



# Tecnológico de Monterrey

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**

***Análisis de Sistemas de Imagenología (Grupo 201)***

**Reporte**

**Laboratorio 4. Nuclear Medicine**

***Profesor***

Dr. José Gerardo Tamez Peña

Dra. Diana Sofía Milagros Rosales Gurmendi

***Equipo Pegaso:***

Daniela Alejandra Valdes Torres	A00832312
Diego De La Barrera Martínez	A01197739
Alexa María de León Durán	A01382990
Juan Luis Flores Sánchez	A01383088
Azul Sofía Moctezuma Enriquez	A01562585

***27 de abril de 2023***

## Laboratorio 4 . Nuclear Medicine

### 1. Introducción

La medicina nuclear se utiliza en pequeñas cantidades de material radioactivo para diagnosticar y tratar enfermedades. Esta técnica se basa en la capacidad de los tejidos y órganos del cuerpo humano para absorber diferentes tipos de sustancias radiactivas. Para la detección de estas sustancias, se utilizan cámaras gamma, que son equipos de alta tecnología capaces de detectar la radiación emitida por los radiotrazadores. Los colimadores y la cámara estenopeica son dispositivos importantes en la medicina nuclear, ya que permiten una mayor precisión y resolución en la detección de las imágenes de radiación en el cuerpo humano. La imagen obtenida muestra la distribución de la sustancia radiactiva en el cuerpo, lo que permite a los médicos identificar problemas como tumores, inflamación o infecciones. En la Tabla 1, se adjuntan los integrantes del equipo, estableciendo su participación porcentual, así como, el rol que desempeñaron.

<i>Tabla 1. Integrantes, Participación y Roles en el Laboratorio</i>		
<i>Integrante</i>	<i>Participación</i>	<i>Rol en la Práctica</i>
Alejandra Valdes	20%	Metodología
Diego de la Barreda	20%	Marco Teórico
Alexa de León	20%	Introducción, Objetivo
Juan Luis Flores	20%	Resultados
Sofía Moctezuma	20%	Discusión

### 2. Objetivo

Caracterizar dos cámaras de medicina nuclear: cámara estenopeica y con colimador.

### 3. Marco Teórico

#### 3.1 Cámara estenopeica

El dispositivo de imagen de la cámara estenopeica es un agujero perforado a través de un material opaco. La imagen de un punto distante es simplemente la sombra del agujero, o más bien la sombra del material alrededor del agujero. Es decir, la imagen es un punto brillante sobre un fondo oscuro. Cuando el agujero es grande, la imagen del punto distante es grande y muestra un diámetro igual al del agujero de alfiler. Un objeto extendido es una colección de puntos; su imagen es por tanto una colección de manchas. Cuanto más pequeños son los puntos, más fino es el detalle que se puede discernir en el objeto. Por lo tanto, en muchos sentidos, el mejor agujero de alfiler es el que produce la imagen más pequeña de un punto.

La cámara estenopeica ofrece varias ventajas sobre la óptica de lentes, particularmente cuando la resolución no es especialmente importante. Éstas incluyen:

- Completa libertad de distorsión lineal
- Profundidad de campo desde unos pocos centímetros hasta el infinito
- Amplio campo angular

Además, los agujeros de alfiler se pueden utilizar en las regiones ultravioleta y de rayos X del espectro cuando los materiales reflectantes o refractores no están fácilmente disponibles (Young, 1989).

### **3. 2 Colimadores**

Los colimadores se utilizan como lentes mecánicas para proporcionar información sobre la actividad en una línea única a través del objeto llamada línea de respuesta (LOR). El colimador evita que los fotones emitidos en direcciones que no se encuentran a lo largo del LOR lleguen al detector.

Las líneas desde la fuente puntual hasta el colimador indican lo más lejos que dos fuentes pueden estar y aún tener fotones detectados en el mismo punto en el plano de la imagen.

- Los diámetros de orificio más pequeños o las longitudes más largas aumentan la resolución del colimador
- Por el contrario, el número de fotones detectados disminuye y el ruido de la imagen aumenta
- La resolución mejora con una reducción del ancho de la orificios del colimador y mejora con la longitud del agujero

Idealmente, los septos del colimador deberían bloquear toda la radiación incidente. En un colimador real, una fracción penetra septos o son dispersados y detectados. La penetración y dispersión septal aumenta con la energía. Por lo tanto, los colimadores están diseñados para rangos de energía. La forma del agujero es importante en el diseño del colimador. Las formas de agujeros más comunes son (Lodge, 2015):

- Redondo
- Hexagonal
- Cuadrado

En medicina nuclear, el colimador es un componente crucial de la cámara de rayos gamma. Un colimador se asemeja a un panel de plomo (Pb) que se coloca entre el paciente y el detector de rayos gamma. A diferencia de los fotones ópticos, los rayos gamma no se pueden refractar ni enfocar. En consecuencia, las imágenes de una cámara de rayos gamma se forman por absorción selectiva (Gunter, 2004).

