

ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño y construcción de un telescopio Cassegrain clásico

Design and construction of a telescope classic Cassegrain

BAQUERO, N.¹; HERNANDEZ, W.A.², RINCON R.A.²

¹Físico, MSc. ²Ingenieros Electrónicos. Grupo de Estudio en Bioingeniería, Instrumentación y Automatización. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad de los Llanos.

Recibido Agosto 29 de 2006. Aceptado Septiembre 13 de 2006

RESUMEN

Se presenta los resultados del trabajo de investigación aplicada y desarrollo tecnológico llevado a cabo en el taller de óptica de UNILLANOS: Diseño y construcción de un telescopio Cassegrain clásico, de 150 mm de

diámetro, $f/D=20$; como instrumento óptico para la observación astronómica.

Palabras clave: Diseño óptico, telescopio Cassegrain.

ABSTRACT

Next are shown the scientific results of the applied investigation work and technology development accomplished in the optic laboratory of UNILLANOS: Design and construction of a classic Cassegrain telescope of

150 mm of diameter, $f/D=20$; as optic instrument for astronomic observation.

Key words: Design optic, Cassegrain telescope.

INTRODUCCIÓN

Los telescopios astronómicos disponibles en el mercado nacional son ofrecidos por grandes compañías extranjeras y sus precios son de elevado costo y, además sus monturas están fabricadas para latitudes cercanas a los 14 grados; las cuales no son aptas para la posición geográfica del país.

El taller de óptica de UNILLANOS a través de su experiencia calificada en el diseño, construcción y pruebas de componentes ópticos de vidrio y, en la construcción de telescopios ópticos, ha desarrollado una infraestructura científica y tecnológica en el campo de la óptica aplicada en Colombia.

La experiencia en la producción de instrumentos ópticos

consistía en la construcción telescopios reflectores, tipo Newtoniano de diámetro 150 mm y $f/D=8$.

Con el fin de disponer telescopios con igual diámetro pero con mayor capacidad óptica (mayor aumento) para la observación astronómica, se planteó el proyecto de investigación: Diseño y construcción de un prototipo de telescopio reflector, Cassegrain clásico, de diámetro 150 mm, y $f/D=20$.

Un telescopio reflector Cassegrain tipo clásico, con diámetro pequeño y distancia focal alta, es adecuado para la observación planetaria y pequeños objetos de cielo profundo (nebulosas planetarias y algunas galaxias).

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO ÓPTICO DE UN TELESCOPIO CASSEGRAIN

Telescopio Cassegrain Clásico: Configuración y notación

El sistema óptico de un telescopio Cassegrain clásico, está formado por dos espejos: un primario, con una superficie óptica de forma cóncavo parabólico y, un secundario, convexo hiperbólico. Esta forma de las superficies de los espejos tiene el propósito eliminar la aberración de esfericidad en ambos espejos ([7]).

En la Figura 1, se describe el esquema óptico de telescopio Cassegrain Clásico

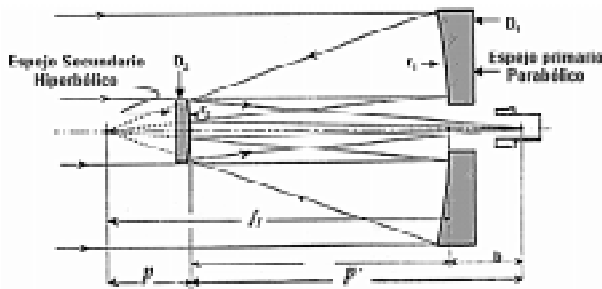


Figura 1. Esquema óptico del telescopio Cassegrain

En la construcción de un telescopio, el diseño óptico debe adaptarse a cinco (5) parámetros ópticos, los cuales son determinados por el tipo de observación y utilidad del telescopio. Para el caso de un telescopio Cassegrain, para la observación planetaria, éstos son:

- Diámetro del espejo primario (D_1)
- Distancia focal del espejo primario (f_1)
- Relación focal del espejo primario (f_1/D_1)
- Factor de amplificación del secundario $M = (f_1 / f_2)$.
- Emergencia focal (Distancia del vértice del primario al foco) (b) ([2]).

