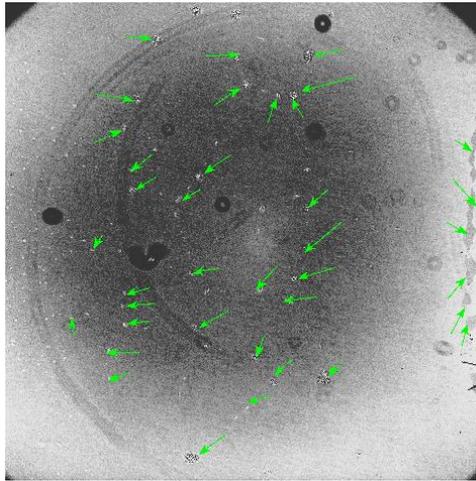
## 1. EL CCD CONTAMINADO

La limpieza de la superficie de un CCD es una tarea crítica en aplicaciones científicas y astronómicas, ya que cualquier contaminante en la superficie del CCD puede afectar negativamente la detección de fotones. En la figura 1 se puede ver el estado en que el CCD fue encontrado la mañana del 9 de abril del 2023, este se encontraba instalado en el telescopio 84cm.



**Figura 1:** CCD Marconi 5 antes del procedimiento de limpieza. A la izquierda se pueden ver los patrones de gotas sobre el CCD.

La Figura 2 muestra una imagen del campo plano. Las formas circulares fueron reportadas por el astrónomo en turno como aparentes cabellos, sin embargo, una revisión determinó que no había tal y que esto era producto de rayones circulares en la ventana del CCD. Por la mañana el grupo técnico encontró la situación mostrada en la figura 1. Se le realizó el vacío a la botella criogénica pensando en que se podría evaporar la contaminación, pero esto no ocurrió, por lo tanto, se retiró el CCD de operación para una revisión posterior en Ensenada.



**Figura 2.** Imagen de campos planos tomados con el CCD en el telescopio la madrugada del 9 de abril del 2023, las líneas largas son producidas por un rayón en la ventana del CCD. Las donas son producidas por polvo en la parte exterior del CCD y los puntos señalados con flechas verdes son algunas de las manchas y gotas que aparecieron en la superficie sensible.

## 2. MÉTODOS CONOCIDOS PARA LA LIMPIEZA DE SUPERFICIES DE CCDS

La limpieza de la superficie de un CCD es una tarea crítica en aplicaciones científicas y astronómicas, ya que cualquier contaminante en la superficie del CCD puede afectar negativamente su rendimiento. A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios métodos y técnicas para limpiar los CCDs. A continuación, se describen algunos de los métodos más conocidos:

- El uso de alcohol isopropílico (IPA) de alta pureza (99.99%) es un método común para la limpieza de superficies ópticas. El alcohol es eficaz para disolver muchas sustancias contaminantes y se puede aplicar con un hisopo de algodón o una toallita de limpieza, sin embargo, la superficie de silicio de un CCD es muy delicada y antes de utilizar alcohol isopropílico, es importante verificar la compatibilidad con los materiales y recubrimientos presentes en el CCD. Otra metodología que utiliza alcohol y que no requiere contacto de un elemento absorbente, dígame algodón o isopos; en este se expone al CCD al vapor del alcohol, colocándolo frente a un recipiente con alcohol hirviendo que se condensa sobre la superficie del silicio. Como se verá más adelante el procedimiento realizado es una variante donde no se utiliza calor.

