

OPTIMIZACIÓN DEL RANGO DE TOLERANCIA ÓPTICA APLICANDO MEJORA CONTINUA BAJO ISO 9001 EN LA CONSTRUCCIÓN E ISO 17025 EN LOS ENSAYOS DE UNA CÓNICA DE REVOLUCIÓN

Luis C. Martorelli, Miguel A. Ascolese, Javier R. Bergamini, Eleodoro Nuevas, Federico Cervini
Laboratorio de Óptica, Calibraciones y Ensayos- Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas-
Universidad Nacional de La Plata. La Plata –Argentina
TE +54-221-427-4914 lmoptica@yahoo.com.ar

Resumen: El presente trabajo detalla, los métodos, las técnicas y los resultados obtenidos, aplicando las mejoras continuas en la construcción y los ensayos, según ISO 9001 e ISO 17025, en una cónica reflectora de revolución. Superando desde un valor de error estándar entre $\lambda/4 > \varepsilon > \lambda/6$, a un valor entre $\lambda/20 > \varepsilon > \lambda/30$ ($\lambda = 550\text{nm}$) para razones focales $f/\geq 5.0$.

1. INTRODUCCIÓN

Durante todo el siglo XX y durante los primeros años del siglo actual, en la mayoría de los centros científicos de países en vías de desarrollo, en los trabajos de investigaciones en diferentes disciplinas del conocimiento, no es común el uso y la aplicación de Normas y Herramientas de la Calidad, ni la aplicación de variables y parámetros propios de una medición que sí contempla la actual Metrología (1).

Después de la década de los años 60, muchos países pioneros en el tema Metrología y Calidad, insertaron dentro del sistema científico universitario, conceptos, herramientas y parámetros que contemplaban situaciones de mejora continua, control estadístico de los procesos, teoría de errores, trazabilidad instrumental e incertidumbre en sus mediciones (2).

Este trabajo, pretende mostrar las mejoras obtenidas en las mediciones de una cónica de revolución, implementando, elementos de ISO 9001 e ISO 17025, en un laboratorio del sistema científico y tecnológico de la R. Argentina, en el área de la Óptica Instrumental (3).

En la Argentina el Organismo Argentino de Acreditación (OAA), el Instituto Argentino de Normalización (IRAM), y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) desarrollan oficialmente programas de capacitación y formación a nivel nacional, esta actividad no está concentrada o adaptada a las necesidades de las universidades nacionales. Los conceptos de trazabilidad, Normas, incertidumbre o herramientas de la calidad, son conocidos, pero no son comúnmente considerados por la mayoría de los científicos que desarrollan su

actividad en los centros de investigación de dichas universidades nacionales y del CONICET Argentino (4) (5).

En el Laboratorio de Óptica, Calibraciones y Ensayos de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata (LOCE-FCAG-UNLP), Argentina, se comenzó hacia el año 2001, con la tarea de trabajar en la incorporación de estas Normas, mejorando el error máximo posible en las mediciones de cónicas de revolución

2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El Laboratorio, diseña, fabrica y controla piezas ópticas para sistemas reflectores de diámetros medios, con investigaciones y aplicaciones en Astronomía Observacional.

La construcción de una cónica de revolución, ya sea una parábola ($b = -1$), una esfera ($b = 0$) o una hipérbola ($b < -1$), sobre una superficie óptica reflectora, (siendo b la constante de deformación de las cónicas), exige buenas técnicas de pulido así como de exactos métodos de medición, especialmente para poder detectar valores de apartamiento dentro de un error máximo tolerable, de $\varepsilon = \lambda/6$, $\lambda = 550 \text{ nm}$ (6, 7, 8).

En las mediciones dentro del Laboratorio, en condiciones previas a la mejora continua (antes de 2007) el error medio del promedio de una superficies cónica, no podía ser mejores que $\varepsilon = \lambda/5 \pm \lambda/10$ en 550 nm.

