

Diseño de una lente de fresnel de baja frecuencia usando trazo exacto de rayos

Resumen

En el diseño de telescopios espaciales, se deben considerar dos parámetros importantes, el peso y las dimensiones del mismo, como en el caso del proyecto KLYPVE, el cual consiste en diseñar un telescopio espacial detector de fluorescencia; considerando a éste como un telescopio refractor, formado por una lente objetivo y un arreglo de detectores fotomultiplicadores en el plano imagen. Para cumplir con los parámetros de mínimo peso y volumen en el telescopio, en el presente trabajo se propone el diseño de una lente de Fresnel como lente objetivo del telescopio, por ser una lente muy delgada y por consecuencia muy ligera. Se presenta un diagrama de machas para ilustrar su funcionamiento el cual es obtenido con trazo exacto de rayos.

Abstract

Two important parameters should be taken into account in the design of space telescopes, namely, weight and dimensions as in the case of the KLYPVE project. This consists of designing a fluorescent space telescope detector which is a refractor telescope made of an objective lens and an arrangement of photo multipliers on the image plane. To fulfill the minimum weight and volume parameters of the telescope, the present study proposes the design of a Fresnel lens as an objective lens of the telescope since it is very thin and consequently very light. The study presents a diagram of spots obtained by exact ray tracing to illustrate its operation.

Résumé

Dans le modèle de télescopes spatiaux, on doit considérer deux paramètres importants, le poids et les dimensions de ceux-ci tout comme dans le cas du projet KLYPVE, qui consiste à dessiner un modèle de télescope spatial détecteur de fluorescence ; considérant celui-ci comme un télescope réfracteur, formé par une lentille objective et un arrangement de détecteurs photomultiplicateurs sur l'image pleine. Pour remplir les paramètres de poids et de volume dans le télescope, on proposera dans cette étude le modèle d'une lentille Fresnel comme lentille objective du télescope, étant donné que c'est une lentille très fine et donc par conséquent très légère. On présentera un diagramme de points pour bien illustrer son fonctionnement, fonctionnement qui s'obtient à l'aide d'un trait exact de rayons.

*Jorge González García,

**Alberto Cordero Dávila,

*Agustin Santiago Alvarado y

*Graciela Castro González

1. Introducción

El proyecto KLYPVE consiste en diseñar un detector de fluorescencia, el cual será colocado en el espacio para la detección de rayos cósmicos de muy altas energías,¹ estos detectores de fluorescencia no son más que telescopios, los cuales pueden ser de tipo refractor o reflector; para el caso del telescopio tipo refractor, éste estaría formado por una lente y una serie de detectores multiplicadores colocados en el plano imagen (ver Figura 1). Si el diámetro de la lente es muy grande (por ejemplo 1800 mm), su volumen y peso también lo serían, lo cual es un inconveniente para la puesta de estos instrumentos en el espacio; por esta razón en el presente trabajo se propone el diseño de una lente de Fresnel, la cual es una lente muy delgada, que sustituye a la lente plano-convexa, como se muestra en la Figura 2. Una lente de Fresnel puede ser visualizada como un arreglo de prismas, con el ángulo de cada prisma ajustado de tal manera que los rayos de un frente de onda plano, los cuales pasan a través de ella, son refractados hacia el punto focal de la misma.² Siguiendo el procedimiento establecido para el diseño del telescopio tipo reflector con espejo primario del tipo Fresnel (el cual fue diseñado por una serie de espejos de anillos con diferentes radios de curvatura),³ el diseño de la lente de Fresnel que se propone estará formada por un conjunto de lentes anulares con superficies esféricas y radios de curvatura iguales. Por lo tanto en la sección 2 se realizan las simulaciones del funcionamiento óptico del

*Universidad tecnológica de la Mixteca

**Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,
Benemérita Universidad Autónoma de
Puebla.(BUAP).

telescopio formado por una lente simple plano-convexa utilizando un programa de trazo exacto de rayos desarrollado en la BUAP, los resultados obtenidos son comparados con el programa comercial de diseño óptico OSLO^{4,5} para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos. En la sección 3 se describe el diseño de la lente de Fresnel y se muestran los resultados obtenidos con el programa de trazo exacto de rayos, y finalmente en la sección 4 se dan las conclusiones.

