

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN HOLOGRAFIA

Nombre del proyecto

ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE IMPRESION HOLOGRAFICO DIRECTO PARA LA EXPLORACION Y APROPIACION DE LA HOLOGRAFIA SINTETICA.

Año

2022

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 buscaron con el desarrollo del proyecto en el semillero incluyeron la implementación y análisis detallado del funcionamiento de un sistema de impresión holográfica. Este enfoque permitió validar y explorar a fondo esta técnica dentro del contexto del semillero,

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

proporcionando a los participantes la oportunidad de adquirir conocimientos prácticos y teóricos en holografía. Además, se fomentó el desarrollo de habilidades en investigación, análisis crítico y aplicación de tecnologías emergentes, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos científicos y tecnológicos avanzados en el futuro.

Metodología

El proyecto propuesto se compone principalmente por desarrollos experimentales y de actividades que permitan generar nuevos conocimientos en el campo de la holografía sintética. Para el correcto cumplimiento de los objetivos planteados se propone el siguiente proceso metodológico: Revisión y estudio de la literatura de las técnicas de estereoscopía holográfica monocolor y color. • Estudio y apropiación del montaje óptico y del proceso completo de registro de hologramas sintéticos. • Selección de objetos en base a características que permitan aprovechar y resaltar las ventajas de la holografía sintética. • Revisión e implementación del montaje óptico para el registro de displays holográficos sintéticos. • Implementación del proceso de registro de hologramas sintéticos. • Evaluación y reporte de las características y resultados de la técnica estudiada.

Resultados obtenidos

Apropiarse de los conceptos fundamentales de la holografía sintética para comprender su funcionamiento. Determinar los componentes ópticos esenciales de un sistema de impresión holográfica directa. Ensamblar un sistema de impresión holográfica directa a partir de sus componentes fundamentales. Dominar en profundidad todo el proceso de registro (preparación del objeto, captura de imágenes para el registro, configuración del sistema de registro, etc.) de un estereograma holográfico. Elaborar un informe sobre las etapas para la generación de hologramas sintéticos con una evaluación de sus resultados.

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 proceso de fortalecimiento de prácticas educativas, habilidades y competencias en los participantes. Inicialmente, los semilleristas se familiarizaron con los conceptos fundamentales de la holografía sintética, comprendiendo su funcionamiento y aplicaciones. A medida que avanzaba el proyecto, participaron activamente en la determinación de los componentes ópticos esenciales y en el

ensamblaje de un sistema de impresión holográfica directa, lo que implicó el desarrollo de habilidades técnicas en la manipulación de equipos ópticos y sistemas de registro avanzados. Además, se apropiaron en profundidad del proceso completo de registro de estereogramas holográficos, lo cual incluyó la preparación meticulosa de los objetos y la configuración precisa del sistema de captura de imágenes. El proceso no solo fortaleció sus habilidades prácticas, sino que también fomentó competencias en investigación, análisis crítico y comunicación científica, especialmente a través de la elaboración detallada de informes sobre la generación y evaluación de hologramas sintéticos. Además, el trabajo colaborativo y la resolución de problemas en equipo fueron aspectos centrales del desarrollo educativo, preparando a los participantes para enfrentar desafíos tecnológicos y científicos complejos en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. En resumen, el semillero no solo amplió el conocimiento teórico y práctico en holografía, sino que también cultivó habilidades transferibles y competencias clave para su desarrollo profesional y académico.

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 2022
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	Estudio e implementación de un sistema de impresión holográfico directo para la exploración y apropiación de la holografía sintética.
Nombre del investigador principal	Carlos Alejandro Trujillo Anaya
Estudiantes que participaron en la investigación	Isabella Gómez Gallego, Tomás Vélez Acosta, Laura Patiño Restrepo, Nicoll Valeria Moreno Alzate, Camilo Rodríguez Londoño, Daniela Posada Piedrahita, Agustín López Zapata, Alejandro De La Torre Renteria

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un sistema de impresión holográfico, haciendo un análisis preciso de su funcionamiento, para la ratificación de esta técnica, particularmente dentro del contexto del semillero.