## 4. Metodología

### 4.1 Materiales

- Cámara Estenopeica:
  - Caja de Cartón
  - Aguja
  - Papel Cebolla/Vegetal/Encerado/Mantequilla
- Cámara con Colimador:
  - Rascador Corrugado para Gato
  - Papel Cebolla/Vegetal/Encerado/Mantequilla
- 3 Velas
- Cámara Digital
- Regla

### 4.2 Métodos

#### 4.21 Construcción de Cámaras

- **Cámara Estenopeica:**
  - Cerrar la caja, de tal manera que no haya filtraciones de luz al interior.
  - Cortar un cuadrado en uno de los lados de la caja, dejando un pequeño margen entre el corte y los bordes de la caja.
  - Cortar un pedazo de papel cebolla del tamaño del lado de la caja.
  - Aplicar pegamento en los márgenes que se dejaron anteriormente, para así pegar el pedazo de papel cebolla.
  - En el lado contrario a donde se pegó el pedazo de papel cebolla, realizar una perforación con una aguja en el medio de alto y ancho.
- **Cámara con Colimador:**
  - Cortar una pieza de 20x20 cm del cartón corrugado.
  - Limpiar los agujeros del cartón corrugado.
  - Pegar el papel cebolla en uno de los lados del cartón.

#### 4.22 Proceso de Imagenología

1. Elegir un cuarto con una mesa limpia y que pueda quedar a oscuras (por ejemplo, apagando las luces).
2. Con las luces encendidas:
  - a. Colocar una vela cuidadosamente en el centro de la mesa
  - b. Colocar cada una de las cámaras a 5 cm de la mesa
    - i. Ambas tienen que mirar directamente a la vela
    - ii. Tienen que ser colocados a 90° de distancia (cada cámara debe de estar en un lado de la mesa)
  - c. Encender la vela
3. Apagar las luces:
  - a. Con el celular, tomar una fotografía de la imagen de la vela proyectada en el papel cebolla
4. Encender las luces:

- a. Colocar las cámaras a 10 cm de la vela
5. Repetir el paso 3
6. Encender las luces
7. Repetir los pasos 3, 4 y 5 usando 3 velas
  - a. Colocar las velas a 3 cm entre ellas

### 4.3 Descripción del Código

El código proporcionado carga la imagen 'SmallCandel.png' en la variable 'f' utilizando la función 'imread' y la redimensiona al 25% de su tamaño original utilizando la función 'imresize', almacenando el resultado en la variable 'candlesmall'. Luego, se crean dos figuras utilizando la función 'figure' para mostrar la imagen original y los resultados que se presentarán a continuación.

En la primera figura se muestra la imagen original 'f' utilizando la función 'imshow'. En la segunda figura, se crea un filtro de disco de  $x$  píxeles de radio utilizando la función 'fspecial' y se muestra su representación gráfica utilizando la función 'imshow'. Luego, se convoluciona la capa roja de la imagen original ('f(:, :, 3)') con el filtro de disco utilizando la función 'conv2' y se muestra el resultado en un subplot utilizando 'imshow'. Se calcula la transformada de Fourier del filtro de disco utilizando 'fft2' y se muestra la mitad del espectro de frecuencia utilizando la función 'plot'.

En el tercer subplot se repiten los pasos anteriores con un filtro de disco de mayor tamaño ( $y$  píxeles de radio) convolucionado consigo mismo para crear un filtro de colimador. La convolución de la capa roja de la imagen original con este filtro se muestra en el quinto subplot. Finalmente, se calcula y muestra la transformada de Fourier del filtro de colimador en el último subplot.

## 5. Resultados

### 5.1 Resultados Esperados (MATLAB)

Con el fin de simular teóricamente el experimento a realizar se ejecutó el código proporcionado (Anexo 1), que permite tomar una imagen y con base en ciertas transformaciones y características físicas de las cámaras construidas, imitar el comportamiento de las mismas. En primer lugar, fue necesario encontrar la proporción milímetro pixel de la imagen, por lo que considerando que la flama de la vela principal mide 1 cm y se limita por las coordenadas en  $y$ , 134 y 288, correspondiendo a píxeles, se realizó la ecuación (1) que permite encontrar la proporción buscada:

$$mm/px = \frac{1 \text{ cm}}{288 \text{ px} - 134 \text{ px}} = \frac{10 \text{ mm}}{154 \text{ px}} = 0.06493506494 \text{ mm/px} \quad (1)$$

En seguida, y tomando en consideración la configuración de la cámara estenopeica, y la fórmula que muestra sus relaciones geométricas (2), fue posible encontrar la ecuación (3) que permite encontrar el valor del radio de emanación de energía.

