

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN HOLOGRAFIA

Nombre del proyecto

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE HOLOGRAFIA DIGITAL A COLOR

Año

2021

Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa

Los propósitos educativos-pedagógicos que se buscó con el desarrollo del proyecto en el semillero incluyeron desarrollar habilidades en la configuración y operación de sistemas de holografía digital. Esto implicó comprender y aplicar los principios de la reconstrucción a color utilizando diversas fuentes de iluminación monocromáticas, promoviendo así el aprendizaje práctico en técnicas avanzadas de registro digital de hologramas y procesamiento de imágenes. Además, se buscó fortalecer la

MedellínNIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00**Pereira**Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15**Bogotá**Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18**Llanogrande**Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

capacidad de los participantes para integrar conocimientos teóricos y prácticos en tecnologías emergentes, preparándolos para enfrentar desafíos científicos y tecnológicos contemporáneos.

Metodología

Para el correcto cumplimiento de los objetivos propuestos se plantea la siguiente metodología: 1. Revisión y estudio de la literatura sobre la HD. Estudio sobre los posibles montajes y metodologías para el registro y reconstrucción de hologramas digitales a partir del montaje de holografía análoga con el que se cuenta en el espacio del semillero de holografía. 2. Diseño e implementación un montaje de HD de acuerdo los instrumentos y espacio disponible en el laboratorio de óptica y fotónica. 3. 4. Implementar un sistema de iluminación de múltiples longitudes de onda para HD. Reconstruir numéricamente los hologramas registrados para las distintas longitudes de onda. 5. Acoplar las reconstrucciones monocromáticas en una imagen de pseudocolor para la representación de los objetos bajo estudio.

Resultados obtenidos

Apropiación de los conceptos fundamentales de la holografía digital para implementar un sistema capaz de adquirir hologramas digitales. Estudio de los fundamentos de la propagación numérica de campos ópticos para la reconstrucción numérica de los hologramas digitales. Selección de un objeto adecuado para el registro de hologramas y su reconstrucción directa para mejorar la comprensión de la técnica a través de la ejecución práctica. Implementación de un sistema de fuentes monocromáticas concurrentes para configurar una iluminación de múltiples longitudes de onda que pueda acoplarse al sistema de holografía digital implementado.

Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa

Durante el proceso de investigación formativa en el semillero, se llevó a cabo un enriquecedor fortalecimiento de prácticas educativas, habilidades y competencias en los participantes. Inicialmente, se introdujo a los semilleristas en los conceptos fundamentales de la holografía digital, proporcionándoles conocimientos teóricos sólidos sobre la adquisición y reconstrucción de hologramas digitales. A medida que avanzaba el proyecto, se desarrollaron habilidades técnicas específicas, como la configuración de sistemas ópticos para la iluminación monocromática y la aplicación de métodos numéricos para la reconstrucción holográfica. Además del aprendizaje

técnico, se promovió el trabajo en equipo y la colaboración multidisciplinaria, ya que los participantes debieron integrar conocimientos de óptica, informática y diseño experimental. Se fomentó la capacidad de resolver problemas complejos y realizar análisis críticos de los resultados obtenidos, lo que fortaleció sus competencias en investigación científica. Asimismo, la elaboración de informes y la presentación de resultados en contextos académicos contribuyeron a mejorar sus habilidades de comunicación y exposición.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

Medellín

NIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00

Pereira

Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15

Bogotá

Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18

Llanogrande

Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

INFORME FINAL DE PROYECTOS DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN 2021
VICERRECTORÍA DE DESCUBRIMIENTO Y CREACIÓN
OFICINA DE PLANEACIÓN Y DESCUBRIMIENTO FORMATIVO
UNIVERSIDAD EAFIT

Nombre del semillero de investigación	Semillero de investigación en holografía
Nombre del proyecto de investigación	Implementación de un sistema de holografía digital a color
Nombre del investigador principal	Carlos Alejandro Trujillo Anaya
Estudiantes que participaron en la investigación	Isabella Gómez Gallego, Tomás Vélez Acosta, Sofía Obando Vásquez, José Hernán Ortíz Ocampo, Cristian Lopera Trujillo

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un sistema de holografía digital con distintas fuentes de iluminación monocromáticas para la recuperación de información a color.

Este objetivo fue completado de forma satisfactoria.

Objetivos Específicos

- Apropiar los conceptos fundamentales de la holografía digital para llevar a cabo la implementación de un sistema que permita adquirir hologramas digitales a color.
- Estudiar los fundamentos de la propagación numérica de campos ópticos para la reconstrucción numérica de los hologramas digitales a color.
- Determinar un objeto macroscópico viable para el registro de hologramas de directa reconstrucción con el fin de posibilitar una mayor comprensión de la técnica desde la ejecución.
- Desarrollar un sistema de fuentes monocromáticas concurrentes para la conformación de un sistema una iluminación de múltiples longitudes de onda que se pueda acoplar al sistema de holografía digital.
- Implementar un algoritmo para la reconstrucción numérica de hologramas de hologramas digitales a color para la obtención del holograma final.