Este objetivo fue completado de forma satisfactoria.

Objetivos Específicos

1. Apropiarse de los conceptos fundamentales de la holografía sintética para comprender su funcionamiento.
2. Determinar los componentes ópticos esenciales de un sistema de impresión holográfica directa.
3. Ensamblar un sistema de impresión de holografía directa a partir de sus componentes fundamentales.
4. Apropiar en profundidad el proceso completo de registro (preparación del objeto, obtención de las imágenes a registrar, configuración del sistema de registro, etc.) de un estereograma holográfico.
5. Realizar un reporte de las etapas para la generación de hologramas sintéticos con una evaluación de sus resultados.

El único objetivo que no fue completado en su totalidad fue el 4, dado a que en el ensamble del sistema se encontraron diferentes problemas que no permitieron hacer una práctica del registro de un estereograma holográfico, por lo que no se pudo hacer una prueba de validación.

METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos llevados a cabo se realizaron las siguientes actividades.

1. Revisión y estudio de la literatura de las técnicas de estereoscopia holográfica monocolor y color.
2. Estudio y apropiación del montaje óptico y del proceso de registro de hologramas sintéticos.
3. Selección de objetos en base a características que permitan aprovechar y resaltar las ventajas de la holografía sintética.
4. Inventario y caracterización de los componentes electrónicos del sistema en conjunto con el estudio del programa de automatización.
5. Revisión del montaje óptico para el registro de displays holográficos sintéticos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Implementación del montaje

Inicialmente, se planteó reensamblar el montaje propuesto por Esteban Ramos en su tesis de pregrado [1]. En el que se presenta la 'Holoimpresora a color' que funciona a partir de técnicas de estereoscopia holográfica a color, y trabaja con dos fuentes de luz coherente, un láser de HeNe de 633nm de 30mW y otro de Cobolt DPSS de 532 nm de 150 mW.

Los dos caminos ópticos correspondientes a cada láser deben pasar por un obturador (O) para luego ser divididos en un haz objeto y un haz referencia. Esto ocurre al atravesar una placa $\lambda/2$ y luego un cubo divisor de haz polarizado (CBS por sus siglas en inglés) el cual divide el haz en según componentes de polarización. Luego de estar cada láser separado en dos caminos ópticos (objeto y referencia) es necesario realizar la combinación entre los diferentes láseres para formar un sólo haz objeto y un sólo haz referencia con las longitudes de onda superpuestas, es decir, recorriendo el mismo camino óptico. Esto es posible haciendo uso de dos filtros dicróicos (FD). El arreglo está diseñado para que el haz objeto y el haz referencia atraviesen ambos un filtro dicróico (Edmunds Optics, Dichroic Longpass Filter #69-868) que refleja el rango de longitudes de onda entre 460-570nm y transmiten entre 625-1600nm. De esta forma se recombinan los caminos en un único haz objeto y un haz referencia, los cuales pasan por un modulador espacial de luz (SLM) para modular el haz objeto a partir de una imagen que es proyectada en una pantalla de cristal líquido (LCD por sus siglas en inglés). En la figura (1) se puede ver un esquema del montaje descrito, donde cada sigla significa lo siguiente:

- Espejos (M): Compactan el montaje óptico redirigiendo el haz de luz.
- Obturador (O): Este elemento permite controlar el paso de luz en el montaje.
- Lamina retardadora de onda (P $\lambda/2$): cambia el estado de polarización de entrada del haz.
- Beam Splitter (BS): Divide el haz reflejando una parte del rayo que incide y transmitiendo otra.
- Filtro Dicróico (FD): transmite una longitud de onda específica según el tipo de filtro para el haz incidente.