$$(2) \quad \frac{r}{L+z} = \frac{\frac{d}{2}}{L} \Rightarrow r = \frac{d}{2} \left( \frac{L+z}{L} \right) \quad (3)$$

Por lo tanto, comenzamos con los cálculos para la simulación de la cámara estenopeica en sus tres configuraciones: vela a 5 cm, vela a 10 cm y 3 velas a 10 cm, las dos últimas, compartiendo el cálculo debido a que las condiciones físicas son similares, a diferencia de la fuente de onda. Es por eso que con base en la ecuación (3), realizamos las sustituciones de valores pertinentes:  $d$  para el diámetro del agujero,  $L$  para la distancia entre el agujero y el detector,  $z$  para la distancia entre el emisor de energía y el agujero. De esta manera, el cálculo del radio en milímetros de la fuente es la que se observa en (4):

$$r = \frac{d}{2} \left( \frac{L+z}{L} \right) = \frac{1 \text{ mm}}{2} \cdot \left( \frac{220 \text{ mm} + 50 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} \right) = 0.61363 \text{ mm} = 0.6136 \text{ mm} \quad (4)$$

Sin embargo, una conversión a píxeles es requerida debido a que el código realizado en MATLAB está construido para dicha unidad. Por lo tanto, consideramos la proporción calculada previamente en (1) y realizamos la conversión para finalmente obtener el tamaño de la fuente en píxeles (5)

$$r_{px} = 0.6136 \text{ mm} \cdot \left( \frac{1 \text{ px}}{0.06493506494} \right) = 9.450 \text{ px} \sim 9 \text{ px} \quad (5)$$

Tabla 5.1 Parámetros de Simulación “Cámara Estenopeica - Vela a 5 cm”			
$d$	$L$	$z$	$r$
1 mm	220 mm	50 mm	9 px

Realizamos los mismos cálculos para los últimos dos casos de la cámara estenopeica (6,7):

$$r = \frac{d}{2} \left( \frac{L+z}{L} \right) = \frac{1 \text{ mm}}{2} \cdot \left( \frac{220 \text{ mm} + 100 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} \right) = 0.72727 \text{ mm} = 0.7273 \text{ mm} \quad (6)$$

$$r_{px} = 0.7273 \text{ mm} \cdot \left( \frac{1 \text{ px}}{0.06493506494} \right) = 11.200 \text{ px} \sim 11 \text{ px} \quad (7)$$

Tabla 5.2 Parámetros de Simulación “Cámara Estenopeica - Vela(s) a 10 cm”			
$d$	$L$	$z$	$r$
1 mm	220 mm	100 mm	11 px

Por último, realizamos los cálculos correspondientes a la cámara con colimador para una vela a 5 cm (8,9); y para una vela a 10 cm como para 3 velas a 10 cm (10,11):

$$r = \frac{d}{2} \left( \frac{L+z}{L} \right) = \frac{3 \text{ mm}}{2} \cdot \left( \frac{140 \text{ mm} + 50 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} \right) = 2.03571 \text{ mm} = 2.036 \text{ mm} \quad (8)$$

$$r_{px} = 2.036 \text{ mm} \cdot \left( \frac{1 \text{ px}}{0.06493506494} \right) = 31.354 \text{ px} \sim 31 \text{ px} \quad (9)$$

Tabla 5.3 Parámetros de Simulación “Cámara Estenopeica - Vela a 5 cm”			
$d$	$L$	$z$	$r$
3 mm	140 mm	50 mm	31 px

$$r = \frac{d}{2} \left( \frac{L+z}{L} \right) = \frac{3 \text{ mm}}{2} \cdot \left( \frac{140 \text{ mm} + 100 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} \right) = 2.57142 \text{ mm} = 2.57 \text{ mm} \quad (10)$$

$$r_{px} = 2.036 \text{ mm} \cdot \left( \frac{1 \text{ px}}{0.06493506494} \right) = 39.556 \text{ px} \sim 40 \text{ px} \quad (11)$$