Todos los objetivos específicos planteados para este proyecto fueron completados satisfactoriamente.

METODOLOGÍA

Para el correcto cumplimiento de los objetivos propuestos se llevaron a cabo las siguientes actividades.

1. Revisión y estudio de la literatura sobre la Holografía Digital a Color (CDH por sus siglas en inglés).

2. Estudio sobre los posibles montajes y metodologías para el registro y reconstrucción de hologramas digitales a partir del montaje de holografía análoga con el que se cuenta en el espacio del semillero de holografía y la bibliografía estudiada.
3. Diseño e implementación de un montaje de DH de acuerdo los instrumentos y espacio disponible en el laboratorio de óptica y fotónica.
4. Implementación de un sistema de iluminación dual de longitudes de onda para CDH.
5. Reconstrucción numérica de los hologramas registrados para las distintas longitudes de onda, a través de software de acceso libre e implementaciones propias.
6. Acoplar las reconstrucciones monocromáticas en una imagen de pseudocolor para la representación de los objetos bajo estudio.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Montaje

En la implementación del montaje, se encontraron algunos desafíos en cuanto a alineación e iluminación, ya que era necesario dar una iluminación homogénea y evitar el registro de información adicional. La configuración finalmente implementada se muestra en las figuras 1 y 2.

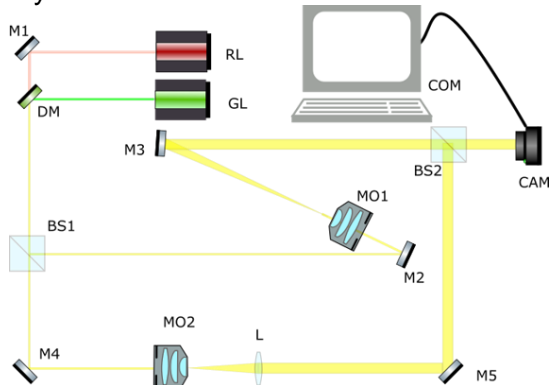


Figura 1. Esquema del montaje implementado.

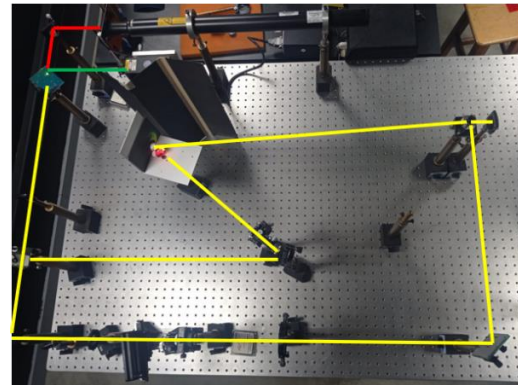


Figura 2. Montaje experimental implementado.

La figura 1 es un esquema de montaje real que se muestra en la figura 2, en la que hay dos fuentes de luz coherentes monocromáticas, con longitudes de onda de 633 y 532 nm respectivamente. Estos haces se recombinan en un espejo dicróico y luego pasan a través de un divisor de haz, de donde se obtienen el haz de referencia y objeto. El haz referencia pasa por un atenuador para reducir su potencia, y así alcanzar una relación entre haces referencias/objeto aproximadamente de 1. Luego, el rayo de referencia pasa por un filtrado espacial para expandirlo, una lente para colimarlo y es redirigido a un divisor de haz donde se recombina con el rayo del objeto, el cual fue previamente expandido para incidir en el objeto. Finalmente, ambos rayos se recombinan para el registro en la cámara y posterior reconstrucción numérica de la información.

Objetos seleccionados

Para el objeto se tuvieron en cuenta diferentes criterios de selección como, por ejemplo: tamaño, color y material. El objeto seleccionado, mostrado en la figura 3 tiene un área de 48mm X 35mm, este tamaño es lo suficientemente grande para cumplir con el objetivo de realizar el registro a un objeto macroscópico y lo suficientemente pequeño como para estar

completamente iluminado. Además, se compone de diferentes colores, de forma que permitiera visualizar las diferencias en la reconstrucción con diferentes longitudes de onda.



Figura 3. Objeto seleccionado para el registro del holograma.

