



VISION ESTÉREO:

Visualización y reconstrucción tridimensional mediante el uso de proyección de franjas asociando color real al objeto y el método anáglifo

PRESENTA

MARÍA DE LOS ÁNGELES GAMBOA TOLEDO

ESPECIALIDAD

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

No. DE CONTROL

08270415

ASESOR EXTERNO

DRA. AMALIA MARTÍNEZ GARCÍA

ASESOR INTERNO

ING. ÁLVARO HERNÁNDEZ SOL

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, NOVIEMBRE DEL 2012

INDICE

Capítulo 1- Introducción	3
1.1 Objetivos	6
1.2 Justificación	6
1.3 Características del área en que participo	9
1.4 Problemas a resolver	10
1.5 Alcances y limitaciones	10
Capítulo 2- Fundamento teórico	
2.1 Antecedentes	11
2.2 Conceptos básicos y desarrollos teóricos	11
2.2.1 Visión estéreo	11
2.2.2 Estereoscopia	11
2.2.3 Método anáglifo	13
2.2.4 Proyección de franjas	27
2.2.5 Color	30
2.2.6 Procesamiento de imágenes digitales	36
Capítulo 3- Desarrollo experimental	
3.1 Proyección de franjas	40
3.2 Asociación de color	45
3.3 Generación del anáglifo	50
Conclusión	54
Referencias	55
Apéndice A	
A1. Algoritmo para crear anáglifos	56
A2. Algoritmo para reconstrucción tridimensional y asociación de color	58
A3. Algoritmo para generar franjas	60

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y crecimiento de la óptica ha tenido como consecuencia, novedosas aplicaciones en las actividades cotidianas del ser humano, cuando se va al cine a ver una película donde cada vez se hace más natural tener acceso a películas en visualización tridimensional, cuando se usa una fotocopidora, el uso de la televisión, los videojuegos, el uso de telescopios y microscopios, el uso de fibras ópticas en el área de medicina, la obtención y análisis de radiografías, otro sistema óptico natural es el ojo el cual nos permite ver lo que hay a nuestro alrededor, desarrollo de cámaras digitales, etc. Éstos son sólo algunos ejemplos de sus numerosas aplicaciones.

¿Pero como definimos la óptica? Ésta es la rama de la física que estudia el comportamiento de la luz, la forma en que se propaga a través de medios transparentes y de la forma en que es absorbida por otros cuerpos. La absorción de la luz ocurre cuando la luz llega a su destino, produciendo ahí un efecto físico o químico, por ejemplo, en la retina de un ojo, en una película fotográfica, en una cámara de televisión, o en cualquier otro detector luminoso. Ahora, lo siguiente a definir es: ¿qué es la luz?, de manera general se puede decir que la luz es la radiación que al penetrar a los ojos produce una sensación visual. De manera más estricta, se puede decir que la luz forma parte del espectro electromagnético, el cual va desde los rayos gamma hasta las ondas de radio y que está en la región del visible. Los grandes avances tecnológicos, como las modernas comunicaciones por fibras ópticas, las aplicaciones de los láseres y de la holografía tienen una base óptica. Pasando ahora al no tan cotidiano en cuanto algunas aplicaciones, se puede mencionar que en los diversos campos de la ingeniería es necesario realizar mediciones de parámetros que conduzcan al conocimiento de las características del desempeño de los objetos. Por ejemplo, en ocasiones es necesario cuantificar dimensiones, fuerzas, presiones, etc. que permitan conocer si la estructura o elementos de un puente, de un vehículo o de un equipo, pueden resistir bajo condiciones específicas de trabajo. Sin embargo, no siempre es posible medir directamente la variable física de interés, por lo que es necesario recurrir a mediciones indirectas que permitan inferir sobre la magnitud de la variable requerida. Para ello, se recurre a los principios físicos y al comportamiento de los materiales de acuerdo a sus propiedades, ya sean mecánicas, eléctricas, térmicas, químicas u ópticas. Entre las técnicas ópticas desarrolladas en metrología se tienen proyección de franjas, método anáglifo, interferometría de moteado y de desplazamiento, holografía digital, entre otras, para la visualización tridimensional así como la cuantificación de la topografía de algún objeto de interés el cual puede ser interesante en áreas como la medicina, arqueología, paleontología, industria automovilística, ingeniería inversa, etc. Las técnicas también pueden ser aplicadas en ensayos de tensión en la obtención de campos de desplazamiento, de deformación, de esfuerzo y del módulo de Young, cuantificación de índice de

refracción, de temperatura, etc. Las técnicas mencionadas forman parte del grupo de pruebas no destructivas, es decir, de aquéllas que no requieren que el elemento sujeto a prueba deba ser afectado estructuralmente y de campo completo.

En cuanto a las técnicas de reconstrucción tridimensional que ya han sido mencionadas, éstas pueden aplicarse en casos específicos para cada actividad¹. Existen mecanismos tan sencillos como los brazos articulados para la reconstrucción de objetos que son especialmente útiles en ambientes industriales, pero que presentan las desventajas de que son de contacto, la información obtenida corresponde a algunos puntos solamente, y el tiempo de adquisición de datos es mayor. También existen dispositivos tan complejos como las tomografías o la resonancia magnética en el campo de la medicina.

Dentro del campo de la navegación de sistemas autónomos, de la topografía o de la realidad virtual adquieren especial relevancia los métodos de captura por reflexión, donde se encuentran entre otros los sonar, radar, láser o la visión estéreo.

En un principio, el estudio de la visión estéreo se centró en los seres humanos y en su capacidad de percepción del entorno a través de los ojos que, dada su posición, reciben imágenes sensiblemente diferentes de una misma escena lo que hace posible la sensación de tridimensionalidad.

La representación tridimensional de la topografía de un objeto es posible mediante el uso de la técnica de proyección de franjas obteniendo las coordenadas (x, y, z) del objeto de interés. El sistema de proyección de franjas consta de un proyector para la generación de franjas sobre el objeto y una cámara para la captura de la imagen, así como de una computadora para el procesamiento de las imágenes capturadas.

En general este método de proyección de franjas se compone de 4 pasos, 1) proyección de un patrón de franjas, (2) cálculo de fase, (3) desenvolvimiento de fase, y (4) determinación de la cantidad física asociadas al mapa de fase desenvuelto. En éste último paso se toma en cuenta la geometría del sistema óptico para calcular el factor de escala en la obtención de la medición final. Una vez obtenida la forma tridimensional del objeto se busca asociar el color real del objeto dado que esto es importante si se requiere una réplica del objeto para algunas aplicaciones particulares como por ejemplo la réplica de algún órgano humano². En la asociación del color se considerará la calibración de la cámara que se usará en el procedimiento para obtener los colores reales para lo cual se crea un perfil de color usando el software Colorchecker Passport³ aplicada a la imagen que se antepondrá al objeto.

Se tiene que la representación tridimensional y el color del objeto, se observa en un espacio bidimensional, sobre una hoja o computadora por lo que para su visualización tridimensional, se hará uso del método anáglifo. Éste consiste en tener dos perspectivas diferentes del mismo objeto, donde cada perspectiva será

capturada o se le asociará dos colores primarios opuestos (por ejemplo rojo y azul). Cada imagen será visualizada mediante dos filtros (rojo y azul), usando uno para cada ojo, de tal forma que cada ojo solo ve una de las dos imágenes. Esto permitirá apreciar la profundidad del relieve del objeto. Para evitar imágenes fantasmas, es decir que un mismo ojo pueda apreciar parte de una segunda imagen, se implementará un algoritmo para la calibración de los lentes anáglifos⁴.

Las técnicas de visión estéreo así como de proyección de franjas son revisadas en este proyecto, en particular hacia la obtención de la topografía de algún objeto de prueba. Adicionalmente, una vez obtenida la topografía, se implementa una técnica para asociarle los colores reales correspondientes.

1.1 Objetivo

Reconstrucción tridimensional y asociación de colores reales de un objeto así como su visualización en 3D.

Objetivos específicos

- Obtención de la topografía de un objeto de prueba por la técnica de proyección de franjas.
- Programación del algoritmo para la reconstrucción tridimensional.
- Programación del algoritmo para asociar el color a objetos.
- Programación del algoritmo para obtener imágenes anáglifos.
- Obtener resultados asociando al contorno tridimensional la sensación tridimensional mediante el método anáglifo.

1.2 Justificación

Este proyecto se realiza con la finalidad de hacer una reconstrucción tridimensional de un objeto y poder asociar color real al objeto así como lograr la sensación de profundidad tridimensional.

Los beneficios son muy extensos principalmente dadas las diferentes aplicaciones.

Principales aplicaciones de la digitalización:

Inspección dimensional (ejemplo de diseño y fabricación que también se conoce como ingeniería inversa)

A partir del modelo CAD 3d y de la información procedente del digitalizado, sobre todo nubes de puntos, es posible realizar una inspección automática, obteniendo un resumen de las desviaciones reales de la pieza comparada con el modelo teórico como se ve en la figura 1.1.

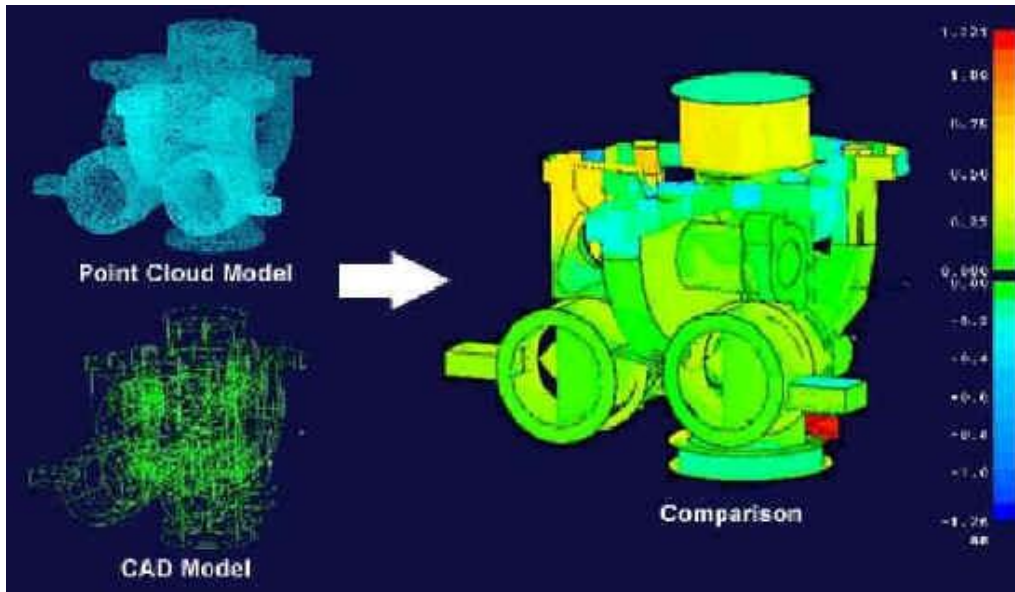


Figura 1.1 Inspección dimensional.

Aplicaciones médicas

Se utiliza como base para la obtención de la información tridimensional del paciente como se puede observar en la figura 1.2.

- Posibilidad de fabricar modelos físicos a partir de la información digitalizada
- Preparación de operaciones de alto riesgo
- Reconstrucción de partes del cuerpo humano



Figura 1.2 Aplicaciones médicas.

Arte y restauración

Se utiliza para obtener las informaciones tridimensionales de objetos de gran valor véase la figura 1.3, inaccesibles al público para ser visualizados en 3D. Colecciones privadas, acceso a través de internet, etc.



Figura 1.3 Arte y restauración.

Comercio electrónico

Representación tridimensional de los objetos a través de la red. Posibilidad de reproducir objetos con una alta resolución en la figura 1.4 se puede ver claros ejemplos de estas representaciones. Concepto de fotografías en 3D



Figura 1.4 Comercio electrónico.

Aplicaciones multimedia

Personalización de las personas en todo tipo de aplicaciones multimedia de una manera rápida y fiable. Utilización para control de seguridad, personalización de juegos etc., obsérvese la figura 1.5.



Figura 1.5 Aplicaciones multimedia.

Aplicaciones ergonómicas avanzadas

Personalización de ropa, trajes, equipos y otras aplicaciones ergonómicas en general que dependan de la variabilidad del cuerpo humano (modelización de la población para softwares de elementos finitos). Ver figura 1.6.

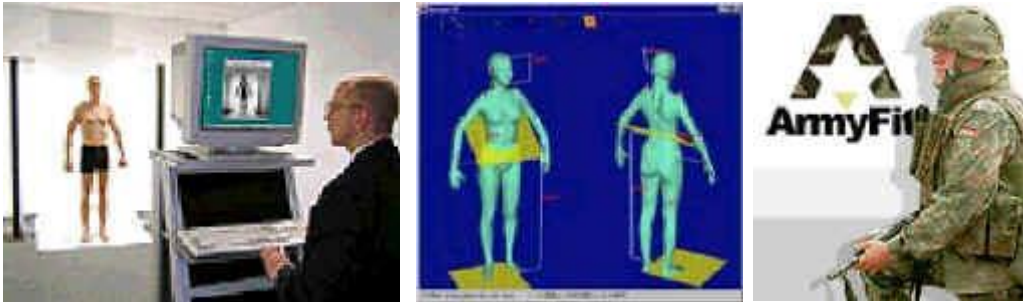


Figura 1.6 Aplicaciones ergonómicas avanzadas.

1.3 Caracterización del área en que participo

El Centro de Investigaciones en Óptica A. C. (CIO), se localiza en la ciudad de León Guanajuato, su fundación data el 18 de Abril de 1980. Actualmente el CIO se define como Centro Público de Investigación, con la misión de llevar a cabo investigación básica y aplicada en óptica, la formación de recursos humanos de alto nivel en el este mismo campo del conocimiento, así como al fomento de la cultura científica en la sociedad, con la misión además de ser un Centro de Investigación de excelencia, con liderazgo nacional y reconocimiento internacional creciente en el campo de la óptica, ocupando un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestro país⁵

La Dirección de Investigación tiene las Divisiones de Óptica y de Fotónica. En la División de Óptica, el Grupo de Metrología Óptica ha desarrollado técnicas ópticas para la determinación de magnitudes físicas como dimensión, temperatura y fuerza. Haciendo uso de principios interferométricos se alcanzan rangos de medición micro y hasta nanométricos.

Técnicas:

El Grupo de Metrología Óptica es experto en técnicas como Interferometría de moiré, interferometría de moteado, holografía digital, proyección de luz estructurada, procesamiento digital de patrones de franjas, entre otras.

Equipo:

Los laboratorios de metrología II y IIIA cuentan con equipo que corresponde a mesas holográficas, láseres varios, cámaras CCDs, software y hardware de control y procesamiento, máquina de ensayos mecánicos, equipo para deposición y revelado de foto-resinas en ambiente controlado.

1.4 Problemas a resolver

- Evaluación de la topografía de algún objeto de prueba.
- Visualización tridimensional de la reconstrucción de topografías de objetos.
- Asociación de colores reales creando perfiles de colores con hardware comercial.

1.5 Alcances y limitaciones

Alcances de las técnicas

Método anáglifo

- El método anáglifo puede observarse en espacios bidimensionales ya sea en una hoja o una computadora.
- Las imágenes producidas en anáglifos se pueden proyectar sin necesidad de equipo especial como en otros métodos.
- Las gafas anáglifo son de bajo costo y se pueden construir fácilmente.

Proyección de franjas

- La técnica de proyección de franjas resulta una técnica de fácil manejo, ya que en otras técnicas se utiliza iluminación laser lo que lleva a una fácil desalineación del sistema.
- La técnica de proyección de franjas se puede aplicar en la obtención de topografía de objetos grandes así como pequeños.
- Es una técnica de alta resolución, campo completo y trabaja en tiempo real.