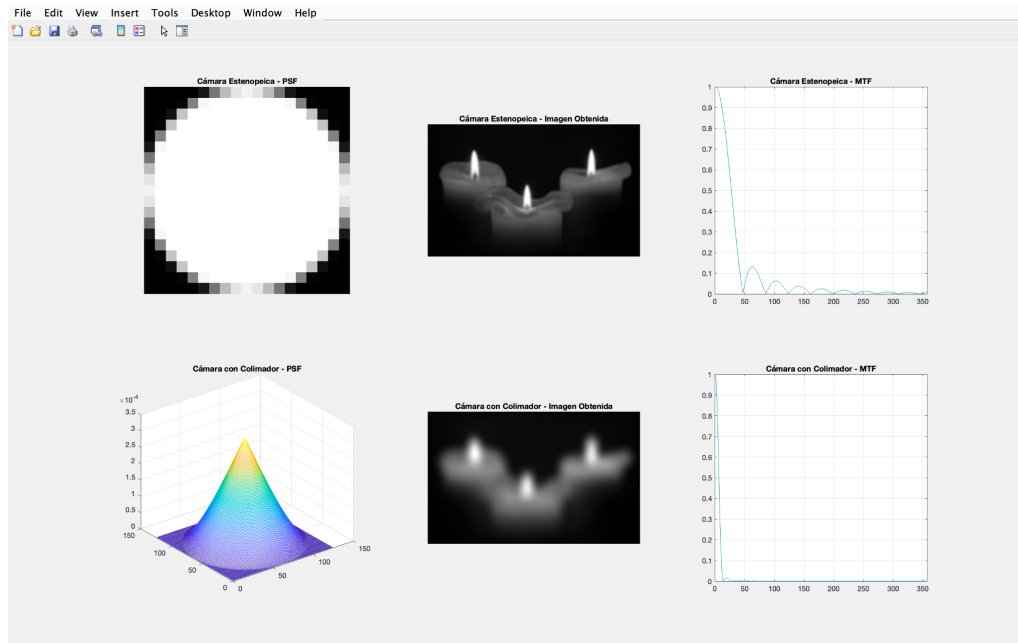
Tabla 5.4 Parámetros de Simulación “Cámara Estenopeica - Vela(s) a 10 cm”			
$d$	$L$	$z$	$r$
3 mm	140 mm	100 mm	40 px

Estos parámetros deben de ser reemplazados en el tamaño del disco utilizado para realizar la simulación de la cámara estenopeica (línea 9 del código) y con colimador (línea 28). Es así que utilizando la Figura 1 como Imagen Original de la simulación:



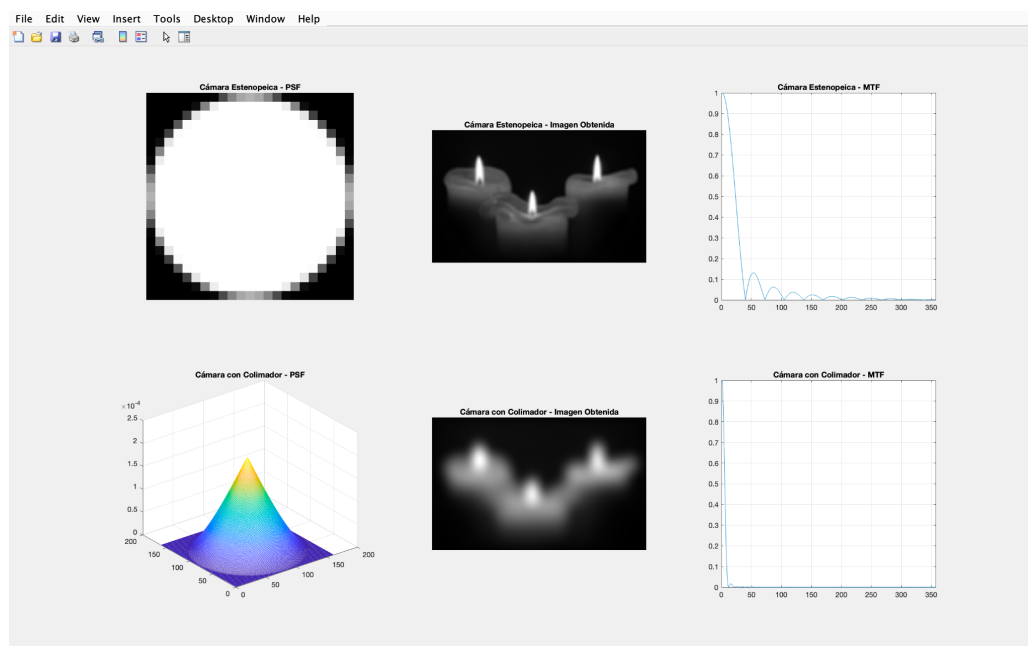
**Figura 1 Imagen Original (“SmallCandel.png”)**

De esta manera, los resultados de la simulación para el escenario “Vela a 5 cm” son presentados en la Figura 2, donde de presenta (de izquierda a derecha) el *Point Spread Function* (PSF), Imagen Obtenida y la Función de Transferencia de Modulación del Sistema (MTF) para cada uno de los casos (Cámara Estenopeica, figuras de arriba; Cámara con Colimador, figuras de abajo).



**Figura 2 Resultados Obtenidos para el Escenario “Vela a 5 cm”.**

De igual forma, los resultados de la simulación para el escenario “Vela a 10 cm” y “3 Velas a 10 cm” son presentados en la Figura 2, donde de presenta (de izquierda a derecha) el *Point Spread Function* (PSF), Imagen Obtenida y la Función de Transferencia de Modulación del Sistema (MTF) para cada uno de los casos (Cámara Estenopeica, figuras de arriba; Cámara con Colimador, figuras de abajo).