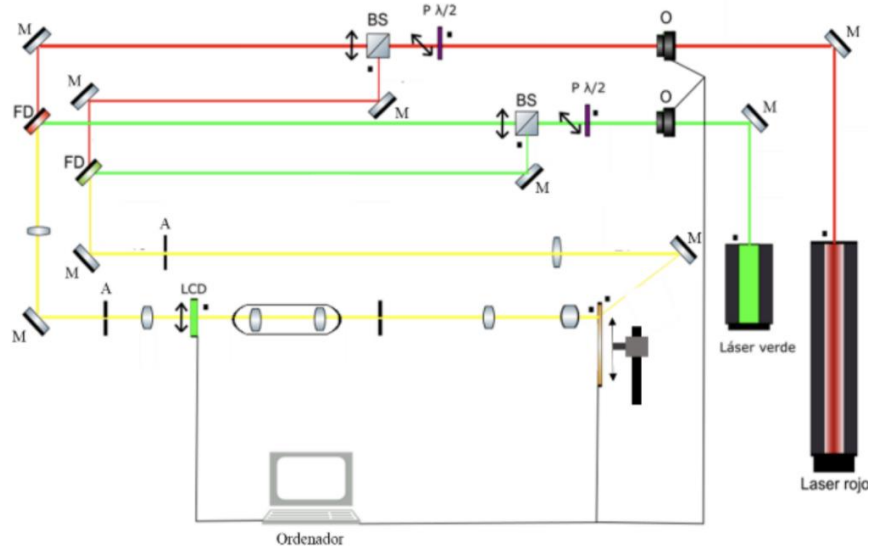


Figura 1. Esquema del montaje propuesto por Esteban Ramos [1].

En el primer semestre se comenzó el reensamble del montaje descrito, adecuándolo a las condiciones actuales del laboratorio. Se avanzó hasta el ensamble del haz referencia y objeto, con la adecuación del espacio como se muestra en la figura (2), sin embargo, en el diseño de este montaje no se lograba comprender como se estaba formando la imagen al final en el haz referencia y encontrábamos inconsistencias en las distancias indicadas para el brazo de escritura, por lo que se decidió retomar el montaje más primitivo del sistema de impresión holográfica denominado 'Holoprinter' diseñado por Alejandro Madrid en su tesis de maestría [2].

