

Aberraciones esféricas en óptica y la búsqueda de su eliminación por medio de espejos parabólicos.



Q. Mota Espinosa¹, J.D. García Aguilar², A. Herrera Roldán², S.

¹Departamento de Física, ESFM-Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México., México., Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55375 Fax (55) 5729-55015

²Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 16 "Hidalgo".

Distrito de Educación, Salud, Tecnología e Innovación.

Carretera Pachuca-Actopan km 1+500, C.P. 42162, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo.

quauhquemoc15@gmail.com

RESUMEN/ABSTRACT

Los espejos esféricos son una buena aproximación empleada en el estudio de la óptica geométrica. Sin embargo, en la práctica, las aberraciones esféricas que presentan, dificultan la labor de quienes los emplean. Los modelos que planteamos revelan que los espejos parabólicos cuyo comportamiento es abordado de manera geométrica y analítica, son una posible solución a las aberraciones ópticas en gran medida, y aunque no quedan exentos de presentar imágenes deformadas, lo hacen en menor grado que los usuales espejos esféricos.

INTRODUCCIÓN

En la sociedad tecnológica actual la importancia de la instrumentación óptica crece sin límites, un ejemplo de ello es que las aplicaciones de los espejos son ilimitadas, ya sea para fabricar instrumentos de gran precisión que nos ayuden a encontrar respuestas mediante la observación, tales como los telescopios y microscopios; para la fabricación de aparatos electrónicos, o para simplemente el uso doméstico. Si bien, el estudio de la óptica geométrica proporciona aproximaciones precisas mediante el estudio de los espejos esféricos, los estándares actuales de precisión se satisfacen empleando perfiles parabólicos.

METODOLOGÍA

Métodos de estudio abordados.

Se discute el comportamiento de los espejos parabólicos utilizando tres estudios teóricos:

- 1) **Estudio geométrico:** Se empleó la herramienta de GeoGebra para simular rayos de luz y un perfil parabólico mediante el uso de cantidades numéricas arbitrarias, planteando y graficando las ecuaciones con dichas cantidades para poder crear un diagrama geométrico, que mostrara el comportamiento de un espejo parabólico. (Figura 1).
- 2) **Estudio analítico:** Se empleó la geometría analítica y la interpretación geométrica de la derivada para poder definir rayos de luz y el perfil parabólico, en términos de ángulos, pendientes, y lugares geométricos (rectas y parábola), así como principios de óptica y geometría plana para relacionar las variables entre sí.
- 3) **Estudio algebraico:** Se realizó un estudio que incluyó herramientas más avanzadas de cálculo y geometría plana, que si bien, conllevó al mismo resultado que los análisis anteriores, proporcionó una expresión matemática de importancia fundamental en la óptica.

Aberraciones presentes en perfiles esféricos y parabólicos.

-Se elaboró un tratamiento geométrico similar al estudio algebraico utilizado en el estudio de los espejos esféricos, para determinar las causas de su comportamiento aberrante, y se aplicó una serie de Taylor (caso límite), para deducir la expresión de la aproximación paraxial para la posición del foco en espejos esféricos.

-Se determinó la condición única bajo la cual, un espejo parabólico presenta aberraciones mediante un tratamiento puramente geométrico, y se realizó una comparación con los espejos esféricos (véase figura 2).