**Figura 3 Resultados Obtenidos para los Escenarios “Vela a 10 cm ” y “3 Velas a 10 cm ”.**



## 5.2 Resultados Obtenidos (Experimento)

En seguida se presentan las fotografías tomadas por la cámara estenopeica (Figura 5.1a) y la cámara con Colimador (Figura 5.1b) con una vela a 5 cm.



**Figura 5.1a Cámara Estenopeica y Vela a 5 cm.**

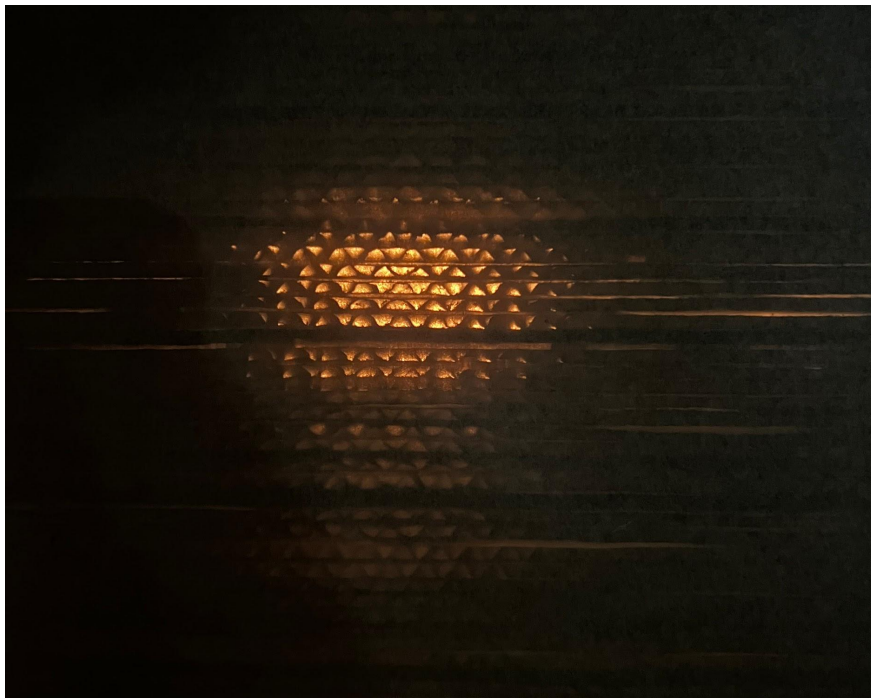


**Figura 5.1b Cámara con Colimador y Vela a 5 cm.**

A continuación, se presentan las fotografías tomadas por la cámara estenopeica (Figura 5.2a) y la cámara con Colimador (Figura 5.2b) con una vela a 10 cm.



**Figura 5.2a Cámara Estenopeica y Vela a 10 cm.**

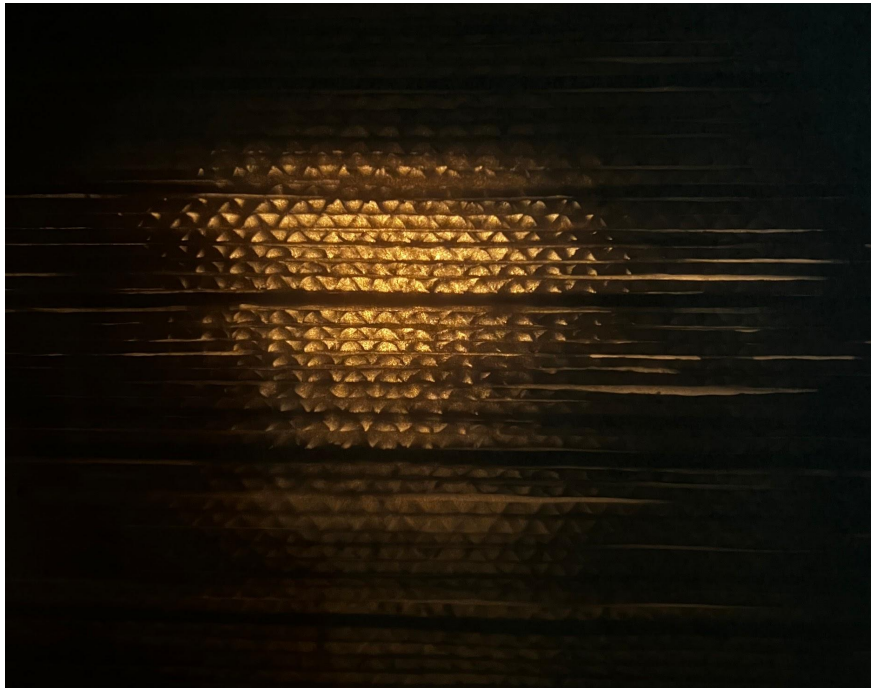


**Figura 5.2b Cámara con Colimador y Vela a 10 cm.**

En seguida se presentan las fotografías tomadas por la cámara estenopeica (Figura 5.3a) y la cámara con Colimador (Figura 5.3b) con tres velas a 10 cm.