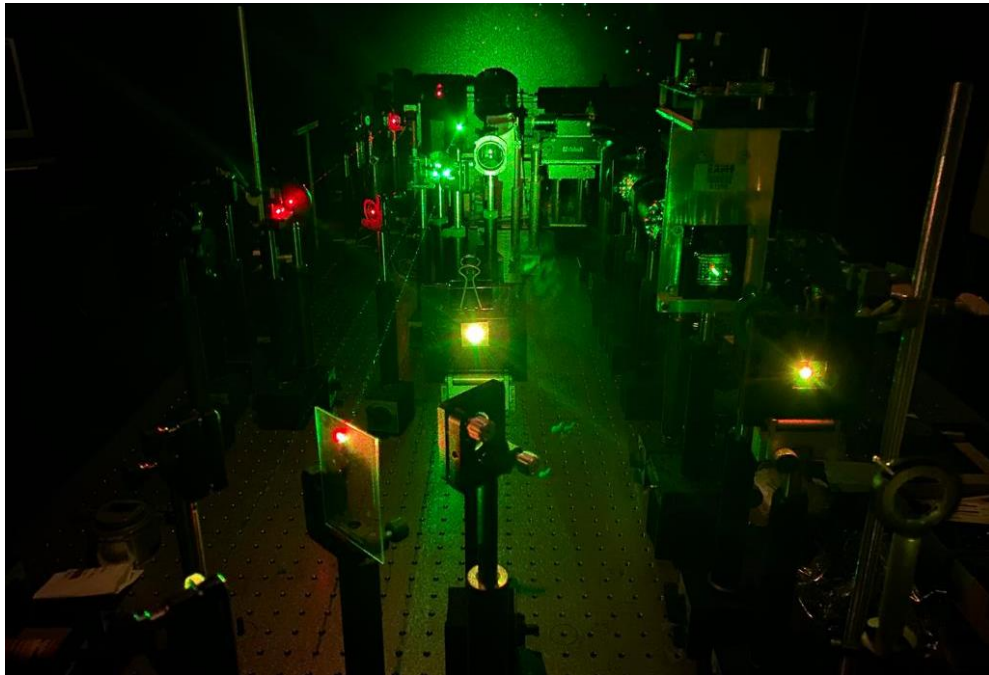


Figura 2. Avance del montaje inicial.

La Holoprinter, compuesta por: una fuente de luz coherente, un divisor de haz para dividir el haz del láser en dos caminos, el haz objeto y el haz referencia, que controla además sus relaciones de intensidad, un sistema óptico para dirigir cada uno de estos haces hacia el material de registro, un modulador espacial de luz (SLM) para modular el haz objeto a partir de una imagen que es proyectada en este, un desplazador mecánico de dos dimensiones para desplazar el material de registro, un obturador mecánico para el disparo del haz de luz del láser y el sistema de control por computador. En la figura (3) se presenta un esquema simplificado del diseño.

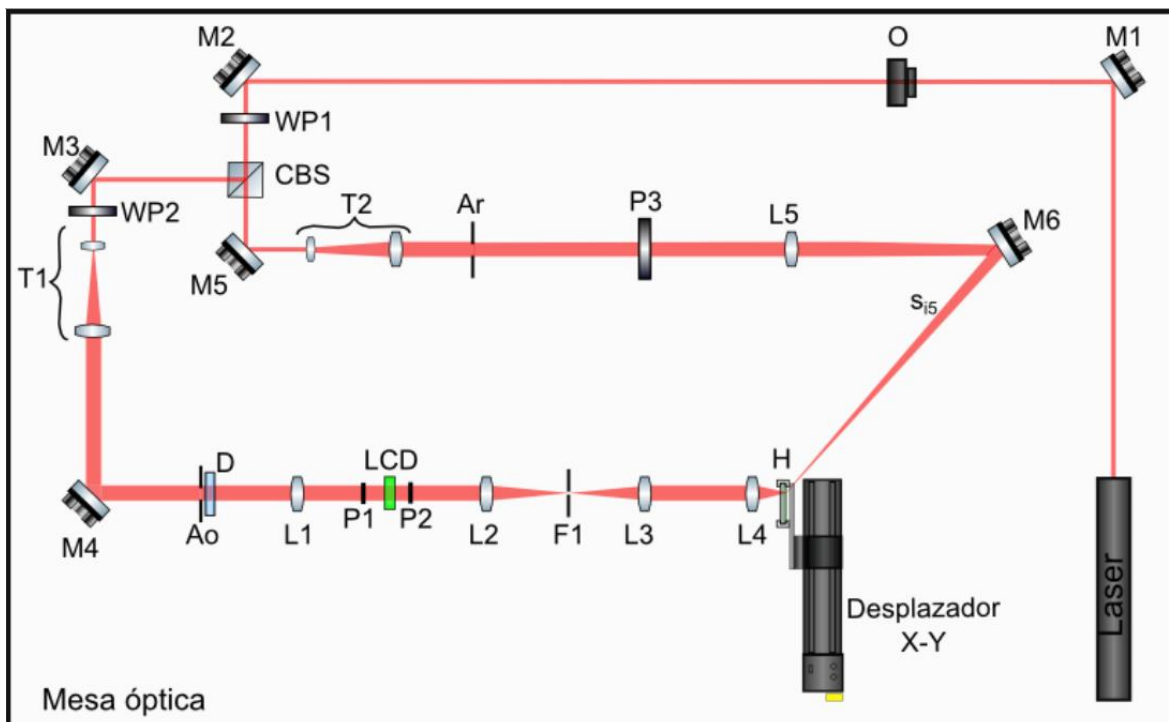


Figura 3. Esquema del montaje diseñado por Alejandro Madrid [2].

