

PROPUESTA DE UNA TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN LA
SUPERPOSICIÓN DE AUTOESTEREOGRAMAS PARA UN MURO DE
VISUALIZACIÓN

JONNATHAN ALFREDO RAMOS CHAUX

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA
2016

PROPUESTA DE UNA TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN LA
SUPERPOSICIÓN DE AUTOESTEREOGRAMAS PARA UN MURO DE
VISUALIZACIÓN

JONNATHAN ALFREDO RAMOS CHAUX

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería de Sistemas

Directora
LOLA XIOMARA BAUTISTA ROZO
Magíster en Ingeniería de Computadoras

Codirector
ARTURO PLATA GÓMEZ
Doctor en Física

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA
2016

A Dios
A mis padres
A ti Mary Hiovana

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo y por alentarme a continuar.

A Mary Hiovana por su amor, apoyo y por no dejarme desfallecer.

A la profesora Lola Bautista y el profesor Arturo Plata por ser excelentes guías y mejores seres humanos.

Al profesor Carlos Jaime Barrios por abrirme las puertas de su casa, el grupo SC3 (ahora CAGE), para poder finalizar este viaje.

A todos y cada uno de los miembros de los grupos GIIB y SC3/CAGE por los buenos momentos y por compartir sueños y objetivos.

A mis amigos... porque si.

Índice general

INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	18
1.1. Sistema Visual	18
1.1.1. Percepción de profundidad y estereopsis	19
1.2. Métodos de presentación de información en tres dimensiones	21
1.2.1. Método monocular o estereográfico	22
1.2.2. Métodos binoculares o estereoscópicos	22
1.2.3. Métodos volumétricos	27
2. TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS	28
2.1. Autoestereogramas	29
2.1.1. Modelo geométrico para la construcción de autoestereogramas	29
2.2. Paralaje por movimiento y el efecto de profundidad por movimiento	31
2.3. Técnica propuesta	31
2.3.1. Contexto de la propuesta	31
2.3.2. Características de la técnica	33
3. INSTRUMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA PROPUESTA	44
3.1. Diseño factorial propuesto	44
3.1.1. Problema	44
3.1.2. Hipótesis	45
3.1.3. Diseño del tratamiento	45
3.1.4. Diseño experimental	46
3.2. Diseño del instrumento de medición	47
4. ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO	50
4.1. Ficha Técnica	50
4.2. Resultados	51
4.2.1. Análisis de sensibilidad y especificidad	51
4.2.2. Efecto de los factores en la percepción de profundidad	51

5. CONCLUSIONES	56
5.1. Conclusiones	56
5.2. Trabajos Futuros	57
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	63

Índice de figuras

1.1. Campos visuales	19
1.2. Clasificación de los métodos para presentar información gráfica con información de volumen	22
1.3. Formas de ver un estímulo estímulo estereoscópico de visión libre	24
1.4. Autoestereograma y escena codificada. (a) Autoestereograma de puntos aleatorios para visión paralela (b) Escena codificada en el autoestereograma ubicado arriba en la figura	26
2.1. Esquema geométrico de la visión binocular. Vista superior de la observación de una escena a través de un plano transparente I	30
2.2. Procedimiento para la evaluación de estereogramas de una imagen	35
2.3. Etapa 1: Construcción de los autoestereogramas	36
2.4. Etapa 2: Reconsrucción del mapade profundidad	36
2.5. Etapa 3: Filtrado y limpieza de la imagen	38
2.6. Reconstrucción de mapas de profundidad a partir de estereogramas de una imagen aplicando el esquema propuesto. (a) Mapa de profundidad original. (b) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SIRDS (c) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SITS	39
2.7. Reconstrucción de mapas de profundidad a partir de estereogramas de una imagen aplicando el esquema propuesto. (a) Mapa de profundidad original. (b) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SIRDS (c) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SITS	40
2.8. Acomodación y convergencia en autoestereogramas	41
2.9. Efecto de profundidad por movimiento aplicado a la presentación de autoestereogramas	42
2.10. Efecto de los biseles de las pantallas en la imagen	43
3.1. Agrupación de los estímulos del experimento	46
3.2. Instrumento para el registro de la percepción de profundidad. Las casillas G, E y O en la parte superior derecha identifican al grupo, el estímulo y el identificador del observador encuestado respectivamente	48
4.1. Efecto de la separación de los frames sobre la percepción de profundidad	52
4.2. Esquema de los planos de convergencia considerados en el experimento	53

4.3.	Efecto de la cantidad de fotogramas sobre la percepción de profundidad	54
4.4.	Ocurrencia de los factores que desencadenan una percepción calificada como fracaso para una separación de 120[px]	55
1.	Primera escena de experimentación	96
2.	Mapa de profundidad de la primera escena de experimentación	96
3.	Autoestereograma de puntos aleatorios de la primera escena de experimentación	97
4.	Tercera escena de experimentación	98
5.	Mapa de profundidad de la tercera escena de experimentación	98
6.	Autoestereograma de puntos aleatorios de la tercera escena de experimentación	99
7.	Tercera escena de experimentación	100
8.	Mapa de profundidad de la tercera escena de experimentación	100
9.	Autoestereograma de puntos aleatorios de la tercera escena de experimentación	101

Índice de tablas

1.1. Señales de profundidad psicológicas	20
1.2. Señales de profundidad fisiológicas	21
2.1. Tipos de Autoestereogramas	31
3.1. Preguntas del instrumento	49
4.1. Registro de las percepciones visuales de la población encuestada	51
4.2. Caracterización de la técnica propuesta	52

Índice de Anexos

Anexo A: Instrumentos	64
Anexo B: Imágenes usadas en el experimento	95

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE UNA TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN LA SUPERPOSICIÓN DE AUTOESTEREOGRAMAS PARA UN MURO DE VISUALIZACIÓN¹

Autor: JONNATHAN ALFREDO RAMOS CHAUX²

PALABRAS CLAVE: VISIÓN TRIDIMENSIONAL, 3D, ESTEREOSCOPIA, AUTOESTEREOGRAMA, MURO DE VISUALIZACIÓN

DESCRIPCIÓN

Las ventajas demostradas de la percepción de profundidad para el desarrollo de actividades asociadas con la manipulación de objetos, el juzgamiento de posiciones, la comprensión espacial y la navegación han motivado el interés por comprender los mecanismos que la producen y por construir métodos capaces de desecadenarla a partir de estímulos sintéticos. El creciente uso de muros de visualización en entornos comerciales y académicos plantea un reto importante para las técnicas de presentación de imágenes en profundidad ya que es común que estos métodos requieran para su efectividad de dispositivos con características que incrementan su costo o del uso de instrumentos visuales que no siempre están disponibles.

Para abordar este escenario se propuso, en el marco de este trabajo de investigación, una técnica que utiliza autoestereogramas y el efecto de profundidad por movimiento para presentar escenas con información de volumen a los usuarios de un muro de visualización.

Para evaluar la eficacia del método desarrollado se ejecutó un experimento factorial que puso en consideración dos factores con tres niveles para cada uno de ellos. A partir de los resultados obtenidos se pudo concluir que la técnica desarrollada es efectiva para algunos valores de los dos factores puestos en consideración

¹Trabajo de Investigación

²Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Directora: Lola Xiomara Bautista Rozo. Codirector: Arturo Plata Gómez

ABSTRACT

Title:PROPOSAL OF AN AUTOSTEREOSCOPIC TECHNIQUE BASED ON THE SUPERPOSITION OF AUTOSTEREOGRAMS FOR A VIDEO WALL³

Author:JONNATHAN ALFREDO RAMOS CHAUX⁴

KEY WORDS: TRIDIMENSIONAL VISIÓN, 3D, STEREOSCOPY, AUTOSTEREOGRAM, DISPLAY WALL

DESCRIPTION

The depth perception has proven advantages in the development of processes associated with manipulation of objects, judgement of positions, spatial understanding and navigation which have motivated the interest in understanding the mechanisms associated with the phenomenon and design methods able to trigger it from sintetic stimulus. The increasing use of video walls in commercial and academic environments proposes an important challenge for the depth imaging techniques because this methods demand hardware with special configuration or the use of glasses which are not always available.

This reason motivated the development of a technique which uses autostereograms and the Kinetic depth effect for displaying scenes with depth information to the user of a display wall.

The effectiveness of the proposed method was evaluated with a factorial experiment with two factors and three levels for both. The results shows that the proposed method is effective for some values of the factors evaluated.

³Research work

⁴Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Systems Engineering and Informatics Department. Advisor: Lola Xiomara Bautista Rozo. Co-advisor: Arturo Plata Gómez

INTRODUCCIÓN

Una imagen vale más que mil
palabras

Proverbio antiguo

En la búsqueda por recrear las sensaciones obtenidas ante estímulos no sintéticos el entendimiento de los procesos asociados a la percepción de profundidad con fines de emulación ha sido un importante objeto de estudio aún desde la antigua Grecia [1] ya que esta habilidad permite una mejor aprehensión del entorno. Sin embargo, es con Sir Charles Wheatstone, en 1838, que se da inicio al desarrollo de técnicas y tecnologías que logran presentar de manera efectiva escenas con información de profundidad a los observadores.

En este trabajo se aborda la presentación de imágenes con información estereoscópica al usuario de arreglos de pantallas denominados muros de visualización, desde una perspectiva que busca alternativas efectivas y de bajo costo para la creación y la exhibición de los contenidos. El interés en este escenario se encuentra justificado por la proliferación de estos dispositivos en entornos académicos y comerciales y por el impacto positivo que estas imágenes tienen en el observador [2][3]. La exploración realizada en este trabajo está fundamentada sobre la hipótesis de que con los estereogramas de una imagen y el efecto de profundidad por movimiento es posible construir una alternativa capaz de cumplir con lo demandado satisfaciendo las restricciones impuestas.

El resultado de este trabajo es un método autoestereoscópico que gracias a la superposición de autoestereogramas presenta imágenes con información de profundidad. El documento se estructura de la siguiente manera:

- Capítulo 1: presenta los fundamentos teóricos y un panorama general de las técnicas más desarrolladas para presentar imágenes estereoscópicas.
- Capítulo 2: describe los aspectos más relevantes de los autoestereogramas y del efecto de profundidad por movimiento para finalmente explicar el método propuesto.
- Capítulo 3: muestra el diseño del experimento usado para evaluar la técnica implementada.

