

# LIMPIEZA Y CONSERVACION DEL ALUMINIO EN LOS ESPEJOS DE LOS TELESCOPIOS DEL OAN.

Eduardo López, Benjamín García, Fernando Quirós,  
Gabriel García, Manuel Nuñez, Esteban Luna

Agosto, 2005

## 1 Introducción

Este reporte tiene por objetivo documentar una serie de pruebas que se han realizado durante los dos últimos años, para conservar, con calidad óptica el mayor tiempo posible, el aluminio de los espejos de los telescopios del OAN. Los experimentos llevados a cabo son explicados, analizados y en algunos casos se reportan evaluaciones cualitativas y cuantitativas. La gama de experimentos que se reportan estan presentados en un orden cronológico. Se iniciará con una descripción del método de limpieza con *colodión*; luego se presentara una propuesta de limpieza electrostática; a continuación se presentarán los resultados mediante limpieza con vapor de agua; también, se discutirán una serie de propuestas donde se intenta hacer limpieza por contacto con diferentes telas y sustancias comerciales limpiadoras de superficies ópticas; finalmente se presentan medidas de reflectancia, hechas en el aluminio que ha estado expuesto a cielo abierto durante las noches de observación astronómica en un período de dos años, una vez aluminizado el espejo se harán estas mismas pruebas de reflectancia para tener como referencia estas medidas y seguir el envejecimiento del aluminio. Dentro de este reporte incluiremos las medidas de la película de aluminio que se depositó en la superficie del espejo primario del telescopio del 2.1m, esta evaporación de aluminio fue hecha el 20 de agosto del 2005.

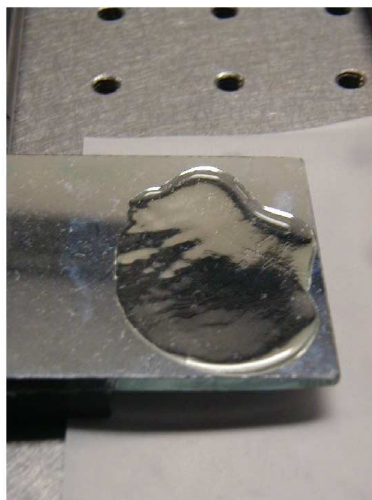
## 2 Limpieza con *colodión*.

El *colodión* es una sustancia con patente comercial, los antecedentes del uso de este compuesto en el OAN se remonta a mas de 15 años cuando se usó por primera vez en la limpieza del espejo del 2.1m. Las experiencias que se comentan, es que el experimento falló y la razón fue que la película formada al verter el *colodión* sobre la superficie de aluminio fue muy delgada, dando como resultado que en lugar de que se desprendiera el polvo del aluminio, esta se adherió fuertemente y en algunos lugares el efecto parecido al termopar no se logró, dando como resultado la necesidad de aluminizar el espejo. Con estos antecedentes hicimos muestras en diferentes espejos con polvo, huellas dactilares y grasa en general. En el primer experimento cubrimos la mitad de la superficie del espejo muestra, la forma de aplicar el *colodión* fue verter directamente del contenedor un chorro de esta sustancia, la película formada fue del orden de 3mm de espesor, esperamos a que los diferentes componentes del *colodión* se evaporaran y al rededor de 5 minutos se inició el efecto termopar (ver Fig. 1), es decir la película seca se levantó y se despegó del espejo muestra, la región donde estuvo el *colodión* estaba limpia con el aluminio en buen estado (ver Fig. 2). Para estar seguros de que la superficie limpia estaba realmente libre de polvo, se planteo un experimento de polarimetría, el cual consiste de lo siguiente:

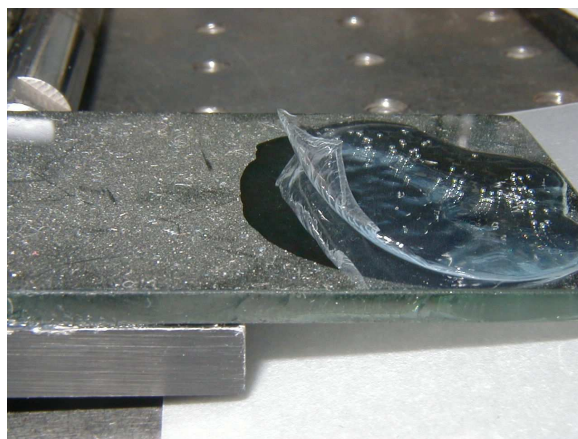
Se ilumina con un láser linealmente polarizado el área a evaluar, el detector se coloca perpendicular a la muestra con la idea de que la reflexión del láser en la superficie no sea la que llegue al detector (Ver Figura 3). El detector consiste en una cámara CCD, una lente para enfocar la superficie iluminada y un polarizador como analizador con un mecanismo para rotarlo. Usaremos esta idea para mostrar la diferencia entre superficie limpia y sucia, la diferencia es contundente y muestra cualitativamente que la superficie que tuvo contacto con el *colodión* esta libre de polvo, mas adelante se podrá comprobar este criterio cuando se use un reflectómetro. El experimento de polarimetría consiste en adquirir 4 imágenes, usando la configuración de la Figura 3, de la superficie a analizar variando en cada imagen el ángulo del analizador (0,45,90 y 135 grados, ver Figura 4), la reducción es:

$$Q = \frac{I(0) - I(90)}{I(0) + I(90)} \quad (1)$$

$$U = \frac{I(45) - I(135)}{I(45) + I(135)} \quad (2)$$

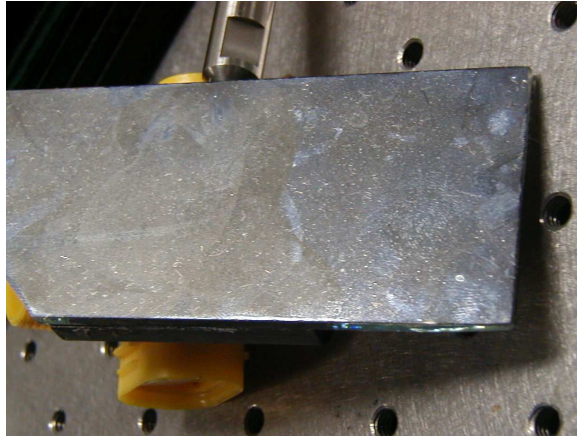


Region muestra para limpieza con colodión.

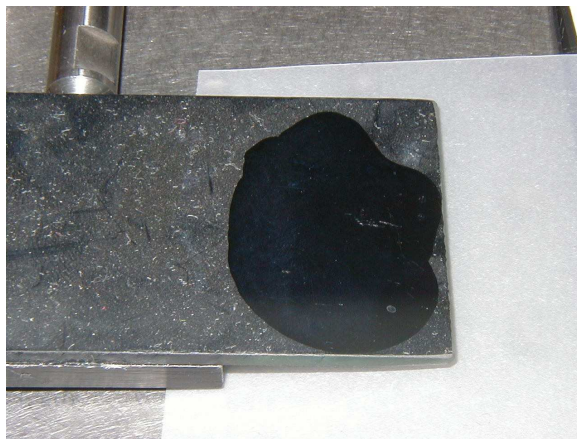


Efecto “termopar” del colodión y el aluminio.

**Figura 1:** Proceso de limpieza con colodión.

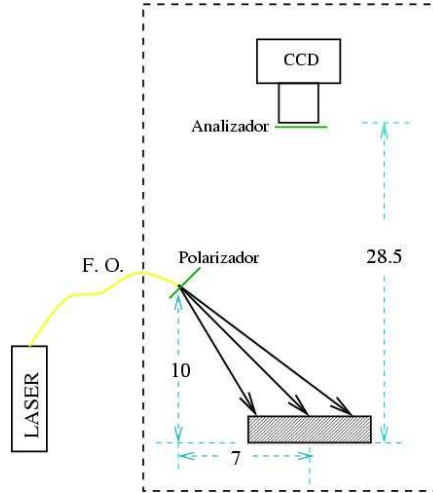


Región sucia.



Región limpia.