Para la implementación de este sistema fue necesario adecuar el diseño inicial y los elementos ópticos a los disponibles actualmente. Entre las implementaciones realizadas, para la fuente de luz coherente se dispuso un láser Cobolt DPSS de 532 nm de 150 mW de potencia variable. Por otra parte, se realizó el diseño de dos beam expander (T1 y T2 en la figura (3)), necesarios para aumentar el diámetro del haz, acorde con el diámetro necesario para iluminar la apertura que da la forma al hogel. Estos sistemas normalmente se pueden encontrar en el mercado ya listos para utilizarse, sin embargo, se consideró más ágil construirlo con lentes disponibles en el laboratorio y se decidió implementar beam expanders Galileanos, los cuales están compuestos por lentes biconvexas de focales positivas y ayudan a eliminar algunos tipos de aberraciones presentadas por la esfericidad de las lentes.

Para lograr una expansión proporcional, fue importante tener en cuenta que la primera lente a usar debe tener un diámetro mayor a la fuente de luz entrante. De esta misma manera el diámetro y la focal de la segunda lente a usar, debe ser mayor que el diámetro del haz de salida esperado para obtener un buen orden de magnificación, en este caso, la apertura era de un área alrededor de medio centímetro por lo que solo necesitábamos que M fuera mayor que 1, donde se tiene que M es [3]:

$$M = \frac{f_2}{f_1}$$

Finalmente, para el beam expander del haz referencia se usaron lentes con $F_1 = 125 \text{ mm}$ y $F_2 = 50 \text{ mm}$. Mientras que para el haz objeto se usaron lentes con $F_1 = 75$ y $F_2 = 30$. En la figura (4) se presenta el montaje de ambos.

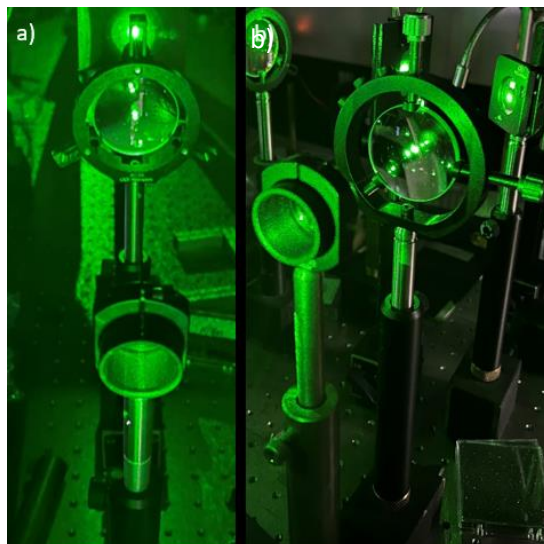


Figura 4. a) Beam expander haz referencia. b) Beam expander haz objeto.

Después, se continuó con la elección de L1 y L5, para las cuales no se encontraron especificación de su referencia, sin embargo, se tenía conocimiento de que L1 debía tener una focal igual a la distancia entre la apertura y la lente por lo que de acuerdo al espacio disponible se definió que lente se usaría. L5 es un sistema formador de imagen de la apertura A_r en la emulsión holográfica, por lo que se determinó según la focal efectiva necesaria para lograr un tamaño imagen igual al tamaño del hogel deseado en base a la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{S_0} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

De esta forma, las lentes L1 y L2 seleccionadas tienen una focal de 150 mm y 750 mm respectivamente.

Con lo descrito anteriormente y la adecuación de la división del haz sin uno de los espejos y las distancias del haz referencia y objeto se ensambló el montaje presentado en la figura (5). Sin embargo, finalmente no obtuvimos la generación de la imagen hogel del tamaño que se esperaba, se plantea que esto se deba porque algunos errores en la medición de distancias entre las lentes, lo cual, se espera corregir el próximo año.