- Capítulo 4: presenta los resultados y el análisis realizado a los mismos para poder concluir sobre la efectividad del método y comentar los hallazgos obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar la superposición de autoestereogramas para inducir estereopsis en el usuario de un muro de visualización.

Objetivos Específicos

- Diseñar una técnica que despliegue autoestereogramas de manera alternada y coordinada en un muro de visualización para poder evaluar la percepción de profundidad de los usuarios de un muro de visualización.
- Diseñar escenarios experimentales e instrumentos de levantamiento de datos que permitan evaluar la efectividad de la técnica propuesta para inducir estereopsis en un usuario de un muro de visualización.
- Analizar los datos adquiridos para identificar las posibles relaciones existentes entre los escenarios diseñados y la percepción de profundidad experimentada por el observador.

Capítulo 1

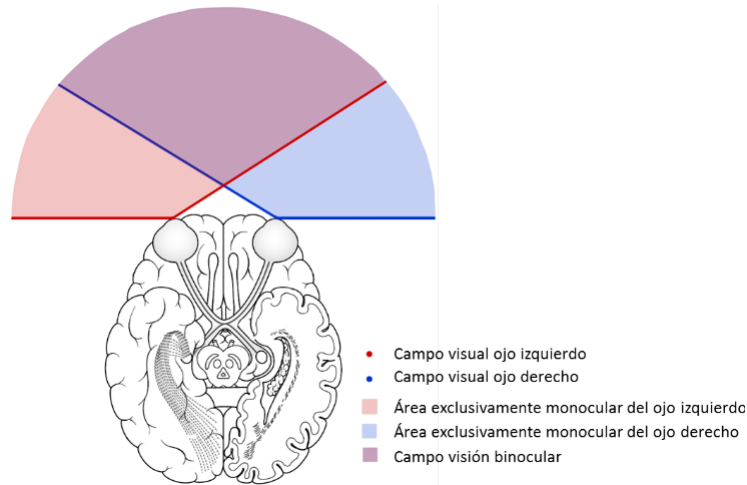
MARCO REFERENCIAL

1.1. Sistema Visual

Los animales, incluido el ser humano, cuentan con mecanismos que les permiten capturar la información de su entorno con el objetivo de sobrevivir. En particular el conjunto de órganos que permiten ver el ambiente (ojos, cerebro y terminaciones nerviosas que los conectan) recibe el nombre de sistema visual[4] y se estima que, para el caso de los humanos, captura entre el 90 % y 95 % de la información procesada por el cerebro [5]. El proceso de la visión inicia en los ojos que, de manera independiente, capturan las radiaciones electromagnéticas entre los 400 y 700 nm emitidas o reflejadas por los objetos en la escena y a partir de ellas construye una imagen bidimensional en la retina. Allí, en la retina, la información luminosa es transformada en impulsos eléctricos [6] los cuales alcanzan el cerebro a través de una intrincada red de conexiones nerviosas que lo une a los ojos. Finalmente el cerebro interpreta y da sentido a la información.

La captura de información hecha por los ojos es afectada por la posición anatómica de los ojos en el cráneo ya que esta determina un área del espacio, denominada campo de visión monocular, que puede ser aprehendida por cada ojo con la mirada fija en una determinada posición. En el caso de los seres humanos las órbitas oculares están situadas frontalmente mirando hacia adelante con sus ojos divergiendo 45° , pero con los ejes ópticos paralelos lo que define el campo de visión monocular de cada ojo entre los 90° y 100° en el lado temporal y alrededor de los 60° en el lado nasal [7]. Como se muestra en la figura 1.1 existe una región en la cual los campos de visión monoculares se superponen definiéndose una área del espacio, llamada campo de visión binocular, que contiene los objetos que estimulan simultáneamente los dos ojos [7]. De este modo se definen la visión monocular como la percepción del entorno por el estímulo de uno de los ojos y la visión binocular como la aprehensión del medio gracias a la activación simultánea de los dos ojos.

Figura 1.1: Campos visuales



La visión binocular se caracteriza por fusionar en una única percepción las imágenes retinianas (capturadas por cada ojo) gracias a tres fenómenos concurrentes:

1. La superposición de los campos de visión monocular en todas las direcciones de memoria
2. La superposición de los campos de fijación¹ individuales debido a la coordinación de los movimientos oculares
3. La transmisión neuronal desde los dos ojos a la misma zona cerebral [7].

1.1.1. Percepción de profundidad y estereopsis

Se define la percepción de profundidad como la habilidad o capacidad de comprender la tridimensionalidad del ambiente, el volumen y las distancias de los objetos usando únicamente la vista. La capacidad de percibir las tres dimensiones espaciales es el resultado de la comprensión hecha por el cerebro de un conjunto de indicadores denominados señales de profundidad[8]; estas guías para inferir la profundidad pueden requerir de la coordinación del par de ojos para ser interpretados, siendo llamados señales binoculares, o ser entendidos sin necesidad de esa interacción, caso en el cual se les denomina señales monoculares. En [9] se propone la siguiente clasificación:

- **Señales psicológicas:** los indicadores de esta categoría se caracterizan por estar asociados a procesos mentales que se basan en la experiencia del sujeto para interpretar la información y desencadenar la percepción de un ambiente en tres dimensiones [10]; por tanto la percepción de profundidad lograda a partir de

¹El campo de fijación es la región del espacio que contiene todos los puntos en los que se puede fijar el ojo móvil, permaneciendo estática la cabeza[7]

estos estímulos no ocurre de manera inmediata[11]. En la tabla 1.1 se resumen las principales señales psicológicas de profundidad:

Tabla 1.1: Señales de profundidad psicológicas

Señal	Característica
Tamaño del objeto	Conocidas las dimensiones del objeto, su tamaño en la imagen indica la distancia a la que se encuentra. Mayor tamaño indica menor distancia[9]
Perspectiva lineal	Las líneas paralelas parecen juntarse conforme se aproximan al horizonte, finalmente convergen en el infinito[8]
Gradiente de textura	Los detalles de una textura son más claros cuando la superficie está cerca y se hacen difusos cuando se aleja[8]
Oclusión	Cuando un objeto se superpone a otro el objeto cubierto es interpretado como el más alejado[8]
Perspectiva aérea o atmosférica	Hace referencia al cambio a colores azulados y la disminución de contraste y detalle de los objetos a grandes distancias[12]
Sombreado y proyecciones de sombras	Los objetos que proyectan sus sombras sobre otros son percibidos como más cercanos al igual que los más iluminados como producto de su cercanía a la fuente de luz [8]

- Señales fisiológicas:** esta categoría está compuesta por estímulos que desencadenan una reacción física del sistema visual del observador, a partir de la cual el cerebro infiere la tridimensionalidad del ambiente [10] de manera automática y espontánea al no estar mediada por un proceso de interpretación²[11]. La tabla 1.2 recopila las señales de profundidad de profundidad fisiológicas. Aunque la capacidad de entender las tres dimensiones del ambiente puede lograrse a partir estímulos monoculares, es la percepción de profundidad producto de la visión binocular, denominada estereopsis, la que ofrece un entendimiento más claro de las distancias y volúmenes de los objetos en la escena.

La estereopsis fue descubierta en 1838 por Wheatstone y es el resultado de la cooperación natural del par de ojos para lograr construir una percepción cerebral única cuando se observa un objeto físico [13], la cual es lograda gracias a las disparidades binoculares en las imágenes retinianas y a procesos perceptuales complejos que ocurren en la corteza visual[14].

²Una característica destacable de las señales de profundidad fisiológicas es que pueden ser explicadas a partir de conceptos físicos y operaciones matemáticas lo que permite su uso para el desarrollo de aplicaciones que simulan la percepción de profundidad humana [8]

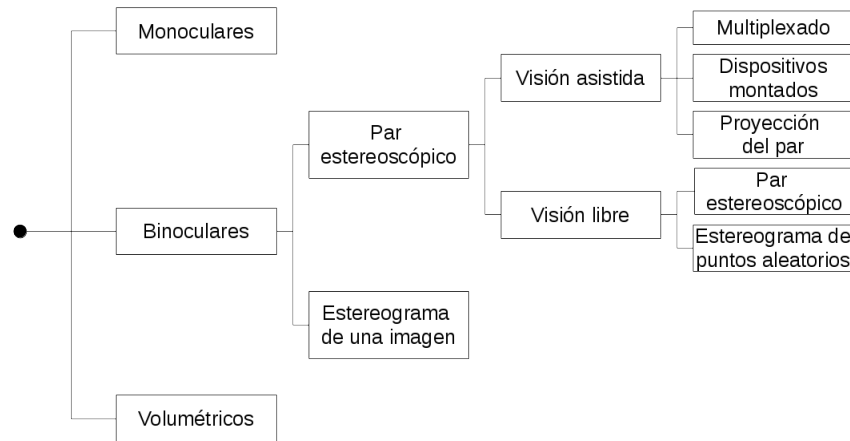
Tabla 1.2: Señales de profundidad fisiológicas

Señal	Tipo	Descripción
Acomodación	Monocular	Es el mecanismo que permite enfocar en la retina objetos a diferentes distancias como resultado de la alteración del grosor y la curvatura del lente del cristalino por la acción de los músculos ciliares [15]. Es una señal de profundidad débil que de manera natural está coordinada con la convergencia[8].
Convergencia	Binocular	Es el ángulo que se obtiene al rotar los ojos hacia adentro para que los ejes ópticos se crucen y así enfocar un objeto particular; la señal de profundidad está dada por la tensión muscular necesaria para rotar los globos oculares [9].
Paralaje o disparidad binocular	Binocular	Es la disparidad horizontal de algunos puntos en el par de imágenes retinianas consecuencia de la separación de los dos ojos [7].
Paralaje por movimiento	Monocular	Está asociada al movimiento el cual provoca que los objetos lejanos parezcan moverse más lentamente en comparación con los cercanos[8]
Profundidad por desenfoque	Monocular	Enfocar la vista en un punto particular del espacio provoca que zonas con diferente profundidad luzcan difuminadas permitiéndole al cerebro estimar distancias[8].