Los valores numéricos correspondientes, son:

$$D_1 = 150 \text{ mm}; \quad f_1 = 752 \text{ mm}; \quad f_1 / D_1 = 5;$$

$$M = 4X; \quad b = 150 \text{ mm}$$

ECUACIONES RELACIONADAS CON PARÁMETROS DEL ESPEJO SECUNDARIO.

Según configuración y notación, como se ilustra en la figura 1, se cumple:

$$\text{Distancia del espejo secundario al foco primario}$$

$$p = (f_1 + b) / (M + 1) \quad (1)$$

$$\text{Distancia del espejo secundario al foco}$$

$$p^1 = M p \quad (2)$$

$$\text{Radio de curvatura del secundario}$$

$$r_2 = (2pM) / (M - 1) \quad (3)$$

$$\text{Diámetro del espejo secundario}$$

$$D_2 = (D_1 p) / f_1 \quad (4)$$

Cálculos de parámetros ópticos del espejo secundario

Según ecuación (1), se obtiene:
 $p = 182.4 \text{ mm}$

Según ecuación (2), se obtiene:
 $p^1 = 729.6 \text{ mm}$

Según ecuación (3), se obtiene:
 $r_2 = 486.4 \text{ mm}$

Según ecuación (4), se obtiene:
 $D_2 = 36.38 \text{ mm. ([7] [2])}$

CONSTRUCCIÓN DE LA ÓPTICA DE LOS ESPEJOS DEL TELESCOPIO

Se describe las distintas técnicas para el tratamiento de las superficies ópticas necesarias para el espejos esféricos: parabólicos e hiperbólicos; mediante el empleo de maquinas de tallado óptico. El procedimiento consistió de los siguientes procesos: Generado, esmerilado, pulido y figurado ([1]).

Generado de superficies esféricas

El propósito de esta operación es generar una superficie esférica (cóncava o convexa) con un radio de curvatura previamente diseñado.

Se efectúa con una máquina generadora de superficies esféricas (Figura 2), la cual es una máquina de fresar que utiliza una herramienta de diamante. La máquina tiene dos ejes giratorios; uno de ellos tiene adaptada la herramienta de diamante y en el otro se adapta la pieza de vidrio que se va a trabajar. La inclinación del eje en el que va insertada la herramienta, así como el diámetro de la misma determinan la curvatura de la superficie, según la fórmula (5):

$$r = (d / 2\text{sen}\theta) \quad (5)$$

Donde:

- r = radio de curvatura de la superficie
- d = diámetro medio de la herramienta de diamante
- θ = ángulo de inclinación de la herramienta con respecto al de la pieza a trabajar ([6])



Figura 2. Máquina generadora de superficies esféricas

Esmerilado de la superficie

En este proceso de trabajo se hacen desaparecer todos los poros del generado, y la curvatura superficial adopta su medida exacta. El proceso de trabajo es ejecutado por una máquina esmeriladora ([6]).



Figura 3. Máquina esmeriladora de palanca

Las máquinas de tallado para el esmerilado se denominan máquinas de palanca (Figura 3), por la circunstancia de que efectúan los movimientos necesarios para estas operaciones mediante el accionamiento tan sólo de una palanca.

El operario debe únicamente graduar la máquina y vigilar el proceso de trabajo.

Pulido

Esta operación tiene como finalidad conseguir la transparencia característica de la superficie del vidrio y que ha desaparecido a las operaciones anteriores.

En este proceso la herramienta es una superficie suave cuyo material es la brea óptica o el fieltro. El agente de pulido es un polvo de partículas con tamaño, aproximadamente de media micra. El proceso de trabajo se ejecuta con una máquina de palanca de pulido (Figura 4) y el agente de pulido es el óxido de cerio ([1] [6]).