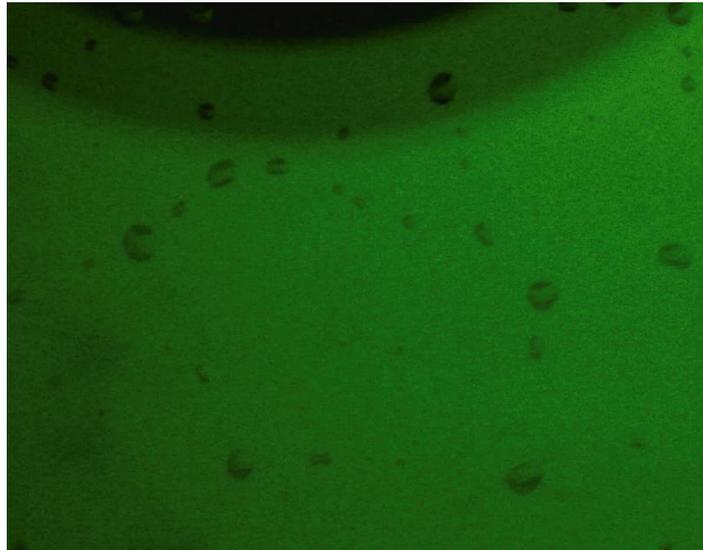
- La limpieza con gases limpios, como CO<sub>2</sub>, nitrógeno o helio, a menudo se utiliza para eliminar partículas de polvo y otros contaminantes de la superficie del CCD. Los gases limpios se dirigen hacia la superficie para eliminar suavemente las partículas sin dañar el silicio. Este procedimiento, aunque es efectivo, por experiencia sabemos que puede arrancar los conductores de oro soldados al CCD si la presión no es controlada adecuadamente.
- Los baños de limpieza con tinas ultrasónicas se utilizan para eliminar contaminantes adheridos a superficies ópticas. El CCD se sumerge en un líquido de limpieza, como el alcohol isopropílico, y se somete a vibraciones ultrasónicas que ayudan a desprenderse de los contaminantes. Para poder realizar este procedimiento requeriríamos remover el chip de silicio de la botella criogénica lo cual aumenta el riesgo de daño durante la manipulación. Además, la posición de la superficie del CCD a cierta distancia de la ventana es algo crítico para algunos instrumentos, con la extracción del chip se tendría que realizar trabajo adicional para garantizar dicha posición.

Aunque el baño ultrasónico puede ser una opción utilizada no existe mucha información y nos quedan dudas sobre si puede producir daños.

Estos métodos representan algunas de las técnicas utilizadas para limpiar el silicio contaminado en las superficies sensibles de los CCDs. La elección del método depende de la naturaleza de la contaminación y las características específicas del detector.

### **3. IDENTIFICACIÓN DE LA NATURALEZA DE LAS MANCHAS**

Una de las preocupaciones que teníamos cuando el detector resultó contaminado era la naturaleza de los defectos que veíamos los cuales presentaban un aspecto de burbujas en la película antirreflejante o gotas de algún líquido. En la figura 3 pueden verse estos elementos al ser iluminamos con una fuente de luz monocromática de mercurio.



**Figura 3.** Gotas microscópicas de contaminante sobre el CCD

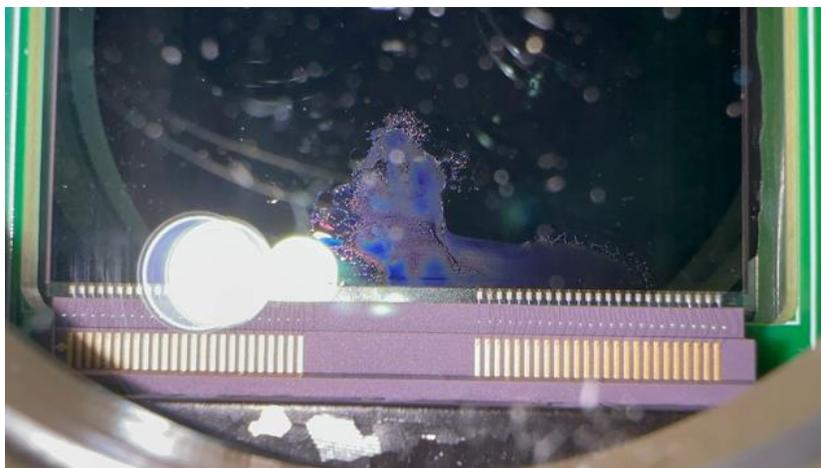
La intención de utilizar esta lámpara era buscar patrones de interferencia en lo que parecían gotas, sin embargo, no se detectó interferencia debido a que las gotas eran demasiado grandes y posiblemente los anillos al ser de alta frecuencia no eran visibles.