FIGURA 1. DETECTOR DE FLUORESCENCIA TIPO TELESCOPIO REFRACTOR, CUYA LENTE OBJETIVO ES PLANO-CONVEXA.

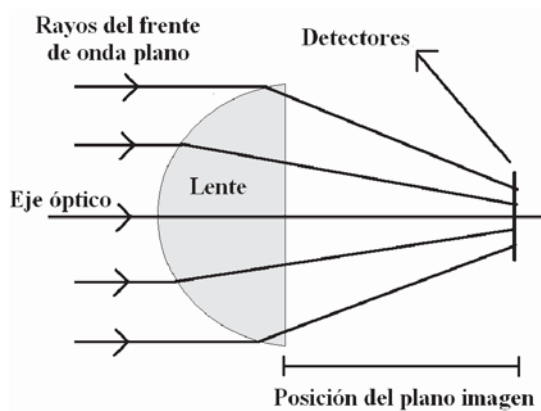
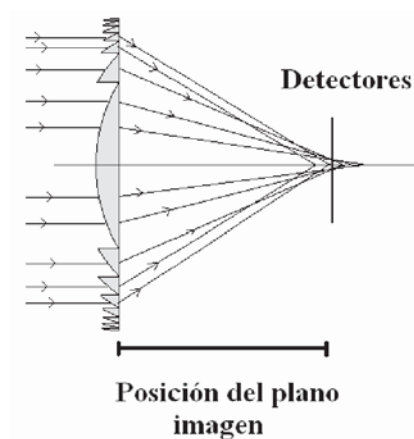


FIGURA 2. DETECTOR DE FLUORESCENCIA TIPO TELESCOPIO REFRACTOR, CUYA LENTE OBJETIVO ES DEL TIPO FRESNEL.



2. Diseño de un telescopio detector de fluorescencia utilizando una lente simple.

En este trabajo se considera que los parámetros requeridos para el telescopio del proyecto KLYPVE son los mostrados en la Tabla 1. Utilizando los valores de la distancia focal efectiva y el diámetro de la lente, mostrados en la Tabla 1, se puede proponer una lente sim-

ple plano-convexa (ver Figura 3) para el diseño de este telescopio, cuyo grosor de la lente de acuerdo a estos parámetros sería de 214 mm con un radio de curvatura de 2000 mm. La simulación del telescopio con este tipo de lente, se realizó utilizando el programa comercial de diseño óptico OSLO y un programa de trazo exacto de rayos (diseñado en el taller de óptica de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP), con el propósito de comparar los resultados obtenidos y garantizar el buen funcionamiento del programa desarrollado; los parámetros utilizados para las simulaciones se muestran en la Tabla 2 y la comparación de los resultados del tamaño de la mancha se muestran en la Tabla 3, y en las Figuras 4 y 5 se muestran los diagramas de manchas generados por OSLO y por el programa de trazo exacto de rayos respectivamente.

TABLA 1. PARÁMETROS DEL TELESCOPIO REFRACTOR DEL PROYECTO KLYPVE.

Parámetros de la lente plano-convexa	Valor
Distancia focal efectiva	4014 mm
Diámetro de la lente	1800 mm
Grosor de la lente	10 mm
Tamaño angular de la mancha	0.43 grados
Índice de refracción	1.498311

FIGURA 3. LENTE NORMAL UTILIZADA PARA EL DISEÑO INICIAL DE LA LENTE DE FRESNEL.

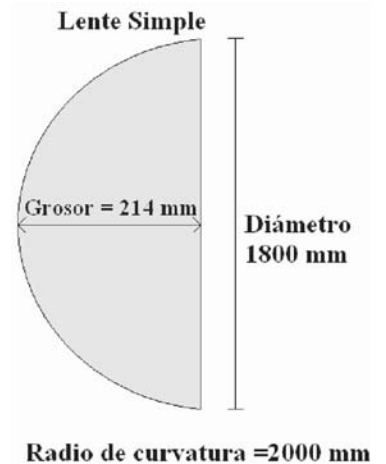


TABLA 2. PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN DEL TELESCOPIO CON UNA LENTE PLANO-CONVEXA.