Figura 4. Máquina de pulido

Figurado

Es el proceso por el cual se altera la forma de una superficie pulida mediante la acción local con herramientas de pulido. Se genera una superficie parabólica o una hiperbólica de una superficie esférica cóncava o convexa, respectivamente ([1] [6] [3] [4]).

PRUEBAS ÓPTICAS DE SUPERFICIES REFLECTORAS

PRUEBA DE RONCHI PARA ESPEJOS CÓNCAVOS

Es el llamado método de la red extrafocal, que consiste en interponer en el haz luminoso, cerca de la imagen, una rejilla periódica. Para el observador aparece la superposición de la rejilla y su imagen, produciendo franjas tipo Moiré.

Si el frente de onda es esférico, las franjas formadas por la rejilla son líneas rectas y paralelas. Si existen imperfecciones en el sistema óptico, las franjas ya no son paralelas, mostrando las correspondientes distorsiones de la superficie bajo prueba.

Arreglo experimental

En la Figura 5, se ilustra el arreglo experimental para observar las franjas de una rejilla periódica proveniente de una superficie esférica o parabólica.

Los elementos utilizados son:

- Lámpara de tungsteno
- Rejilla periódica (3 líneas por milímetro)
- Cámara Digital

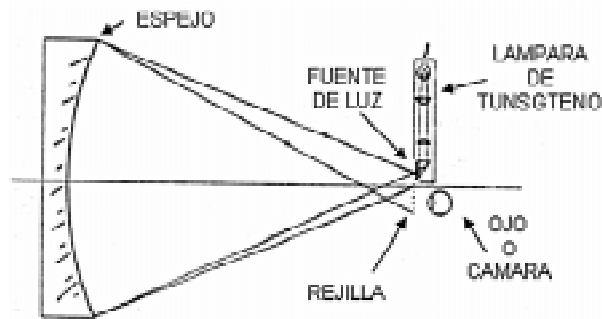


Figura 5. Prueba de Ronchi

Ronchigramas y su interpretación

En la literatura disponible se encuentran estudios de ronchigramas típicos para algunas deformaciones superficiales comunes donde se describe la correspondiente desviación de la superficie. Una interpretación cualitativa acerca de las deformaciones de la superficie en la etapa del pulido, se determina a partir de la comparación del ronchigrama observado con algunos ronchigramas típicos predeterminados.

Con la información obtenida, se hacen los ajustes necesarios para llevar el proceso de figurado a la superficie y obtener la forma deseada mediante el método de prueba error ([1] [5] [4]).

La Figura 6, ilustra el ronchigrama intrafocal correspondiente a la superficie parabólica del espejo primario (diámetro 150 mm, y $f_1/D_1 = 5$).

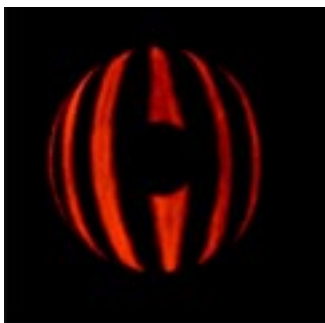


Figura 6. Ronchigrama para la superficie parabólica del espejo primario

INTERFERÓMETRO DE NEWTON PARA ESPEJO HIPERBÓLICO

Es un interferómetro por división de amplitud del un haz luminoso y las franjas que se manifiestan por una delgada película de aire entre las superficies ópticas, se denominan franjas de Newton. Representan líneas de igual separación de las superficies. Entre dos franjas adyacentes, la distancia óptica de la película de aire varía según un valor de media longitud de onda y las franjas pueden interpretarse como líneas de nivel de la superficie del vidrio bajo prueba con respecto a la del vidrio patrón ([5]).