Otra de las cosas que nos tenían intrigados es que este líquido o contaminante no se evaporaba al realizarle vacío a la botella criogénica, por lo tanto, supusimos que se trataba de un tipo de aceite, este sería muy difícil de remover a menos que fuera soluble en alcohol. Por lo tanto, decidimos a hacer una prueba para verificar esto.

La primera fase de este proceso consistió en determinar la solubilidad de las gotas presentes en la superficie de silicio en alcohol de alta pureza (99.99%). Para lograrlo, se siguieron los siguientes pasos:

- Se procedió a liberar el vacío dentro del CCD Marconi 5, lo que permitió el acceso al interior del detector. Se llevaron a cabo estas operaciones en un cuarto limpio cerrado para evitar corrientes de aire y la entrada de polvo. La brida que contenía la ventana fue retirada con cuidado para exponer la superficie del detector.
- Primero se buscó el entorno limpio libre de polvo y corrientes de aire (Una oficina a la cual se le realizó una limpieza normal por el personal de intendencia).

- Utilizando una pizca de algodón impregnada en alcohol de alta pureza (99.99%), se aplicó una suave presión sobre la superficie de silicio. Las gotas se disolvieron rápidamente, lo que confirmó que eran solubles en alcohol. La siguiente figura nos muestra el efecto provocado, el líquido se extendió por la superficie creando una película muy delgada (Figura 4).



**Figura 4.** Detalle de la superficie del CCD manchado con el contaminante al ser disuelto por el alcohol isopropílico.

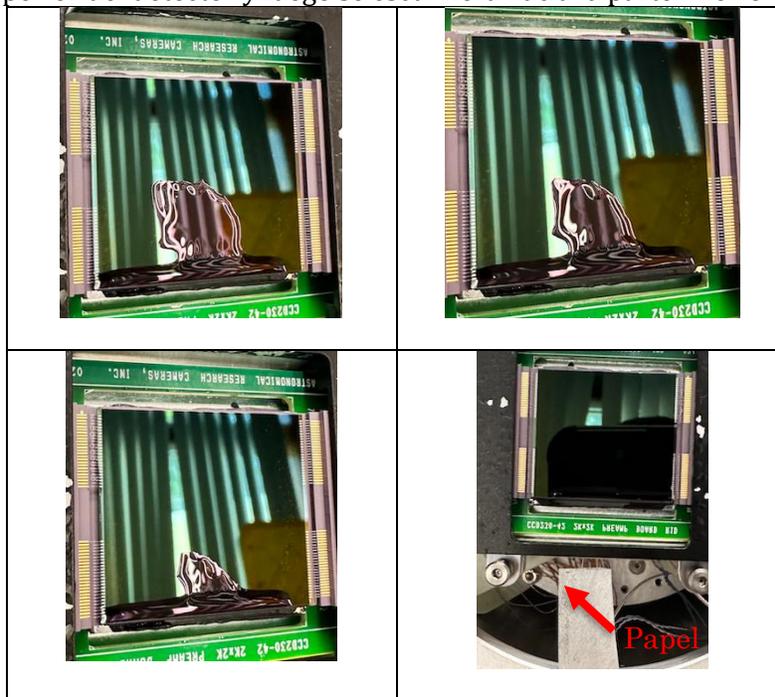
Dado que se confirmó la solubilidad de las manchas en alcohol, se optó por realizar una limpieza más profunda utilizando microgotas de alcohol atomizado. Para este fin, se utilizó un aspersor ultrasónico con un piezoeléctrico (figura 5) para generar las microgotas de alcohol. Este dispositivo garantizó la uniformidad y tamaño de las gotas. El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