**Figura 2:** Antes y después de la limpieza con colodión.



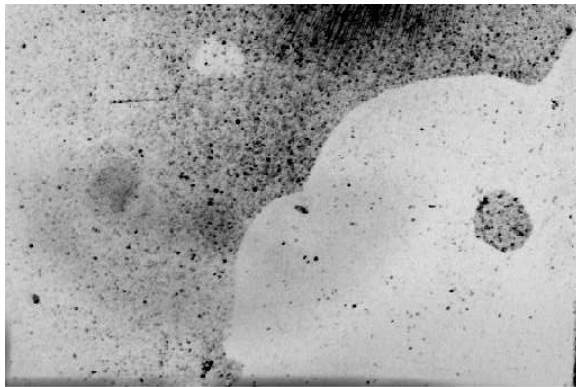
**Figura 3:** Dispositivo experimental para polarimetría. Las unidades mostradas son cm.

En donde Q y U son las componentes del vector de polarización, de tal forma que podemos conocer la magnitud y dirección de la luz polarizada por el polvo depositado en la superficie, recordemos que la superficie esta iluminada con luz linealmente polarizada. Aunque en este caso sólo nos interesa conocer si la luz es polarizada o no, basta con analizar la magnitud y dirección de estos vectores en cada pixel de las imágenes, usando las expresiones siguientes:

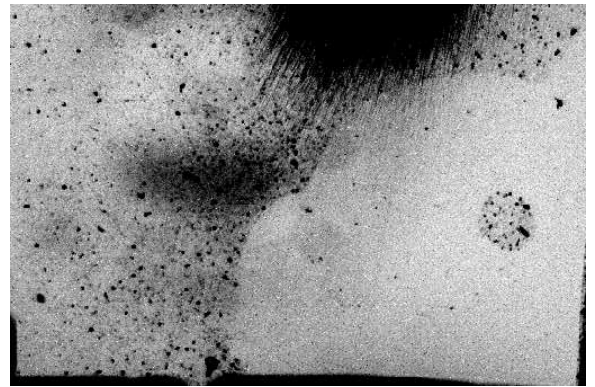
$$magnitud(i, j) = \sqrt{Q(i, j) * Q(i, j) + U(i, j) * U(i, j)} \quad (3)$$

$$angulo(i, j) = 0.5 * arctan(U(i, j)/Q(i, j)). \quad (4)$$

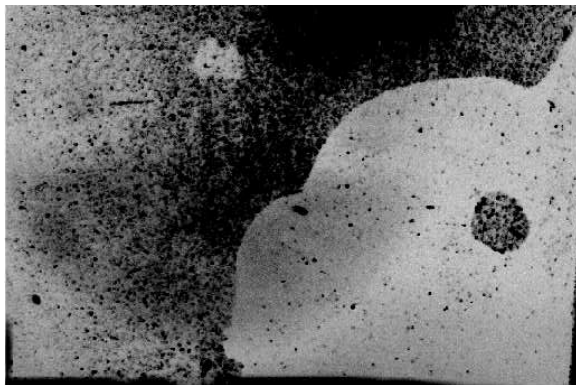
Para hacer mas claro la presentación de los resultados obtenidos, antes de graficar la magnitud y dirección de cada pixel se hace un promedio en cajas de 3 x 3 o 5 x5 en las dos imagenes para que la infomación no se traslape, ver la Figura 5. Es importante mencionar que la presencia de polvo en el espejo se identifica facilmente, ya que los vectores de polarización tienen magnitudes mucho mas grande comparadas con la magnitud de la región limpia.