Arreglo experimental

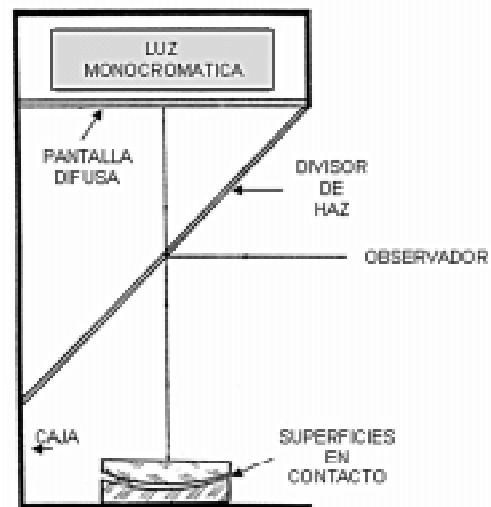


Figura 7. Interferómetro de Newton para superficies esféricas

La Figura 7, ilustra el arreglo experimental utilizado para evaluar superficies esféricas e hiperbólicas. Los materiales requeridos son:

- Una caja de madera de paredes negras
- Una superficie esférica cóncava de referencia
- Un divisor de haz de vidrio
- Una fuente de luz de sodio ($\lambda = 0.59 \mu\text{m}$)
- Una cámara digital para registro de patrones de franjas de Newton ([5])

Procedimiento para determinar desviación de esfericidad

Las medidas se realizan sobre una fotografía del patrón característico de franjas de una superficie hiperbólica. La ecuación de desviación es:

$$\text{Desviación} = (k/d) (\lambda/2) \quad (6)$$

Donde

- d = Espaciamiento entre dos franjas paralelas adyacentes del patrón de la superficie convexa.
- k = Espaciamiento de desviación del patrón de la superficie hiperbólica a partir de la línea recta.
- λ = longitud de onda de la luz.

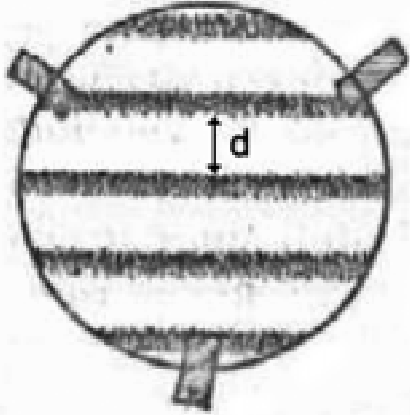


Figura 8. a) Superficie esférica convexa

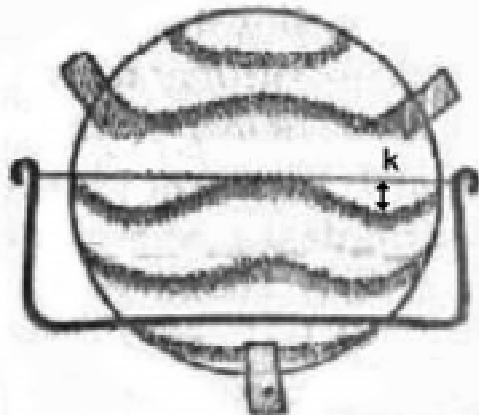


Figura 8. b) Superficie hiperbólica

La figura 8, ilustra las franjas de Newton de la superficie del espejo secundario en sus etapas: convexo e hiperbólico ([7]).



Figura 9. Fotografía del telescopio Cassegrain

RESULTADO Y DISCUSIÓN

DISEÑO ÓPTICO

Matemáticamente se llevó a cabo el diseño óptico de los parámetros de un telescopio reflector Cassegrain, tipo clásico, de diámetro 150 mm y $f/D=20$, como instrumento óptico para la observación de superficies planetarias del sistema solar.

TALLADO ÓPTICO

Se desarrollaron experimentalmente las técnicas para el tallado óptico (Generado, esmerilado, pulido y figurado) mediante el empleo de máquinas de tallado

(Generadoras, esmeriladoras y pulidoras) de superficies esféricas: cóncavas, convexas, parabólicas e hiperbólicas; correspondientes al espejo primario y secundario de un telescopio Cassegrain, tipo clásico, con un diámetro=150 mm, distancia focal= 20D, poder de resolución= 0.93 segundos de arco

La principal dificultad en la construcción de un telescopio Cassegrain, es el tallado y prueba de la superficie óptica del espejo secundario. Se implementaron por primera vez, las técnicas necesarias para el tallado y prueba óptica para una superficie convexa hiperbólica.