Parámetros utilizados en la simulación del telescopio	Valor
Diámetro de la lente	1800 mm
Grosor de la lente	214 mm
Radio de curvatura de la superficie convexa	2000 mm
Índice de refracción	1.498311

TABLA 3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN DEL TELESCOPIO

Parámetro	Programa comercial de diseño óptico	Programa de trazo exacto de rayos
Distancia focal efectiva	4014 mm	4014 mm
Tamaño geométrico de la mancha de mínima confusión	11.3 mm	10.9 mm
Tamaño geométrico RMS de la mancha de mínima confusión en dirección X	8.0 mm	7.8 mm
Tamaño geométrico RMS de la mancha de mínima confusión en dirección Y	8.0 mm	7.6 mm
Posición del plano imagen	3700 mm	3700 mm
Tamaño angular de la mancha considerando el tamaño geométrico de la misma	0.174 grados	0.168 grados

FIGURA 4. DIAGRAMA DE MANCHA GENERADO POR EL PROGRAMA DE DISEÑO ÓPTICO OSLO.

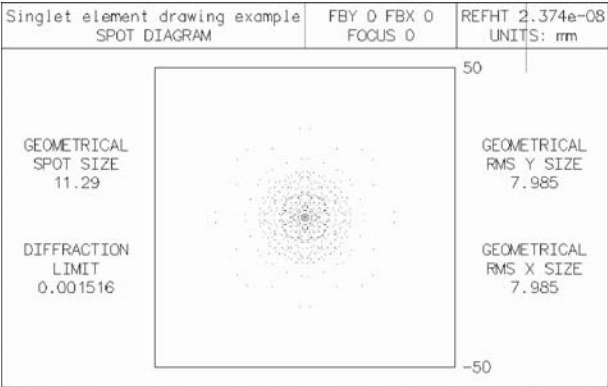
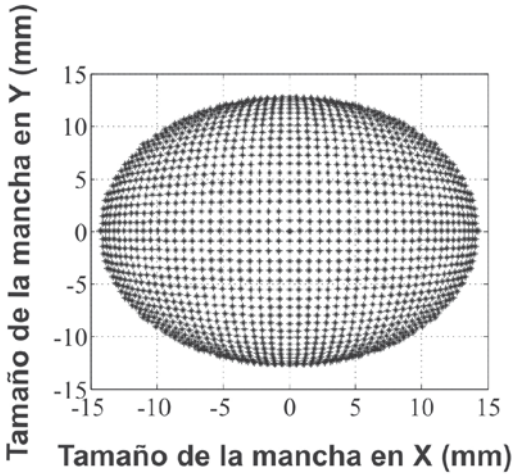


FIGURA 5. DIAGRAMA DE MANCHA GENERADO POR EL PROGRAMA DE TRAZO EXACTO DE RAYOS DISEÑADO EN LA BUAP.



De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2, se puede observar que la diferencia en el tama-

ño de la mancha generada tanto por el programa comercial y el programa de trazo exacto de rayos es a lo más de 4 décimas de milímetro para el caso geométrico y para el caso angular es de 6 milésimas de grado, por lo cual se puede considerar que los resultados del programa de trazo exacto de rayos son confiables; tal y como lo demuestran los trabajos ya realizados utilizando este programa.^{6,7,8}

En la siguiente sección se describe el procedimiento seguido en el diseño de la lente de Fresnel para el trazo exacto de rayos.

3. Diseño de la lente de Fresnel

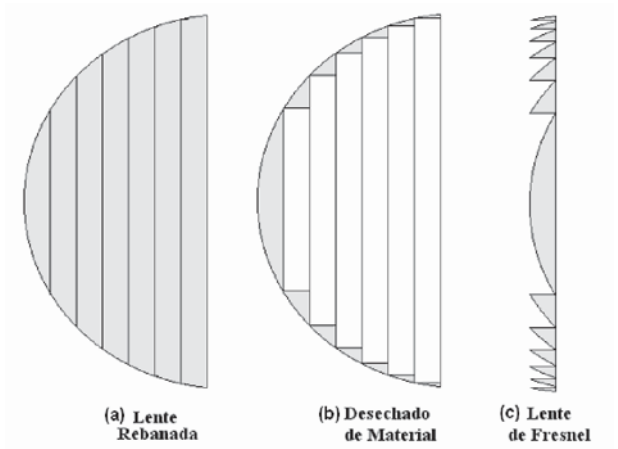
Considerando la lente simple, plano-convexa, mostrada en la Figura 6a, con el semidiámetro igual a 90 cm y el radio de curvatura de 2000 mm y utilizando la ecuación 1, se comprueba que el grosor de esta lente es de 214 mm.

$$z = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - c^2y^2}} \tag{1}$$

Se divide esta lente simple en rebanadas del mismo grosor y quitando el material que no nos sirve, formando de esta manera anillos, los cuales se colocan en un mismo plano formando de esta manera la lente de Fresnel, ver Figuras 6b y 6c.