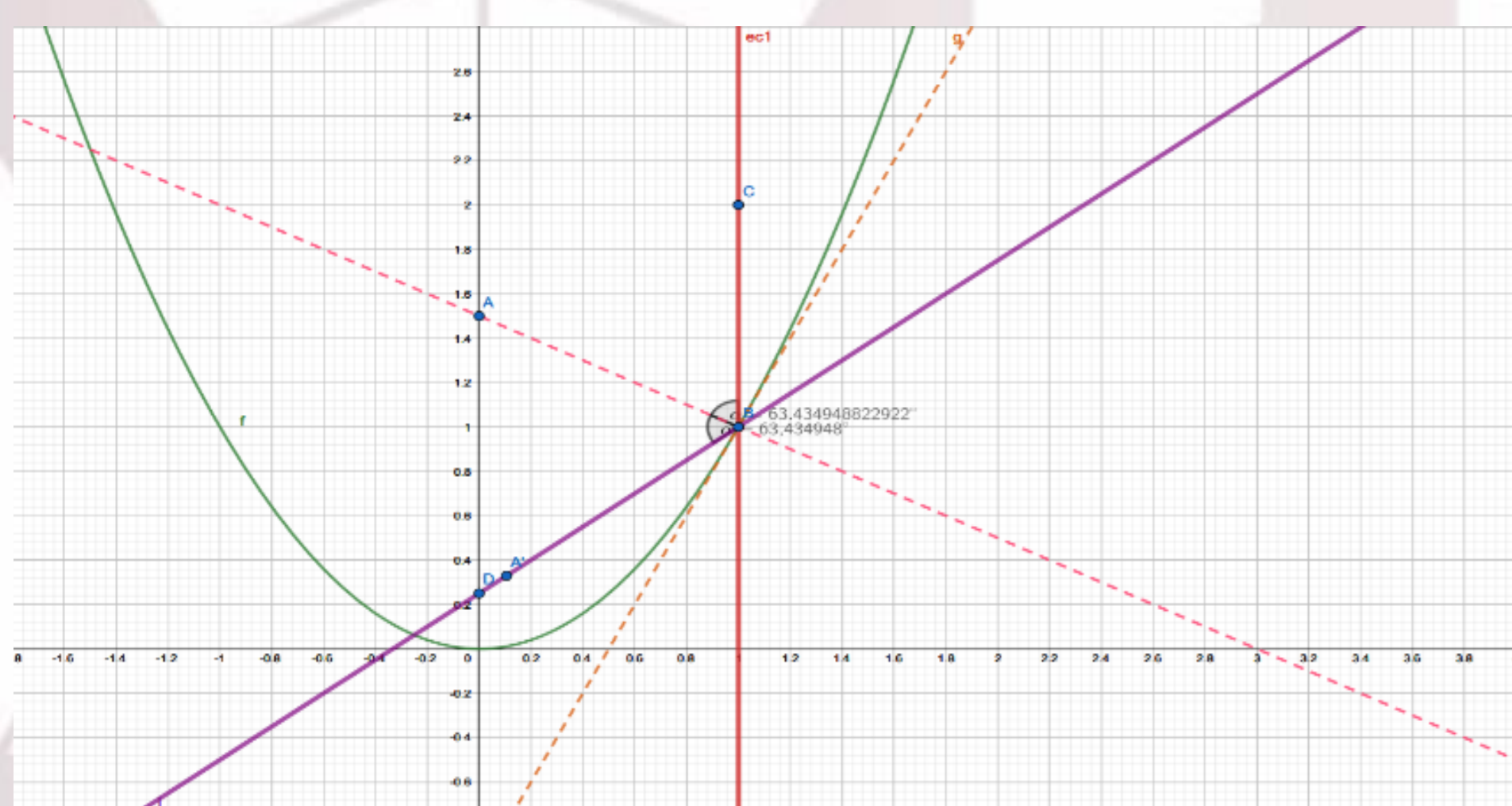


Figura 1. Tratamiento geométrico empleando GeoGebra.