Analizador a  $0^\circ$



Analizador a  $90^\circ$

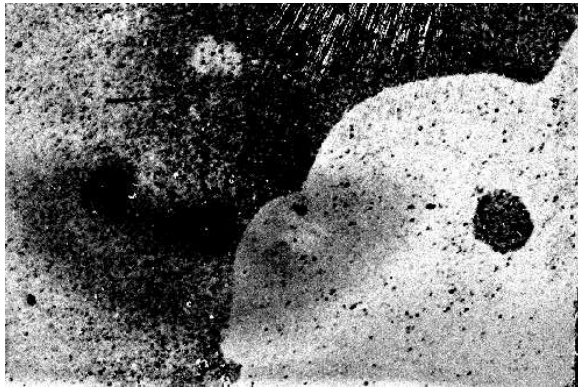


Analizador a  $45^\circ$

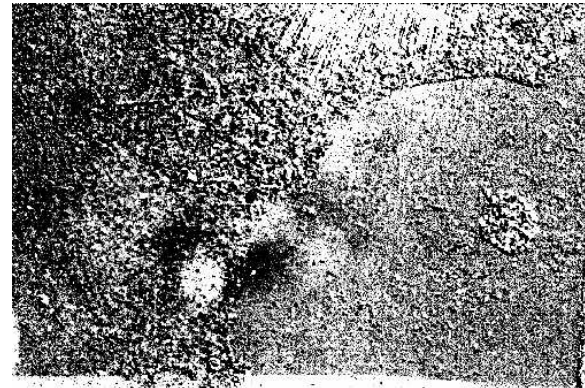


Analizador a  $135^\circ$

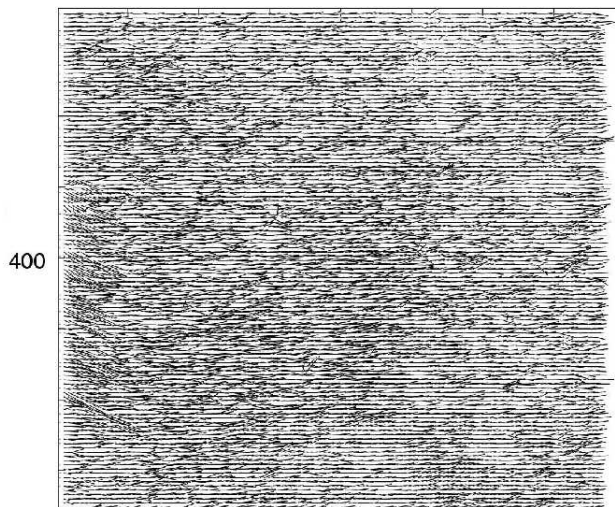
**Figura 4:** Irradiancias con analizador a cuatro ángulos diferentes para polarimetría. Cada imagen muestra información diferente.



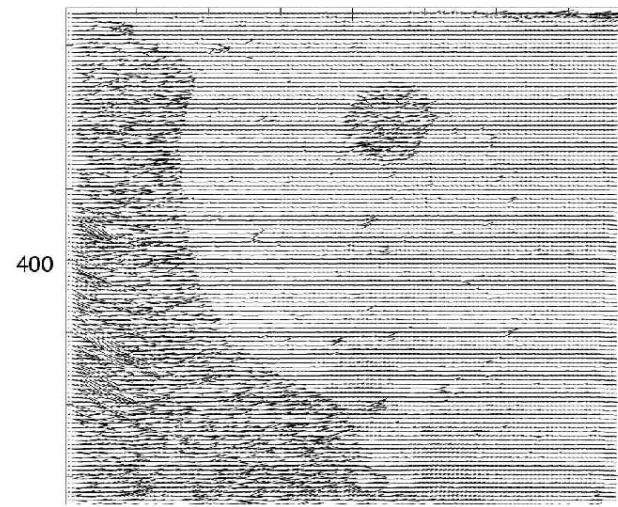
Magnitud obtenida de la ecuación(3)



Dirección obtenida de la ecuación(4)



Superficie con polvo.



Superficie limpia.

**Figura 5:** Magnitud y dirección de los vectores de polarización, en superficie sucia y limpia.



**Figura 6:** Colector comercial de polvo

### **3 Limpieza electrostática.**

Esta propuesta promete resultados alentadores para usarse en los espejos de telescopios astronómicos, la técnica se puede resumir de la siguiente manera:

Mediante alto voltaje se genera una diferencia de potencial que ioniza las partículas de polvo circundante, esta ionización genera una corriente de aire que dirige las motas ionizadas a un cátodo donde se adhieren las partículas, este cátodo se limpia, después de una semana, con un trapo y nuevamente se colocan para seguir limpiando el ambiente. La Figura 6 muestra una fotografía del dispositivo comercial que se adquirió para realizar las pruebas. En la Figura 7 se muestran el cátodo con polvo y limpio.