Limitaciones de las técnicas

Método anáglifo

- El método anáglifo no permite representar el color correctamente en las gafas en este caso resultan mejor las gafas polarizados.
- Se pierde mucha luminosidad.

Proyección de franjas

- Proyección de franjas se aplica en objetos con pendientes suaves.
- Al proyectar el patrón de las franjas, en el caso de pendientes no suaves, existe un quiebre de franjas y no es posible identificar cual corresponde a cual.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Existen diversas técnicas ópticas para llevar a cabo la reconstrucción de la topografía de un objeto, entre éstas se encuentran las que dependen de la diferencia en perspectiva entre dos imágenes, la técnica de proyección de franjas⁶, proyección de una línea⁷, técnicas basadas en métodos interferométricos⁸, etc.

Las técnicas mencionadas dan una información cuantitativa de la topografía de los objetos la cual puede ser obtenida de las gráficas construidas a partir de la información de los parámetros geométricos del sistema óptico utilizado y de la información del patrón de franjas. Se ha implementado una técnica basada en el método anáglifo, que en combinación con cualquier técnica para la obtención de la topografía, es posible tener una visualización tridimensional del objeto. En este trabajo se hace una revisión de la técnica de proyección de franjas y del método anáglifo así como de conceptos básicos de colorimetría para tener la capacidad de escanear en 3D un objeto, asociarle color real y visualizarlo en 3D.

2.2 Conceptos básicos y desarrollos teóricos

2.2.1 Visión Estéreo

La visión estereo es una de las herramientas utilizadas en el análisis de escenas tridimensionales. El principio de esta técnica está basado en la naturaleza de la visión humana mediante la cual se capta la profundidad de lo que se observa, en este capítulo se dará una explicación de los temas relacionados a la visión estereo⁹.

2.2.2 Estereoscopia

La visión estereoscópica es la visión binocular (dos ojos) que produce la sensación de una imagen en tres dimensiones, al ser procesadas por el cerebro, a la vez, las dos imágenes que captan las retinas oculares. Puesto que los campos de visión están superpuestos en gran parte para obtener este efecto, nada más el área superpuesta permite la visión tridimensional.

La estereoscopia es cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma, o una imagen 3D (tridimensional).

La estereoscopia se usa en fotogrametría y también para entretenimiento con la producción de estereogramas. La estereoscopia es útil para ver imágenes renderizadas de un conjunto de datos multidimensionales como los producidos por datos experimentales. La fotografía tridimensional de la industria moderna puede usar escáners 3D para detectar y guardar la información tridimensional. La información tridimensional de profundidad puede ser reconstruida partir de dos imágenes usando una computadora para hacer relacionar los pixeles correspondientes en las imágenes izquierda y derecha

La fotografía estereoscópica tradicional consiste en el crear una ilusión 3-D a partir de un par de imágenes 2D. La forma más sencilla de crear en el cerebro la percepción de profundidad es proporcionando a los ojos del espectador dos imágenes diferentes, que representan dos perspectivas del mismo objeto, con una pequeña desviación similar a las perspectivas que de forma natural reciben los ojos en la visión binocular.

Fundamentos de la visión estereo

- Los ojos captan dos imágenes desde dos puntos de vista distintos.
 - Depende de la separación intraocular (DIO)
 - Entre 45-75mm (65mm es lo habitual)
 - Disparidad: entre las dos imágenes existen diferencias en la dirección horizontal.
- Son interpretadas como una única imagen, información de la distancia (fusión y estereopsis).
- La sensación de profundidad depende de la disparidad de la DIO.
 - A mayor DIO mayor disparidad y mejor captación de la profundidad en objetos lejanos.
 - A menor DIO menor disparidad y mejor captación de la profundidad en objetos cercanos.
- Convergencia: punto en el cual intersecan los ejes ópticos.
 - Punto de divergencia 0.
 - En puntos muy alejados los ejes ópticos son casi paralelos.
 - A partir de ciertas distancias no se distingue la profundidad
 - Depende de las personas
 - Entre los 60 y 100m
- Acomodación: enfoque óptico de un punto
- Fusión: proceso conjunto de acomodar un punto y hacer converger los ejes ópticos en él.
-

Los dos ojos, al estar situados en posiciones diferentes, recogen cada uno en sus retinas una imagen ligeramente distinta de la realidad que tienen delante. Esas pequeñas diferencias se procesan en el cerebro para calcular la distancia a la que se encuentran los objetos mediante la técnica del paralaje.

El cálculo de las distancias sitúa los objetos que está viendo en el espacio tridimensional, obteniendo una sensación de profundidad o volumen. Por lo que si se toma o se crea dos imágenes con un ángulo ligeramente distinto y se muestra a cada ojo por separado, el cerebro podrá reconstruir la distancia y por lo tanto la sensación de tridimensionalidad.

Sistemas estereoscópicos

En la actualidad solo existen tres tipos de sistemas estereoscópicos:

Polarizado

Se utiliza luz polarizada para separar las imágenes izquierda y derecha. El sistema de polarización no altera los colores. Funciona poniendo un filtro polarizado en cada objetivo (si se está proyectando con doble proyector). Hoy día existen sistemas Polarizados que permiten utilizar un solo proyector como el sistema RealD o Master Image. Se requiere de una pantalla del tipo “silver”, una pantalla metálica para preservar la polarización de la luz proyectada.

Alternativo

Este sistema es de gafas activas. El proyector emite las imágenes en sucesión sin ningún filtrado. Luego los espectadores tienen unas gafas “activas” que tienen un cristal líquido que se obtura y desobtura a la misma frecuencia que la emisión de fotogramas, sincronizado por ondas de radio con el proyector.

Anáglifos

Se utilizan filtros de colores complementarios, como rojo-azul, rojo-verde o ámbar - azul. La imagen presentada por ejemplo en rojo no es vista por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero sí que ve la otra imagen en azul o verde. Este sistema, por su bajo costo, se emplea sobre todo en publicaciones, así como también en monitores de ordenador y en el cine.

Presenta el problema de la alteración de los colores, pérdida de luminosidad y cansancio visual después de un uso prolongado. Normalmente se sitúa el filtro rojo en el ojo izquierdo, y el azul en el ojo derecho.

2.2.3 Método anáglifo

Los anáglifos son estereofotografías tomadas o tratadas con filtros de distintos colores sobrepuestas en una sola imagen. Se observan por medio de gafas llamada gafas anáglifo y que tiene un filtro de diferente color para cada ojo. La misión de estos filtros es hacer llegar a cada ojo únicamente la imagen que le corresponde. Así se consigue “filtrar” las imágenes y conseguir el efecto deseado

y necesario para que el cerebro pueda interpretar tridimensionalidad ya que tendremos una imagen diferente en cada ojo.

El principio fundamental de la estereoscopia es que la sensación de volumen parte de que cada ojo vea una imagen diferente para así lograr crear dimensionalidad de profundidad.

También pueden ser imágenes a todo color proyectadas con el uso de polarizadores sobre una pantalla metálica. La visualización se realiza por medio de gafas dotadas de polarizadores que eliminan la imagen correspondiente al ojo contrario (mediante el mismo principio que los filtros coloreados).

Este es el procedimiento que suele emplearse en proyecciones de cine o video tridimensional. Las formas de crear este tipo de imágenes son muy diversas, se pueden emplear los filtros directamente en la adquisición de las tomas (e incluso exponer dos veces el mismo negativo con distintos filtros), colorear en el laboratorio las copias de negativos en blanco y negro o color, colorear las imágenes con ayuda de un ordenador, o proyectar diapositivas desde dos proyectores equipados con filtros.

En cualquier caso, tal y como se ha comentado anteriormente, conviene que las imágenes no sean exactamente iguales, sino que han de parecer que tienen angulación diferente, han de tener un cierto desplazamiento horizontal. Este desplazamiento será inferior para imágenes de pequeño tamaño (del orden de centímetros) y un poco mayor para imágenes de mayores dimensiones (del orden de centímetros) como el cine. Aproximadamente un desplazamiento en torno al 5 ó 10% de la anchura de la imagen.

Las imágenes de anáglifo o anáglifos son imágenes de dos dimensiones capaces de provocar un efecto tridimensional, cuando se ven con lentes especiales (lentes de color diferente para cada ojo).

Se basan en el fenómeno de síntesis de la visión binocular y fue patentado por Louis Ducos du Hauron en el 1891. Las imágenes de anáglifo se componen de dos capas de color, superpuestas pero movidas ligeramente una respecto a la otra para producir el efecto de profundidad. Usualmente, el objeto principal está en el centro, mientras que lo de alrededor y el fondo está movido lateralmente en direcciones opuestas. La imagen contiene dos imágenes filtradas por color, una para cada ojo. Cuando se ve a través de las Gafas anáglifo, se revelará una imagen tridimensional. La corteza visual del cerebro fusiona esto dentro de la percepción de una escena con profundidad.

Estas imágenes han vuelto a despertar interés debido a la presentación de imágenes y vídeos en Internet. Videojuegos, películas de cine y DVD también se han exhibido con el proceso de anáglifos; así mismo para la ciencia y el diseño, donde la percepción de profundidad es útil, se han elaborado imágenes tridimensionales. Un ejemplo es proporcionado por la NASA, que usa dos vehículos orbitales para obtener imágenes en 3D del Sol.

Una vez que se obtienen las imágenes, están deben ser procesadas mediante un programa de computadora el cual filtrara las imágenes. Este filtro consiste en

dividir la imagen en los 3 planos del sistema RGB de colores para utilizar el rojo en la imagen de la derecha y los planos azul y verde en la imagen de la izquierda.

Luego de filtradas las 2 imágenes, sus colores son superpuestas entre sí, por el programa el cual las superpone sumando pixel a pixel. A partir de la suma de las imágenes es necesario enfocar el anáglifo.

Enfocar el anáglifo consiste en desplazar una imagen filtrada respecto de la otra hasta encontrar el resultado que se busca.

Este formato se basa en aprovechar que el usuario lleva puestas gafas con filtros de color para dibujar dos imágenes, una de cada desplazadas una respecto a la otra. Esto hará que cada ojo solo vea una imagen, ya que la otra será absorbida por el color del cristal.

Hay 3 maneras de codificar un anáglifo.

- Color: intenta preservar al máximo de la información de color de la imagen original.
- Gris: utilizan una versión en blanco y negro de la imagen original. Es más fácil de ver que el anáglifo de color.
- Puro: convierte la imagen original en una imagen de solo 2 colores ya sea rojo y azul, rojo y verde o rojo y cian.

Si se ve a través de un filtro rojo los colores verde o azul se ven como negro y si se utiliza un filtro verde azul o cian, el rojo parece negro. A partir de este método principio se puede mezclar dos imágenes en una foto o video y utilizar lentes con filtros de color para separar las imágenes y ver el efecto estereoscópico.

El filtro rojo siempre se coloca del lado izquierdo, el color del otro lado del filtro depende del medio que va a utilizar para impresión se acostumbra utilizar el azul. Para proyección o para video el filtro es verde, que es más brillante.

Gafas anáglifo

Las gafas anáglifo se utilizan para visualizar imágenes multiplexadas en longitud de onda, llamadas comúnmente anáglifos. En una superficie plana se muestra una imagen a partir de la combinación de dos imágenes desplazadas, creadas únicamente con dos colores complementarios, ya sean rojo-azul, rojo-verde o bien ámbar-azul. Estas dos imágenes equivaldrían al par estéreo. La percepción de profundidad en el visual humano de imágenes en superficies planas requiere la ayuda de experiencias previas o de objetos externos, como pueden ser las gafas anáglifo, gafas LCS (Liquid Crystal Shutters – Obturadores de Cristal Líquido) y otros sistemas más modernos, que no afectan al cansancio visual.

Las gafas anáglifo están formadas por dos lentes (muy sencillas) véase la Figura 2.1, cada una con uno de los dos colores que componen la imagen. De esta manera actúan como filtro y dejan ver a cada ojo sólo el par estéreo que le

corresponde. Así pues, por ejemplo, si se tuviera una imagen creada a partir del desplazamiento de una imagen azul (enfocada para el ojo izquierdo) y otra roja (enfocada para el ojo derecho), se necesitara unas gafas anáglifo con filtros de los mismos colores: el ojo derecho tendría la lente de color azul y el izquierdo la lente roja, ya que el filtro sólo permite ver la imagen que no sea del mismo color.

Cabe decir que las gafas anáglifo permiten ver en relieve tanto imágenes en papel como en diapositivas. El efecto creado es bastante bueno, aunque se pierde mucha luminosidad y los filtros utilizados no acaban de conseguir una reconstrucción suficientemente buena en color de la imagen en 3D.



Figura 2.1 Lentes anáglifo.

Uno de los objetivos del presente trabajo es crear un anáglifo en un monitor y hacer la calibración del monitor y los lentes anáglifos para evitar imágenes fantasmas. Se utilizan las funciones de densidad espectral del monitor y de las gafas. El procedimiento es explicado en la sección tres del presente reporte.

Par estéreo

Para este proceso se obtiene un par de imágenes de color verdadero, V'_{lj} imagen obtenida de la perspectiva del ojo izquierdo y V'_{rj} de la perspectiva del ojo derecho $j = 1, 2, 3$ y $x \in \mathcal{L}$. Se supone que los tres componentes $j = 1, 2, 3$ son gamma-correctado RGB (en ese orden) que pueden ser directamente mostradas en un monitor estándar CRT, el primer símbolo denota gamma corregido las señales. \mathcal{L} es la trama de muestreo para la imagen que es arbitraria y puede ser ya sea espacial o espacio-temporal. En un ideal sistema estereoscópico, los tres componentes pasan por el mostrador gamma, indicado por la función $g(\cdot)$ y excitar al mostrador fosforo RGB¹².

Las funciones de densidad espectral de los fósforos de visualización RGB se denotan $d_j(\lambda), j = 1, 2, 3$ respectivamente. Así, la densidad espectral de la luz que emana desde el punto x en las imágenes izquierda y derecha está dada por Q_l y Q_r , como se puede observar en la figura 2.2

$$Q_l(\lambda, x) = \sum_{j=1}^3 V_{lj}(x) d_j(\lambda) \quad (2.1)$$

$$Q_r(\lambda, x) = \sum_{j=1}^3 V_{rj}(x) d_j(\lambda) \quad (2.2)$$

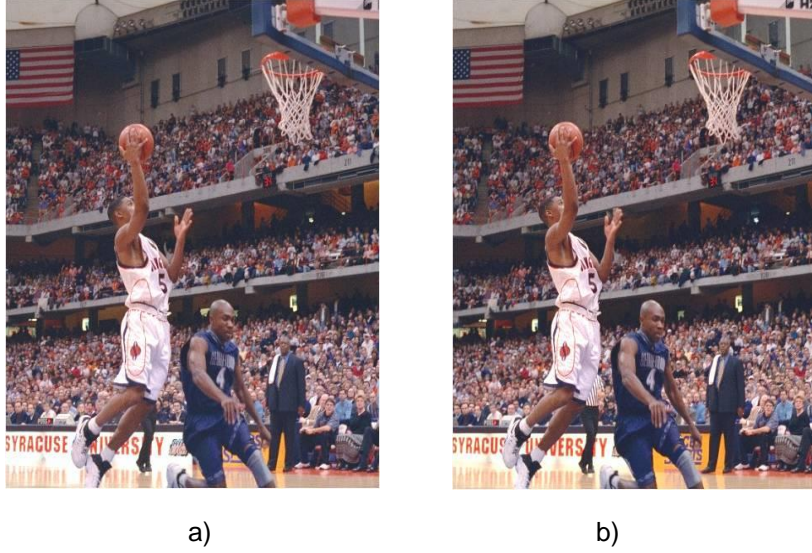


Figura 2.2 Imágenes de entrada par estéreo, a) imagen derecha, b) imagen izquierda.