1.2. Métodos de presentación de información en tres dimensiones

Las ventajas inherentes a la percepción de profundidad han motivado el desarrollo de diversas técnicas que buscan replicarla a partir de imágenes que cuentan con una o varias señales de profundidad de la escena capturada. En la figura 1.2 se presenta gráficamente el esquema propuesto en [16] para catalogar los métodos de presentación de información diseñados y que se desarrollará a lo largo de esta sección.

Figura 1.2: Clasificación de los métodos para presentar información gráfica con información de volumen



1.2.1. Método monocular o estereográfico

En esta técnica se presenta al observador una imagen o secuencia de imágenes bidimensionales que presenta exclusivamente señales de profundidad monoculares[16]. Su uso es habitual en expresiones artísticas como el dibujo, la pintura y la fotografía.

1.2.2. Métodos binoculares o estereoscópicos

Al observar una escena cada uno de los ojos captura una imagen ligeramente diferente producto de la separación horizontal entre los ojos. El par de imágenes capturado en conjunto por el sistema visual recibe el nombre de estereograma o par estereoscópico y en él se presenta la señal fisiológica denominada disparidad binocular. Las técnicas estereoscópicas están basadas en la estimulación de los dos ojos para que el observador desarrolle el sentido de estereopsis gracias a la simulación del paralaje binocular a través de la presentación directa del estereograma[8].

Par estereoscópico

Las técnicas agrupadas en esta categoría muestran al observador el par de imágenes que componen el estereograma de manera explícita pero, dado que cada ojo debe ver solo una de las dos imágenes, se establecen métodos que bloquean la imagen que no le corresponde a ese ojo[8]. Para hacer el filtrado de las imágenes existen dos enfoques que se presentan a continuación:

Visión asistida Las técnicas de esta clase son usualmente referenciados en la literatura como métodos estereoscópicos. Su principal característica es filtrar el estereograma gracias al uso de dispositivos físicos como gafas o barreras que hacen visible solo una

de las dos imágenes (la que le corresponde) a cada ojo[8]. El primero de los métodos e instrumentos desarrollado bajo este enfoque fue el estereoscopio inventado por Charles Wheatstone y su principio básico ha permanecido aunque se han desarrollado diferentes técnicas para reducir sus limitaciones. A continuación se presentan los principales enfoques para el diseño de técnicas estereoscópicas.

1. Multiplexado

El multiplexado es una técnica utilizada para transmitir dos o más señales por un mismo canal de comunicaciones sin expandir el ancho de banda[17]. En el caso concreto de los métodos estereoscópicos el término hace referencia a la combinación de las imágenes para el ojo izquierdo y derecho gracias a una herramienta software o un multiplexador en un mismo canal o imagen estereo 3D [18]. La combinación del par estereoscópico puede realizarse siguiendo los siguientes enfoques:

a) Multiplexado en color

Para construir un estereograma que sigue este lineamiento se selecciona un par de colores complementarios y cada una de las imágenes del par estereoscópico es coloreada con uno de ellos. Las dos imágenes se proyectan en el mismo espacio físico y para percibir la profundidad codificada el espectador debe usar un par de gafas que tienen cada uno de los lentes tintado con uno de los colores complementarios usados en la codificación[19]. El ejemplo más común de multiplexado en color son los anaglifos de Ducos du Hauron que usan el lente del ojo izquierdo de color rojo y el derecho de azul [20] aunque existen otras combinaciones de colores como rojo/cyan, verde/magenta, azul/amarillo o naranja/azul [18].

b) Multiplexado en polarización

Esta técnica consiste en presentar el par de imágenes simultáneamente en la pantalla, al igual que ocurre con los anaglifos, pero cada una de ellas es proyectada con luz polarizada de forma tal que el estado de polarización del par de imágenes es mutuamente ortogonal. Para que el observador experimente estereopsis debe usar anteojos con los lentes polarizados de modo que una de las imágenes del par no sea visible para cada ojo [19].

c) Multiplexado en tiempo

A diferencia de otras técnicas, el multiplexado en tiempo no presenta el par de imágenes que componen el estereograma simultáneamente, en su lugar las proyecta de manera alternada sobre la misma pantalla a altas velocidades [19]. Para percibir la profundidad de la escena el observador debe usar anteojos, usualmente de cristal líquido[19], que se oscurecen de manera alternada en sincronía con la pantalla sobre la cual se despliega el par estereoscópico [21].

2. Dispositivos montados

Este es un método inmersivo popular en aplicaciones de realidad virtual[8]. En esta

técnica cada imagen del par estereoscópico es proyectada de manera independiente en una de las dos pantallas incrustadas en un casco o soporte que el observador usa; la ubicación de los dispositivos de visualización garantiza que cada ojo solo puede ver una de las pantallas lográndose con esto que el observador perciba el volumen de la escena[19].

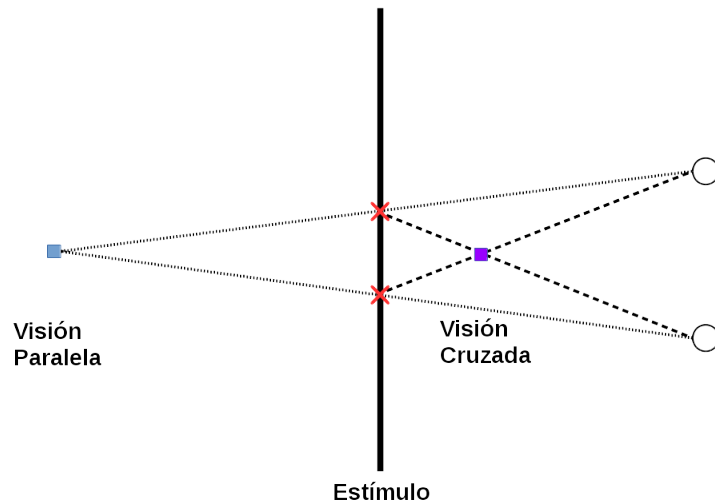
3. Proyección del par estereoscópico

Los métodos agrupados en esta categoría no demandan que el observador utilice dispositivos ópticos para percibir la profundidad de la escena; por esta razón son clasificados en la literatura como técnicas autoestereoscópicas [19].

En estos métodos las imágenes que componen el par estereoscópico son seccionadas verticalmente y las columnas de las imágenes desplegadas en la pantalla alternadamente. El efecto de profundidad se logra gracias a que se ubican en la pantalla dispositivos ópticos, como barreras de paralaje³ o arreglos de lentes lenticulares⁴, que dirigen la luz a zonas específicas en las cuales el estereograma es visible por el observador y, por consiguiente, la estereopsis posible [19].

Visión libre La observación de ojo desnudo, también llamada visión libre, se define como la observación directa del plano estereoscópico[11]. Los métodos agrupados en esta categoría son métodos autoestereoscópicos es decir no son necesarios dispositivos para percibir la escena en profundidad; la estereopsis es lograda gracias a procesos fisiológicos y psicológicos y al entrenamiento del sistema visual para interpretar los estímulos.

Figura 1.3: Formas de ver un estímulo estereoscópico de visión libre



³Una barrera de paralaje está formada por una máscara negra con aberturas verticales que permiten el paso de la luz en una dirección establecida[19].

⁴Una lámina o arreglo de lentes lenticulares está formada por un conjunto de pequeños lentes semicilíndricos que orientan la luz a zonas definidas[8].

Al observar un objeto real los músculos que controlan el grosor del cristalino y los que coordinan la rotación ocular funcionan de manera conjunta, de este modo la posición del objeto y la distancia a la cual se debe enfocar para observarlo son fijados simultáneamente a partir de la distancia observador-objeto. Para percibir profundidad a partir de los estímulos de visión libre es necesario romper el vínculo natural entre los procesos de acomodación, responsable de la distancia a la cual enfoca el ojo por la modificación del espesor del lente del cristalino, y de convergencia, gracias al cual se determina el punto de enfoque como resultado del cruce de los ejes ópticos; esto implica enfocar en un plano diferente al que se converge. En la visión libre los estímulos son ubicados en el plano de enfoque y la forma de observación en la cual el plano de fijación está delante del estímulo recibe el nombre de visión cruzada o bizca, en cambio, si se encuentra tras el plano de enfoque se habla de visión paralela. En la figura 1.3 se esquematizan la visión paralela y la visión cruzada.

1. Presentación directa del par estereoscópico

Esta es la forma más sencilla de exhibir el estereograma y lograr que el observador perciba la profundidad de la escena. En este enfoque las dos imágenes del par estereoscópico son ubicadas frente al usuario, una junto a la otra, y la estereopsis es el resultado de su fusión en una única percepción producto de la desvinculación de la convergencia y la acomodación. Si el estereograma está dispuesto para visión cruzada la imagen que debe ser vista por el ojo izquierdo se ubica frente al derecho y viceversa. Si la imagen izquierda del par se ubica frente al ojo izquierdo y la derecha frente al ojo derecho la observación del estereograma debe realizarse de manera paralela[11].

2. Estereograma de puntos aleatorios

En los años sesenta Julesz desarrolló los estereogramas de puntos aleatorios (*Random Dot Stereograms*, RDS) y demostró que para percibir profundidad no es necesario que las señales de profundidad psicológicas estén presentes en el estímulo, como ocurre en el caso de los pares estereoscópicos, y que esta puede alcanzarse usando como única señal de profundidad las disparidades binoculares presentes en el estereograma [13].

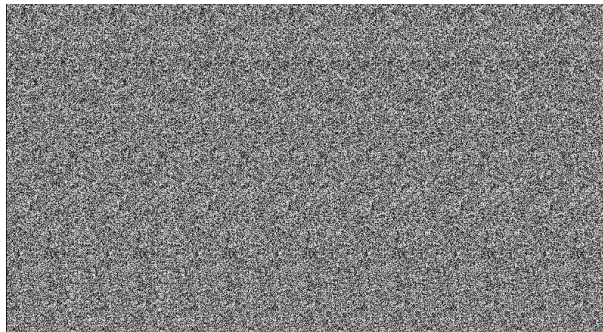
Un estereograma de puntos aleatorio es un par estereoscópico en el cual las señales psicológicas de profundidad han sido eliminadas gracias a la aplicación de un patrón de puntos casi idéntico en las dos imágenes que lo componen; la única diferencia entre los patrones de ambas imágenes es un desplazamiento horizontal que se corresponde con la diferencia de la perspectiva entre los elementos mostrados en el par estereoscópico [1]. Cuando un estereograma de puntos aleatorios es visto monocularmente presenta una secuencia ininteligible de puntos pero cuando se observa estereoscópicamente el estereograma revela vívidamente contenido visual con profundidad y con excelente calidad a pesar de contar con la disparidad retiniana como única señal de profundidad [22].