El análisis de esta técnica está parcialmente hecha, pues en el laboratorio el colector de polvo funciona bien, pero falta un estudio minucioso cerca de los espejos de los telescopios, este se ha demorado por que en los últimos meses la humedad relativa en los telescopios del OAN ha sido alta, otro inconveniente, que se intuye y podría limitar su aplicación es que se desconoce si la ionización del aire circundante al cátodo finalmente llegue a la película de aluminio y termine por desprenderla.





Cátodo con polvo



Cátodo limpio

**Figura 7:** Colector de polvo Electrostático.

## 4 Limpieza con vapor de agua

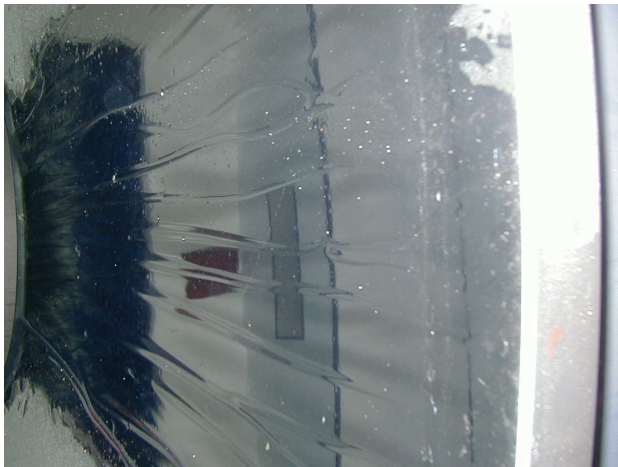
Las pruebas se hicieron con una bomba de vapor para uso doméstico, la temperatura del vapor es baja y la presión de salida se puede regular para no dañar el aluminio. Los resultados obtenidos son aceptables, pero existe el inconveniente de que el vapor llena toda la habitación y se adhiere a todo lo presente, por lo que debe estar el espejo desmontado, fuera de la celda y lejos del instrumental, esta restricción limita su uso, pues la maniobra que hay que realizar para aplicar esta técnica de limpieza es más complicada que lavar el espejo con agua y jabón. En la Figura 8 se muestran una serie de fotografías donde se documenta el proceso de limpieza con vapor.



Espejo sucio.



Inicia la limpieza con vapor .



Vapor y arrastre de polvo con alcohol



Vapor y secado con papel óptico.

**Figura 8:** Proceso de limpieza con vapor a baja presión y temperatura. El inconveniente principal es que el vapor llena todo el lugar donde se limpia el espejo.

## **5 Limpieza por contacto con diferentes telas y sustancias comerciales limpiadoras de superficies ópticas**

Antes del aluminizado, se hizo la prueba con diferentes materiales comerciales para limpieza de lentes fotográficas y oftálmicas. Se inicio con un paño de algodón, recomendado para limpieza en seco de lentes fotográficas, en el caso del aluminio sin película protectora, el resultado se muestra en Figura 9a. El siguiente experimento consistió en la limpieza en seco con papel óptico especial para limpieza en seco de lentes fotográficas y oftálmicas, el resultado fue el mostrado en la Figura 9b, finalmente se hizo una prueba con la solución comercial que se usa para limpiar lentes fotográficas y oftálmicas, el resultado se muestra en la Figura 9c. De las imágenes mostradas en la Figura 9 podemos concluir que este método de limpieza es el más agresivo y poco efectivo para limpieza de espejos que no tienen película antirrayaduras, pues en el caso de las lentes fotográficas y oftálmicas es conocido que estos métodos son efectivos y comerciales. En la Figura 9d se muestra parte del grupo técnico que participó en este proyecto.



a) Limpieza con paño de algodón.



b) Limpieza con papel óptico.



c) Limpieza con paño y líquido comercial



d) Parte del grupo humano de pruebas.