Donde $V_{lj} = g(V'_{lj}(x))$ y $V_{rj} = g(V'_{rj}(x))$. El color que se percibe en el punto x en las imágenes izquierda y derecha es determinado por la proyección de $Q_l(\lambda, x)$ y $Q_r(\lambda, x)$ sobre el subespacio visual utilizando las funciones de igualación de colores $p_k(\lambda)$ para el conjunto escogido de las primarias:

$$\begin{aligned} \tilde{V}_{lk}(x) &= \int Q_l(\lambda, x) p_k(\lambda) d\lambda \\ &= \sum_{j=1}^3 V_{lj}(x) \int p_k(\lambda) d_j(\lambda) d\lambda \\ &= \sum_{j=1}^3 c_{kj} V_{lj}(x), \quad k = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (2.3)$$

La integral es sobre las longitudes de onda del espectro visible, aproximadamente 370 nm a 730 nm. Por lo tanto, en notación matricial,

$\tilde{V}_l(x) = CV_l(x)$, donde

$$[C]_{kj} = c_{kj} = \int p_k(\lambda) d_j(\lambda) d\lambda, \quad (2.4)$$

$$V_l(x) = [V_{l1}(x) V_{l2}(x) V_{l3}(x)]^T \text{ y } \tilde{V}_l = [\tilde{V}_{l1}(x) \tilde{V}_{l2}(x) \tilde{V}_{l3}(x)]^T.$$

Similarmente, $\tilde{V}_r(x) = CV_r(x)$.

En un sistema ideal de visualización estereoscópica, el ojo izquierdo ve sólo la imagen definida por $\hat{V}_l(x)$ y el ojo derecho sólo ve la imagen definida por $\hat{V}_r(x)$.

Utilizamos el sistema de coordenadas XYZ, y así definir el juego de color de las funciones $\bar{p}_k(\lambda)$, $k = 1, 2, 3$ para el estándar $\bar{x}_k(\lambda)$, $\bar{y}_k(\lambda)$ y $\bar{z}_k(\lambda)$ respectivamente.

Las densidades espectrales de pantalla de fósforo de monitor. El uso de estas densidades espectrales, la matriz C es.

$$C = \begin{bmatrix} 0.4641 & 0.3055 & 0.1808 \\ 0.2597 & 0.6592 & 0.8111 \\ 0.0357 & 0.1421 & 0.9109 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Esta matriz es similar a las estándar para la conversión de diferentes espacios RGB a XYZ. Si se utilizan diferentes pantallas de fósforos, una matriz diferente resultaría. El valor de la imagen estereoscópica en cada punto x puede ser considera que un elemento de un vector de seis dimensiones S6. Dispuesta como una matriz de la columna, tenemos.

$$\tilde{V}_l = [\tilde{V}_{l1}(x) \tilde{V}_{l2}(x) \tilde{V}_{l3}(x) \tilde{V}_{r1}(x) \tilde{V}_{r2}(x) \tilde{V}_{r3}(x)]^T \quad (2.6)$$

Se puede formar una base para este espacio con las columnas de C como sigue:

$$c_{li} = [c_{1i} \quad c_{2i} \quad c_{3i} \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$c_{ri} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad c_{1i} \quad c_{2i} \quad c_{3i}] \quad (2.7)$$

$$i = 1, 2, 3$$

En términos de esta base, se tiene.

$$\tilde{V}(x) = \sum_{j=1}^3 V_{lj}(x)c_{lj} + \sum_{j=1}^3 V_{rj}(x)c_{rj} \quad (2.8)$$

Si se define la matriz de 6x6.

$$C_2 = [c_{l1} \quad c_{l2} \quad c_{l3} \quad c_{r1} \quad c_{r2} \quad c_{r3}] = \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Entonces se puede escribir en forma matricial.

$$\tilde{V}(x) = C_2 V(x) \quad (2.10)$$

El conjunto de imágenes estereoscópicas realizables tiene valores que se encuentran en sub-espacio tridimensional S6.

$$\left\{ \sum_{j=1}^3 v_{lj}(x)c_{lj} + \sum_{j=1}^3 v_{rj}(x)c_{rj} \mid 0 \leq v_{lj} \leq 1, v_{rj} \leq 1, j = 1,2,3 \right\} \quad (2.11)$$

Visualización de una imagen anáglifo

Una imagen anáglifo se denota por $V'_{aj}(x), j = 1,2,3, x \in \mathcal{L}$ donde los tres componentes están en la misma gamma corregida RGB sistema de visualización principal como el par estéreo de la sección anterior. Por lo tanto la densidad espectral de la luz emitida desde la pantalla en x viene dada por

$$Q_a(\lambda, x) = \sum_{j=1}^3 V_{aj}(x)d_j(\lambda) \quad (2.12)$$

Donde $V_{aj}(x) = g(V'_{aj}(x))$

A la luz de la CRT pasa a través de dos filtros con funciones de absorción espectral $f_l(x)$ y $f_r(x)$ antes de llegar a los ojos izquierdo y derecho respectivamente. Así, la distribución espectral de la luz a los ojos izquierdo y derecho es $Q_a(\lambda, x)f_l(x)$ y $Q_a(\lambda, x)f_r(x)$ respectivamente. Los conjuntos correspondientes de los valores triestímulo XYZ son

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{lk}(x) &= \int Q(\lambda, x)f_l(x)\tilde{p}_k(\lambda)d\lambda \\ &= \sum_{j=1}^3 V_{aj}(x) \int p_k(\lambda)d_j(\lambda)f_l(\lambda)d\lambda \\ &= \sum_{j=1}^3 a_{lkj}V_{aj}(x) \end{aligned} \quad (2.13)$$

O en forma de matriz $\tilde{U}_l(x) = A_l V_a(x)$, donde

$$[A_l]_{kj} = a_{lkj} = \int p_k(\lambda)d_j(\lambda)f_l(\lambda)d\lambda \quad (2.14)$$

Similarmente, $\tilde{U}_r(x) = A_r V_a(x)$, donde

$$[A_r]_{kj} = a_{rkj} = \int p_k(\lambda)d_j(\lambda)f_r(\lambda)d\lambda \quad (2.15)$$

El objetivo es que el par estéreo percibido por $\tilde{U}_l(x)$ y $\tilde{U}_r(x)$, $x \in \mathcal{L}$, debe ser lo más parecido posible al ideal que se percibe en $\tilde{V}_l(x)$ y $\tilde{V}_r(x)$, $x \in \mathcal{L}$.

Por supuesto, no se puede hacer $\tilde{U}_l(x) = \tilde{V}_l(x)$ y $\tilde{U}_r(x) = \tilde{V}_r(x)$, puesto que los filtros $f_l(\lambda)$ y $f_r(\lambda)$ tiene cada bloque cierta longitud de onda. Específicamente, si se quiere reproducir una característica que es oscuro en la vista izquierda y brillante en la vista derecha debido a la disparidad, la luz emitida en el punto x debe estar en su mayoría en la banda de rechazo del filtro izquierdo. Por lo tanto, el filtro de dos debe ser complementario de alguna forma. La Figura 2.3 muestra la característica de transmisión para dos filtros similares a la de color rojo y azul de gafas anáglifos comerciales. Suponiendo que el filtro de color rojo se encuentra en el lado izquierdo y que el filtro azul está a la derecha, las matrices de A_l y A_r correspondientes a estos filtros están dadas por

$$A_l = \begin{bmatrix} 0.3185 & 0.0769 & 0.0109 \\ 0.1501 & 0.0767 & 0.0056 \\ 0.0007 & 0.0020 & 0.0156 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$A_r = \begin{bmatrix} 0.0174 & 0.0484 & 0.1402 \\ 0.0184 & 0.1807 & 0.0458 \\ 0.0286 & 0.0991 & 0.7662 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

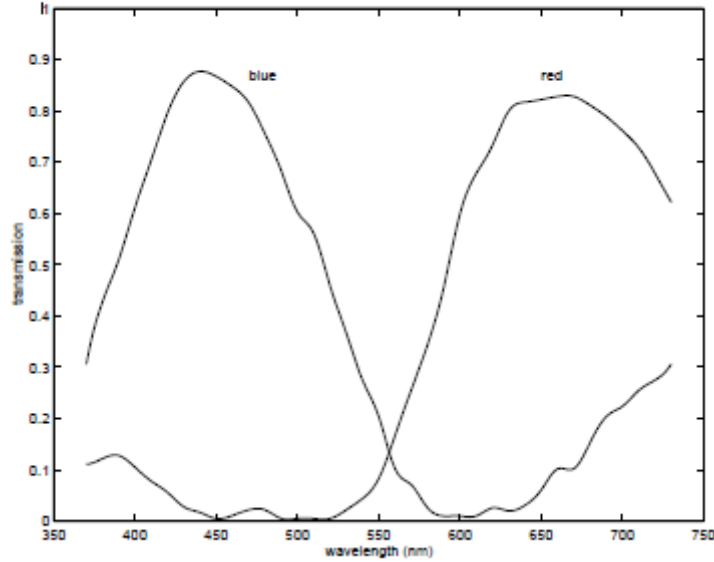


Figura 2.3 Transmisión como una función de la longitud de onda de dos filtros: naranja rojo (# 25) y azul brillante (# 69).

Los valores de la imagen estereoscópica formada por la imagen a través de lentes anáglifos con los filtros de color también se encuentran en el espacio de seis dimensiones S_6 . Sin embargo, están obligados a estar en un subespacio tridimensional. En la ecuación 2.18 se obtendrán los siguientes tres vectores en S_6 :

$$r_j = [a_{l1j} \ a_{l2j} \ a_{l3j} \ a_{r1j} \ a_{r2j} \ a_{r3j}]^T, \ j = 1,2,3. \quad (2.18)$$

Entonces.

$$\tilde{U}(x) = \sum_{j=1}^3 V_{aj}(x)r_j \quad (2.19)$$

Que se encuentra en $R = (r_1, r_2, r_3)$, esto es un subespacio tridimensional de S_6 . Al conjunto de todas las imágenes anáglifo realizable se encuentra en el subespacio tridimensional de R

$$\left\{ \sum_{j=1}^3 v_{aj}r_j \mid 0 \leq v_{aj} \leq 1, j = 1,2,3 \right\} \quad (2.20)$$

Si se define la matriz

$$R = [r_1 \ r_2 \ r_3] = \begin{bmatrix} A_l \\ A_r \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

A continuación, en la ecuación 2.22, se puede expresarse en forma matricial

$$\tilde{U}(x) = RV_a(x) \quad (2.22)$$

Formación de una imagen anáglifo

Dada la formulación de la sección anterior, la formación de una imagen de anáglifo ahora puede ser planteada como un problema de optimización. Dado un par estereoscópico $V_l(x), V_r(x), x \in \mathcal{L}$, se busca una imagen anáglifo $V_a(x), x \in \mathcal{L}$ con $0 \leq V_{aj}(x) \leq 1$ de manera que la imagen percibida \tilde{U} sea lo más similar posible como la imagen de entrada \tilde{V} . No sólo se puede obtener la igualdad de \tilde{U} y \tilde{V} por las características espectrales de los dos filtros, también hay que tener en cuenta la reducción de la luminancia debido a la atenuación global de los filtros.

Con el fin de obtener la imagen anáglifo por optimización, se necesita una métrica de error que calcula numéricamente la diferencia subjetiva entre un par estéreo anáglifo y un tipo de aproximación, por lo que este estudio inicial utiliza las siguientes simplificaciones:

- la aproximación se lleva a cabo independientemente en cada ubicación de muestra.
- el error métrico en cada punto es un error ponderado cuadrado entre \tilde{U} y \tilde{V} .
- una ampliación global de la V_{aj} se usa para dar cuenta de la atenuación de los filtros

Dados estos supuestos, el $V_{aj}(x)$ se determina aplicando el teorema de la proyección. Los valores resultantes, que no están en el intervalo deseado de $[0, 1]$,

luego se escalan con factores de escala fijo s_j aplicados a todos los píxeles de la imagen y, a continuación truncado a la gama $[0,1]$. Los experimentos han demostrado que este enfoque puede dar un mejor efecto tridimensional que previamente descritos métodos empíricos. Que se puede adaptar fácilmente a otros filtros, e incluso con el método anáglifo cerrado.

Con el fin de aplicar el teorema de la proyección, se define un producto interno en tal manera que la norma resultante es una medida de la distancia adecuada para el problema S_6 . Un producto interno general tiene la forma

$$\langle v_1 | v_2 \rangle = v_1^T W v_2 \quad (2.23)$$

Donde W es una matriz definida positiva. La norma correspondiente es

$$\|v\|^2 = \langle v | v \rangle = v^T W v \quad (2.24)$$

Si $W = I$, la matriz de identidad 6×6 , esto resulta en una distancia conocida euclidiana en el espacio XYZ (o más precisamente en el producto cartesiano del espacio XYZ con sí mismo). El uso de otras matrices diagonales W puede permitir que la ponderación de la componente Y más fuertemente que X y Z para favorecer la reproducción de la luminancia correcta a costa de mayores errores de color. Las matrices no diagonales pueden corresponder a distancias con respecto a otros arreglos primarios de XYZ. El enfoque de proyección es entonces determinar para cada elemento x de R que se cierra en el sentido de la norma elegida para $\tilde{V}(x)$, es decir, encontrar $\hat{V}_a(x)$ tal que $\|\tilde{V}(x) - \sum_{j=1}^3 \hat{V}_{aj}(x)r_j\|$ se minimiza.

El método para encontrar la proyección es estándar, formando la matriz ϕ de 3×3 .

$$\phi = \begin{bmatrix} \langle r_1 | r_1 \rangle & \langle r_2 | r_1 \rangle & \langle r_3 | r_1 \rangle \\ \langle r_1 | r_2 \rangle & \langle r_2 | r_2 \rangle & \langle r_3 | r_2 \rangle \\ \langle r_1 | r_3 \rangle & \langle r_2 | r_3 \rangle & \langle r_3 | r_3 \rangle \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Y la matriz 3 x 1 $\beta(x)$,

$$\beta(x) = \begin{bmatrix} \langle r_1 | \tilde{V}(x) \rangle \\ \langle r_2 | \tilde{V}(x) \rangle \\ \langle r_3 | \tilde{V}(x) \rangle \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

A continuación, la proyección está dada por

$$\hat{V}_a(x) = \phi^{-1}\beta(x). \quad (2.27)$$

Utilizando la matriz R se ha definido previamente, estas ecuaciones pueden expresarse $\phi = R^TWR$ y $\beta(x) = R^TW\tilde{V}(x)$, de modo que

$$\begin{aligned} \hat{V}_a(x) &= (R^TWR)^{-1}R^TW\tilde{V}(x) \\ &= (R^TWR)^{-1}R^TWC_2V(x) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Tenga en cuenta que la matriz de 3 x 6 $(R^TWR)^{-1}R^TWC_2$ es fija y puede ser calculado previamente.

Como se ha mencionado anteriormente, los componentes resultantes \hat{V}_{aj} no se encuentran en general en el intervalo requerido [0,1]. Un enfoque para llevar a cabo la normalización es como sigue. Suponiendo que la imagen de anáglifo uniforme $V_a(x) = V_{aw}$ la más brillante acromático (gris) imagen cuando se ve a través de las gafas anáglifo. Idealmente nos gustaría $V_{aw} = [1 \ 1 \ 1]^T$.