Figura 5. Montaje final.

Electrónica y automatización del sistema

Una de las principales tareas a realizar fue el inventario de todos los elementos electrónicos necesarios para las conexiones del sistema con el programa de automatización en LabVIEW. En la tabla 1) se presenta la lista detallada de los elementos inventariados.

Tabla 1. Inventario de electrónica.

Material	Cantidad
Arduino Mega 2560	1
Resistencias 1k Ω	2
Transistor NPN (2N2222A)	2
Capacitor (IN4007)	2
Fuente 5V para el SLM	1
Adaptador de fuente para el desplazador	1
Cable USB para la conexión del desplazador x	1
Cable USB para la conexión del desplazador y	1
Adaptador de fuente SLM	1
Cable USB para Arduino	1

Posteriormente se realizó una prueba del funcionamiento de programa de control siguiendo las instrucciones indicadas en un manual realizado por el profesor que diseñó el programa y se usó el programa denominado 'Esteroprinter 3.0' [4]. En este manual se describe como realizar la configuración del sistema, la preparación del mismo y la visualización para el seguimiento del estado del sistema. Con estas pruebas se confirmó que el control de los desplazadores estaba funcionando correctamente, pero el control de los obturadores no estaba funcionando correctamente.

Dado esto, se prosiguió con la elaboración de un diagrama de las conexiones de los obturadores con el fin de verificar que estuvieran correctas, realizando el modelo en el software Proteus presentado en la figura (6).

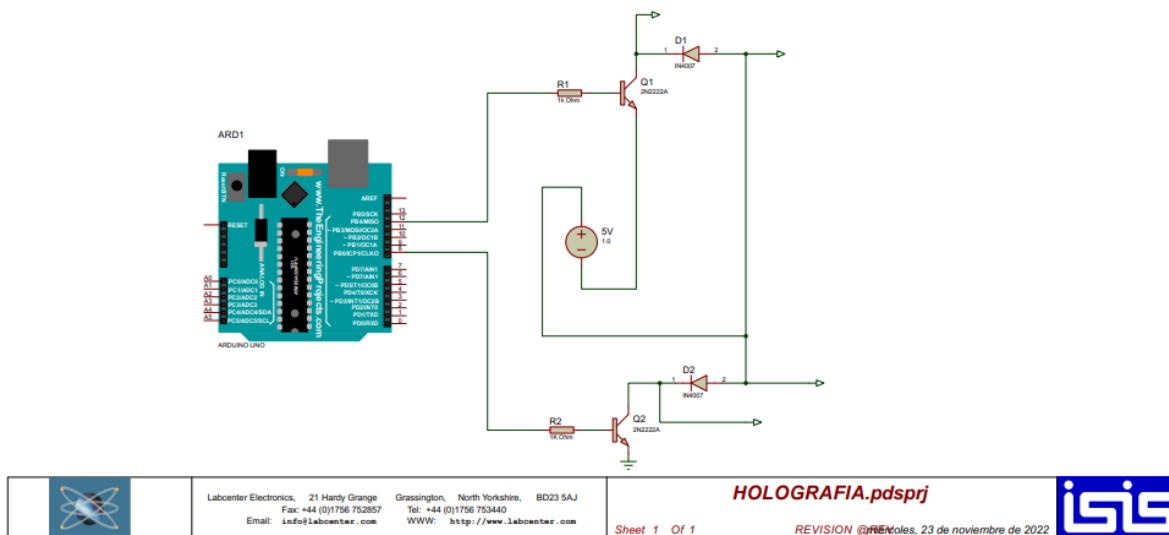


Figura 6. Diagrama de conexiones de los obturadores.