**Figura 9:** Proceso de limpieza con diferentes materiales comunes para lentes fotográficas y oftálmicas.

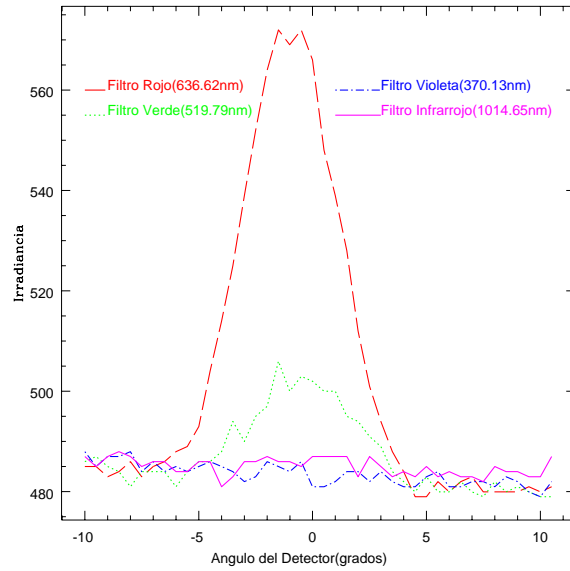
$\lambda_{central}$ (nm)	Ancho de banda		Transmitancia (%)
	50 %	9.80nm	
370.13	10 %	14.27nm	32.83
	1 %	20.75nm	
	50 %	8.37nm	
515.79	10%	12.38nm	70.92
	1 %	18.67nm	
	50 %	9.99nm	
636.62	10 %	13.79nm	68.37
	1 %	19.62nm	
	50 %	9.28nm	
1014.65	10 %	13.18nm	58.51
	1 %	18.62nm	

**Tabla 1:** Características de los filtros.

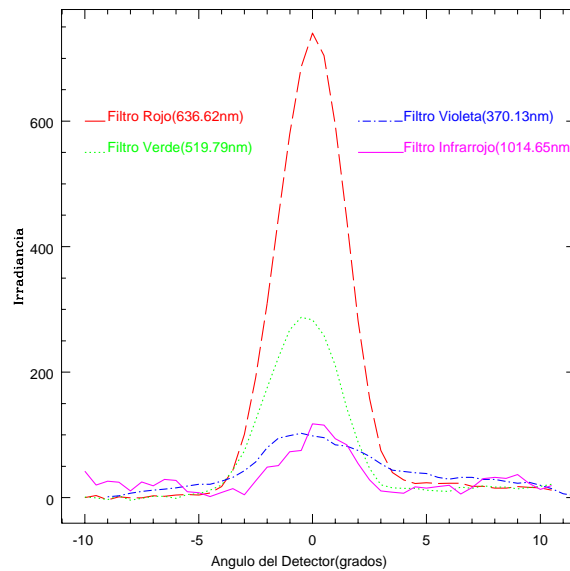
## 6 Medidas de reflectancia en aluminio sucio y recién evaporado.

Con la idea de conocer cada tres meses como cambia la reflectancia en el espejo del telescopio de 2.1m fue necesario diseñar y construir un reflectómetro. Como prueba inicial se hizo un muestreo al espejo de 2.1m antes de aluminizar, los resultados se presentan en la Figura 10, el muestreo fue con filtros interferométricos ( la información se muestra en la Tabla 1). El experimento consiste en hacer incidir un haz de luz blanca a la zona de interés, el haz antes de de incidir pasa por el filtro seleccionado, después de la reflexión el haz se refleja en un fotodiodo que sensa la intensidad promedio de 100 medidas, antes de cambiar de posición, este procesos se repite para diferentes inclinaciones del detector el cual se mueve a un radio constante teniendo como centro de giro el centro de incidencia de la superficie que se prueba.

Esta en proceso de desarrollo el reporte del reflectómetro que pretendemos sirva para investigar, además, el esparcimiento producido por el polvo, sin embargo el detector actual subtiende un ángulo sólido de aproximadamente 10 grados, y para lograr sensar el esparcimiento se necesita un detector que subtienda un ángulo sólido de 30 minutos de arco.



Reflectancia del espejo de 2.1m antes de aluminizar.



Reflectancia del espejo de 2.1m después de aluminizar.

**Figura 10:** Reflectancia Antes y después de aluminizado el espejo primario de 2.1m.

## 7 Maniobra para aluminizado y estimación del espesor de la película de aluminio.

El pasado 20 de agosto se aluminizó el espejo primario del telescopio de 2.1m del OAN. Esta vez se pusieron espejos de prueba para evaluar el espesor de la película de aluminio depositada, al final de esta sección se mostrará el interferograma y la estimación del espesor.