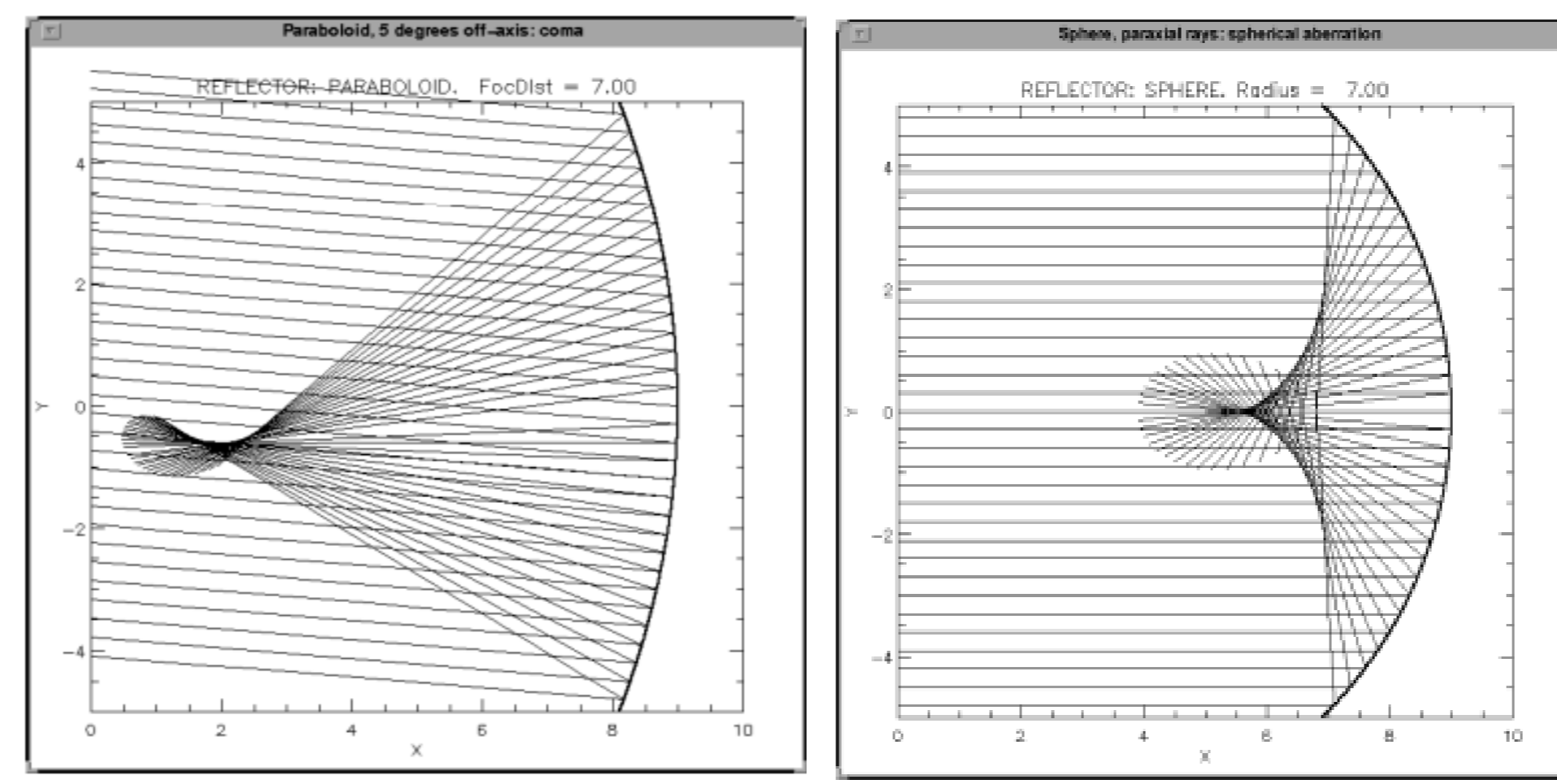


Figura 2. Aberración parabólica y aberración esférica.

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Tres tratamientos, un mismo resultado.

- En el caso del estudio geométrico, analítico y algebraico, se encontró que en un espejo parabólico, el foco óptico coincide con el foco de definición de la parábola; como consecuencia de ello, los rayos de luz reflejados que inciden paralelos en el foco, convergen en el foco, creando una imagen sin aberraciones.
- Se encontró una expresión matemática en forma de ecuación diferencial, capaz de predecir el comportamiento de cualquier espejo con perfil polinomial:

$$f = y + \frac{x(1 - [y'(x)]^2)}{2y'(x)}$$

- Si se sustituye la expresión de un perfil esférico parametrizada en términos de θ en la ecuación anterior, se obtiene que las aberraciones esféricas son de la forma

$$f = R \left(1 - \frac{1}{2\cos\theta} \right)$$

Que expandiendo en una serie de Taylor a un solo término ($\theta \ll 1$), da la expresión del foco en aproximación paraxial:

$$f = \frac{1}{2}R$$

-Los espejos parabólicos presentan aberraciones cuando el haz de rayos paralelos incide desviado con respecto al eje de simetría de la parábola, lo que genera dependencia en la posición del foco, respecto al ángulo de incidencia (figura 3):