En la imagen de la Figura 1 se representa el registro de una superficie óptica de 500 mm de diámetro, $f/$

4.2, con $b = -1$ con defectos de aberración de Coma (C), Astigmática (As), y de pulido.

Los defectos detectados influyen en las mediciones, fluctuando rápidamente, frente a mínimos cambios de las variables ambientales locales, como son; las variaciones de constantes físicas del vidrio, las variaciones en los instrumentos de medición o las variables que son introducidas por el propio observador.

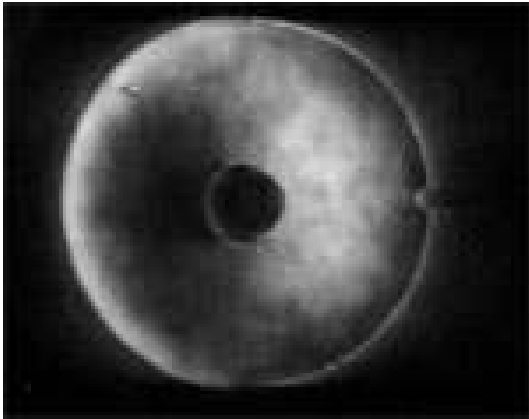


Figura 1- Superficie $D = 500\text{mm}$, $f/4.2$, orificio de $10 \mu\text{m}$ Imagen en tiempo real tomada con CCD.

La óptica física asegura que el valor de error estándar ($\epsilon = \lambda/6$, 90nm), se encuentra en el límite teórico aceptable para lograr una buena cantidad de energía concentrada en el círculo de mínima confusión de luz, permitiendo considerarla en este valor, como una buena superficie óptica, comercialmente hablando (3, 9, 6).

Los sistemas ópticos reflectores, diseñados, desarrollados y construidos dentro del Laboratorio desde el año 2007, fueron los primeros elementos ópticos adecuados desde su construcción hasta la medición final, con la aplicación de varias Normas, según las determinadas en el Comité Técnico 172 (10, 11, 12). Dos normas generales, la ISO 17025 (13), permitió adecuar y fortalecer los requisitos técnicos del Laboratorio especialmente en el área de mediciones, y la ISO 9001 (14) accionar los cambios específicos dentro de las planificaciones de construcción y elaboración de cónicas de revolución (15).

Hasta la inserción del Laboratorio en los sistemas de metrología y calidad en el año 2007, los trabajos en este tipo de ópticas adquirirían un valor de terminación aceptable dentro de las tolerancias exigidas ($\lambda/5 < \epsilon < \lambda/4$) en diámetros de superficies,

hasta 800 mm y $f/5$ según el criterio de Rayleigh, siendo complicada la repetibilidad de los resultados y desconociendo la trazabilidad de los instrumentos y las técnicas de medición (8,15, 16, 19).

Para la exigencia de la óptica de alta precisión este valor está por debajo de los valores teóricos exigidos, que estarían comprendidos por debajo de los 20 nm ($\lambda/20$ o más), resultados que se alcanzaron en el Laboratorio después de aceptar y planificar los cambios para una mejora continua utilizando aquellas normas (8, 5).

3. DETALLES EXPERIMENTALES

Analizando la estadística anual de fabricación de piezas ópticas reflectoras desarrollada desde el año 2001 al 2006 en el Laboratorio (Tabla 1, diámetro en mm), y aplicando técnicas de análisis de errores causa-efecto(16) para la verificación de los factores intrínsecos que afectaban la fabricación y la medición de estas piezas ópticas, se obtuvo el primer factor relevante en el trabajo, determinar y aislar el porcentaje de errores que intervienen dentro del proceso de fabricación y medición de esas piezas ópticas.

DIÁMETRO	CANTIDAD
600	2
500	3
400	1
325	3
300	6
250	8
200	57
180	82
150	32
TOTAL	100

Tabla 1: Cantidad de superficies reflectoras desde 2001 a 2006

En la Tabla 2 se hace referencia a la importancia de cada problema detectado usando el análisis de efecto- causa y mejorado por la aplicación de estas normas (13) y (14).