Como parte importante de la maniobra para realizar el aluminizado mostramos la mayor parte del procedimiento, esto no habia sido documentado antes.

La complicación inherente de tener la campana de aluminizado hasta el fondo del edificio lleva consigo la necesidad de tener que bajar el espejo hasta este lugar (ver Fig 11)

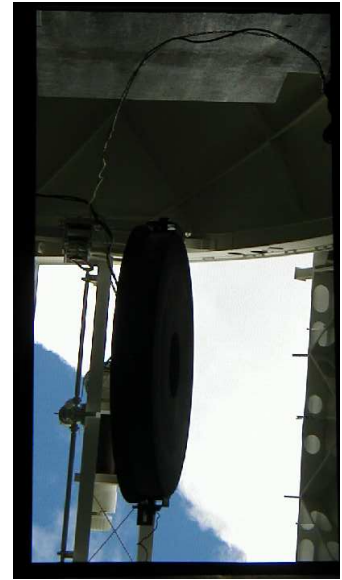
El proceso de limpieza y preparación de la cámara de aluminizado es parte importante para que el aluminio se adhiera fuertemente al material cerámico que forma el espejo, Ver. Fig. 12.

Usamos como superficie de prueba o testigo dos regiones de espejos aluminizado, de tal manera que cuando se evaluaran con un interferómetro se tuviera alto contraste en las franjas. En la Figura 13 podemos ver interferograma que se obtuvo de una de los testigos que se usaron para medir el espesor de aluminio evaporado, el espesor estimado fue de  $144 \pm 13$  nanómetros.