$$f = y + \frac{x}{\tan(2\theta + \delta)}$$

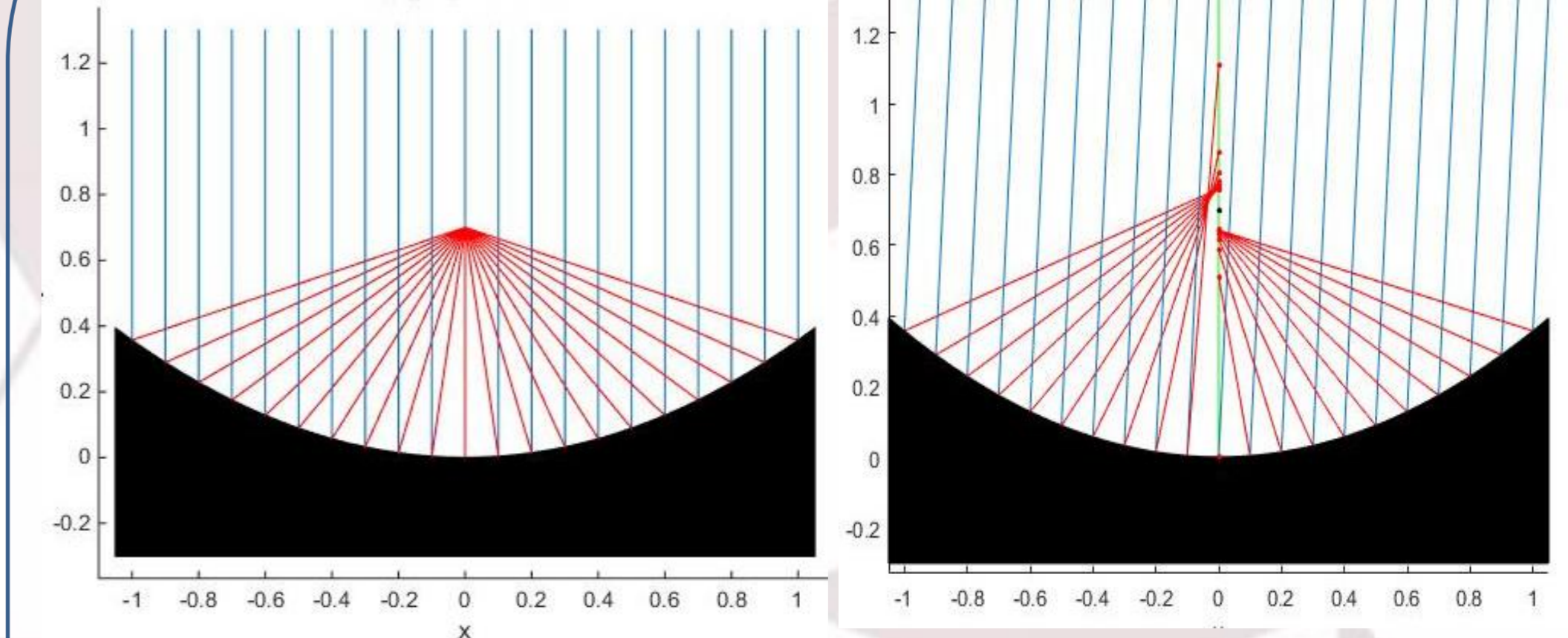


Figura 3. Rayos de luz paralelos, que inciden sin desviación (a la izquierda) y con desviación (a la derecha).