Esta es la mejor aproximación de un blanco uniforme $V_l(x) = V_r(x) = [1 \ 1 \ 1]^T$. Por lo tanto si se aplica la ecuación de proyección con $V(x) = E = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$, se obtiene $\hat{E}_a = (R^TWR)^{-1}R^TWC_2E$ en lugar de la deseada V_{aw} . Se puede obtener el resultado correcto pre multiplicando por la matriz diagonal normalizar $N = \text{diag}(V_{awj}/\hat{E}_{aj})$. Así, con la normalización incluida, la imagen de anáglifo está dada por

$$\hat{V}_{an}(x) = N(R^TWR)^{-1}R^TWC_2V(x) \quad (2.29)$$

$$= PV(x).$$

En este caso, la matriz fija de 3×6 $P = N(R^TWR)^{-1}R^TWC_2$.

WC_2 Puede ser calculado previamente. El paso final es de recortes para el intervalo $[0,1]$ y la aplicación de la corrección de gamma y obtuvimos como resultado la siguiente figura 2.4.



Figura 2.4 Anáglifo final.

Longitud de onda

La longitud de una onda es el período espacial o la distancia que hay de pulso a pulso. Normalmente se consideran dos puntos consecutivos que poseen la misma fase: dos máximos, dos mínimos, dos cruces por cero (en el mismo sentido). Por ejemplo, la distancia recorrida por la luz azul (que viaja a 299.792.458 m/s) durante el tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos de su campo eléctrico (o magnético) es la longitud de onda de esa luz azul. La luz roja viaja a la misma velocidad, pero su campo eléctrico aumenta y disminuye más lentamente que el de la luz azul. Por tanto, la luz roja tendrá una frecuencia menor, lo que hace que su longitud de onda (distancia entre puntos análogos de la onda) sea mayor. Por eso la longitud de onda de la luz roja es mayor que la longitud de onda de la luz azul.

La letra griega λ (lambda) se utiliza para representar la longitud de onda en ecuaciones como se puede ver en la figura 2.5. Las ondas de radiación electromagnética que forman la luz visible tienen longitudes de onda entre 400nanómetros (luz violeta) y 700 nanómetros (luz roja).

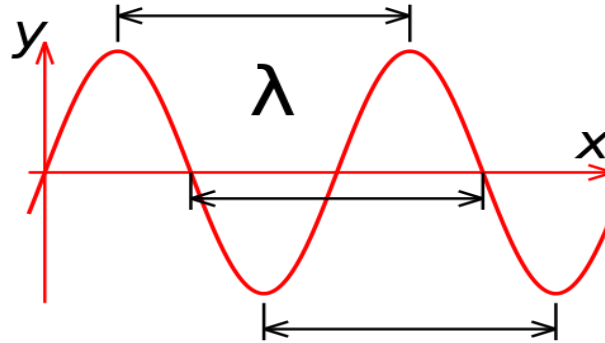


Figura 2.5 Longitud de onda (λ).

Percepción de la profundidad es la habilidad es la relación del objeto y el observador visual de percibir el mundo en tres dimensiones. Es un rasgo común de muchos animales superiores. La percepción de la profundidad permite al que la tiene medir con precisión la distancia hasta un objeto.

En terminología moderna, la "visión estereoscópica" es la percepción de la profundidad de una visión binocular a través de la explotación del paralaje. La percepción de la profundidad se basa en realidad ante todo en la visión binocular, pero también usa muchos recursos monoculares para formar la percepción integrada final. Hay recursos monoculares que serían significativos para una persona de un sólo ojo, y otros recursos más complejamente inferidos, que requiere ambos ojos para percibir al mismo tiempo, mientras que los recursos monoculares son destacados. Este tercer grupo se basa principalmente en el procesamiento dentro del cerebro de la persona, al ver un campo total de vista con ambos ojos.

Visión binocular

Da una representación del entorno mediante una imagen visual única, permitiendo una orientación a partir de un punto de un punto de referencia. Se consigue por fusión (cerebro) de imágenes procedente de los 2 ojos en distintas posiciones de mirada igual mayor campo visual.

Fusión.

- Se fusionan dos imágenes cuando proceden de puntos retinianos con la misma dirección espacial: puntos retinianos correspondientes igual a fusión sensorial igual a imagen única sensación de una única dirección visual.
- Los puntos retinianos correspondientes proyectan en el mismo sitio en corteza visual.
- Los objetos que estimulan puntos retinianos por delante o detrás de ellos se ven e diplopía.

Diplopía.

Es el término que se aplica a la visión doble, la percepción de 2 imágenes de un mismo objeto.

- Haplopi: percepción objetos en una única dirección visual, visión simple y fusionada.
- Diplopía heterotrófica: percepción de 2 direcciones visuales diferentes.
- Diplopía homotópica (confusión): percepción de 2 objetos distintos en una misma dirección.
- Diplopía fisiológica: es una situación normal por estímulos de objetos fuera del área del panun.

2.2.4 Proyección de franjas

El método de proyección de franjas tiene la ventaja de que requiere de una sola imagen para llevar a cabo una reconstrucción tridimensional adecuada tanto de un objeto de dimensiones grandes como pequeñas. Un sistema de proyección de franjas consiste en un proyector, un detector (una cámara) y el objeto a medir como se observa en la figura 2.6. Estos se encuentran configurados de tal forma que al proyectar un patrón conocido, éste sea percibido por el detector como un patrón deformado de acuerdo con la forma del objeto. La forma se obtiene por la comparación entre el patrón de franjas proyectado en un plano de referencia y el patrón de franjas proyectado sobre el objeto.

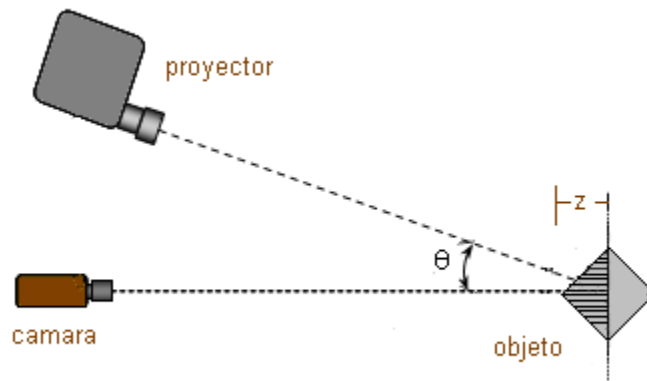


Figura 2.6 Arreglo utilizado para proyectar las franjas.

Una parte fundamental en el proceso de reconstrucción tridimensional de objetos es el cálculo de la fase, para lo cual se han desarrollado diversos métodos como el de transformada de Fourier¹⁰ y corrimiento de fase¹⁰. En la técnica de corrimiento de fase el concepto básico es determinar la fase del objeto a partir de N imágenes digitalizadas con un cambio conocido de fase en un intervalo de 2π . Estas franjas tienen también implícito las distorsiones que introdujo la lente de la cámara. La fase que se obtuvo a partir de estas imágenes, tiene entonces un error que se propaga a la medición de la topografía de la superficie.

El corrimiento de fase es un método que permite analizar sistemas de franjas en los cuales la fase ϕ para cada píxel es calculada y corregida como una función del tiempo. La idea básica es proyectar y adquirir sistemas de franjas de paso variables en diferentes instantes de tiempo t . Es decir si el sistemas de franjas son proyectados sobre la superficie del objeto a estudiar y adquiridos secuencialmente en el tiempo; entre cada imagen se altera el paso de las franjas proyectadas.

Lo primero a realizar es un algoritmo de cálculo de la fase para hallar el mapa de fase modulado que está directamente relacionado con la distorsión de los patrones que se crean al unir las dos imágenes tomadas.

La distribución de la intensidad de la imagen de los patrones de franjas puede ser descrita mediante:

$$I(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos\left(\frac{2\pi}{p} * \phi\right) \quad (2.30)$$

Donde a es la iluminación de fondo, b es la modulación, y la fase modulada es ϕ que es la que guarda la información sobre la altura de la superficie por lo que será lo primero que se daba extraer, para recuperar la fase entre ellas se usa la ecuación siguiente

$$\phi = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad (2.31)$$

Mediante esta ecuación se obtiene la imagen de fase para la portadora como para el objeto que hace posible encontrar los valores reales de la altura del objeto. El método de corrimiento de fase también entrega la fase envuelta y requiere de un desenvolvimiento¹¹.

Desenvolvimiento de fase

En los métodos de recuperación de fase descritos en las secciones anteriores se ve involucrada la función arco tangente, este hecho induce la restricción de que la fase obtenida se encuentre en el rango, lo que lleva a discontinuidades o saltos de fase en píxeles adyacentes a esto se le conoce como '*fase envuelta*'.

Las discontinuidades en la fase se dan cada vez que esta presenta un cambio de 2π . Si ϕ incrementa, la pendiente de la curva es positiva y viceversa para el caso en que decrece. El término '*desenvolvimiento de fase*' tiene lugar dado que el paso final en la medición de patrones de franjas consiste en integrar la fase a lo largo de una línea o camino contando las discontinuidades de 2π y sumando esa misma cantidad cada vez que el ángulo de fase cambie de 2π a cero o restándosela si este cambia de cero a 2π .

Por último obtener mediciones de altura a partir de la fase desenvuelta empleando un modelo óptico geométrico que describa las condiciones experimentales para generar la conversión

Componentes del sistema óptico

Como se ha dicho un sistema de proyección de franjas consta de tres elementos: el detector que es una cámara que capturarán la imagen, el proyector de franjas que puede ser uno o dos elementos dependiendo del arreglo y el objeto a medir. Cada uno de estos se analiza a continuación.

El proyector

El proyector se encarga de emitir el patrón de franjas sobre el objeto. El proyector puede ser digital o analógico y puede estar formado por un solo elemento o por un generador de patrones de franjas y una fuente luminosa generalmente luz blanca. Factores importantes del sistema de proyección incluyen su capacidad de generar distintos patrones de franjas, la cantidad de armónicos presentes en ellos, su potencia luminosa y la calidad de su óptica.

El detector

La cámara es el dispositivo que realiza el proceso de captura de datos. La iluminación y el contraste deben ser adecuados para que la cámara sea capaz de distinguir las franjas, así como lo suficientemente uniforme para que la variación de estos parámetros sea lenta con respecto a la variación de intensidad de la senoide. También es recomendable que no exista gran cantidad de fuga entre los elementos del arreglo de sensores de la cámara, pues disminuye la visibilidad de las franjas. Por último, un factor muy importante es el uso de un formato de imagen adecuado. Existen básicamente dos maneras en las que la imagen resultante de un detector se genera, a partir de los resultados del proceso de conversión del ADC sin procesamiento (en un formato tal como RAW o FITS) o empleando un formato con compresión (la mayoría de las cámaras comerciales generan este tipo de resultados). Siendo la información sin comprimir mejor en la mayor parte de los casos. Si la información debe ser comprimida, se debe evitar que esta compresión genere pérdidas de información. Formatos de compresión con pérdidas tales como el JPG alteran los niveles de intensidad "difuminando" los resultados. Mientras esto es transparente al observador casual, puede llegar a invalidar los resultados de la medición. También, el formato debe tener suficientes niveles de intensidad para permitir la totalidad del rango dinámico del ADC o limitará la sensibilidad del transductor

Objeto y sus características superficiales

La técnica de proyección de franjas requiere que la superficie del objeto sea de un acabado difusa. Una vez que se ha tomado información de la superficie de referencia, se coloca el objeto sobre la superficie de referencia para su medición. Una montura adecuada se requiere para realizar mediciones disminuyendo vibración y problemas de alineación.

2.2.5 Color

El color es una sensación subjetiva experimentada por un observador bajo condiciones específicas provocada por la luz emitida, transmitida o reflejada.

- Longitud de onda dominante: es la longitud de onda del color que se ve cuando se mira la luz tono.
- Pureza de la excitación: es la proporción de luz pura de la longitud de onda dominante y de luz blanca necesarias para definir el color saturación.
- Luminancia: es la intensidad de la luz luminosidad.

Especificación de colores

Es necesario saber medir y especificar colores

- Imprentas y diseño gráfico: comparar una muestra del color desconocido con un conjunto de muestras impresas standard.
- Arte: tintes, sombras y tonos de pigmentos puros.
- Tono: es la cualidad por medio de la cual se distingue el amarillo del rojo, el azul del verde, el violeta del rojo, etc.
- saturación: es la cualidad por medio de la cual se distinguen los colores fuertes de los débiles o pálidos.
- claridad: es la cualidad por medio de la cual se distinguen los colores claros de los oscuros.

Son métodos subjetivos (dependen del observador, iluminación, tamaño de la muestra, color circundante, luminosidad ambiente).

Es necesario especificar los colores de manera cuantitativa y objetiva mediante la colorimetría.

Colorimetría

La colorimetría¹⁴ es la ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación del color, es decir la obtención de valores numéricos del color.

Existe una necesidad de estandarizar el color para poderse clasificar y reproducir. El procedimiento utilizado en la medida del color consiste sustancialmente en sumar la respuesta de estímulos de colores y su normalización a la curva espectral de respuesta del fotoreceptor sensible al color. Como referencia, se utiliza la curva espectral codificada de la Comisión Internacional de Iluminación, (conocida por sus siglas CIE en francés), la llamada función colorimétrica. Debe notarse que el color es una característica subjetiva, pues solo existe en el ojo y en el cerebro del observador humano, no siendo una característica propia de un objeto. Los fotorreceptores del ojo humano son los conos de la retina, de los que existen diferentes tipos, con sensibilidades diferentes a las distintas partes del espectro luminoso.

La luz

La luz es radiación electromagnética como se ve en la figura 2.7, y se puede caracterizar según sus componentes, dadas por su longitud de onda (o por su frecuencia).

La luz visible es una parte muy pequeña del espectro de radiación electromagnética, entre los 400 y 780 nm de longitud de onda ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Una fuente de luz (el sol, una lámpara) emite todas las frecuencias dentro del rango visible para producir luz blanca. Cuando la fuente de luz incide sobre un objeto, algunas frecuencias son absorbidas y otras son reflejadas.

La combinación de las frecuencias presentes en la luz reflejada determina lo que se percibe como el color del objeto. Por ejemplo, si predominan las bajas frecuencias, el objeto se percibe como rojizo.

Potencia radiante: potencia (energía por unidad de tiempo) emitida, transferida o recibida en forma de radiación

Distribución de potencia espectral: potencia radiante por unidad de intervalo de longitud de onda del espectro.

La DPE es la medida que define todas las propiedades ópticas que influyen en la percepción del color

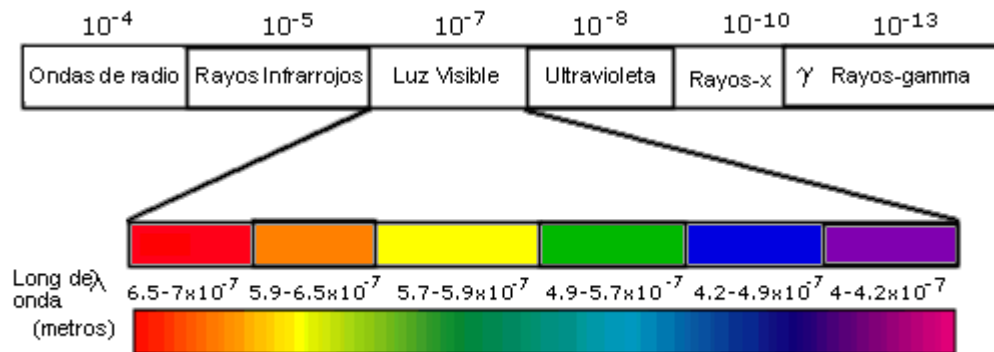


Figura 2.7 Espectro electromagnético.