Espejo fuera de su celda



Inicia el descenso



Sigue bajando



Listo para la mesa de limpieza

**Figura 11:** Maniobra de bajar y subir el espejo.



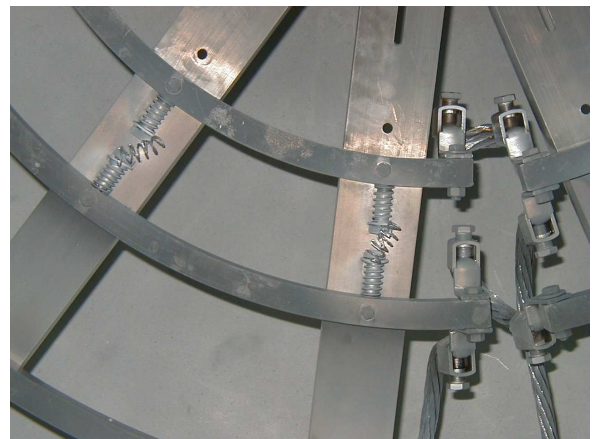
Remoción del aluminio



Lavado del substrato

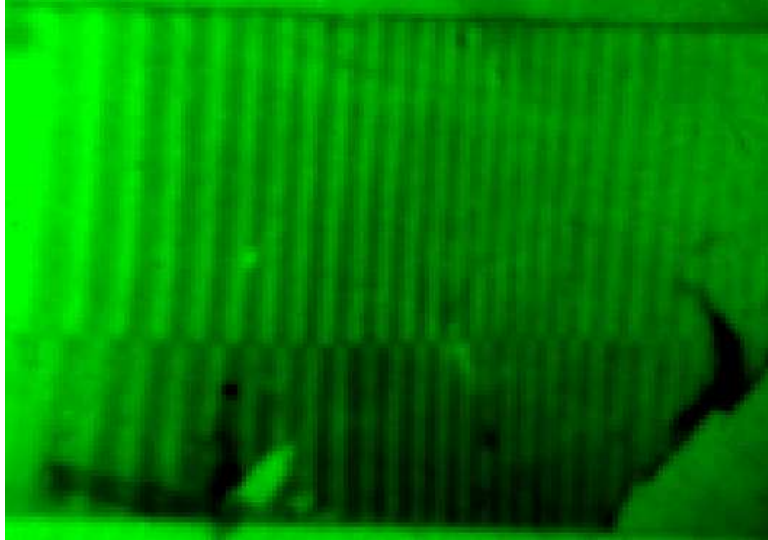


Ultima limpieza antes del aluminizado

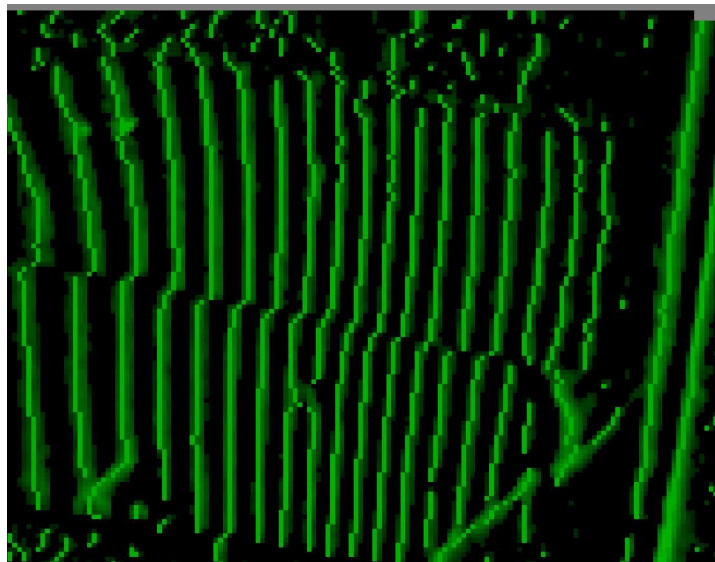


Carga de aluminio para evaporar

**Figura 12:** Limpieza y puesta de grapas de aluminio para evaporar.



Interferograma obtenido con el interferómetro tipo Newton



Franjas resaltadas para la evaluación

**Figura 13:** La separación entre dos franjas brillantes es de 270 nanómetros y el escalón estimado fue de  $144 \pm 13$  nanómetros

## 8 Conclusiones

Las técnicas discutidas en este reporte iniciaran con un procedimiento para seguir el progreso del aluminio de los espejos de los telescopios, el muestreo de la reflectancia a diferentes longitudes de onda se harán de manera periódica. Para lograr este objetivo se instalará en cada telescopio un reflectómetro, también se construirá un esparcímetero portátil para monitorear la pérdida de reflectancia por polvo en las diferentes longitudes de onda. El esparcímetero nos dará la información sobre el crecimiento del haz una vez reflejado por una superficie con polvo, si la superficie esta libre de polvo un rayo en el detector formaría un punto, pero por el polvo la luz se dispersa y entonces en lugar de un punto se forma una mancha.

Con la idea de seguir la reflectancia de los espejos se comparó el aluminio de espejos comerciales con los espejos evaporados en la campana del OAN, encontramos una diferencia significativa que comentamos a continuación.

Los espejos que se compraron, para usarse de referencia en las medidas, cuando se probaron con el filtro interferométrico con longitud de onda de 370 nanómetros estos no reflejaron. La explicación es que el fabricante los recubre con una película que protege al aluminio para que no se raye por lo general esta protección no refleja esta longitud de onda. Las gráficas presentadas en la Figura 10 muestran que en el caso del aluminio depositado en el OAN a 370 nanómetros existe reflectancia y esta se pierde cuando el espejo tiene polvo.

De los métodos de limpieza y conservación discutidos en este reporte, podemos decir que la técnica usando *colodión*, se adoptó para limpieza de espejos y lentes pequeñas que no demanden gran cantidad de esta sustancia, pues el costo es muy alto, aproximadamente 200 dólares el galón. Para limpiar el espejo de dos metros necesitaríamos 3 galones, por otro lado, la limpieza de los espejos esta programada cada tres meses, así que la cantidad de *colodión* demandada es muy alta. El método de limpieza con vapor de agua también ofrece ventajas, sin embargo, la limitante es que el resto del equipo debe de aislarse de estos vapores, de lo contrario se cantaminarían. Cabe mencionar que esta técnica se usa para limpiar toda la infraestructura metálica sustento de los espejos dentro de la campana de aluminizado, dando como resultado un menor tiempo para evacuarla. La técnica de limpieza electrostática esta en plena investigación y aunque tiene algunos inconvenientes, como se apunto arriba, aun no se acepta o rechaza totalmente. Por último la técnica de limpieza por contanto con diferentes telas y sustancias comerciales

limpiadoras de superficies ópticas quedo desechada, por rayar y maltratar la película de aluminio.