Estereograma de una imagen: autoestereograma

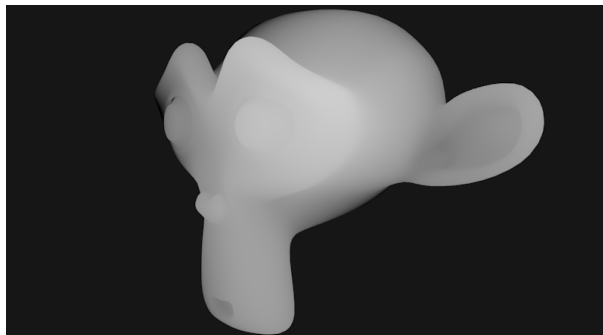
Los autoestereogramas, también llamados estereogramas de una imagen (*Single Image Stereogram*, SIS), son una técnica para presentar información estereoscópica de visión libre que presenta en una sola imagen la información suficiente para que el observador perciba el volumen[11]. Una de sus principales ventajas es que pueden extenderse sobre grandes áreas y aún así seguir siendo interpretables[23].

Los SIS son el resultado de combinar los estereogramas de puntos aleatorios de Julesz con el “efecto *wallpaper*”⁵ presentado por Brewster en 1844 [23]. En términos geométricos los autoestereogramas pueden ser considerados como una superposición de las imágenes que componen el estereograma gracias a la cuidadosa ubicación de los puntos de un patrón de forma tal que cada par de puntos correlacionados codifican un mismo punto en el par estereoscópico[11]. En la figura 1.4 se presenta un autoestereograma y la escena codificada en él.

Figura 1.4: Autoestereograma y escena codificada. (a) Autoestereograma de puntos aleatorios para visión paralela (b) Escena codificada en el autoestereograma ubicado arriba en la figura



a.



b.

⁵El efecto *wallpaper* demuestra que al observar un patrón que se repite horizontalmente es posible romper el vínculo natural entre los procesos de acomodación y convergencia generando con esto un falso plano estereoscópico en el nuevo punto de convergencia [24].

Percibir profundidad a partir de un autoestereograma puede no resultar sencillo al inicio ya que desvincular los procesos de convergencia y acomodación no suele ocurrir normalmente salvo, tal vez, cuando el observador está cansado [13]. Un método para ver la información codificada en un autoestereograma que sigue los lineamientos de la visión paralela consiste en observar la imagen tan cerca como sea posible, en este punto el SIS ocupa completamente el campo visual y se percibe de manera difusa; luego alejar o alejarse de la imagen lentamente manteniendo la mirada fija en el autoestereograma hasta que se percibe que el patrón se empieza a solapar, si se pierde el enfoque se debe reiniciar el proceso. Ya en este punto es necesario esperar que los ojos se adapten, lo que se evidencia con la formación borrosa de los objetos codificados. Una vez estabilizada la percepción es posible desplazar la mirada por todo el autoestereograma para detallar la escena. Para algunas personas el efecto se logra rápidamente mientras que otras requieren de varios minutos de entrenamiento antes de ver el volumen por primera vez [24]. Otras formas de observar un estereograma de una imagen pueden encontrarse en [24] y [13].

1.2.3. Métodos volumétricos

En esta familia de técnicas todas las señales de profundidad pueden ser simuladas [8]. Los métodos volumétricos se caracterizan por ubicar en el espacio real los puntos de la escena que se desea presentar al usuario, es decir, se exhibe un modelo tridimensional virtual [12]; esto permite que el observador pueda adquirir distinta información de la escena simplemente cambiando el lugar de observación [8]. Entre los métodos volumétricos se encuentran la holografía, los de volumen por barrido y los de volumen estático [8, 12].

Capítulo 2

TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS

La construcción de imágenes y modelos gráficos para la comunicación de ideas o la comprensión de fenómenos juega un rol importante en las actividades humanas y, gracias al desarrollo tecnológico, actualmente es posible capturar o construir imágenes de gran tamaño y con un alto nivel de detalle e incluir en ellas información que las enriquece. En particular, estudios han demostrado que la presentación de información estereoscópica capta la atención del observador [3] y tiene un impacto positivo en el desarrollo de actividades relacionadas con la manipulación de objetos, la comprensión espacial, el juzgamiento de posiciones y la navegación [25]. Por lo anterior el desarrollo de tecnologías capaces de aprovechar estos avances constituyen una temática de exploración interesante.

Un muro de visualización es un arreglo de proyectores, monitores o televisores dispuestos para componer una sola pantalla con gran área de proyección y alta resolución que, al igual que una sola pantalla de grandes dimensiones, permite la exposición de información a múltiples observadores simultáneamente pero, adicionalmente, destacan por ser una alternativa escalable y con unas relaciones costo-área y costo-resolución ventajosas debido al valor de sus componentes [26] razón por la que tienen un importante mercado en la publicidad [27] [28], y en el análisis y divulgación de información científica con propuestas como las de los laboratorios de visualización de la NASA [29], la Universidad de Texas [30] o de los grupos de investigación Halley o Geomática en la Universidad Industrial de Santander.

Para presentar información estereoscópica han sido desarrolladas diferentes técnicas, algunas presentadas en la sección 1.2, sin embargo son los métodos binoculares de visión asistida los que han tenido un mayor desarrollo para la exhibición de estas imágenes a múltiples observadores, no obstante la implementación de estas técnicas en muros de visualización y en pantallas individuales suele resultar costosa ya que es imperativo el uso de dispositivos tecnológicos con características particulares que limitan su apli-

cación. En consecuencia, el desarrollo de un método efectivo para la presentación de información estereoscópica a un auditorio resulta particularmente llamativo.

En este capítulo se propone una técnica para la exhibición de imágenes con información estereoscópica fundamentada en los autoestereogramas y el efecto de profundidad por movimiento. Para la presentación de lo aquí planteado el capítulo se organiza de la siguiente manera, en las secciones 2.1 y 2.2 se introducen los fundamentos teóricos que sustentan el método y, finalmente, en la sección 2.3, se presenta la técnica propuesta.

2.1. Autoestereogramas

Los autoestereogramas (también llamados estereogramas de una imagen, *Single Image Stereogram*, SIS), como se mencionó en la sección 1.2.2, son una técnica binocular de visión libre que se cimienta conceptualmente en los estereogramas de puntos aleatorios y el principio del *wallpaper*.

Los SIS codifican en una sola imagen la información estereoscópica del modelo gracias a la aplicación de un patrón de puntos que es determinado por el modelo geométrico que describe la visión estereoscópica. Para la construcción de autoestereogramas se pueden seguir cualquiera de los dos enfoques de la visión libre descritos por la figura 1.3, sin embargo es común elaborarlos siguiendo el enfoque de la visión paralela ya que resulta más natural y cómodo para el observador.

2.1.1. Modelo geométrico para la construcción de autoestereogramas

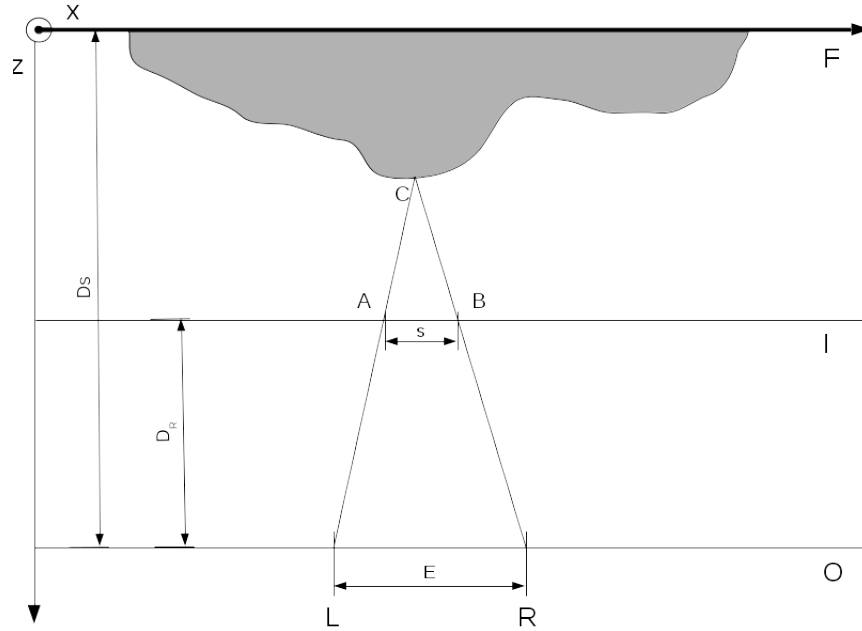
El proceso de creación de un autoestereograma toma como entrada la escena que presenta un mapa de profundidad¹. Siguiendo los lineamientos geométricos de la visión estereoscópica, la construcción de autoestereogramas codifica cada punto del mapa de profundidad gracias a la distancia horizontal o separación de un par de puntos con el mismo color en el autoestereograma. De este modo la separación entre un par de puntos con el mismo color está directamente relacionada con la profundidad a la cual se encuentra el punto del mapa de profundidad codificado a través de ellos.

Considérese la Fig 2.1 que esquematiza la vista superior de la observación de una escena $S(x, y)$, con $x = 1, 2, \dots, m$ y $y = 1, 2, \dots, n$, a través del plano transparente I .

El plano F , paralelo a los planos O e I , representa el infinito óptico de la escena, es decir los puntos más alejados del observador que se indican en el mapa de profundidad con el color negro. Los objetos de la escena están codificados por todos los puntos $S(x, y) > 0$. Un observador se ubica en el plano O separado por una distancia D_S y D_R de los planos F e I respectivamente, y sus ojos se ubican en L y R separados por la distancia interocular E .

¹Un mapa de profundidad es una imagen que contiene la información de la distancia a la cual se encuentran los objetos que componen el modelo o escena respecto de un punto de observación, la cual se codifica a través de la intensidad de la luz reflejada desde cada punto de los objetos que lo componen.