Para determinar el número de anillos que cumplirían con el diámetro y grosor de la lente propuesta por el proyecto KLYPVE, se utilizó la Ec. 1, cambiando z por d (donde d es el grosor de la lente) y considerando a y como el semidiámetro de la misma, y despejándola, se obtiene una ecuación del semidiámetro de la lente en función del grosor de la misma (Ec. 2), por lo tanto,

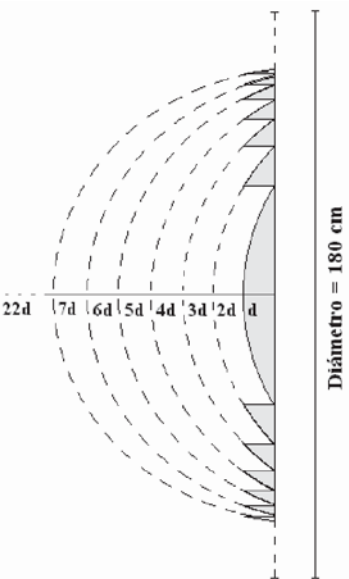
FIGURA 6. DISEÑO DE LA LENTE DE FRESNEL.



como se muestra en la Fig. 7, el grosor del primer anillo corresponde a 10 mm mientras que para el anillo 2 el grosor correspondiente es 20 mm, para el anillo 3 el grosor es de 30 mm y así sucesivamente hasta completar el semidiámetro de la lente. Obviamente estos grosores de cada anillo corresponden a considerar a cada anillo como una lente completa, de las cuales solo se tomara una parte de la lente con grosor igual a 10 mm tal y como se muestra en la Figura 7.

$$y = \sqrt{\frac{2d}{c} - d^2} \tag{2}$$

FIGURA 7. GROSORES CORRESPONDIENTES A CADA ANILLO QUE FORMA LA LENTE DE FRESNEL.



De acuerdo con la Ec. 2, para abarcar el semidiámetro de la lente y tener un grosor de cada anillo de 1 cm físicamente, aunque en la ecuación. 2 cada anillo tiene su propio grosor como se explico anteriormente. El número de anillos los cuales forman a la lente de Fresnel es de 21, cabe señalar que para este diseño el radio de curvatura de cada anillo es el mismo (2000 mm). Los datos de los anillos que forman la lente de Fresnel se muestran en la Tabla 4.

Una vez encontrados los diámetros de los anillos, se paso a la etapa de simulación de este sistema óptico utilizando el programa de trazo exacto de rayos (diseñado en el taller de óptica de la BUAP) con todos los radios de curvatura iguales ya que de esta manera fueron encontrados los semidiámetros de la Tabla 4. La Figura 8 muestra el

diagrama de mancha generado con la lente de Fresnel en la posición del plano imagen para el cual el tamaño de mancha fuese mínimo, la Tabla 5 muestra los resultados de esta simulación.

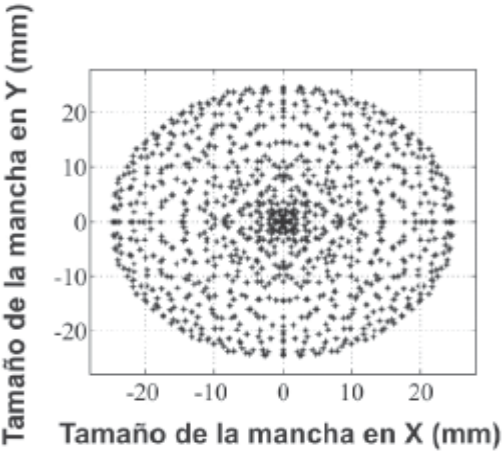
TABLA 4. PARÁMETROS DE LOS ANILLOS DE LA LENTE DE FRESNEL.