Reconstrucción numérica e implementación del código

Para la reconstrucción del holograma se implementó un código desarrollado por estudiantes integrantes del semillero como proyecto dentro de la materia Procesamiento Óptico. Dicho programa recibe el patrón de interferencia registrado físicamente, al cual se le aplica la transformada de Fresnel-Bluestein para retro propagar el campo complejo de cada longitud de onda utilizada, para posteriormente reescalar el tamaño de cada píxel dependiendo del valor de las frecuencias temporales de las fuentes de luz utilizadas en la configuración del montaje y finalmente recortando la imagen escalada para que coincida con la información proporcionada por la reconstrucción de las dos longitudes de onda presentes en el holograma.

Al implementar este programa se obtuvo la reconstrucción en amplitud a color presentada en la figura 4, donde se puede apreciar que ambas longitudes de onda contienen información del objeto registrado, aunque no se visualiza un acoplamiento exitoso de las longitudes de onda.

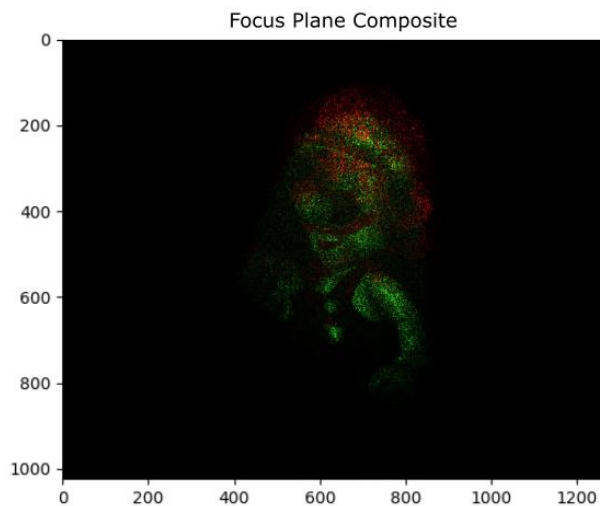


Figura 4. Reconstrucción numérica con dos longitudes de onda.

Análisis de los resultados

La experiencia del semillero en la implementación de montajes y selección de objetos en proyectos anteriores dentro de la holografía analógica, fue de gran valor y utilidad durante el desarrollo del presente proyecto, sin embargo, el implementar una iluminación dual, implicó un reto mayor en la ejecución del montaje, dado a que este elemento introducía un mayor nivel de dificultad en el control de los elementos y posibles causas de error dentro del montaje.

Dentro de las posibles causas de error en la reconstrucción se presenta la inhabilidad de encontrar una máscara personalizada para el holograma rojo por la aparición de órdenes de difracción extra en cada cuadrante del espectro, sin embargo también se cree que esta baja eficiencia en los resultados de la reconstrucción se debe a la implementación del código y algunos problemas físicos en la configuración experimental, dado a que después de obtener los resultados, se revisó el montaje, donde se observó que el segundo divisor de haz (el que se usa para recombinar el haz de referencia y el objeto) estaba generando algunas reflexiones adicionales, introduciendo órdenes de difracción extra que modificaban el espectro de potencia resultante y haciendo imposible utilizar el método dentro del código implementado para realizar el filtrado espacial.

Otras dificultades físicas encontradas en el montaje fueron la sensibilidad parcial de los píxeles de los sensores a todo el espectro visible, lo cual se evidencia en la información proporcionada por el datasheet del sensor usado (Ver figura 5). Esta sensibilidad parcial introdujo ruido en los canales y la falta de homogeneidad en la iluminación del objeto, ya que se puede apreciar que los spots de las dos longitudes de onda están ubicados en diferentes partes del objeto.

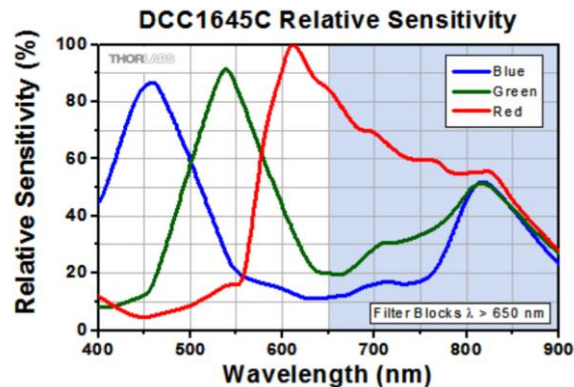


Figura 5. Gráfica de Sensibilidad relativa de los píxeles de la cámara a cada longitud de onda del espectro visible [1].

Con base en el trabajo desarrollado, se ha llegado a la conclusión que, aunque la reconstrucción numérica ofrece posibilidades para mejorar la calidad de la imagen recuperada mediante el procesamiento posterior, obtener resultados de reconstrucción eficientes requiere de una mejor planeación e implementación del montaje con la consideración de los errores observados en el desarrollo de este proyecto. En este orden de ideas, como trabajo futuro, se propone mejorar la configuración óptica para dar cuenta de la iluminación homogénea y eliminar los órdenes de difracción extra, analizando el

comportamiento del algoritmo dentro de estas nuevas condiciones para descartar los errores en la implementación del montaje, además, de contar con la opción de desarrollar un algoritmo más complejo para corregir los errores presentados en la parte experimental.