El sistema visual humano

La función del ojo humano es capturar una imagen visual y convertir la energía de la luz en impulsos nerviosos que serán interpretados por el cerebro. La figura 2.8 muestra la óptica del ojo la cual se compone de la córnea y el cristalino, que enfocan la imagen en la retina. El iris regula la cantidad de luz (intensidad) que ingresa al ojo.

La retina contiene las células sensoras de luz (conos y bastones), que producen los impulsos nerviosos. El nervio óptico transmite la imagen (en forma de impulsos nerviosos) al cerebro.

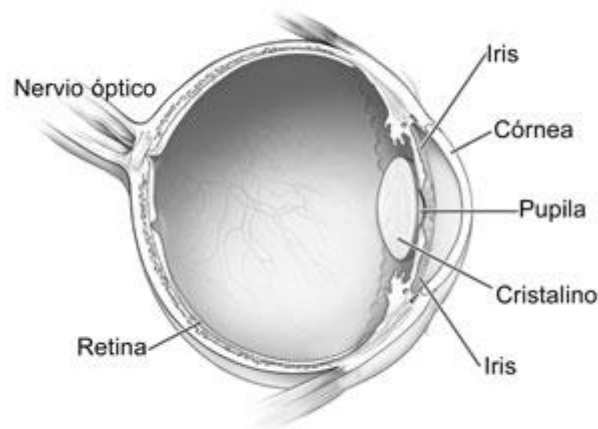


Figura 2.8 Sistema visual humano.

La retina

Es una capa de células nerviosas. Las células receptoras, que están en la parte posterior de la retina, son de dos tipos: conos y bastones.

Los bastones son sensibles a niveles bajos de intensidad de luz, no son sensibles al color y se sitúan en la periferia de la fóvea.

Los conos son sensibles a niveles más altos de intensidad de luz, son sensibles al color y se sitúan principalmente en la fóvea.

En el sistema visual humano encontramos dos tipos de visión: la visión escotópica, debida a la sensibilidad de los bastones, y la visión fotópica, debida a la sensibilidad de los conos.

Correspondencia de color

La teoría triestímulo corresponde vagamente a la noción de que los colores pueden ser especificados como combinación de rojo, verde y azul.

Las funciones de correspondencia de color muestran las cantidades de rojo, verde y azul necesarias para formar un color de luminancia constante, para todas las longitudes de onda dominantes, no todos los colores pueden ser mostrados en un CRT.

Modelo RGB

La descripción RGB (del inglés *Red*, *Green*, *Blue*; "rojo, verde, azul") de un color hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores luz primarios. El modelo de

color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en diferentes dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.

Para indicar con qué proporción se mezclara cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera, por ejemplo, que el valor 0 significa que no interviene en la mezcla y, a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (valores reales entre 0 y 1, valores enteros entre 0 y 37, etc.), es frecuente que cada color primario se codifique con un byte (8 bits). Así, de manera usual, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255.

Por lo tanto, el rojo se obtiene con $(255, 0, 0)$, el verde con $(0, 255, 0)$ y el azul con $(0, 0, 255)$, obteniendo, en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color, lo que se conoce como color negro se obtiene cuando las tres componentes son 0, $(0, 0, 0)$.

La combinación de dos colores a nivel 255 con un tercero en nivel 0 da lugar a tres colores intermedios. De esta forma el amarillo es $(255, 255, 0)$, el cian $(0, 255, 255)$ y el magenta $(255, 0, 255)$.

Obviamente, el color blanco se forma con los tres colores primarios a su máximo nivel $(255, 255, 255)$.

El conjunto de todos los colores se puede representar en forma de cubo. Cada color es un punto de la superficie o del interior de éste. La escala de grises estaría situada en la diagonal que une al color blanco con el negro.

Utiliza un sistema de coordenadas cartesiano. El subconjunto visible es el cubo de lado unidad obsérvese la figura 2.9; la diagonal principal representa los niveles de gris, $(0, 0, 0)$ es el negro; $(1, 1, 1)$ es el blanco.

Los primarios RGB son aditivos (las contribuciones de cada primario se suman para dar un color resultado). El modelo RGB se emplea en dispositivos que emiten luz como CRT. La gama de colores cubierta por el modelo está definida por las cromaticidades de los fósforos del CRT.

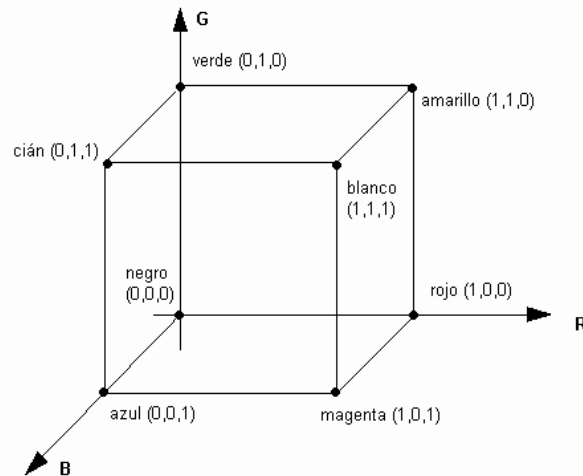


Figura 2.9 Cubo de colores.

Pantalla de rayos catódicos (CRT)

La mayoría de los monitores (pantallas de equipos) utilizan pantallas de rayos catódicos (o CRT), que son tubos de vacío de vidrio dentro de los cuales un cañón de electrones emite una corriente de electrones guiada por un campo eléctrico hacia una pantalla cubierta de pequeños elementos fosforescentes.

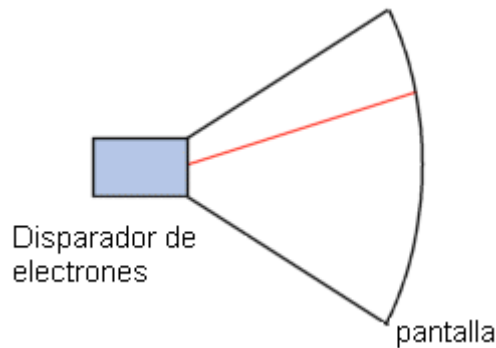


Figura 2.10 Estructura de una pantalla de rayos catódicos.

El cañón de electrones está compuesto por un cátodo, un electrodo metálico con carga negativa, y uno o más ánodos (electrodos con carga positiva). El cátodo emite los electrones atraídos por el ánodo. El ánodo actúa como un acelerador y concentrador de los electrones, creando una corriente de electrones dirigida a la pantalla. Un campo magnético va guiando los electrones de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo. Se crea con dos placas electrificadas X e Y (llamadas *deflectores*) que envían la corriente en dirección horizontal y vertical, respectivamente.

Esta pantalla está cubierta con una capa fina de elementos fosforescentes, llamados fósforos, que emiten luz por excitación, es decir, cuando los electrones los golpean, creando de esta manera, un punto iluminado llamado píxel.

La activación del campo magnético hace que los electrones sigan un patrón de barrido, al ir de izquierda a derecha y luego bajando a la siguiente fila una vez que han llegado al final. El ojo humano no es capaz de visualizar este barrido debido a la persistencia de la visión.

La pantalla de color

Una pantalla en blanco y negro puede mostrar diferentes tonos (matices de gris) al variar la intensidad del flujo. Para las pantallas a color, tres haces de electrones (provenientes de tres cátodos diferentes) impactan cada uno contra un punto con un color específico: rojo, verde y azul (RGB).

Los fósforos azules utilizan sulfuro de zinc, mientras que los verdes utilizan sulfuro de zinc y sulfuro de cadmio. Los rojos son difíciles de crear y están hechos de una mezcla de itrio y europio, u óxido de gadolinio.

Sin embargo, estos fósforos están tan cercanos entre sí que el ojo no logra separarlos lo suficiente como para poder diferenciarlos; ve un solo color conformado por estos tres colores. Si lo desea, pruebe volcando una pequeña gota de agua sobre el vidrio de su pantalla: la gota agrandará los fósforos y de esta manera podrá verlos.

Además, para evitar el efecto de difuminado (cuando un electrón destinado a golpear un fósforo verde, impacta en su lugar uno azul), una grilla metálica llamada máscara de sombra se coloca delante de la capa de fósforo para guiar la corriente de electrones.

Según la máscara utilizada, existen diferentes categorías de pantallas CRT.

2.2.6 Procesamiento de imágenes digitales

Una de las labores de gran importancia en el procesamiento de imágenes es la segmentación.

Debido a que un objeto puede ser caracterizado por sus propiedades de color, textura y forma, podemos usar al color como elemento discriminante entre objetos para realizar una segmentación de escenas naturales o en imágenes artificiales

Cada píxel podemos representarlo como la información de tres canales diferentes uno con la información relacionada con el rojo, otro con el verde y otro con el azul. Considerando lo anterior, podemos representar cada píxel como un vector con 3 componentes RGB y representarlo en el espacio 3D.

La intención al segmentar en color es separar objetos cuyo patrón de color sea uniforme, es decir aislar regiones que tengan el mismo color, para eso vamos a utilizar un algoritmo muy sencillo pero que en ciertas circunstancias nos permite buenos resultados.

Un canal se refiere a un componente concreto de una imagen. Por ejemplo, los componentes de una imagen RGB, son los tres colores primarios el rojo, el verde, el azul.

Cada canal es una imagen en escala de grises con, exactamente, el mismo tamaño que el de la imagen y, en consecuencia, contiene el mismo número de píxeles. A cada píxel de la imagen en escala de grises se le puede considerar como un contenedor que se puede rellenar con un valor de 0 a 255. El significado exacto de este valor depende del tipo de canal, por ejemplo, en el modelo de color RGB, el valor en el canal *R* significa la cantidad de rojo que se añade al color de los diferentes píxeles; en el canal de selección, el valor refleja la fuerza con la que se seleccionan los píxeles; y en el canal alfa, los valores indican la opacidad de los píxeles correspondientes.

En el caso de imágenes a escala de grises estas solo tienen un plano, constituido por la matriz $m \times n$ que contiene los valores de intensidad para cada índice.

Sin embargo las imágenes de color cuentan con más de un plano. En el caso de imágenes RGB estas cuentan con 3 planos uno para cada color que representa.

Si se desea obtener cada uno de los planos que la componen. Entonces se escribe:

- rojo=imagen (:,:,1);
- verde=imagen(:,:,2);
- azul=imagen (:,:,3);

Los planos resultantes por los anteriores comandos son mostrados en la figura 2.11

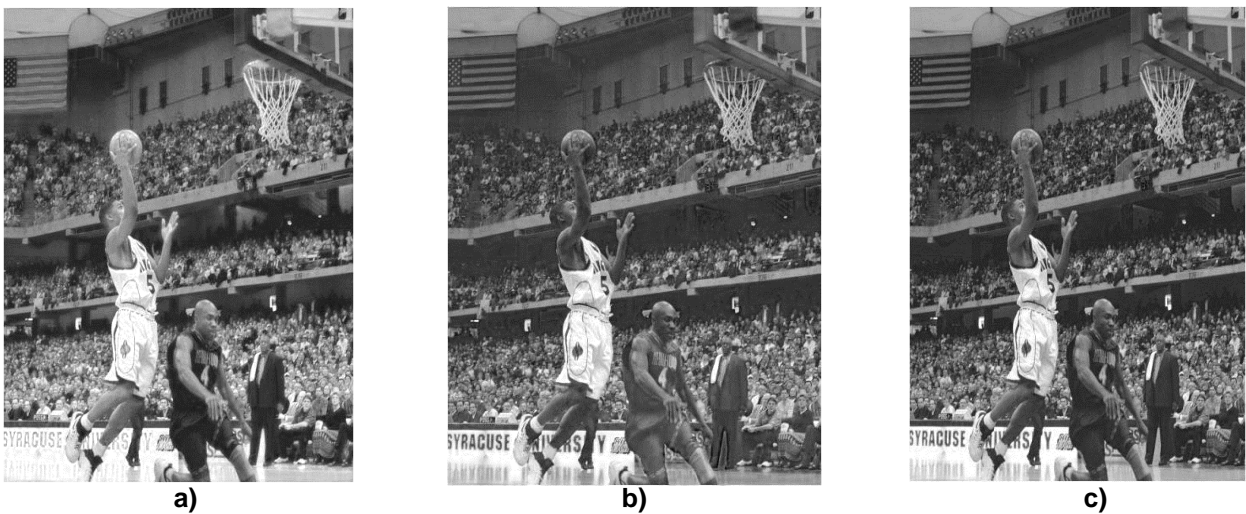


Figura 2.11 Planos de la imagen a) Rojo b) Verde c) Azul.

Representación de imágenes en MATLAB

Matlab almacena las imágenes como vectores bidimensionales (matrices), en el que cada elemento de la matriz corresponde a un sólo pixel.

Trabajar con imágenes en matlab es equivalente a trabajar con el tipo de dato matriz¹³.

Leer y escribir imágenes

- Para leer una imagen en matlab:

`Imread (nombrefichero)`

`im = imread ('basket.jpg');`

- Para escribir (guardar) una matriz en fichero:

`Imwrite (var, nombrefichero)`

`Imwrite (im, 'basket.jpg');`

- Para visualizar una imagen:

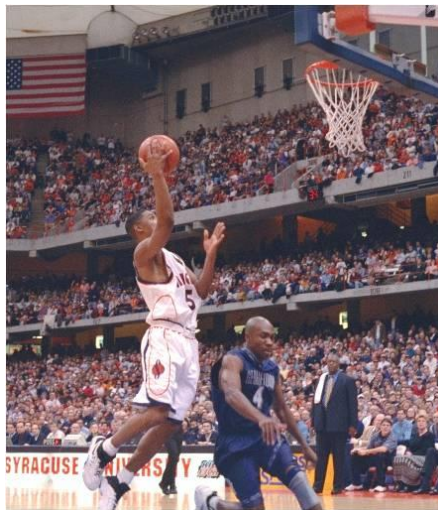


Figura 2.12. Visualización de una imagen, `Imshow (im)`.

- Para que se cree una nueva figura:

`Imshow (imagen_var);`

- Permite ver los valores de cada uno de los pixeles en la imagen:

`Figure; imshow (imagen_var); pixval on`

- Normalización de una imagen.

Para confirmar que la imagen no está normalizada obtener el máximo y mínimo valor de la matriz usando las funciones max y min.

```
>> max(max(max(imagen)))
```

```
>> min(min(min(imagen)))
```

La normalización se hace necesaria, para tener una cierta independencia de las propiedades de la imagen, como lo son el brillo y el contraste, y así poder comparar huellas por su índice de calidad.

Para normalizar la imagen se puede realizar la siguiente operación. La función double convierte la matriz de números enteros a números reales y 255 normaliza los valores.

```
>> double (imagen) / 255;
```

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Proyección de franjas

Esta técnica utilizada consiste en proyectar un patrón de franjas periódicas sobre la superficie de un objeto.

El montaje experimental que se utilizó para implementar esta técnica se muestra en la figura 3.1. En el cual se utilizó una cámara canon ESO 5D Mark II, SLR digital de alto rendimiento que incorpora un sensor CMOS de fotograma completo (aproximadamente 36mm x 24mm) con 21.10 megapíxeles efectivos, un proyector y el objeto. Esta técnica se llama triangulación porque el punto del proyector, la cámara y el objeto forman un triángulo.

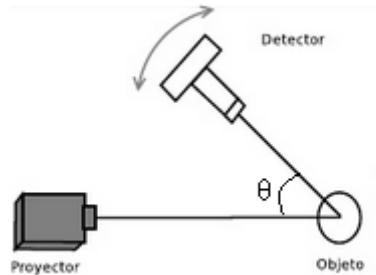


Figura 3.1 Diagrama para proyectar franjas.