Frente a las pruebas objetivas de los errores detectados, que limitaban alcanzar los exigentes valores de construcción para óptica de precisión, se planteó realizar un cambio innovador (2007-2009) dentro de un Laboratorio Universitario, formando parte del sistema científico nacional, refiriendo tanto

a los procesos de construcción como a los de medición óptica.

N	ÁREAS GENERALES	ISO	% Error
A	Operarios – mano de obra	9001 17025	12
B	Maquinaria de trabajo	9001	22
C	Método de medición	17025	25
D	Medio ambiente- entorno	9001 17025	18
E	Materiales- materias primas	9001	10
F	Técnica de fabricación	9001	13
	Total		100

Tabla 2 Áreas de errores generales y porcentajes detectados según análisis de Efecto-Causa.

En la Tabla 3, se detallan los datos del sector D de la tabla 2.

N	D- Medio Ambiente de medición
1-	LUGAR ADECUADO
1-a	Existen Normativas
1-b	Áreas con seguridad
1-c	Técnicas locales o internacionales
1-d	Exigencias cumplimentadas
1-e	Tolerancias
1-f	Bibliografías existentes
2-	ILUMINACION
2-a	Definidas según normas
2-b	Fuentes directas
2-c	Manual interna o externa
2-d	Filtros
2-e	Lámparas calibradas
3-	VARIABLES LOCALES
3-a	Temperatura controlada
3-b	Humedad controlada
3-c	Partículas y polvo en suspensión
3-d	Planilla de control actualizada
3-e	Ventanales. externos
3-f	Fuentes de calor controladas

Tabla 3: Se muestra una rama específica Área de medición de la Rama general.

Para ello, se tomó la decisión de aplicar técnicas de Metrología y Calidad según las ISO 17025 y 9001. El trabajo permitió asegurar y definir las no conformidades para los procesos de diseño,

construcción y especialmente la medición del error medio estándar, sobre las cónicas de revolución.

4. RESULTADOS

Planificada la corrección de esos errores basándose en las no conformidades determinadas por ambas Normas, durante el año 2008 las mediciones de defectos y tolerancias en las superficies ópticas comenzaron a experimentar variaciones por debajo de los estándares alcanzados hasta ese momento. Este paso fue muy importante ya que se logró con continuidad, repetir y reproducir los resultados de cada medición, base de toda premisa metrológica (17), (18).

En la Figura 2 se observa el diseño de la nueva cámara de pulido adaptada a las condiciones ambientales críticas; $18^{\circ}\text{C} < T < 22^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y humedad por debajo del 40%, con un área antipartículas externas.



Figura 2: Nueva Sala de Pulido del Laboratorio



Figura 3: Nueva mesa de medición. Sala de Metrología Óptica.

En la imagen de la Figura 3 se observa la nueva mesa metrológica diseñada con sistema XY a

incorporarse en la sala de metrología óptica con condiciones adaptadas al valor teórico deseado ($\varepsilon < \lambda/15$).

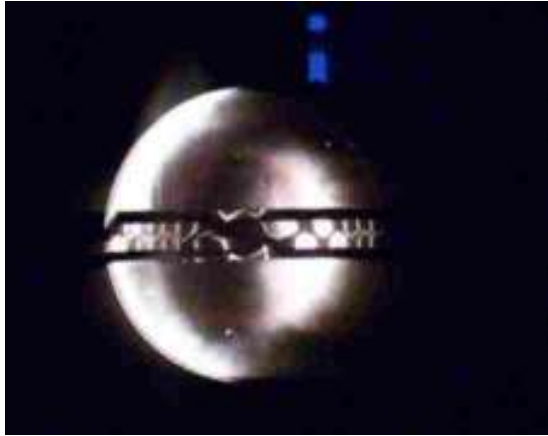


Figura 4a: $D = 800 \text{ mm}$ $F/ 5.4$, $b = -1$.