Figura 2.1: Esquema geométrico de la visión binocular. Vista superior de la observación de una escena a través de un plano transparente I



Sean los puntos $C = (x_c, y_c)$, con $1 \leq x_c \leq m$ y $1 \leq y_c \leq n$ y una intensidad de luz $S(x_c, y_c) = z_c$, y $A = (x_a, y_c)$ y $B = (x_b, y_c)$ los dos últimos en el plano I . Por semejanza entre los triángulos $\triangle LCR$ y $\triangle ACB$ la distancia \overline{AB} , llamada separación estéreo y notada como $\sigma(z_c)$, será

$$\sigma(z_c) = \overline{AB} = E - \frac{E \cdot D_r}{D_s - z_c} \quad (2.1)$$

Resultando entonces que los puntos A y B en el plano se relacionan a través de $\sigma(z_c)$ de acuerdo con

$$A = (x_a, y_c), B = (x_a + \sigma(z_c), y_c) \quad (2.2)$$

y juntos codifican el punto C del mapa de profundidad en el autoestereograma construido en el plano I

Una vez determinadas las relaciones que codifican todos los puntos C del mapa de profundidad en el plano I , a todos los puntos B en I les es asignado por la función f un elemento de W , el conjunto que contiene todos los posibles valores que pueden tomar los puntos del autoestereograma, de la siguiente forma:

$$f(B) = \begin{cases} f(A) & \text{si } A \text{ y } B \text{ están correlacionados} \\ g(B) & \text{si } B \text{ no está correlacionado con otro punto} \end{cases} \quad (2.3)$$

donde la función $g(B)$ asigna a B un elemento de W de acuerdo a un patrón definido o de manera aleatoria.

La forma en la cual se asignan los elementos a los puntos del autoestereograma y los elementos de W definen la tipología que se presenta en el cuadro 2.1.

Tabla 2.1: Tipos de Autoestereogramas

Tipo Autoestereograma	Elementos de W	Asignación
de puntos aleatorios (SIRDS)	Puntos	Aleatoria
de textura (SITS)	Puntos	Patrón predefinido
de texto aleatorio (SIRTS)	Caracteres ASCII	Aleatoria o Patrón

2.2. Paralaje por movimiento y el efecto de profundidad por movimiento

El paralaje por movimiento es una señal de profundidad resultado del balanceo horizontal de la cabeza del observador que provoca que los objetos más cercanos parezcan moverse rápidamente y en el sentido contrario al vaivén mientras que, en contraste, los cuerpos lejanos parecen hacerlo lentamente y en el mismo sentido del movimiento del observador [14]. A un nivel más detallado, los desplazamientos repetidos del observador provocan que los objetos de la escena sean vistos desde diferentes perspectivas simultáneamente de modo tal que los objetos sufren una elongación y distorsión en las imágenes retinianas [31]. La importancia del paralaje por movimiento radica en que puede suplir la ausencia de la disparidad binocular para que el observador perciba el volumen y la profundidad de la escena observada [31][32].

Apoyándose en el paralaje por movimiento se enuncia el principio de profundidad por movimiento, este sostiene que es posible provocar en un observador monocular la percepción de formas tridimensionales a partir del vaivén del observador o de la rotación de los objetos frente a un observador estático, ya que en ambos escenarios se provocan las mismas deformaciones en los objetos capturados en las imágenes retinianas [31]. Este efecto es perceptible con objetos sólidos y con puntos o líneas que perfilan objetos tridimensionales que se encuentran en movimiento [31][33].

2.3. Técnica propuesta

2.3.1. Contexto de la propuesta

El principal espacio que han encontrado los autoestereogramas es el entretenimiento, por lo que es común hallarlos en la prensa escrita y en libros donde son presentados como una curiosidad visual. En la academia se ha planteado su uso para la presentación de imágenes tridimensionales aprovechando la imposibilidad de algunas técnicas para funcionar en medios escritos y los requerimientos de otras como los anaglifos [34][35].

Otro uso común de los SIS está en el diagnóstico de problemas visuales relacionados con la capacidad estereoscópica del paciente [11]. Una área por explorar es la computación gráfica que, aunque ya se ha planteado el uso de los SIS [36] [37], no ha aprovechado el potencial de este tipo de imágenes.

La propuesta del uso de estereogramas de una imagen (*Single Image Stereogram*, SIS) para la presentación estereoscópica de información en muros de visualización está motivada por factores como su bajo costo de construcción, no tener un límite de dimensiones para la imagen construida [24] y no cumplir la regla de la constancia de profundidad [36], que en conjunto permiten que diferentes observadores tengan percepciones similares aún a pesar de su ubicación.

Sin embargo, los autoestereogramas cuentan con limitaciones que pueden dificultar su interpretación visual, algunas de ellas son:

- Imposibilidad de codificar información de color.
Los SIS se construyen a partir de mapas de profundidad en los cuales la distancia de un punto de la escena al observador es codificada en la imagen gracias a la tonalidad de un color, usualmente el gris. Por tanto, en los mapas de profundidad no se codifica la información de textura o color de los objetos de la escena, únicamente la distancia de estos respecto del observador lo que origina la limitación de los autoestereogramas para contener este tipo de información. Una propuesta para incluir en el autoestereograma la información de color de la escena es planteada en [38].
- Presencia de artefactos visuales.
Producto del proceso que codifica la escena en el autoestereograma es posible que puntos del SIS den origen a objetos que no están presentes en la imagen original que se denominan artefactos. Este fenómeno puede ocurrir por efecto propio del algoritmo o por mera probabilidad [13]. Para corregir este defecto, algoritmos como [13][39] han incluido procedimientos que reducen o eliminan la presencia de artefactos.
- Limitaciones visuales del observador.
Los autoestereogramas son una técnica estereoscópica de visión libre que requiere, como se mencionó en la sección 1.2.2, el desacople de los procesos de acomodación y convergencia para percibir la escena. Infortunadamente, exceptuando observadores con patologías del sistema visual, se estima que alrededor del 5% de la población es incapaz de separar el vínculo natural entre los procesos mencionados y, por consiguiente, de observar la escena codificada en los autoestereogramas [40]. De ahí que esta sea una de las principales limitaciones para el uso de los estereogramas de una imagen en la computación gráfica.

2.3.2. Características de la técnica

El método propuesto tiene por objetivo presentar escenas con información estereoscópica al usuario de un muro de visualización (construido con pantallas convencionales) de modo tal que el observador no necesite dispositivos visuales particulares para percibir la profundidad en la imagen desplegada. Por lo tanto, la técnica debe ser binocular, de visión libre y de bajo costo de operación.

Para el método propuesto se plantea el uso de autoestereogramas para codificar las escenas y la aplicación del efecto de profundidad por movimiento para presentarlos en el dispositivo de visualización. Por esta razón el método cuenta con dos fases:

1. Construcción de las escenas

Las escenas se codifican en autoestereogramas a partir del mapa de profundidad y del uso de una rutina computacional que construya el SIS con la mayor fidelidad posible a la escena original.

2. Presentación de las escenas

Como se mencionó anteriormente la necesidad de separar los procesos visuales de acomodación y convergencia constituye la principal limitación para la percepción de las escenas en los autoestereogramas y por tanto para su uso. Para superar esta restricción se propone el uso del efecto de profundidad por movimiento para el despliegue de las imágenes en la pantalla.

A continuación se desarrolla cada una de las etapas del método planteado.

Construcción de las escenas

En lo que a autoestereogramas se refiere es necesario seleccionar dos aspectos, en primer lugar el algoritmo computacional a utilizar y posteriormente el tipo de SIS a construir de acuerdo con la tabla 2.1. Para la construcción de autoestereogramas existen diferentes rutinas computacionales. El método seleccionado para esta técnica es el propuesto por Thimbleby en [13] ya que este se erige como un referente en la literatura académica, es pionero en la implementación de métodos para reducir la aparición de artefactos y constituye la piedra angular sobre la cual se construyen propuestas posteriores como las planteadas en [39], [41] y [16].

En el algoritmo 1 se presenta la rutina seleccionada.

Algorithm 1 Algoritmo de Thimbleby et al. para construir autoestereogramas [13]

```
1:  $m \leftarrow \frac{1}{3}$ 
2: Imagen  $\leftarrow$  leer(mapaProfundidad)
3: Imagen  $\leftarrow$  normalizar(Imagen)
4: for all  $y \leq MaxY$  do
5:   for all  $x \leq MaxX$  do
6:     restriccion[x]  $\leftarrow$  x
7:   end for
8:   for all  $x \leq MaxX$  do
9:      $s \leftarrow$  calcularSeparacion(Imagen[y][x])
10:    pixIzq  $\leftarrow$   $x - \frac{s}{2}$ 
11:    pixDer  $\leftarrow$  pixIzq + s
12:    if ( $0 \leq$  pixIzq) y ( $pixDer \leq MaxX$ ) then
13:      visible = HSR(Imagen[y][x])
14:      if (visible) then
15:        restriccion[pixIzq] = pixDer
16:      end if
17:    end if
18:  end for
19:  for ( $x = MaxX; x \geq 0; x - -$ ) do
20:    if (restriccion[x] = x) then
21:      SIRDS[y][x] = aleatorio(S)
22:    else
23:      SIRDS[y][x] = SIRDS[y][restriccion[x]]
24:    end if
25:  end for
26: end for
```

Las características diferenciales de este método computacional son:

1. Remoción de superficies ocluidas: las transiciones de la escena pueden provocar que más de dos puntos dentro del rango visible por el observador reconstruyan artefactos que no hacen parte del modelo original. Para corregir el fenómeno el algoritmo cuenta con la rutina HSR (*Hidden Surface Removal* que da mayor flexibilidad al algoritmo en la etapa de asignación de valores a los puntos del autoestereograma.
2. Compresión del mapa de profundidad: Para garantizar que todos los puntos del mapa de profundidad sean codificados en el autoestereograma y para facilitar el proceso de observación la escena es normalizada y comprimida entre el plano F y un plano ubicado a $\frac{1}{3}D_S$ con $D_S = 2D_R$. De esta forma el cálculo de la separación

de los puntos de redefine como:

$$\sigma(z_c) = E \cdot \frac{1 - (\frac{1}{3} \cdot \text{Imagen}[y][x])}{2 - (\frac{1}{3} \cdot \text{Imagen}[y][x])} \quad (2.4)$$

Una implementación en el lenguaje de programación C y una explicación detallada del algoritmo se encuentra en [13].