En general, en un sistema con éstas características, la topografía se obtiene a través de la ecuación 3.1, donde ϕ es la fase.

$$z = \frac{\phi}{2\pi} \cdot \frac{p}{\text{sen } \theta} \quad (3.1)$$

Dónde:

ϕ = es la fase

p =periodo de las franjas

θ =Angulo entre el proyector y la cámara.

Generación las franjas

El patrón de franjas que se proyecta sobre el objeto tiene un comportamiento cosenoidal. En la obtención de la fase se aplica la técnica de desplazamiento de fase de las franjas con pasos de $\delta = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ mediante la ecuación:

$$I(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos\left(\frac{2\pi}{p} * \phi + \delta\right) \quad (3.2)$$

Para poder obtener estas imágenes y proyectarlas se realizó un algoritmo usando matlab en el cual se obtuvieron 4 imágenes desfasadas $\pi/2$ como se muestra en la figura.

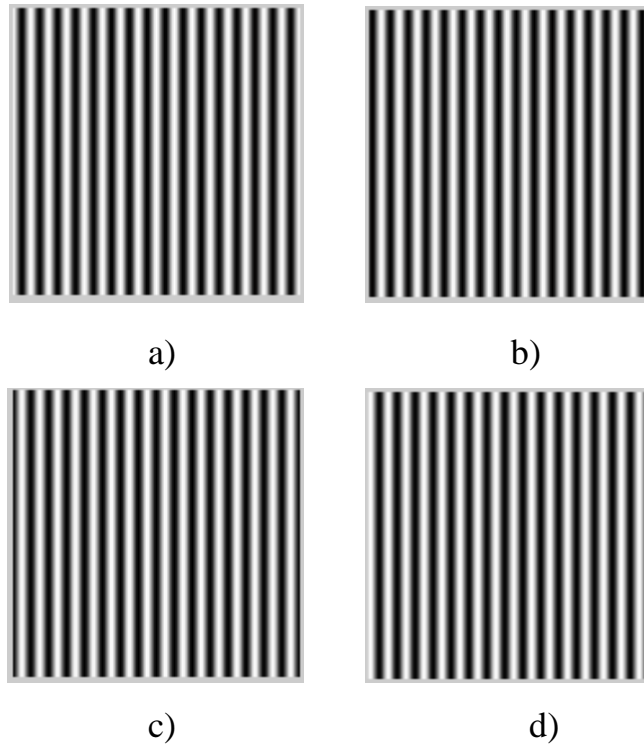


Figura 3.2 Patrones de franjas con desplazamiento
a) 0° , b) 90° , c) 180° y d) 270° .

Después de generar los patrones de las franjas de manera sintética, se procede a proyectarlas sobre el objeto. El objeto de prueba corresponde a una pirámide cuya base tiene dimensiones de 8.7 cm y una altura de 6.5 cm. El arreglo óptico experimental es mostrado en la figura 3.3.

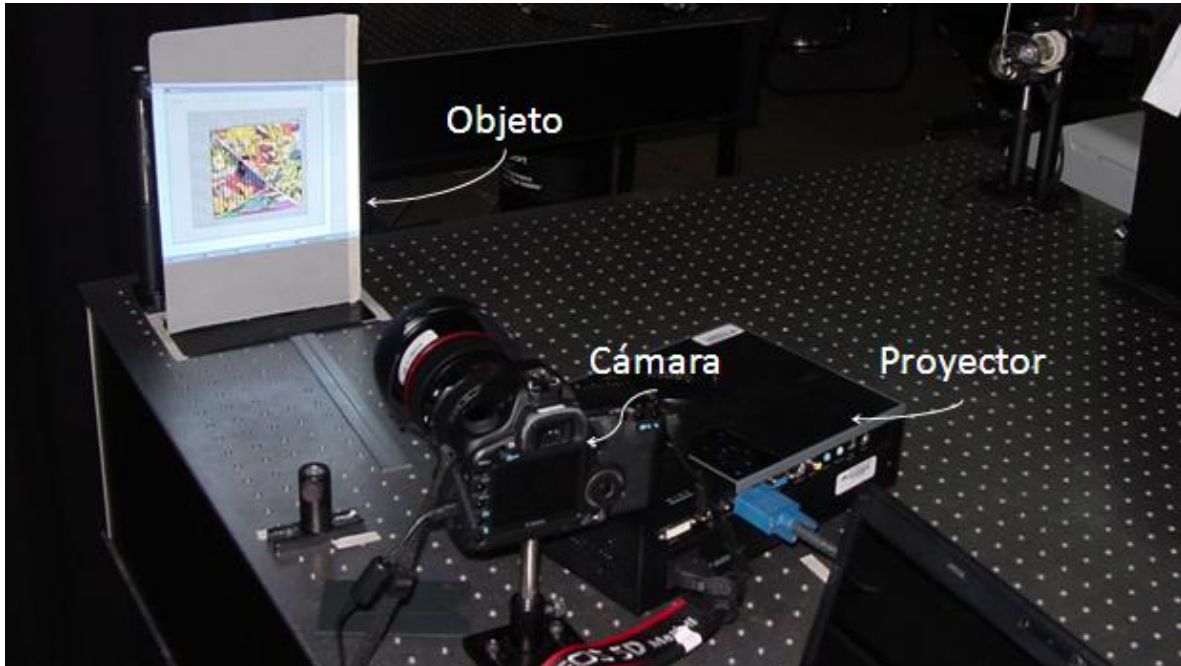


Figura 3.3 Arreglo experimental para proyectar franjas.

Se capturan cuatro imágenes de los patrones de franjas con el desplazamiento de fase introducido, los cuales son proyectados al objeto. Esos mismos patrones se proyectan también sobre el plano de referencia. Se procesan las imágenes obteniendo la fase portadora del plano de referencia así como la fase que corresponde al objeto. La figura 3.4 muestra las franjas proyectadas en el objeto de prueba. La figura 3.5 muestra las franjas proyectadas sobre el plano de referencia.

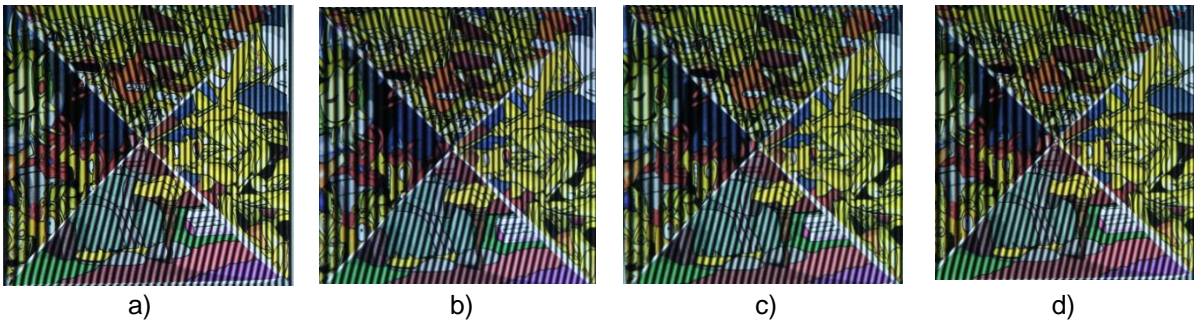


Figura 3.4 Imágenes con las franjas proyectadas al objeto con un ángulo de desplazamiento a) 0°, b) 90°, c) 180° y d) 270°.

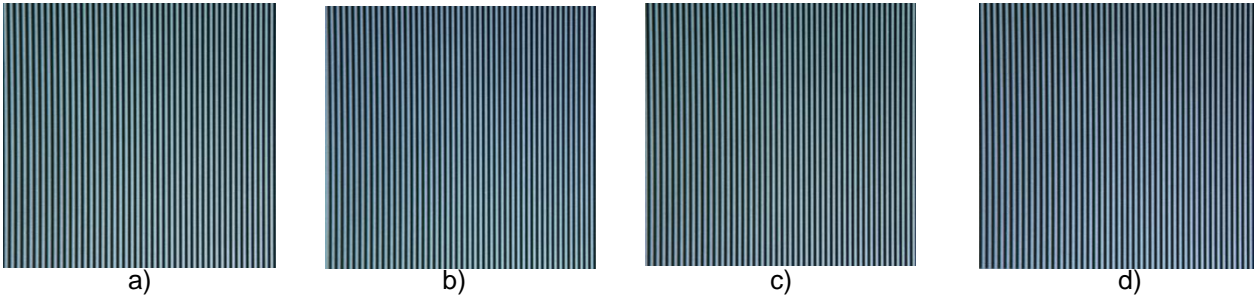


Figura 3.5 Imágenes sobre el plano de referencia.

Para obtener la imagen de fase, ésta es evaluada a través de la ecuación 1.2. Este procedimiento se lleva a cabo tanto para la superficie de referencia como para el objeto.

La figura 3.6 muestra la fase envuelta obtenida mediante un algoritmo basado en la ecuación y usando programando en Matlab.

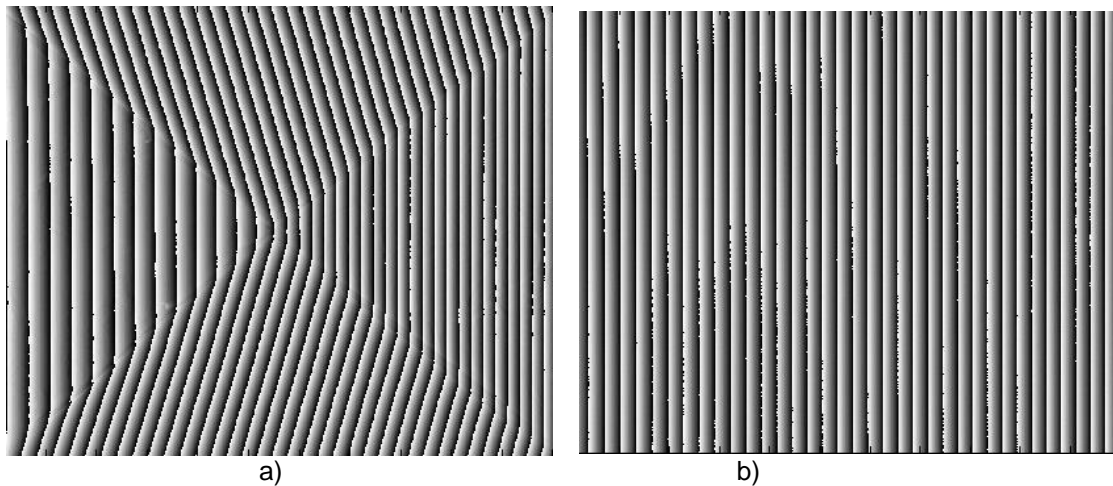
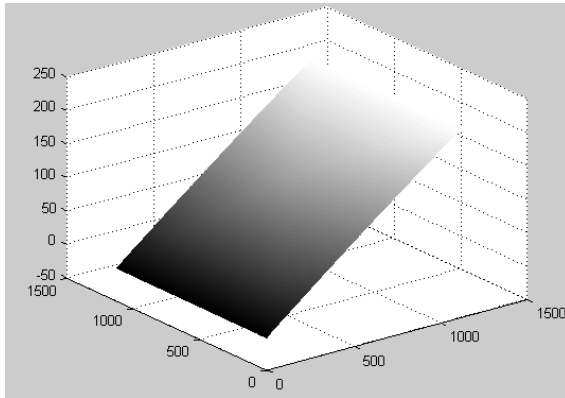
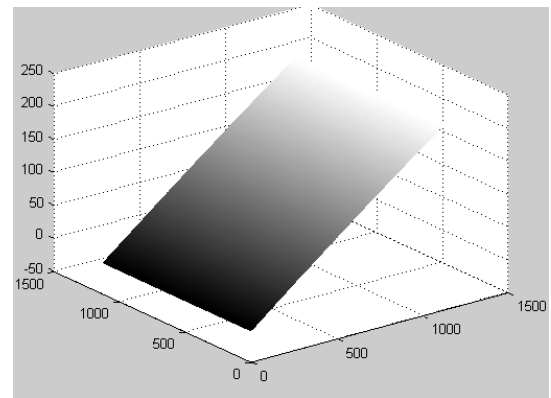


Figura 3.6 Fase envuelta, a) Objeto, b) Portadora.

Después de haber obtenido la fase envuelta correspondiente al objeto y de la portadora, mediante una función en matlab la cual da un seguimiento de camino y crecimiento de regiones el cual elimino los saltos de fase como se puede ver en la figura 3.7.



a)



b)

Figura 3.7 Fase desenvuelta a) Objeto, b) Portadora.

Una vez que se resta la fase que corresponde al objeto de la fase correspondiente al plano de referencia se evalúa la topografía mediante la ecuación 3.3.

$$\phi_n = \phi_2 - \phi_1 \quad (3.3)$$

Donde ϕ_n es la resta de fase de la portadora y la fase del objeto.

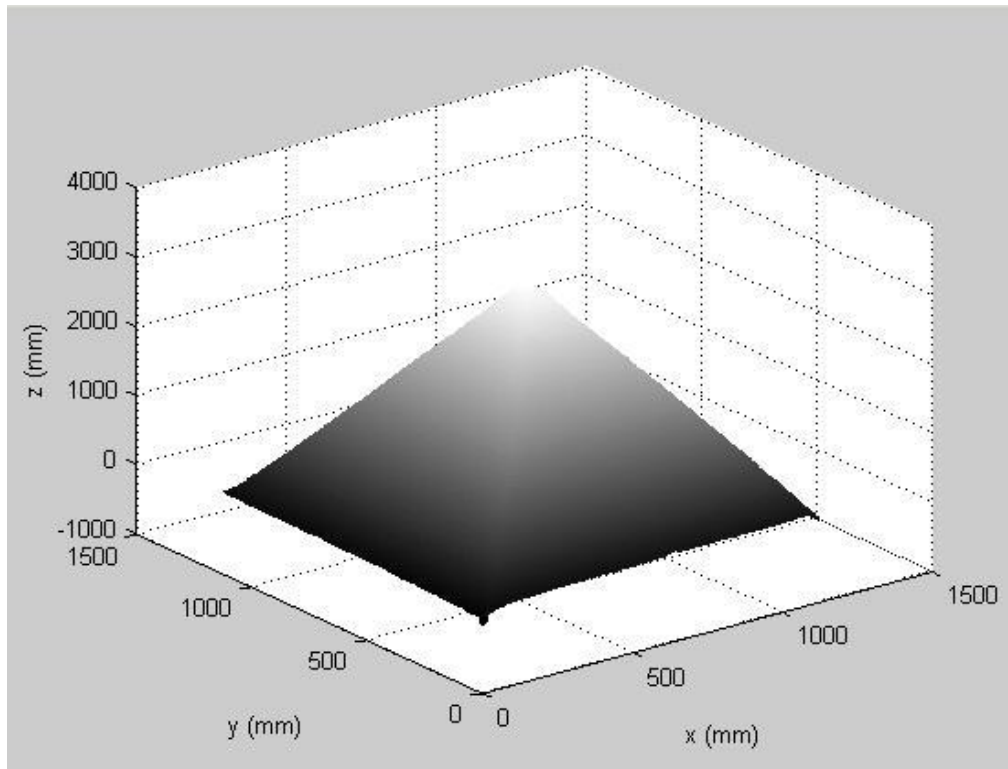


Figura 3.8 Altura del Objeto.

3.2 Asociación del color

Para trabajar con la parte del color se usó un espectrofotómetro el cual es mostrado en la figura 3.9. Este instrumento mide la cantidad de luz que pasa a través de un medio, a una longitud de onda específica.

La longitud de onda (λ) se mide en nanómetros (nm). El espectrofotómetro permite al operador seleccionar la longitud de onda a la cual se trabajará, siendo usualmente la de máxima absorción del soluto.