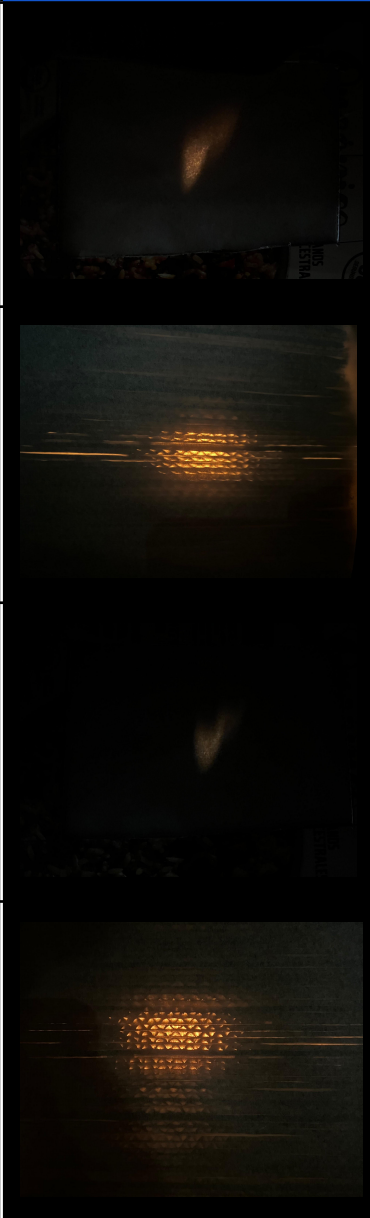
**Figura 5.3a Cámara Estenopeica y Velas a 10 cm.**