Semidiámetro de cada anillo (mm)	Grosor de cada anillo (mm)
199.7	10
282.1	20
345.1	30
397.9	40
444.4	50
486.2	60
524.4	70
560	80
593.2	90
624.4	100
654.1	110
682.3	120
709.2	130
735.1	140
759.9	150
783.8	160
806.9	170
829.2	180
850.8	190
871.7	200
892.1	210
911.9	220

TABLA 5. DATOS Y PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DEL PRIMER DISEÑO.

Parámetro	Programa de trazo exacto de rayos
Número de anillos	21
Radio de curvatura de cada anillo	2000 mm
Índice de refracción	1.498311
Tamaño geométrico de la mancha de mínima confusión	17.6 mm
Tamaño geométrico RMS de la mancha de mínima confusión en dirección X	12.4 mm
Tamaño geométrico RMS de la mancha de mínima confusión en dirección Y	12.4 mm
Posición del plano imagen	3700 mm
Tamaño angular de la mancha considerando el tamaño geométrico de la misma	0.272 grados

FIGURA 8. DIAGRAMA DE MANCHA GENERADO POR LA LENTE DE FRESNEL.



4. Conclusiones

Se realizó el diseño con trazo exacto de rayos de una lente de Fresnel de 1800 mm de diámetro y formada 22 anillos de un grosor de 10 mm para cada uno, la superficie de cada anillo se considero esférica e igual a 2000 mm, el tamaño angular de la mancha de mínima confusión generada por ésta lente de Fresnel, considerando el tamaño geométrico de la mancha, fue de 0.272 grados, por lo cual el diseño de la lente cumple con los parámetros establecidos por el proyecto KLYPVE. De acuerdo a esto una lente de Fresnel puede ser utilizada en los telescopios detectores de Fluorescencia que serían puestos en el espacio **7**

Bibliografía

1. B. A. KHRENOV, M. I. ALEXANDROV, D. I. BUGROV, A. CORDERO, G. K. GARIPPOV, J. LINSLEY, O. MARTINEZ, H. SALAZAR, O. A. SAPRYKIN, A. A. SILAEV, D. V. SUROGATOV, V. S. SYROMAJATNIKOV, L. VILLASEÑOR, A. ZEPEDA
2000 Space program KOSMOTEPETL (projects KLYPVE and TUS) for the study of extremely high energy cosmic rays, in: Proceedings of the Metepec, Puebla, International Workshop on observing Ultra-high Cosmic Rays From Space and earth, AIO vol. **566**, pp.57-75.
2. GIOVANNI VANNUCCI
(1986) "A "tuned" Fresnell lens," Appl. Opt., **16**, 2831-2834.
3. J. DIAZ-ANZURES, A. CORDERO DÁVILA, J. GONZÁLEZ-GARCÍA, O. MARTINEZ-BRAVO, ET AL.
(2004) "Low frequency Fresnel mirrors for fluorescence detector telescopes," Astroparticle Physics **21**, 407-413.
4. SINCLAIR OPTICS
(2001) OSLO LT, versión 6.01, 6780 Palmyra Road Fairport New York, 14450.
5. <http://www.lambdare.com/techsupport/oslo/releasenotes.phtml?file=6.2.4>
6. JORGE GONZÁLEZ GARCÍA Y ALBERTO CORDERO DÁVILA
(2000) "Anillos correctores esféricos segmentados para los telescopios Schmidt del Observatorio Pierre Auger," in XLIII Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física Sup. Bol. Soc. Mex. Fis.
7. A. CORDERO-DÁVILA, C. ROBLEDO-SÁCHEZ, J. GONZÁLEZ-GARCÍA AND V. CABRERA-PELAÉZ
(2000) "Segmented Spherical Corrector Rings 1: Computer simulations," Observing Ultrahigh Energy Cosmic Rays From Space And Earth, AIP CONFERENCE PROCEEDINGS **566**, 354-356.
8. CORDERO-DÁVILA, J. GONZÁLEZ-GARCÍA, J. CUAUTLE-CORTES, C. ROBLEDO-SÁCHEZ, AND V. CABRERA-PELAÉZ
(2000) "Segmented Spherical Corrector Rings 2: Experimental Results," Observing Ultrahigh Energy Cosmic Rays From Space And Earth, AIP CONFERENCE PROCEEDINGS **566**, 357-360.