Figura 3.9 Espectrofotómetro.

Antes de poder utilizar el dispositivo o ver su estado, es necesario instalar la aplicación del software en la computadora.

No conecte el cable USB del dispositivo a la computadora antes de instalar el software a partir del DVD.

Para realizar cualquier medición es necesario calibrar el dispositivo. Dicho dispositivo tiene un indicador que señala si esta calibrado correctamente.

- Blanco fijo. El dispositivo está conectado pero necesita calibración.
- Blanco pulsando. El dispositivo está conectado y listo para medir.
- Rojo fijo. Hubo un error en la calibración del dispositivo debido a un problema de hardware

Con este instrumento se perfilan los monitores para una correcta visualización. La finalidad es que la reproducción de las imágenes sea de la forma más fiel posible y representando la máxima gama del espectro, dentro de las capacidades de reproducción de un monitor

Perfilado de monitor

El proceso de perfilado analiza los valores de color que representa el dispositivo, a través de unas muestras de color y densidad, y los relaciona con los que teóricamente debería representar, describiendo el comportamiento de este dispositivo.

Para una medición de pantalla, es necesario montarlo en el soporte para pantalla como se observa en la figura 3.10. Asegúrese de que el dispositivo esté calibrado y que los indicadores de estado estén pulsando en color blanco antes de montarlo. Se tienen las siguientes instrucciones:

1. Es posible ajustar la longitud del contrapeso del soporte para pantalla en función del tamaño de la pantalla. El contrapeso está equipado con cierres de gancho y bucle en ambos extremos que le permiten acortar y alargar el soporte para pantalla a la longitud correcta.
2. Monte el dispositivo de medición en el soporte para pantalla insertando el conector de montaje en el soporte en la interfaz de montaje en la parte trasera del dispositivo. Asegúrese de que la nariz del dispositivo se asiente firmemente en el soporte para pantalla.
3. Fije el dispositivo de medición en el centro de la pantalla.
4. Configure el software para medición de pantallas e inicie el proceso de medición en la aplicación informática. Las luces indicadoras de estado se apagan durante la medición.
5. Para quitar el dispositivo del soporte para pantalla, extraiga con cuidado el conector de montaje con el soporte de la interfaz de montaje en la parte trasera del dispositivo.



Figura 3.10 Perfilado de monitor.

Cuando se obtiene la medición necesaria con el dispositivo se procede a crear el perfil como vemos en la figura 3.11, este es un archivo que describe el comportamiento del dispositivo, indicando cuales son las características de reproducción del color, y los límites que éste puede representar. Este archivo puede ser editable para realizar modificaciones en el comportamiento de reproducción.

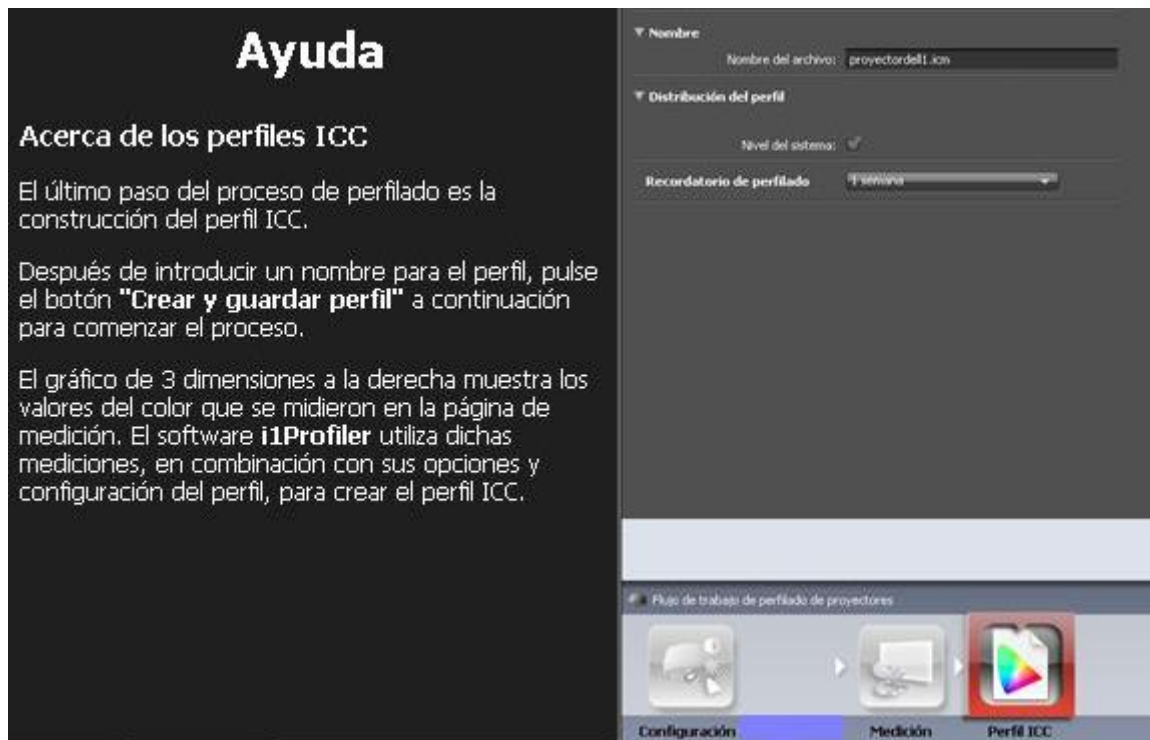


Figura 3.11 Creación del perfil de pantalla.

Perfilado de cámara

Para asociar el color primeramente se debe calibrar la cámara, este paso se realiza mediante un software llamado colorchecker Passport este software crea un perfil al tomar una fotografía con un parche de colores llamado colorchecker classic como vemos en la figura 3.12.

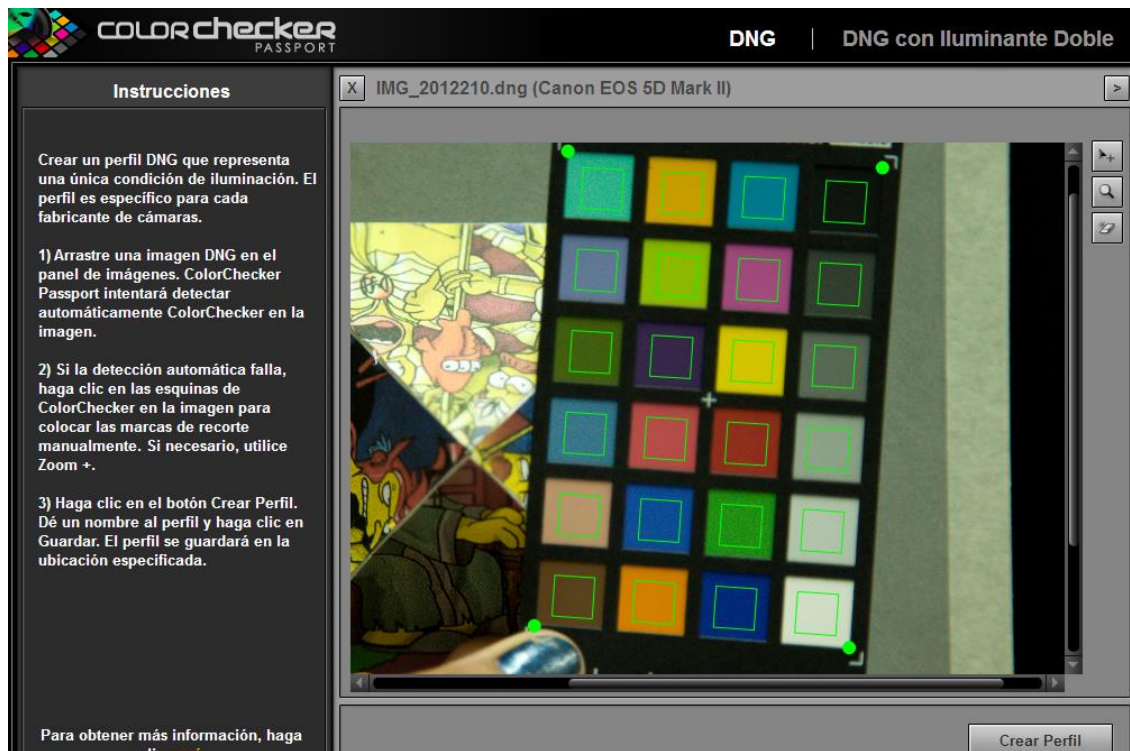


Figura 3.12 Software colorchecker

Al crear el perfil toma los colores reales de la imagen que se quiere capturar ya que ésta depende tanto de la imagen y los colores que contenga así como la iluminación de la toma, el perfil que se crea es guardado dentro de otro software llamado "lightroom photoshop" aquí se puede aplicar el perfil creado a la imagen que se desea perfilar con el fin de poder apreciar los colores verdaderos.

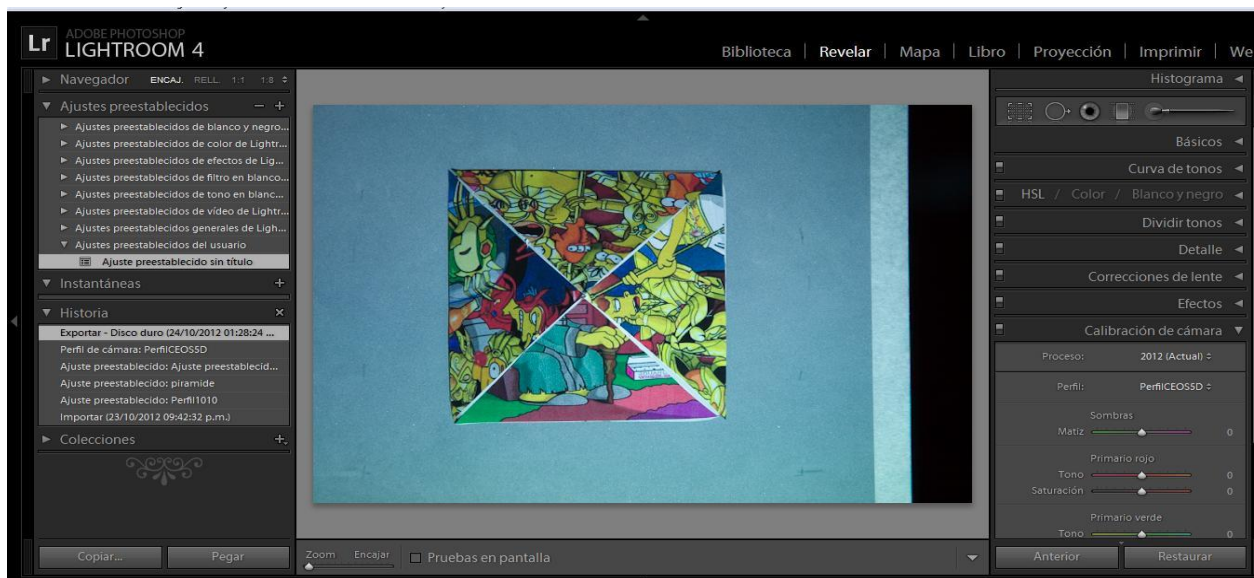


Figura 3.13 Software lightroom.

Obteniendo los colores verdaderos de la imagen el perfil, mediante el algoritmo realizado en matlab, se superpone a la forma tridimensional la imagen a color, obteniendo la topografía del objeto y el color real.

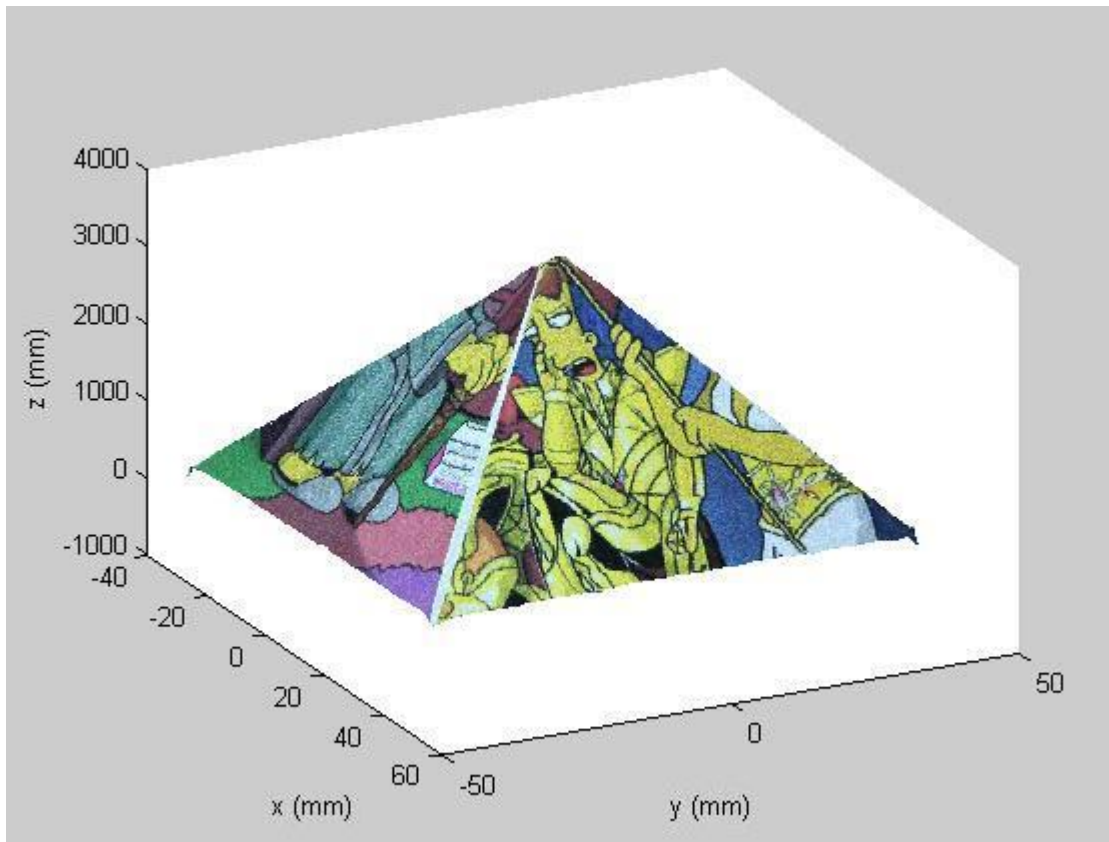


Figura 3.14 Contorno tridimensional asociando la imagen perfilada.

3.3 Generación del anáglifo

Se implementó la técnica de proyección de franjas para evaluar la topografía del objeto de prueba así como las técnicas correspondientes a la calibración de un monitor y de una cámara con la finalidad de asociar el color correspondiente. Se implementa el método anáglifo al resultado de la topografía con el color asociado para la visualización tridimensional del objeto. El método anáglifo se implementa de la siguiente manera

Se obtienen dos imágenes a un ángulo θ determinado por las ecuaciones 3.4, donde D es la distancia entre el objeto y la línea que une a los ojos y DIO es la distancia intraocular, ver figura 3.15.

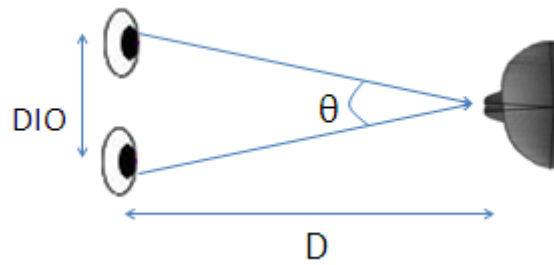
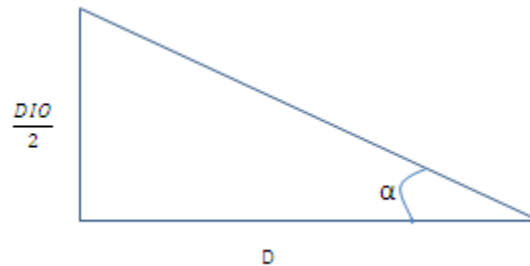


Figura 3.15 Arreglo para obtener las imágenes anáglifo.