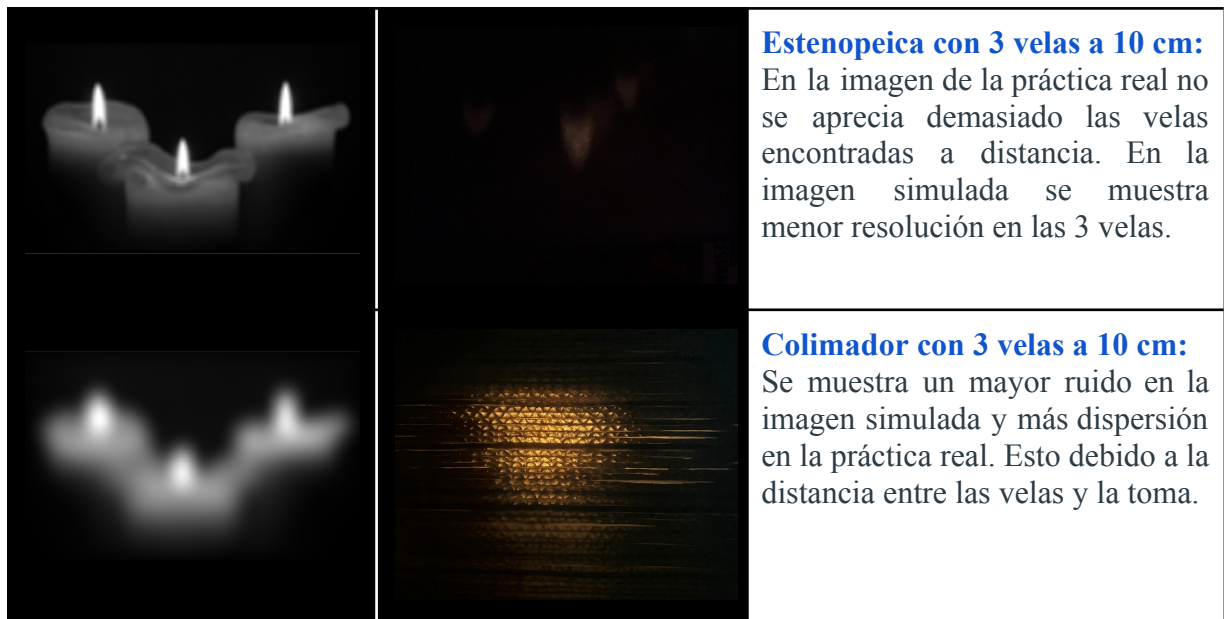


**Figura 5.3b Cámara con Colimador y Velas a 10 cm.**

## 6. Discusión

Después de realizar los experimentos con los materiales e instrucciones proporcionadas, se tomaron fotos sobre como las velas a las distancias de 5 cm y 10 cm en las cámaras se cumplan los requerimientos para que se considere como cámara estenopeica, de igual forma en una de ellas se puede observar una cámara con colimador. Posteriormente se compararon los datos con tablas y gráficas en la herramienta MATLAB en el que los resultados fueron levemente significativos en las imágenes tomadas, sin embargo el ver los distintos efectos que tienen las cámaras al proyectarse permitió observar lo indicado en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación de Imágenes Obtenidas Teórica y Prácticamente		
Imagen Simulada	Imagen Real	Descripción/Comparación
		<b>Estenopeica con 1 vela a 5 cm:</b> Vela colocada a 5 cm de la cámara estenopeica. En la imagen simulada se aprecia la vela completamente mientras que en la práctica solamente la iluminación de la vela.
		<b>Colimador con 1 vela a 5 cm:</b> En la imagen simulada se aprecia ruido en las velas, esto relacionado con la imagen real al no verse tan definida la imagen a través del colimador.
		<b>Estenopeica con 1 vela a 10 cm:</b> Mientras se va creando más distancia entre la cámara y la vela se muestra un mayor ruido en la imagen simulada y una menor calidad e imagen en la práctica.
		<b>Colimador con 1 vela a 10 cm:</b> En comparación con la vela de 3 cm, en la distancia de 10 cm se ve mucho más ruido y el colimador muestra la imagen más expandida tomando un mayor rango en la imagen.



### ¿La teoría coincide con las observaciones?

Si bien, como tal, las imágenes obtenidas en el experimento real no fueron iguales o similares a las de la simulación, se puede decir que coinciden en cuanto a 3 aspectos:

- La calidad de la imagen aumenta conforme la distancia disminuye, especialmente en la cámara estenopeica.
- El rango MTF de la cámara estenopeica siempre es mayor al de la cámara con colimador, lo que le permite captar más frecuencias y tener una imagen con más datos.
- La resolución en la cámara estenopeica es mejor que la que tiene la cámara con colimador.

Las diferencias presentes en la imagen se pueden deber a que las proporciones de velas, flamas y distancias fueron diferentes, así como factores como filtraciones de luz, toma de fotografías inadecuadas, entre otros. Sin embargo, al realizar estas simulaciones se nos permitió reforzar dichos conocimientos, así como comprender lo que ocurre y no ocurre en una simulación comparada con lo llevado a cabo en la vida real, con el fin de considerarlo en futuros experimentos y proyectos.



## 7. Conclusiones

**Azul Sofia Moctezuma Enriquez:** En conclusión, durante este reporte de laboratorio se llevó a cabo la construcción y simulación de dos tipos de cámaras utilizadas en medicina nuclear: la cámara estenopeica y la cámara con colimador. La cámara estenopeica, también conocida como cámara pinhole, es una herramienta simple y económica para la obtención de imágenes en medicina nuclear. La cámara con colimador, por otro lado, utiliza un sistema de múltiples agujeros y colimadores. A través de la simulación en MATLAB, pudimos observar cómo la imagen obtenida por la cámara estenopeica presenta una resolución espacial más baja en comparación con la imagen obtenida por la cámara con colimador, pero una mayor sensibilidad. En conclusión, la construcción y simulación de estas dos cámaras en el laboratorio nos permitió comprender las diferencias entre ellas y cómo cada una puede ser utilizada para aplicaciones específicas en medicina nuclear. Ambas cámaras presentan ventajas y desventajas, por lo que es importante considerar el propósito de la imagen que se busca obtener al elegir la cámara adecuada para el trabajo en cuestión.

**Diego Alejandro De la Barreda Martínez:** En esta práctica se vieron temas relacionados con los procesos de imagen relacionados con las cámaras estenopeicas y los colimadores. Estos temas se ven involucrados en el código de MATLAB al operar con funciones vistas en clase como la transformada de Fourier, la convolución, el point spread function para obtener las gráficas de nuestra imagen seleccionada, ajustándose y filtrándose para poder encontrar las diferencias entre la cámara estenopeica y los colimadores. Como se aprecia en la teoría y en la práctica, mientras aumenta la longitud entre las velas y la cámara estenopeica o el colimador, se aumenta el ruido a la imagen. Gracias a estas pruebas se puede saber la mejor opción a elegir para la captura de imagen. Estas diferentes técnicas se ven aplicadas en diferentes campos de la medicina, un ejemplo es la medicina nuclear que se convierte en parte fundamental por la labor que hacen con los rayos gamma.

**Alexa María de León Durán:** Para esta práctica se tuvo que construir dos tipos de cámaras, una cámara estenopeica y una con colimador para poder comprender de una forma práctica la medicina nuclear, el proceso que se utilizó implica la colocación de velas a diferentes distancias y la captura de las imágenes proyectadas en el papel cebolla. Por la parte de programación se utilizó el código de MATLAB proporcionado que simula el efecto de los filtros utilizados en cada tipo de cámara en una imagen de una vela, esto con el objetivo de comparar los efectos de los diferentes filtros y mostrar las diferencias en el funcionamiento de las dos cámaras, además se obtuvieron los cálculos para encontrar la proporción milímetro-píxel de la imagen y el valor del radio de emanación de energía para la cámara estenopeica.