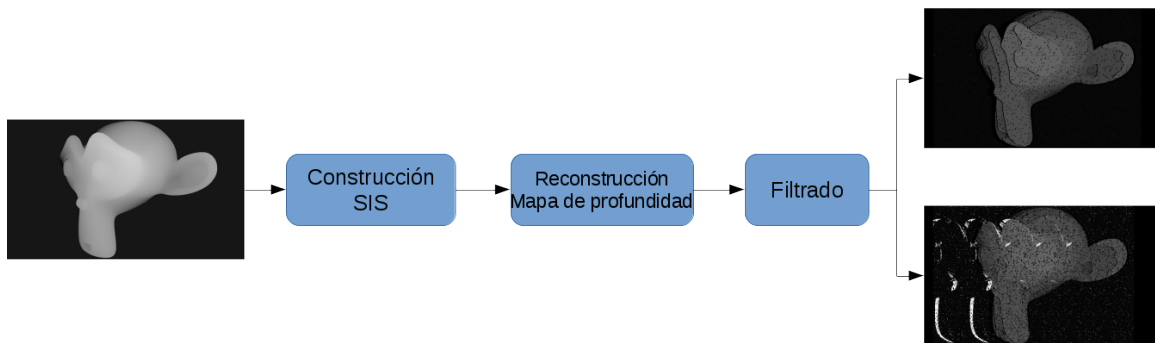
Definida la rutina de Thimbleby para la construcción de los autoestereogramas resta por determinar el tipo de patrón que resulta más conveniente para la técnica propuesta. Si bien es cierto que en la literatura se menciona que la tipología presentada en la tabla 2.1 solo se diferencia en la apariencia, y por tanto es un componente meramente artístico [11], se considera que el patrón utilizado en la construcción puede llegar a tener impacto en la percepción del observador y por esto resulta necesario definir un esquema que permita seleccionar la mejor alternativa para codificar las escenas.

A continuación se presentan dos aspectos a considerar para elegir el tipo de autoestereograma a utilizar:

1. Dado que la técnica debe funcionar en muros de visualización, se cuenta con imágenes de alta resolución.
2. Los autoestereogramas deben codificar la escena de la manera más fiel de acuerdo con criterios visuales.

Cuando se evalúan las consideraciones hechas, la primera observación conduce a descartar el uso de autoestereogramas de texto aleatorio (SIRTS) ya que tienden a expandir la imagen horizontal y verticalmente debido a que cada pixel de la imagen original es representado por una letra [42] por lo que su uso suele limitarse a la codificación de escenas de baja resolución [13]. Por tanto, para la selección del tipo de autoestereograma que resulta más idóneo para la técnica planteada se contrastarán los autoestereogramas de puntos aleatorios (*Single Image Random Dot Stereograms*, SIRDS) y los autoestereogramas de texturas (*Single Image Texture Stereograms*, SITS). Para este procedimiento se plantea el esquema de evaluación que se presenta en la figura 2.2.

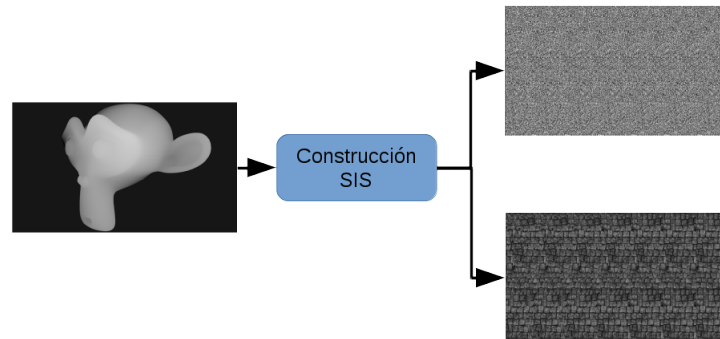
Figura 2.2: Procedimiento para la evaluación de estereogramas de una imagen



El procedimiento de comparación consta de tres etapas en las que la salida de cada una de ellas constituye la entrada de la fase inmediatamente posterior. A continuación se describe el proceso en mayor detalle.

1. Construcción del SIS

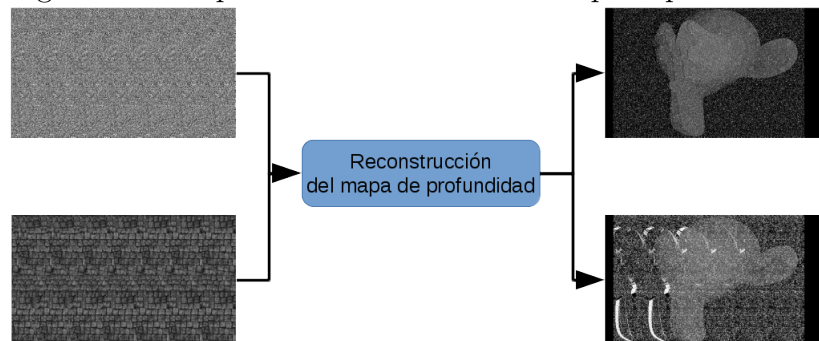
Figura 2.3: Etapa 1: Construcción de los autoestereogramas



Esta etapa, como muestra la figura 2.3, toma como entrada el mapa de profundidad y utiliza el algoritmo de Thimbleby para construir los autoestereogramas de puntos y de textura. Para el SITS se utiliza un patrón de 256×256 píxeles.

2. Reconstrucción del mapa de profundidad

Figura 2.4: Etapa 2: Reconstrucción del mapa de profundidad



La segunda fase del proceso de evaluación tiene como objetivo la reconstrucción del mapa de profundidad usado para crear los SIS. Como puede notarse en la figura 2.4 el SIRDS y SITS son entradas independientes y existe una salida para cada uno de ellos. En esta etapa la reconstrucción es ejecutada por el algoritmo 2 que está basado en la propuesta de Kimmel en [43] y emula el proceso ejecutado por el sistema visual humano para interpretar los autoestereogramas.

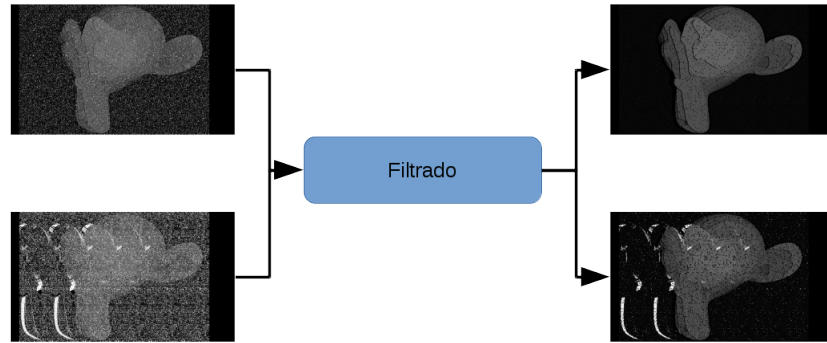
Algorithm 2 Algoritmo de Reconstrucción de mapas de profundidad

```
1: Imagen  $\leftarrow$  leer(autoestereograma)
2: n  $\leftarrow$  200
3: [mayorSeparacion, planoLejano]  $\leftarrow$  calcularPlanoLejano(imagen[0][:200])
4: for all  $y \leq MaxY$  do
5:   for all  $x \leq MaxX - mayorSeparacion$  do
6:     Z  $\leftarrow$  inicializarVector()
7:     for all  $\frac{mayorSeparacion}{2} \leq s \leq mayorSeparacion$  do
8:       if imagen[y][a] = imagen[y][a+s] then
9:         Z[i]  $\leftarrow$  s
10:        i = i + 1
11:       end if
12:     end for
13:     if i  $\neq$  0 then
14:       mapaProfundidad[y][a +  $\frac{s}{2}$ ]  $\leftarrow$  planoLejano - calcularPlano(min(Z))
15:     end if
16:   end for
17: end for
```

La rutina que se presenta en el algoritmo 2 aprovecha el hecho de que no es usual encontrar información de la escena en los primeros pixeles de la primera fila de la imagen y por tanto es poco probable que los colores asignados a estos pixeles sean producto de la codificación de alguno de los puntos de la escena, de allí el valor de $n = 200$. La función **calcularPlanoLejano**() utiliza el vector tomado de la imagen y determina la distancia a la cual se encuentra el plano lejano y la separación que lo codifica en el autoestereograma (*mayorSeparacion*). Posteriormente, para todos los puntos del SIS con el potencial de codificar un punto del mapa de profundidad se busca dentro de un rango acotado por *mayorSeparacion* y la mitad de este valor los pixeles que tienen asignado el mismo color y la distancia que los separa es almacenada en el vector Z . Si en Z se registra algún valor se toma el menor de ellos y se calcula la profundidad a la que se encuentra el plano que lo contiene con el procedimiento **calcularPlano**(); el valor calculado es restado del plano lejano y asignado al mapa de profundidad en $mapaProfundidad[y][x + \frac{s}{2}]$.

3. Filtrado de la imagen

Figura 2.5: Etapa 3: Filtrado y limpieza de la imagen



Dado que el algoritmo 2 reconstruye el mapa de profundidad punto a punto y no considera la vecindad de estos la imagen reconstruida presenta ruido tipo sal. Para contrarrestarlo en esta última etapa se construye un filtro espacial que elimina los puntos con alta intensidad de la imagen.

El esquema de evaluación propuesto en la figura 2.2 fue aplicado a un conjunto compuesto por ocho mapas de profundidad con diferentes formas. Los resultados obtenidos se presentan en las figuras 2.6 y 2.7.

Como puede notarse, tanto para los SIRDS como para los SITS la escena es codificada de manera aceptable en el autoestereograma, sin embargo, para todas las imágenes reconstruidas a partir de autoestereogramas de texturas se generan objetos que no están presentes en la escena original (artefactos) concluyéndose de este modo que los SITS son más propensos a la aparición de artefactos que los SIRDS.

Por tanto, se define que en la etapa de construcción de las escenas se deben construir autoestereogramas de puntos aleatorios usando el algoritmo de Thimbleby para codificar las escenas que se presentarán a los usuarios del muro de visualización.