La imagen de la Figura 4a muestra el frente de onda, de una superficie óptica de 800 mm de diámetro $f/5.4$, $b = -1$, tomada en condiciones anteriores a la mejora continua. En este caso, las variables del entorno ambiental (temperatura y humedad) no se consideraban y se observan los cambios en el movimiento del aire. En esta etapa los operarios realizaban la medición dentro del área, y el valor del RMS era siempre cambiante en el tiempo, la reproducibilidad determinaba errores muy por encima de la media normal ($\lambda/8$).

En el promedio de 6 mediciones, se obtenía un error $\varepsilon = \lambda/4 \pm \lambda/20$ ($140 \pm 20\text{nm}$, $\lambda = 550\text{nm}$). En esa imagen se observa un defecto de aberración astigmática, condicionada además por la forma de soportar la pieza óptica (16, 18).

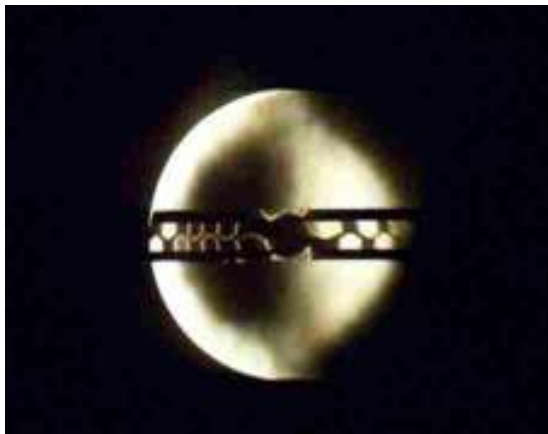


Figura 4b: Ídem 4a en condiciones de Mejora Continua dentro del laboratorio.

La imagen de la Figura 4b es la misma superficie, registrada con igual técnica del análisis del frente de onda, pero con las correcciones de mejora continua de la Tabla 3. En esta medición se contemplaron principalmente las variables ambientales ($T = 20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$; $H = 48\% \pm 1\%$). La metodología de medición es con operarios a distancia y externo a la sala estabilizada. En este caso se observa que la pantalla de medición permite evaluar un valor del RMS promedio de 6 mediciones ($\varepsilon = \lambda/15 \pm \lambda/50$, $35 \pm 10 \text{ nm}$).

5. CONCLUSIONES

En la construcción de superficies ópticas de revolución se ha estandarizado comercialmente y en forma global, el valor del error mínimo aceptable entre los 70 y los 90 nm ($\lambda/6$ a $\lambda/8$), rango que está en el límite teórico de una buena superficie óptica de calidad y precisión. La medición de este valor obliga a contar con métodos y técnicas determinadas y estándares en laboratorios, pero que no necesariamente exigen condiciones extremas de control. Estas incluyen, variables del entorno, intrínsecas del propio material o de los instrumentos.

La aplicación de conceptos de metrología y de calidad, en la elaboración y medición de estos sistemas ópticos dentro de un laboratorio de desarrollo científico de una universidad nacional, ha sido un salto cualitativo y cuantitativo en las condiciones de mejora continua.



Figura 5. Paraboloide de revolución $D = 250 \text{ mm}$, $f/5.5$ y $b = -1$.

La aplicación de conceptos de Normas, utilizando las herramientas de ISO 9001 e ISO 17025, en el Laboratorio, durante los años 2008 y 2009, permitieron observar rápidamente las correlaciones

entre los resultados típicos de medición antes y después de las mejoras. de medición. (13)

En la imagen de la Figura 5 se observa una curva de revolución en una superficie cónica parabólica ($b = -1$) con diámetro $D = 250\text{mm}$ y relación focal $f/5.5$, construida y medida con las mejoras implementadas. En el diagrama de la Figura 6 se describe el perfil con el error promedio, determinado sobre esa superficie (4).