Luego del análisis del diagrama presentado en la figura (6), se validó que los elementos electrónicos presentaban continuidad y se diseñó un programa de prueba solo para Arduino junto con el uso de un led y una resistencia de 330 ohm verificando que cada uno de los pines usados funcionaban correctamente, finalmente, se encontró que el funcionamiento mecánico del iris de uno de los obturadores estaba dañado, por lo que considerando esto y el hecho de que el montaje final solo requiere de un obturador, se continuó el estudio del programa de control realizando pruebas con el programa de automatización con un solo obturador.

En las últimas pruebas realizadas se halló que la librería de LabVIEW Arduino interface usada en el programa esta desactualizada y ya no es usada dado que se descontinuo el año pasado para migrar a una nueva librería llamada Linx [5], lo que genera problemas de compatibilidad y podría ser la razón de que el control del obturador no esté funcionando. En análisis con el profesor que creó el programa de LabVIEW se plantearon las posibles conclusiones de que exista un problema en el envío de la señal por parte del programa de control (en relación con la aplicación de las nuevas librerías) o que alguna de las terminales que recibe la señal en Arduino no está funcionando, por lo cual se recurrió a crear un programa en LabVIEW para enviar señales únicamente al Arduino de encender un led para tener una idea de cómo funcionan mejor la conexión de Arduino a LabVIEW, pero aún con la nueva librería no se logró poner en funcionamiento, por lo que es necesario continuar realizando pruebas para corregir el control de los obturadores.

Algoritmo de reconstrucción

En el proceso de registro del estereograma holográfico, es necesario realizar una previa reconstrucción tridimensional del objeto, para lo cual se exploraron diferentes formas de digitalización, principalmente mediante la aplicación para iPhone llamada Polycam (revisar anexos) basada en el principio de escáner LiDAR, pero finalmente se optó por trabajar con un objeto creado mediante diseño CAD.

Posteriormente, se realiza la reconstrucción del objeto digitalizado (sus archivos de texturas JPG, tridimensionalidad OBJ y sus archivos de colores MTL) a partir de sus imágenes hogel. Se implementó un código de doble cámara truncada desarrollado en Python por Alejandro Madrid, nombrado por él mismo como Holocamera. Inicialmente para retomar este programa se debió hacer una adaptación de versiones de Python y se realizó la creación de un ambiente virtual en Visual Studio Code con librerías actualizadas para su correcto funcionamiento. El código permite la adquisición de los datos de las condiciones ópticas o parámetros que se deben tener en cuenta para realizar el registro como la iluminación, la rotación y los porcentajes de color, pero, además, permite una previsualización del holograma dentro de un marco blanco que permite la interacción tridimensional con el holograma como quedaría en el registro como se puede observar en la Figura (7).



Figura 7. Reconstrucción tridimensional del objeto.

Conclusiones y trabajo futuro

A través de la ejecución del proyecto, se logró la apropiación de conocimientos sobre una técnica de adquisición de información tridimensional. Principalmente, se comprendieron fundamentos de la óptica interferométrica, y la holografía sintética, los fenómenos detrás de ella y las técnicas relacionadas. En el proceso de implementación se comprendió la función física de cada elemento óptico, el funcionamiento de algoritmos de reconstrucción de imágenes tridimensionales y la automatización de un sistema.

En los avances realizados, se recuperó un manual sobre el funcionamiento del programa de control, se implementó el montaje original con modificaciones necesarias a las condiciones del laboratorio, se realizó un inventario de la electrónica para la automatización y un plano electrónico de las conexiones a los obturadores. Para trabajo futuro, se identificó que es necesario rectificar las distancias entre las lentes para reconstruir la imagen deseada

y se requiere continuar con las pruebas de funcionamiento del obturador para su correcto funcionamiento con las librerías actualizadas.