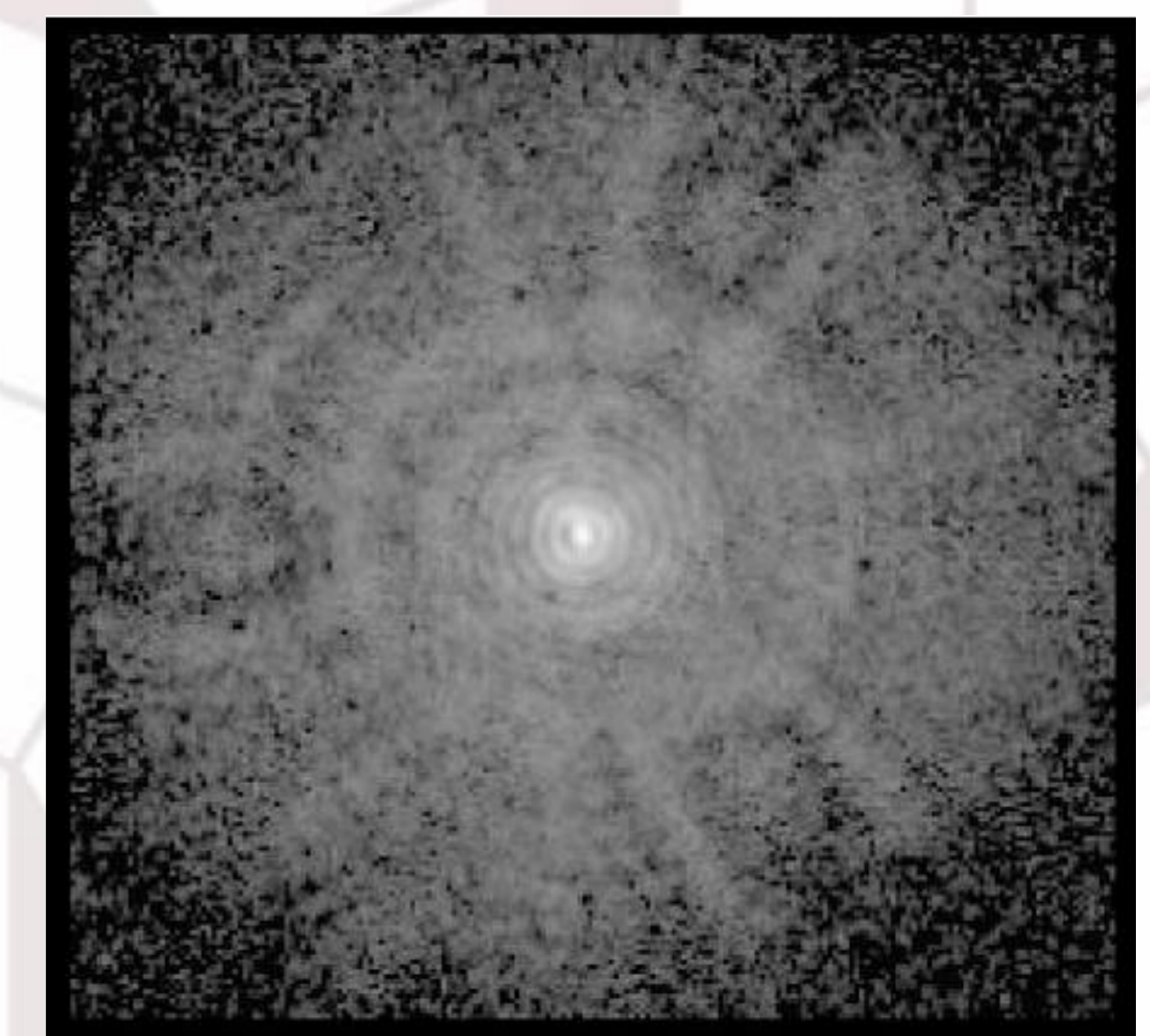


Figura 4. Imagen con aberración esférica.