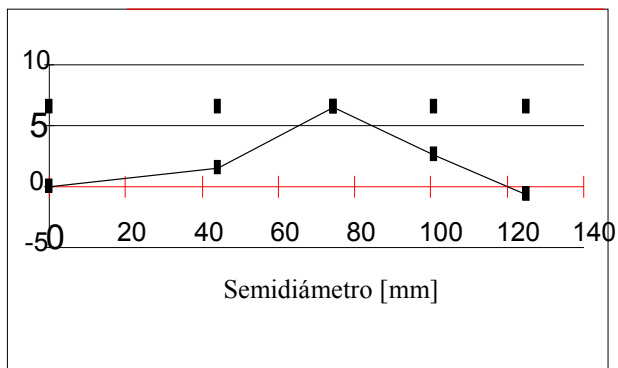


Figura 6. Perfil del semidiámetro de un espejo de 250mm y $f/5.5$. Eje Y (error promedio) $\lambda/14$ ($40 \pm 10\text{nm}$).

Dentro de las ventajas que representó para el Laboratorio insertar las mejoras de un sistema metrológico normativo, el hecho concreto de poder registrar detalles en estas nuevas condiciones permitieron aplicar técnicas de procesamiento de imagen digital, obteniendo así nuevos resultados sobre las condiciones micro- y nano- métricas de las superficies construidas.

Este trabajo demuestra, como ya lo expresamos, que en aquellos países que están en vías de desarrollo y que cuentan con limitados recursos para la obtención de buenos resultados científicos, existiendo un serio compromiso de la dirección, una buena aplicación de los recursos humanos y de las capacitaciones continuas, así como del concepto claro de las premisas que hacen de la Metrología una verdadera ciencia de las mediciones, es posible sin duda, alcanzar resultados superiores a los estándares de calidad, e insertar en esas investigaciones, normativas que aseguran la competitividad de los resultados como son la ISO 9001 y especialmente la ISO 17025.

En el caso de la óptica, y particularmente de las cónicas de revolución diseñadas y desarrolladas en el Laboratorio, los cambios en los resultados fueron inmediatos, y la precisión y exactitud de ellos, basada en las nuevas herramientas de la Calidad, la

trazabilidad instrumental y la adecuación de las medidas adaptadas según exigencias de estándares internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Cegarra Sánchez J., Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica. ISE, 2004
- (2) Schmidt W.A., Martínez R.L.. Guía para estimar la Incertidumbre de la Medición. Documento CENAM, 2004
- (3) Mollet, P. Optics In Metrology. ICO. Pergamon Press, 1960.
- (4) Martorelli L.C., Bergamini J., Brusi L., A., Pierre Castella A. Metrología Óptica – XXV Congreso Nacional UNIRAM. Octubre 2008. La Rioja, Argentina
- (5) Martorelli L.C., J R Bergamini J.R. Fortalecimiento de laboratorios en el sistema científico y tecnológico. Simposio de Metrología 2008 Nro1139. México, 2008
- (6) Schmith, J. Modern Optical Engineering. McGraw-Hill, 1968
- (7) Malacara, D. Optical Shop Testing. John Wiley and Sons, 1980.
- (8) K.J.Gasvik Optical Metrology Ed. Wiley Third Editio), 2003
- (9) Wolf, E., Progress in Optics. Vol II – IV-VI Ed. North Holland Publishing Company 1970
- (10) ISO 10109-7 Optics and Optics Instruments – Part 7.Test requirements for optical measuring instruments.
- (11) UNE-CE-167-2001 Métodos de Ensayos Ópticos.
- (12) UNE-CE-168-2001 Métodos de Ensayos no ópticos.
- (13) ISO / IEC 17025:2005 General requeriments for the competence of testing and calibration laboratories.
- (14) IRAM-ISO 9001:2008 Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- (15) Sánchez G., Metrología Geométrica Dimensional, Editor AGT 1990
- (16) Roca, J.; Corominas, T., Óptica instrumental. Alfaomega, 2000.
- (17) González González C., Zeleny Vázquez R., Metrología, McGraw-Hill 2003.
- (18) J .E. Greitenkamp Field Guide to geometrical Optics SPIE Vol FG01- 2003.
- (19) Jenkins F.A, and White H.E., Fundamentos de Óptica, Aguliar, 1965.