Figura 2.6: Reconstrucción de mapas de profundidad a partir de estereogramas de una imagen aplicando el esquema propuesto. (a) Mapa de profundidad original. (b) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SIRDS (c) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SITS

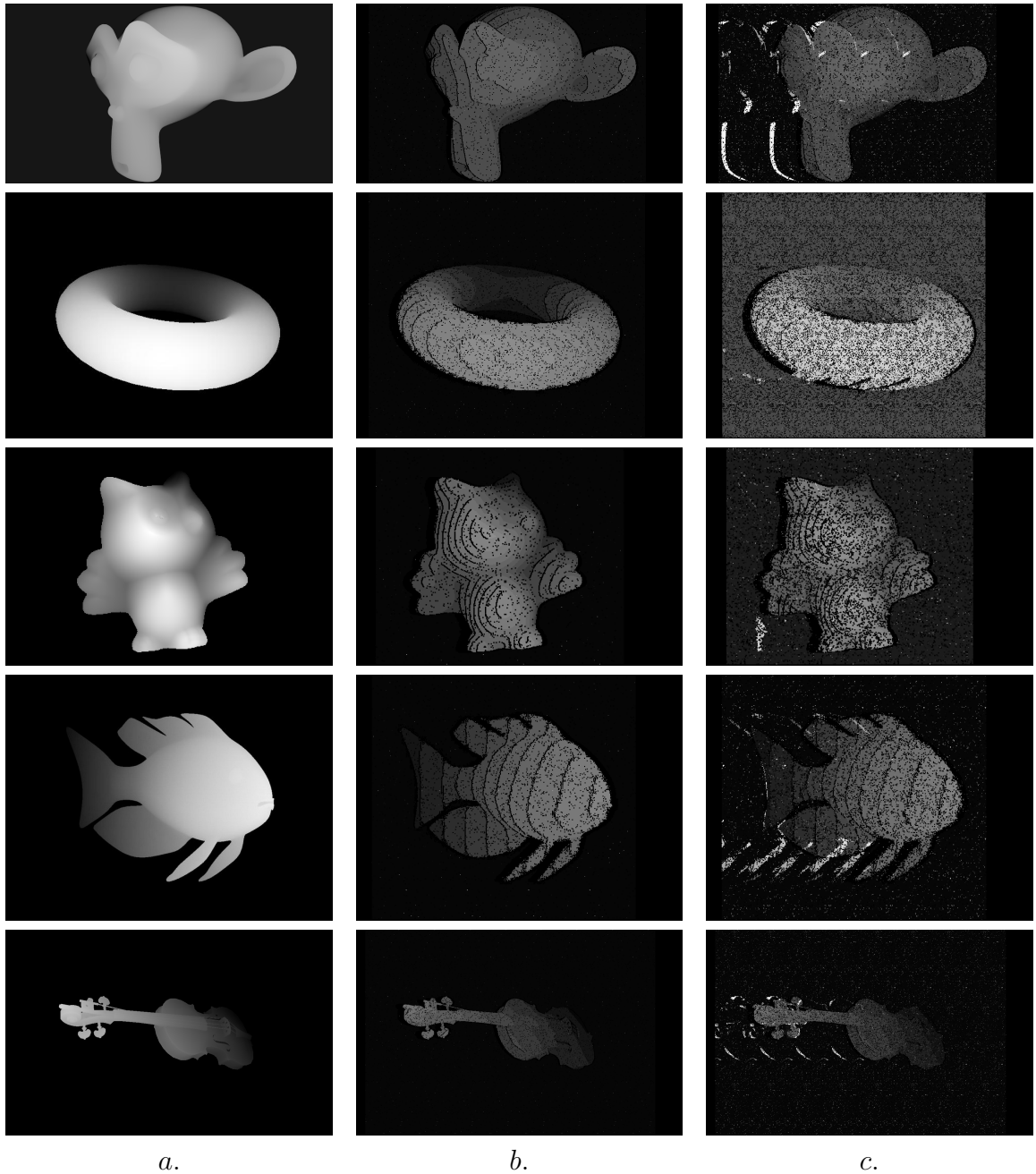
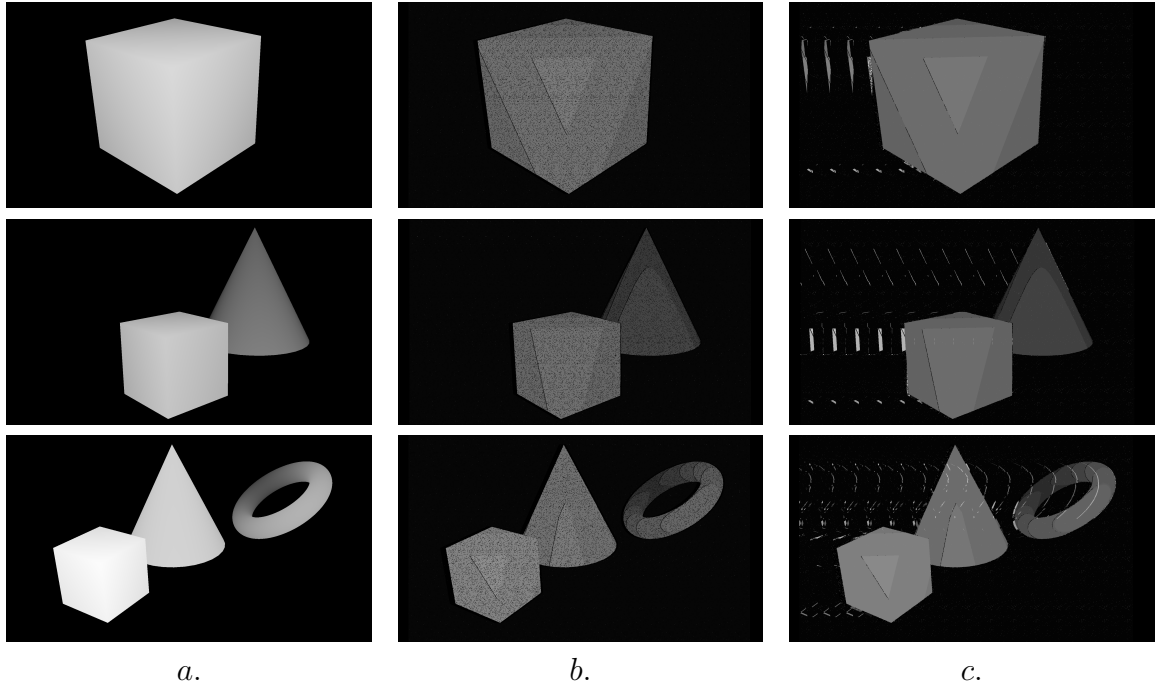


Figura 2.7: Reconstrucción de mapas de profundidad a partir de estereogramas de una imagen aplicando el esquema propuesto. (a) Mapa de profundidad original. (b) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SIRDS (c) Mapa de profundidad reconstruido a partir de un SITS



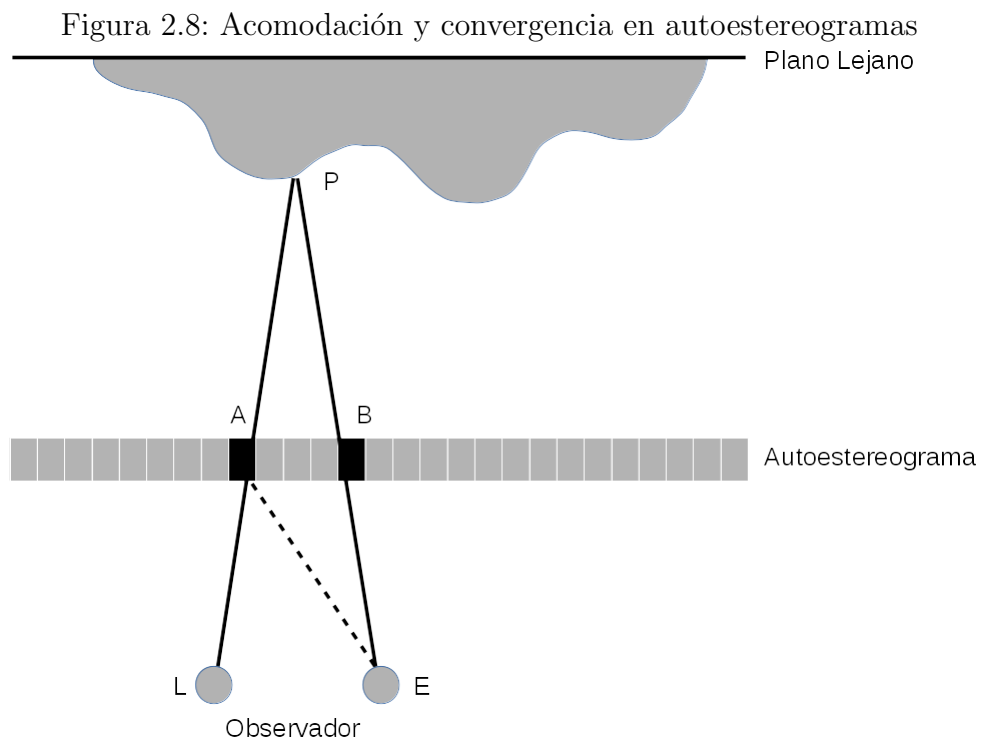
Presentación de las escenas

Para la presentación de las escenas codificadas en los autoestereogramas se propone el uso del efecto de profundidad por movimiento (*Kinetic Depth Effect*, KDE) con el objetivo de que el observador pueda percibir la información de profundidad codificada en el SIS sin la necesidad de desacoplar los procesos de acomodación y convergencia. Esta propuesta encuentra sustento en los resultados presentados en [32] que detallan el uso exitoso de este fenómeno visual de manera conjunta con estereogramas de puntos aleatorios.

En su forma tradicional el KDE ha sido comprobado con perfiles de objetos en rotación [31] o con la simulación de la rotación de los puntos que definen los perfiles de los objetos [33], es decir, el efecto de profundidad por movimiento presenta con un diferencial de tiempo al menos dos imágenes diferentes que se corresponden con dos instantes diferentes de una rotación. Sin embargo, en la técnica propuesta se plantea aprovechar el efecto de profundidad por movimiento para decodificar la escena del autoestereograma haciendo uso de solo una imagen.