PRUEBAS ÓPTICAS

PRUEBA DE RONCHI

Se llevaron a cabo interpretaciones cualitativas inmediatas al principio del pulido con precisiones de $\lambda/2$, permitiendo conocer las desviaciones de la superficie y la forma de corregirlos. Al final del figurado, se obtuvieron análisis cuantitativos con precisiones de $\lambda/10$, mediante el uso de mascarillas del ronchigrama ideal, calculados por computadora.

Los siguientes datos técnicos corresponden al espejo que fue evaluado por medio de la prueba de Ronchi:

Diámetro óptico= 150 mm
Espejo parabólico con $f/D=5$

Esta prueba óptica es un montaje experimental sim-

ple, presenta un patrón de sombra brillante (franjas de Moiré), la evaluación de la calidad de la superficie óptica es de rápida interpretación y práctico para registros fotográficos.

INTERFERÓMETRO DE NEWTON

Se llevaron a cabo interpretaciones cualitativas inmediatas en las etapas iniciales del pulido con precisiones de λ y permitió conocer las desviaciones en la superficie del espejo hiperbólico. Se realizaron análisis cuantitativos en la etapa final del figurado con precisiones de un $\lambda/10$.

La prueba permitió evaluar la desviación de esfericidad de una superficie hiperbólica de diámetro de 36,38 mm y radio de curvatura 486.4 mm que se utilizó como espejo secundario de un telescopio Cassegrain.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de superficies parabólicas e hiperbólicas, involucró el desarrollo de técnicas matemáticas de diseño y procesos de producción de componentes ópticos mediante el empleo de máquinas de tallado.

Las pruebas experimentales para la evaluación de las características ópticas de superficies esféricas reflectoras (Prueba de Ronchi e Interferómetro de Newton) son métodos simples de implementar y de rápida interpretación.

La construcción de telescopios en el taller de óptica, implementa el desarrollo de tecnologías propias y la

apertura de una línea de trabajo en aplicaciones tecnológicas en el campo de la astronomía.

La disponibilidad instrumental de un telescopio Cassegrain, de diámetro 150 mm y $f/D=20$, potencializa la conformación de grupos de estudio y de trabajo en UNILLANOS, en el campo de la astronomía observacional.

La comunidad académica de UNILLANOS, se beneficiará con el uso del telescopio Cassegrain mediante la implementación de cursos de extensión sobre astronomía básica y observacional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es la primera etapa del resultado de un proyecto de investigación denominado "Aplicación y análisis de procesos de automatización del movimiento de monturas para telescopios a través del seguimiento controlado por procesamiento de imágenes,

como mecanismo de optimización en la fabricación de instrumentos y equipos ópticos del Taller de Óptica de la Universidad de los Llanos", el cual fue financiado por el Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana de la Universidad de los Llanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAQUERO, Nelson. Diseño, producción y evaluación de superficies planas y esféricas con fines ópticos en el rango visible. Tesis de maestría. Universidad Nacional, Bogotá, 1994.

BROWN, Sam. All about telescopes. Ed. Barrington. New Jersey, Edmund Scientific co, 1981. 189p.

HOWARD, N.E. Handbook for telescope making. Faber and Faber Limited. London, 1962. 321 p.

INGALLS, A.G. Amateurs telescope making advanced. Scientific American Inc, New York, Book two, 1974.

MALACARA, Daniel. Optical Shop Testing. John Wiley & Sons, New York, 1992. 773 p

SCHADE, Harry. Procedimientos de trabajo en óptica de taller. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1961. 185 p.

TEXEREAU, Jean. How to make a telescope. Second English Edition. Willmann-Bell, Inc, 1984. 421 p.