**Juan Luis Flores Sánchez:** Con base en la práctica realizada, fue posible reforzar y poner en práctica los conocimientos teóricos y prácticos de sistemas de obtención de imágenes mediante cámaras estenopeicas y con colimador, relacionándolos con temas previamente vistos en clase como el *Point Spread Function (PSF)*, la Función de Transferencia de Modulaci3n del Sistema (MTF), Transformada de Fourier, transformaciones frecuenciales,

así como algunos conceptos básicos de óptica aplicados a la imagenología. De esta manera, utilizando una réplica básica de una cámara estenopeica y con colimador, así como su reconstrucción simulada por *software*, fue posible comprender y dimensionar el detector de las imágenes de medicina nuclear con sus implicaciones en cuanto estructura, función e interpretación. Para ello, fue necesario la utilización de herramientas computacionales como MATLAB, así como un claro entendimiento de sus comandos, funciones y el orden de aplicación de las mismas, puesto que en este caso, su orden puede representar un producto diferente.

**Daniela Alejandra Valdes Torres:** Las cámaras en el experimento nos permitieron que la luz pase a través de un pequeño orificio y forme una imagen en una superficie dentro de la cámara. En este experimento fue importante poner en práctica los conocimientos adquiridos sobre la obtención de imágenes, con estos experimentos se puede entender el funcionamiento de la luz y cómo esta afecta a las imágenes que se capturan. Junto con técnicas sofisticadas como la tomografía computarizada (CT), la resonancia magnética (RM) y radiografía en la obtención de imágenes de alta calidad para visualizar estructuras del cuerpo humano, estas técnicas son muy precisas y permiten la visualización de pequeños detalles esenciales para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Con las herramientas como MATLAB fue que se pudo realizar una comparación de dichas imágenes, así como la interpretación de comandos y funciones importantes a la hora de realizar una visualización en este caso de imágenes médicas.

## 8. Referencias

- [1]. GUNTER, D. L. (2004). *Collimator Design for Nuclear Medicine. Emission Tomography*, 153–168. doi:10.1016/b978-0127444482-6.50011-9
  
- [2]. M.A. Lodge, E. C. Frey. (2015). Chapter 11: Nuclear Medicine Imaging Devices [185]. International Atomic Energy Agency. [https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/e-learning/Nuclear\\_Medicine\\_Handbook\\_slides/Chapter\\_11.\\_Nuclear\\_Medicine\\_Imaging\\_Devices.pdf](https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/e-learning/Nuclear_Medicine_Handbook_slides/Chapter_11._Nuclear_Medicine_Imaging_Devices.pdf)
  
- [3]. Nuclear Fields. (). Collimators for Nuclear Medicine. Nuclear Fields. Abril 27, 2023. Recuperado de: <https://www.nuclearfields.com/collimators-nuclear-medicine.htm>
  
- [4]. Young, M. (1989). The pinhole camera: Imaging without lenses or mirrors. *The Physics Teacher*, 27(9), 648-655.

## 9. Anexos

### Anexo 1. Script de MATLAB (“.m”)

```
%% BI2007B Análisis de Sistemas de
Imagenología
%% Equipo PEGASO

% Cargar y Mostrar Imagen Original
f=imread('SmallCandel.png');
candlesmall = imresize(f,0.25);
figure
imshow(f)
title("Imagen Original")

% Cámara Estenopeica
figure
%psf=fspecial("disk",9);
psf=fspecial("disk",11);
subplot(231)
imshow(psf,[])
title("Cámara Estenopeica - PSF")
g=conv2(double(f(:,:,3)),psf,"same");

subplot(232)
imshow(g,[])
title("Cámara Estenopeica - Imagen
Obtenida")
subplot(233)
sz = size(f);
mtf = abs(fft2(psf,sz(1),sz(2)));
plot(mtf(1:sz/2,1))
title("Cámara Estenopeica - MTF")
axis([0 357,0 1])
grid on

% Cámara con Colimador
%psf=fspecial("disk",31);
psf=fspecial("disk",40);
psfcol = conv2(psf,psf);
subplot(234)
mesh(psfcol)
title("Cámara con Colimador -
PSF")
g=conv2(double(f(:,:,3)),psfcol,"s
ame");
subplot(235)
imshow(g,[])
title("Cámara con Colimador -
Imagen Obtenida")
subplot(236)
mtfcol =
abs(fft2(psfcol,sz(1),sz(2)));
plot(mtfcol(1:sz/2,1))
title("Cámara con Colimador -
MTF")
axis([0 357,0 1])
grid on
```