- El criostato se colocó verticalmente para facilitar el acceso a su superficie la cual quedó también vertical. Durante todo el procedimiento, se utilizaron cubrebocas y guantes para evitar la contaminación del entorno.
- Se utilizó un humidificador electrónico (Figura 5) para atomizar el alcohol de alta pureza (99.99%). Este dispositivo generó gotas extremadamente pequeñas y uniformes de alcohol. El humidificador contiene un elemento piezoeléctrico que, cuando se somete a una corriente eléctrica, genera vibraciones mecánicas de alta frecuencia. El humidificador también contiene un pequeño depósito de líquido, en este caso, alcohol isopropílico. Las vibraciones piezoeléctricas inducen ondas de presión en el líquido, lo que provoca su descomposición en pequeñas partículas en forma de una niebla muy fina, ligera y direccionable.



**Figura 5:** Imagen del aspersor con piezoeléctrico con un chorro de niebla formada con gotas microscópicas.

- El aspersor se colocó frente al CCD, lo que permitió que el alcohol atomizado se acumulara en la parte superior del detector y luego se escurriera hacia la parte inferior (Figura 6).

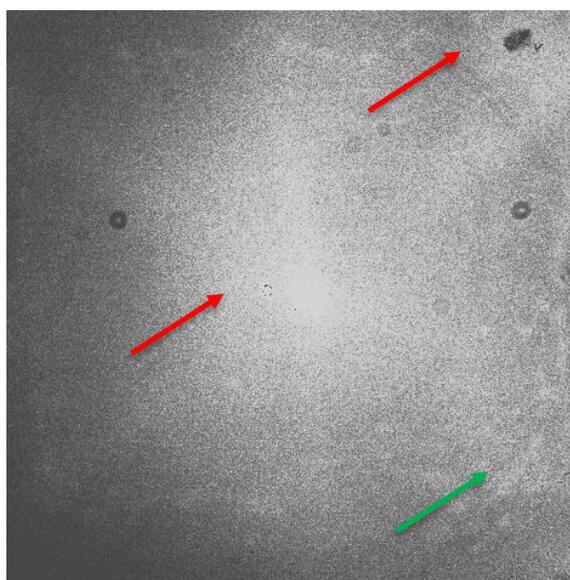


**Figura 6.** Detalle de la capa de alcohol isopropílico arrastrando la contaminación al irse por gravedad a la parte inferior. Las gotas acumuladas eran absorbidas manualmente con papel de limpieza Kodak.

- Un pedazo de papel (Lens Cleaning Paper de Kodak) se utilizó para tocar suavemente las gotas de alcohol que colgaban en la parte inferior, lo que favoreció la eliminación de la suciedad al absorber el alcohol fuera del área del silicio. Usualmente en el observatorio hemos utilizado otro tipo de papel como los Kimwipes de la marca Kimberly-Clark, sin embargo, para esta tarea no son adecuados porque liberan pelusas que terminarían flotando en el aire y finalmente adheridas a la superficie del CCD.

#### 4. VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCEDIMIENTO

Tras completar el proceso de limpieza, se realizaron pruebas al CCD Marconi 5 para evaluar su funcionamiento. Los resultados de las pruebas demostraron que el procedimiento de fue exitoso, ya que las manchas desaparecieron casi por completo sin afectar otros componentes críticos del detector. La figura 7 muestra un campo plano en el filtro I, en este filtro los detalles resultaron más claramente visibles. En la figura se puede percibir una marca en el fondo muy tenue, el contraste fue ajustado de la manera en que pudiera verse mejor. Esta mancha podría ser removida con más lavadas sin embargo esto no es visible a simple vista.



**Figura 7.** Detalle del campo plano tomado con el CCD en el telescopio después de la limpieza. Las donas son producidas por el polvo sobre la ventana del CCD. Aún quedan algunos rastros de contaminación (Flechas rojas), pero son muy pocos en comparación al estado inicial. Además, ahora existe una marca de agua en el fondo muy difícil de ver (Flecha verde).