PRODUCCIÓN ACADÉMICA, CIENTÍFICA O ARTÍSTICA

- Participación en el encuentro departamental de semilleros de Investigación, Nodo Antioquia 2021 con reconocimiento sobresaliente.
- Participación en el encuentro nacional de semilleros de Investigación.
- Participación en la feria de semilleros de investigación 2021 con reconocimiento como ganador de la categoría de Ciencias Básicas y salud.

EJECUCIÓN PRESUPUESTAL

Los gastos monetarios realizados durante la ejecución del proyecto se muestran en la siguiente tabla:

Descripción	Cantidad	Valor (COP)
Camisetas del semillero	4	\$ 140.420
Monitoria a estudiante coordinador	1	\$ 1.000.000
		Total: \$ 1.140.420

LECCIONES APRENDIDAS

- Los semilleristas lograron comprender la importancia de la divulgación de resultados con el fin de mejorar la calidad de investigaciones futuras mediante la obtención de retroalimentación de pares y superiores buscando atacar falencias específicas que pudieran existir en los proyectos en curso.
- Considerando que el semillero es un grupo de alto trabajo experimental, que requiere de un laboratorio para llevar a cabo sus proyectos, se comprendió que sin importar las limitaciones de espacio que se pudiesen presentar (en este caso como consecuencia de la pandemia debida a la Covid 19), el trabajo conjunto impulsa a sobreponerse y seguir impulsando la investigación de otras maneras, como la apropiación de conocimiento y encuentros desde la virtualidad.
- Se pudo también evidenciar la importancia de registrar el desarrollo de los trabajos realizados en el semillero, pues la experiencia previa en anteriores proyectos permitió llevar a cabo este proyecto de manera exitosa. Esto expresado en la facilidad adquirida para implementar montajes ópticos que implica el arduo trabajo del semillero en proyectos anteriores.
- Finalmente, no se puede hacer caso omiso a la enorme necesidad actual de hacer presencia en los entornos virtuales como las redes sociales, dando a conocer el

trabajo del semillero y generando impacto en la comunidad (sobre todo en la Eafitense).

REFERENCIAS

- [1] P. Ferraro *et al.*, "Compensation of the inherent wave front curvature in digital holographic coherent microscopy for quantitative phase-contrast imaging," *Appl. Opt.*, vol. 42, no. 11, p. 1938, Apr. 2003, doi: 10.1364/ao.42.001938.
- [2] J. Kühn *et al.*, "Axial sub-nanometer accuracy in digital holographic microscopy," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 7, Jul. 2008, doi: 10.1088/0957-0233/19/7/074007.
- [3] M. K. Kim, "Applications of Digital Holography in Biomedical Microscopy," *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 14, no. 2, pp. 77–89, 2010, doi: 10.3807/JOSK.2010.14.2.077.
- [4] C. Knox, "Holographic microscopy as a technique for recording dynamic microscopic subjects," *Science (80-.)*, vol. 153, no. 3739, pp. 989–990, 1966, doi: 10.1126/science.153.3739.989.
- [5] V. R. Singh, J. Miao, Z. Wang, G. Hegde, and A. Asundi, "Dynamic characterization of MEMS diaphragm using time averaged in-line digital holography," *Opt. Commun.*, vol. 280, no. 2, pp. 285–290, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.optcom.2007.08.030.
- [6] H. Bjelkhagen and D. Brotherton-Ratcliffe, *Ultra-Realistic Imaging*. CRC Press, 2016.
- [7] G. Saxby, *Practical holography*. 2004.
- [8] M. A. Kronrod, N. S. Merzlyakov, L. P. Yaroslavskii, M. A. Kronrod, N. S. Merzlyakov, and L. P. Yaroslavskii, "Computer Synthesis of Transparency Holograms," *SPTP*, vol. 17, p. 329, 1972, Accessed: Feb. 15, 2021. [Online]. Available: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1972SPTP...17..329K/abstract>.
- [9] M. Kronrod, N. Merzlyakov, and L. Yaroslavskii, "Reconstruction of a Hologram with a Computer," *Sov. Phys. Tech. Phys.*, vol. 17, no. September, p. 333, 1972.
- [10] U. Schnars and W. P. O. Jüptner, "Digital recording and numerical reconstruction of holograms," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 9, 2002, doi: 10.1088/0957-0233/13/9/201.
- [11] CMOS CAMERAS: USB 2.0 AND USB 3.0. Thorlabs.com, 2021, p. 9.