Finalmente, es importante resaltar que este proyecto implicaba un gran reto para el semillero, ya que como se mencionaba en el planteamiento del mismo, el propósito era recuperar un trabajo de varios años desarrollado por diferentes estudiantes y profesores, y ninguno de los integrantes del semillero contaba con la experiencia sobre sistema y la holografía sintética y algunos no tenían conocimiento previos sobre holografía por lo que, aunque no completamos los objetivos en un 100 %, este fue un proyecto especialmente enriquecedor, que al involucrar la aplicación de conocimientos ingenieriles y físicos en el desarrollo de actividades de control, programación y óptica de forma paralela en su avance, llevó también al fortalecimiento de competencias de trabajo en equipo, y crear una base de conocimiento para trabajos futuros.

PRODUCCIÓN ACADÉMICA, CIENTÍFICA O ARTÍSTICA

- Participación en el encuentro departamental de semilleros de Investigación, Nodo Antioquia (REDCOLSI) 2022 con reconocimiento sobresaliente.
- Participación en el encuentro nacional e internacional de semilleros de Investigación (REDCOLSI).
- Participación en la feria de semilleros de investigación 2022 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)
Honorarios asesoría José Hernán	1	\$ 100.000
Placas holográficas	1	\$ 278.882
Inscripción segundo ponente RedCOLSI departamental	2	\$130.000
Poster RedColsi Nacional	1	\$39.000
Monitoria de investigación	1	\$1.993.333
Viáticos simposio ICTP	1	\$496.196
TOTAL		\$ 3.037.411

LECCIONES APRENDIDAS

- Los semilleristas comprendieron la importancia del trabajo en áreas ingenieriles aplicadas a la óptica para el desarrollo del proyecto, como lo son la electrónica y la programación, en conjunto con la importancia del trabajo en equipo y la división de tareas en estas áreas, pero una correcta integración y entendimiento de cada miembro de todas ellas.

- 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.
- Se pudo también evidenciar la importancia de registrar el desarrollo de los trabajos realizados en el semillero, dado a que un buen registro puede permitir en un futuro retomar proyectos para nuevas experiencias y/o mejoramientos.
- Se evidencio la importancia de la revisión periódica de elementos electrónicos y mecánicos además de la actualización de los programas, ya que pueden deteriorarse, o presentarse nuevas librerías que pueden impedir el funcionamiento del programa o mejorarlo.

Referencias

- [1] E. Ramos Chavarriaga, "Holoimpresora a color: Incorporación de color de estereogramas holográficos de paralaje completo", Trabajo de grado, Ingeniería física, Ciencias físicas, Universidad EAFIT, Medellín, 2019.
- [2] A. Madrid Sánchez, "Desarrollo e implementación óptica y computacional para la generación de hologramas sintéticos de imágenes 3D reales," Maestría, Ciencias físicas, Universidad EAFIT, Medellín, 2017.
- [3] Beam Expander Design Comparison: Keplerian and Galilean. (s. f.). https://www.thorlabs.us/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=14648.
- [4] J. E. Espitia Gpmmez, "Informe ESTEREOPRINTER." Medellín, p. 8, 2017.
- [5] "¿Cómo Cargo la Interfaz de LabVIEW Para El Firmware de Arduino en MI Arduino Uno? - NI." <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000YH1JCAW&l=es-CO> (accessed Dec. 15, 2022).

Anexos

Otra bibliografía del proyecto

- [1] M. YAMAGUCHI, "Holographic 3-D Printer " *Practical Holography*, vol. 4, p. 84, 1990.
- [2] H. Bjelkhagen and D. Brotherton-Ratcliffe, *Ultra-realistic imaging: advanced techniques in analogue and digital colour holography*: CRC press, 2016.
- [3] I. Naydenova, *Advanced Holography: Metrology and Imaging*: BoD–Books on Demand, 2011.
- [4] M. W. Halle, "Holographic stereograms as discrete imaging systems," in *Practical Holography VIII*, 1994, pp. 73-84.

Link de información sobre Polycam: <https://poly.cam/>