El uso de microgotas para la limpieza de superficies planas y delicadas, como la del CCD Marconi 5, proporciona una limpieza efectiva y controlada, minimizando el riesgo de daño a los componentes sensibles y garantizando una distribución uniforme del líquido de limpieza.

## 5. TRABAJO ADICIONAL

Se aprovechó para la remoción de la pintura resquebrajada (Figura 8), para esto no fue posible quitar la pieza metálica que contiene a la pintura porque los tornillos de sujeción se extienden a través de varios elementos y se requeriría desarmar todo para liberarla.



**Figura 8.** Detalle de la pintura que se estaba desprendiendo del marco de soporte del CCD.

Por este motivo se optó por utilizar cinta para ductos, pegándola con mucho cuidado sobre la pieza y se optó por removerla con suavidad para arrancar la pintura. El trabajo se pudo realizar sin soltar cascara de pintura sobre el CCD. En la figura 9 se muestra la secuencia de la limpieza.



**Figura 9.** Detalle de la pintura arrancada del marco de soporte del CCD. Esta operación requirió varios intentos cambiando en cada iteración la cinta usada por cinta nueva.

## 6. CONCLUSIONES

El procedimiento de limpieza del CCD Marconi 5 fue exitoso en la eliminación de las manchas en la superficie de silicio, lo que permitió que el detector volviera a funcionar de manera óptima. Además, la remoción de la pintura negra del marco del CCD contribuirá a preservar la limpieza a largo plazo del detector.

Dada la efectividad del procedimiento, se sugiere considerar su aplicación en otros componentes ópticos del observatorio, con el objetivo de mantener su rendimiento y durabilidad. El uso de un humidificador portátil basado en piezoeléctrico presenta varias ventajas en comparación con la generación de vapor con calor:

1. **Menos Riesgo de Daño por Calor:** En la generación de vapor con calor, existe el riesgo de que la temperatura del vapor sea lo suficientemente alta como para dañar los componentes electrónicos o sensibles al calor. Con un humidificador piezoeléctrico, el vapor es generado a temperatura ambiente y no representa un riesgo de sobrecalentamiento.
2. **Mayor Seguridad con Alcohol Isopropílico:** El alcohol isopropílico es inflamable, y la generación de vapor con calor podría aumentar el riesgo de ignición. El uso de un humidificador piezoeléctrico minimiza este riesgo, ya que no implica calentamiento.
3. **Distribución Uniforme:** La niebla generada por un humidificador piezoeléctrico se dispersa uniformemente en el área circundante, lo que garantiza una cobertura eficiente y controlada de la superficie a limpiar.
4. **Portabilidad y Facilidad de Uso:** Los humidificadores portátiles basados en piezoeléctrico son compactos y fáciles de transportar, lo que facilita su uso en diversas ubicaciones, incluyendo entornos de limpieza de CCDs en observatorios.

*Nota 1: Como algo adicional a esta limpieza se hace notar que la ventana del CCD cuenta con unos rayones circulares (figura 2) que hacen parecer que tienen un cabello. Esta ventana debe de reponerse.*

*Nota 2: Cabe señalar que en este proceso solamente se limpió el CCD y su soporte. Quedó pendiente la limpieza de la botella pues eso requería desarmar todo el sistema, esto se trató de evitar. Al momento de estar editando este PTI el daño ocurrió nuevamente por lo que el procedimiento deberá repetirse nuevamente, pero en esta ocasión deberá limpiarse también la botella para tratar de identificar también el origen de la contaminación.*

## REFERENCIAS

[1] Caracterización de la cámara CCD Marconi 5 del OAN-SPM. PTI-OAN: 0025. [https://www.astrossp.unam.mx/ccds/Reporte\\_caract\\_M5.pdf](https://www.astrossp.unam.mx/ccds/Reporte_caract_M5.pdf). (2023)