$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{DIO}{2D} \right) \quad (3.4a)$$

$$\theta = \alpha * 2 \quad (3.4b)$$

De la topografía obtenida por proyección de franjas se toman dos imágenes correspondientes a diferentes perspectivas. En este caso particular se considera un valor para DIO de 5 cm y para D un valor de 48 cm aproximadamente (donde D es la distancia entre el monitor y el usuario). Entonces las imágenes tomadas de la información de la topografía deberán corresponden a un ángulo de rotación de 3° entre las dos perspectivas. Se superponen las imágenes mostradas en la figura 3.16 y que corresponden a dos perspectivas diferentes. Cada imagen ha sido coloreada, izquierda con el rojo y derecha con el azul. La superposición se muestra en la figura 3.17.



Figura 3.16 Imágenes obtenidas para anáglifo.

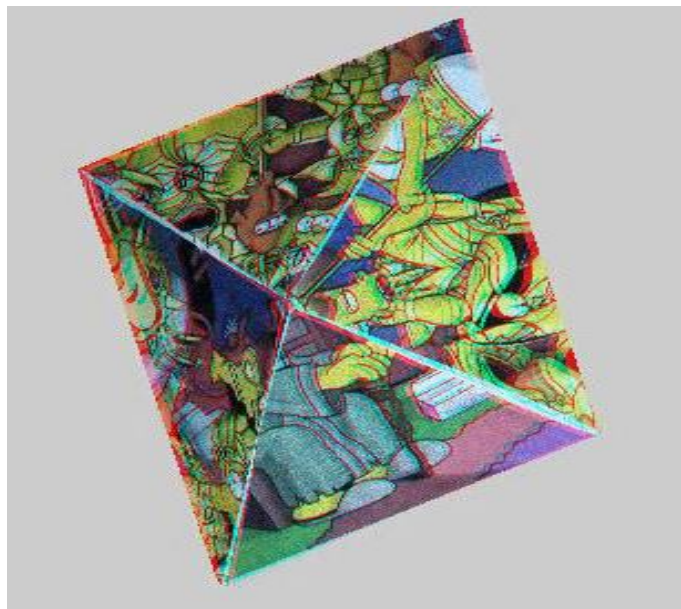


Figura 3.17 Anáglifo de la reconstrucción 3D.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 3.17 se hicieron una serie de pruebas para saber si se produce el efecto de tridimensional esperada, en la cual hicimos uso de las gafas anáglifo para poder observar a profundidad la imagen anáglifo que se obtuvo, en la siguiente grafica se muestra que 7 de 10 personas a las que se les hizo pudieron observar el efecto tridimensional esperado.

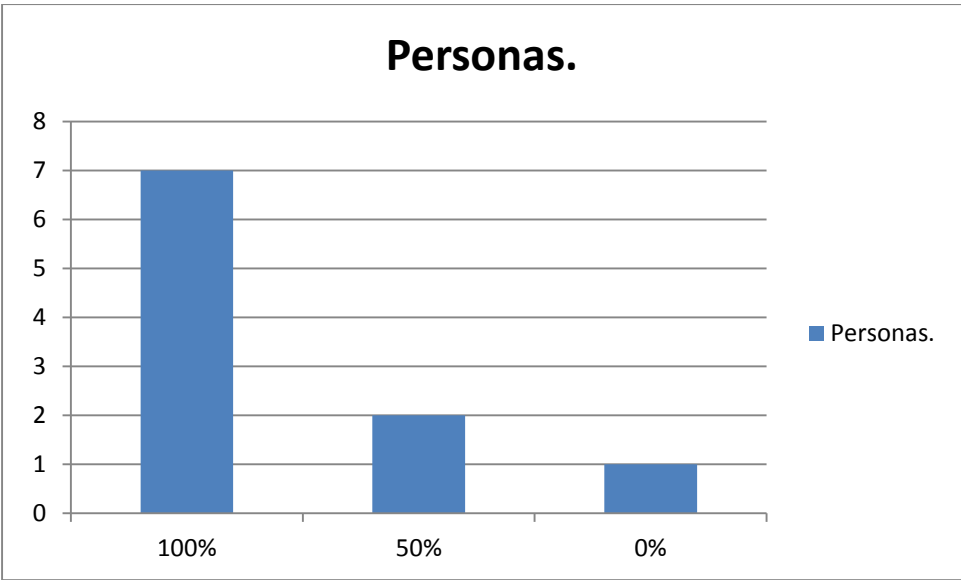


Figura 3.18 Grafica de resultados.

CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó la técnica de proyección de franjas para la reconstrucción tridimensional de un objeto de prueba. Se calibro un monitor de una PC y una cámara fotográfica con la finalidad de asociar posteriormente el color al objeto de prueba una vez evaluada su topografía. Utilizando la información de la topografía, se implementa el método anáglifo para tener una visualización tridimensional del objeto. Previamente se hace un algoritmo basado en las curvas de transmitancia del monitor donde se va a exhibir la imagen así como de las curvas de transmitancia de los lentes anáglifos para evitar imágenes fantasmas, es decir que uno de los filtros deje pasar solamente la información del color deseado.

El método para generar imágenes de anáglifo es muy eficaz debido a que se obtiene una mejor percepción de la vista tridimensional. Su eficacia se debe a que se considera las curvas de absorción espectral de las gafas, las funciones de densidad espectral de la pantalla y las propiedades colorimétricas de la observador humano.

En cuanto a la técnica de proyección de franjas nos permite una cuantificación del relieve o topografía de algún objeto de interés, añadiendo la información de color correspondiente haciendo uso de perfiles de colores para obtener colores reales.

Para obtener la visualización de la reconstrucción tridimensional (ya que solo la podemos observar sobre espacios bidimensionales ya sea en la pantalla de una computadora o sobre una hoja) se hizo una asociación de las dos técnicas de proyección de franjas y el método anáglifo con el cual obtuvimos una perspectiva de profundidad al observar el objeto.

REFERENCIAS

1. <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4c290fbe9567e.pdf>, 15 de Noviembre de 2012.
2. Yolanda Yanet López Domínguez, “Topografía y asociación de color real de los objetos”, Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones en Óptica, León Gto, Agosto de 2010.
3. http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?id=1257&catid=28&action=overview, 29 de Octubre de 2012.
4. Juan Antonio Rayas Álvarez, Amalia Martínez, Tania Gutiérrez, Juan Carlos Gutiérrez, Juan F. Mosiño, “Visualización tridimensional a partir del uso de la técnica de proyección de franjas y el método anáglifo”, LII Congreso Nacional SMF/ XXI Reunión Anual AMO, Acapulco Gro., 26-30 de Octubre de 2009, Sesión mural 1MD24, Suplemento del Bol. Soc. Mex. Fís. 23-3, 2009, pág. 9. ISSN 0187-4713.
5. <http://www.cio.mx/investigacion2011/divo.html>, 03 de Noviembre de 2012.
6. Amalia Martínez, J. A. Rayas, R. R. Cordero, Daniela Baliero, Fernando Labbe, “Leaf cuticle topography retrieved by using fringe projection”, *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 50, No. 4 (2012) pp. 231–235, Abril 2012. ISSN: 0143-8166
7. J. Apolinar Muñoz Rodríguez, “Avances en la detección 3D por proyección de una línea”, Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones en Óptica, León Gto, Marzo del 2001
8. Rajpal S. Sirohi, Fook Siong Chau, “Optical Methods of Measurements”, Marcel Dekker, Inc. New York, ISBN: 0-8247-6003-4, USA. Chapter 6 Speckle Metrology, pp. 165.
9. Víctor H. Flores Muñoz, “Asociación espacial de puntos de alta reflectancia utilizando visión estéreo”, Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones en Óptica, León Gto, Septiembre de 2010.
10. Daniel Malacara, Manuel Servín, Zacarías Malacara, “Interferogram analysis for optical testing”, Taylor and Francis Group, Rochester, New York, ISBN 1-57444-682-7, Chapter 2-7, pp.63, 358.
11. Diego Torres Armenta, “Digitalización de objetos a través de técnicas de proyección de luz estructurada y reconstrucción mediante técnicas de computación”, Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones en Óptica, León Gto, Noviembre del 2010.
12. Eric Dubois, “A projection method to generate anaglyph stereo images,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics Speech Signal Processing (ICASSP 2001)*, Salt Lake City, UT, May 2001, vol. 3, pp. 1661-1664.
13. Gonzalez, R. C. and Woods R. “Digital Image Processing using MATLAB”, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, ISBN 0-13-00819-7, Chapter 6. Color image processing, pp.194..
14. Daniel Malacara, “Vision and colorimetry: theory and application”, Editorial Society of Photo-Optical Instrumentation. Bellingham, Washington, ISBN 978-0-8194-8397-3, Chapter 1 The nature of color, pp.1.

A1. Algoritmo para crear anáglifos

```

close all; clear all; clc;
i=imread('d.jpg');
d=imread('i.jpg');
%figure(1),imshow (i),title('izq');
%figure(2),imshow (d),title('der');
%% izquierdo RGB
vl1=i(:, :, 1);
vl2=i(:, :, 2);
vl3=i(:, :, 3);
vl1=double(vl1)/255;
vl2=double(vl2)/255;
vl3=double(vl3)/255;
%figure(3),imshow (vl1),title('r');
%figure(4),imshow (vl2),title('g');
%figure(5),imshow (vl3),title('b');
%% derecho RGB
vr1=d(:, :, 1);
vr2=d(:, :, 2);
vr3=d(:, :, 3);
vr1=double(vr1)/255;
vr2=double(vr2)/255;
vr3=double(vr3)/255;
%figure(3),imshow (vr1),title('r');
%figure(4),imshow (vr2),title('g');
%figure(5),imshow (vr3),title('b');
%% Matriz Vx
Vx=[vl1 vl2 vl3 vr1 vr2 vr3];
vx=double (Vx);
%% matriz C2
cl1=[0.4641 0.3055 0.1808 0 0 0];
cl2=[0.2597 0.6592 0.0811 0 0 0];
cl3=[0.0357 0.1421 0.9109 0 0 0];
cr1=[0 0 0 0.4641 0.3055 0.1808];
cr2=[0 0 0 0.2597 0.6592 0.0811];
cr3=[0 0 0 0.0357 0.1421 0.9109];
C2=[cl1 cl2 cl3 cr1 cr2 cr3];
%% visualización.
Al=[0.3185 0.0769 0.0109;0.1501 0.0767 0.0056;0.0007 0.0020 0.0156];
Ar=[0.0174 0.0484 0.1402;0.0184 0.1807 0.0458;0.0286 0.0991 0.7662];
R=[Al;Ar];

```



```

%% calcular
W=eye(6);
x=inv(R'*W*R);
y=R'*W*C2;
aux=x*y;
%% obtención del anáglifo.
x1=aux(1,1)*vl1;
x2=aux(1,2)*vl2;
x3=aux(1,3)*vl3;
x4=aux(1,4)*vr1;
x5=aux(1,5)*vr2;
x6=aux(1,6)*vr3;
X=x1+x2+x3+x4+x5+x6;

y1=aux(2,1).*vl1;
y2=aux(2,2).*vl2;
y3=aux(2,3).*vl3;
y4=aux(2,4).*vr1;
y5=aux(2,5).*vr2;
y6=aux(2,6).*vr3;
Y=y1+y2+y3+y4+y5+y6;

z1=aux(3,1).*vl1;
z2=aux(3,2).*vl2;
z3=aux(3,3).*vl3;
z4=aux(3,4).*vr1;
z5=aux(3,5).*vr2;
z6=aux(3,6).*vr3;
Z=z1+z2+z3+z4+z5+z6;

maximo=max(max(X));
X=X./maximo;

maximo=max(max(Y));
Y=Y./maximo;

maximo=max(max(Z));
Z=Z./maximo;

%% ANAGLIFO FINAL

imshow(X,[]); title('Anaglifo canal Rojo');
figure; imshow(Y,[]); title('Anaglifo canal Verde');
figure; imshow(Z,[]); title('Anaglifo canal Azul');
anaglifo=cat(3,X,Y,Z);
figure; imshow(anaglifo); title('Anaglifo final')

```

A2. Algoritmo para reconstrucción tridimensional y asociación de color

```
%piramide
i1=(double(imread('P1.bmp')));
imfilter(i1,fspecial('average'));
i2=(double(imread('P2.bmp')));
imfilter(i2,fspecial('average'));
i3=(double(imread('P3.bmp')));
imfilter(i3,fspecial('average'));
i4=(double(imread('P4.bmp')));
imfilter(i4,fspecial('average'));
%envolvimiento
fi=-atan2((i4-i2),(i1-i3));
%figure;imagesc(fi);colormap('gray')
%desenvolvimeminto
Q = rot90(unwrap(rot90(fi)));
%figure;mesh(Q);colormap('gray')
%% portadora
d1=(double(imread('c1.bmp')));
imfilter(d1,fspecial('average'));
d2=(double(imread('c2.bmp')));
imfilter(d2,fspecial('average'));
d3=(double(imread('c3.bmp')));
imfilter(d3,fspecial('average'));
d4=(double(imread('c4.bmp')));
imfilter(d4,fspecial('average'));
%envolvimiento
f=-atan2((d4-d2),(d1-d3));
%figure;imagesc(f);colormap('gray')
%desenvolvimiento
d = rot90(unwrap(rot90(f)));
%figure;mesh(d);colormap('gray')
%%
% figure,mesh(d);
% hold on;
% mesh(Q);colormap('gray')
z=Q-d;
l=z*121;
se = strel('disk',11);
Z = imerode(l,se);
%figure,mesh(Z);colormap('gray')
% xlabel('x')
% ylabel('y')
% zlabel('z')
%% xy
```

```

Mx=1126;
My=1126;
for x=1:Mx
    for y=1:My
        Y(x,y)=(x*0.075)-44.1;
    end
end
Mx=1126;
My=1126;
for x=1:Mx
    for y=1:My
        X(x,y)=(y*0.075)-39.41;
    end
end

%%imagen que se antepondrá
C=imread('BUENA.bmp');
[P,map]=rgb2ind(C,0.1);
P=double(P);
%% asociación de color
surface(X,Y,Z,flipud(P),...
    'FaceColor','texturemap',...
    'EdgeColor','none',...
    'CDataMapping','direct')
colormap(map)
%lightangle(-40,40)
axis off
view(70,70)
%
figure,surface(X,Y,Z,flipud(P),...
    'FaceColor','texturemap',...
    'EdgeColor','none',...
    'CDataMapping','direct')
colormap(map)
%lightangle(-40,40)
axis off
view(70,74)

```

A3. Algoritmo para generar franjas

```
%% franjas
a=127;
b=127;
p=100;
M=800;
N=800;
for r=1:M
    for c=1:N
        f(r,c)=a+b*cos((2*pi/p)*c);
        f1(r,c)=a+b*cos((2*pi/p)*c+(pi/2));
        f2(r,c)=a+b*cos((2*pi/p)*c+(pi));
        f3(r,c)=a+b*cos((2*pi/p)*c+(3*pi/2));
    end
end
%figure(1)
subplot(221);imshow(f, [0 255])
%figure(2)
subplot(222);imshow(f1, [0 255])
%figure(3)
subplot(223);imshow(f2, [0 255])
%figure(4)
subplot(224);imshow(f3, [0 255])
```