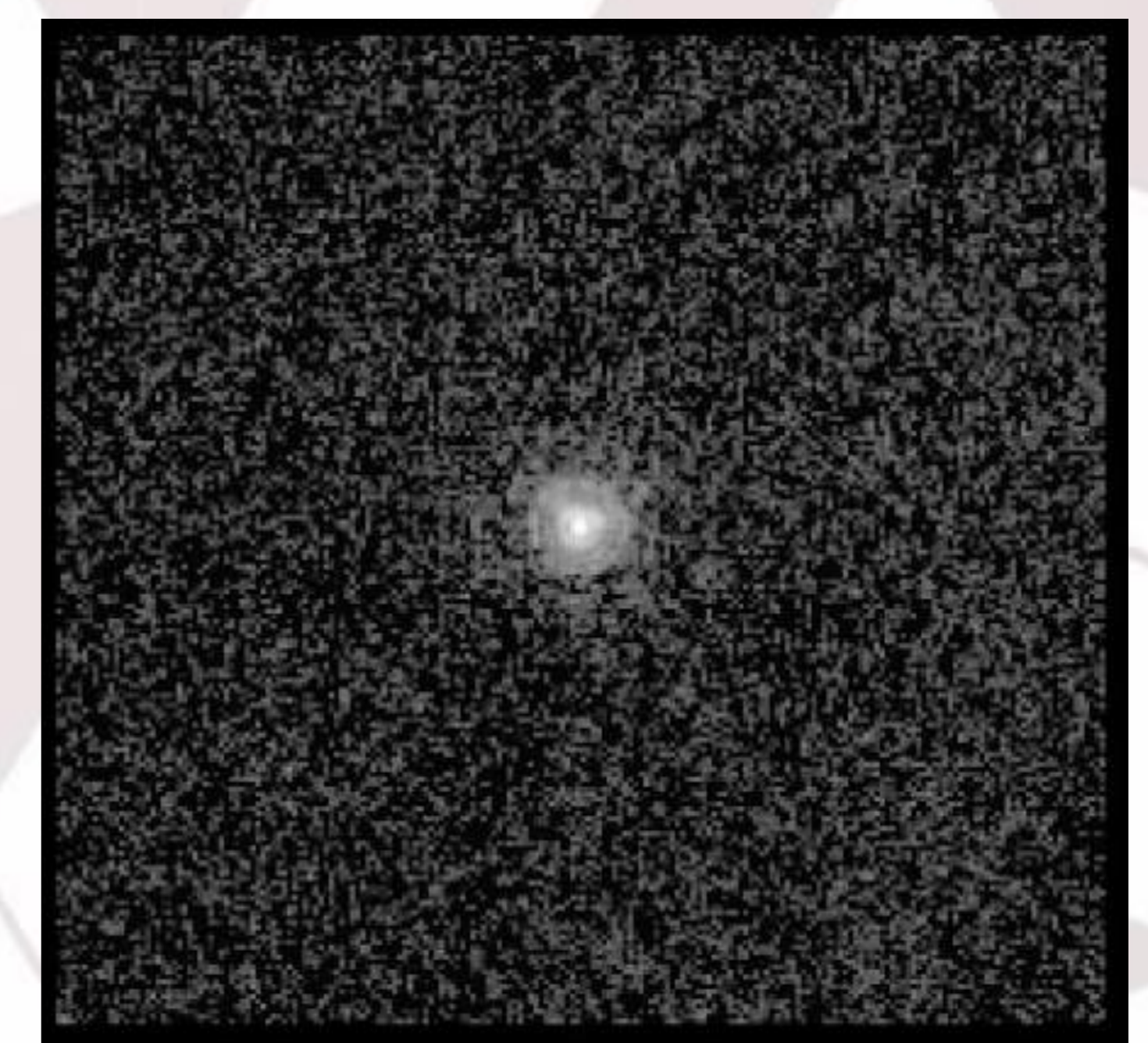


Figura 5. Imagen corregida.

CONCLUSIONES

➤ Se demostró que los espejos parabólicos concentran a los rayos incidentes en su punto focal.

➤ Los métodos de demostración empleados arrojan el mismo resultado, en el caso ideal, la colocación del foco óptico en un espejo parabólico no depende de la posición en la que los rayos inciden, sino que coincide con el foco geométrico del perfil.

➤ En el caso de los espejos esféricos, se deben aproximar los rayos muy cercanos al eje óptico, para que la mayoría se acerque a un punto de convergencia posicionado en la mitad del radio geométrico del espejo (véanse figuras 4 y 5).

➤ Aunque los espejos parabólicos pueden no presentar aberraciones, existen situaciones en las que estas se presentan en las imágenes, tal es el caso de un haz de rayos paralelos, que incida desviado respecto al eje de simetría del espejo

REFERENCIAS

1. Zhong, R., Tang, X., Wang, Q., Wang, C., & Li, Z. (2007). Design and application of non-spherical focus mirror based on analytical function theory. En L. Yang, Y. Chen, E.-B. Kley, & R. Li (Eds.), *3rd International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Advanced Optical Manufacturing Technologies*. SPIE.
2. GeoGebra. (s/f). GeoGebra. Recuperado el 27 de junio de 2022, de <https://www.geogebra.org/?lang=es>
3. El espejo esférico y el espejo parabólico. (s/f). Ehu.es. Recuperado el 21 de junio de 2022, de <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica3/ondas/parabolico/parabolico.html>
4. El espejo parabólico. (s/f). Ehu.es. Recuperado el 21 de junio de 2022, de http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica3/ondas/parabolico/parabolico_1.html
5. Physics 5B. (s/f). Ucsd.edu. Recuperado el 20 de junio de 2022, de <http://scipp.ucsd.edu/~haber/ph5B/parabolico09.pdf>
6. (S/f). Shef.ac.uk. Recuperado el 20 de junio de 2022, de <http://stliffair.staff.shef.ac.uk/teaching/phy217/lectures/telescopes/L07/index.html>
- 7) Espejos parabólicos - Física. (2021, abril 18). Definiciones y conceptos. <https://definicionesyconceptos.com/espejos-parabolicos-fisica-informacion-escolar/>