Supóngase la figura 2.8 en la que se presentan los ojos de un observador, un autoestereograma y la superficie codificada en este. El punto P de la superficie es codificado en

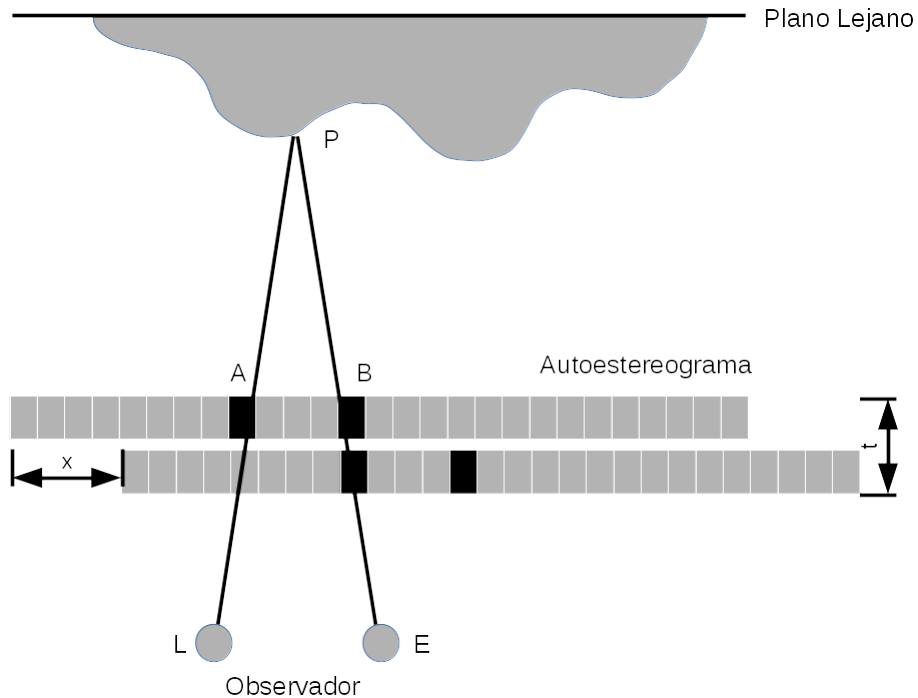
el autoestereograma gracias a los puntos A y B que comparten el mismo color. Cuando se observa un SIS la coordinación existente entre los procesos de acomodación y convergencia genera que, al estar la acomodación dada para el plano en el que se encuentra el autoestereograma, de manera natural la convergencia ocular ocurra en el mismo plano del SIS, como se muestra al observar el punto A en la figura 2.8. Sin embargo, si un observador desea ver el punto P codificado en el SIS gracias a A y B es necesario que la acomodación sea la adecuada para enfocar el plano del autoestereograma mientras que la convergencia debe ocurrir en el plano indicado por los puntos A y B , una vez logrado este proceso el observador puede desplazar la vista a través del autoestereograma y, gracias a leves variaciones de la acomodación, percibir los demás planos de la imagen. El desacople descrito es un proceso que requiere entrenamiento y que alrededor del 5% de la población no puede lograr.



Para eliminar esta limitación se propone, haciendo uso de los principios del KDE, desplegar en las pantallas, de manera alternada, el autoestereograma con un corrimiento horizontal x , como esquematiza la figura 2.9, de este modo el observador en el instante t_1 ve el punto A con el ojo izquierdo (L) y en el instante t_2 lo ve con el ojo derecho (R). Este proceso es análogo a la fijación de un plano de convergencia definido por el valor de x . De esta manera, se compensa la convergencia visual y, al ser la visión paralela la forma natural de ver, el proceso de acomodación está en libertad para percibir en profundidad los planos que componen la escena codificada en el autoestereograma. Por

tanto la imagen codificada en el SIS se hace visible sin necesidad de desvincular la convergencia y la acomodación de manera explícita.

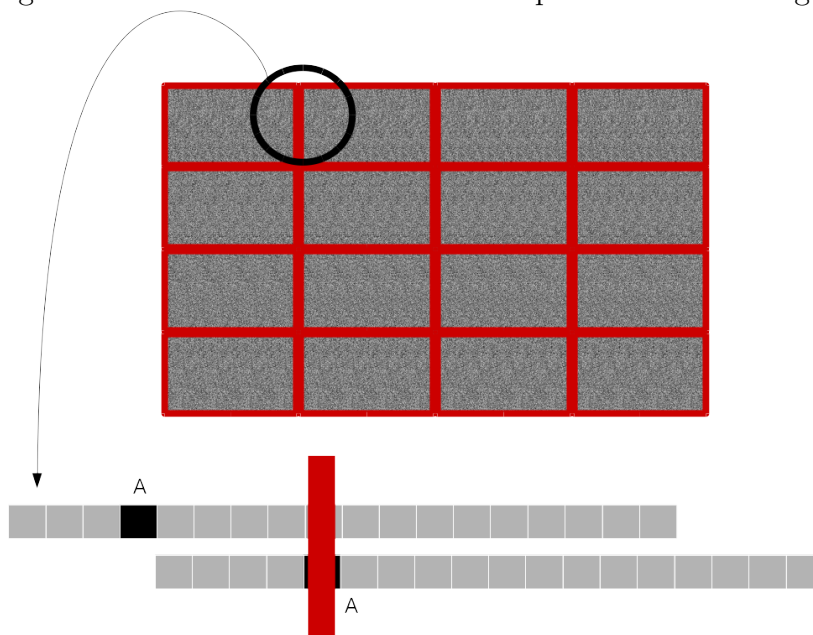
Figura 2.9: Efecto de profundidad por movimiento aplicado a la presentación de autoestereogramas



Los muros de visualización están compuestos por dos elementos, las unidades de proyección que se disponen en forma de mosaico y las unidades de control que se encargan de la coordinación de los procesos y el procesamiento de la información[44]. Un efecto indeseable en los muros de visualización es el efecto mosaico resultado de los bisel de los monitores que componen la pantalla de proyección ya que causan discontinuidades que pueden afectar la percepción de escena presentada [45].

Al desplegar una imagen o un video en un muro de visualización la distribución de la gráfica en las pantallas es realizada por las unidades de control. El software de gestión ofrece comunmente dos opciones para lidiar con el problema de los bordes de los monitores, la primera de ella consiste en ignorarlos y permitir que elementos de la imagen sean ocluidos por el bisel. La segunda opción contempla una deformación lateral en la imagen que garantiza que la imagen en su integridad sea siempre visible. Para la presentación de las imágenes en el método se elegirá el primer enfoque ya que la deformación lateral del autoestereograma puede alterar la relación geométrica existente entre sus puntos.

Figura 2.10: Efecto de los biseles de las pantallas en la imagen



El principal problema que supone el enfoque seleccionado supone el riesgo de perder secciones de la imagen y que esto limite la percepción de la imagen como se presenta en la figura 2.10.

Capítulo 3

INSTRUMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA PROPUESTA

3.1. Diseño factorial propuesto

3.1.1. Problema

La presentación de escenarios con información estereoscópica ha mostrado un mayor impacto visual y ventajas relacionadas con procesos operativos, en comparación con lo ocurrido al exhibir escenas planas o estereográficas [3][25]. De manera similar los muros de visualización cuentan con un conjunto de virtudes y características que los convierten en una buena alternativa para la presentación de información a múltiples observadores. Lo anterior lleva a pensar que disponer de un muro de visualización con capacidades estereoscópicas constituye una ventaja para la comunicación e interpretación de información común en procesos de divulgación (científica y comercial) y análisis visual.

Existen diferentes enfoques para construir un muro de visualización con estas características, sin embargo estos requieren que el observador utilice dispositivos visuales especiales, pantallas con características particulares o incluso ambos escenarios simultáneamente haciéndolos inviables en algunos contextos; de allí que se plantee un método alternativo para la presentación de información estereoscópica en muros de visualización.

La técnica propuesta es autoestereoscópica, de bajo costo y se vale de autoestereogramas de puntos aleatorios para presentar la información gráfica. Desafortunadamente este adiestramiento requiere tiempo del observador y esto no garantiza la percepción de la escena ya que, descontando personas con patologías del sistema visual que impiden la estereopsis, alrededor del 5% de la población no puede percibir la información codificada en un autoestereograma [40]. Por tanto, adicional al uso de los SIRDS, se propone emplear el efecto de profundidad por movimiento (*Kinetic Depth Effect*, KDE) para la presentación de las imágenes. El KDE ha sido probado exitosamente con sombras

proyectadas de objetos sólidos, perfiles de puntos de objetos y con estereogramas de puntos aleatorios aunque [31] [33] no se halló en la literatura algún reporte de su uso de manera conjunta con autoestereogramas por cuanto se desconoce una configuración efectiva para la presentación de estas imágenes en un muro de visualización compuesto de pantallas individuales. Por tanto se propone un diseño factorial de dos factores con tres niveles para cada uno ellos (2×3) que evalúe la efectividad de la técnica propuesta.

3.1.2. Hipótesis

El uso del efecto de profundidad por movimiento para la presentación de autoestereogramas de puntos aleatorios desencadena la estereopsis en un observador de un muro de visualización sin desacoplar los procesos visuales de convergencia y acomodación.

3.1.3. Diseño del tratamiento

Los factores asociados al efecto de profundidad por movimiento definidos para el experimento son:

- **Tasa de presentación**

Hace referencia la cantidad de imágenes que serán presentadas al observador por unidad de tiempo. Para el caso del experimento la unidad de tiempo escogida es el segundo [s], de allí que el factor sea medido en unidades de fotogramas por segundo [fps].

Los niveles definidos para el factor en el experimento son:

1. 10 fps: límite inferior para la percepción de movimiento [46].
2. 24 fps: formato estándar de reproducción fílmica [47].
3. 48 fps: formato en fase de prueba para reproducción fílmica [48].

- **Desplazamiento horizontal de fotogramas**

Factor que señala la distancia horizontal medida en píxeles [px] entre los extremos laterales izquierdo de dos fotogramas consecutivos. Este parámetro define el plano visual fijado al observar la secuencia de autoestereogramas. Los valores que definen el plano de enfoque dependen de los parámetros usados para la construcción del autoestereograma. Para el caso en consideración se usaron los siguientes parámetros:

- Resolución: 96 píxeles por pulgada
- Distancia interocular: $E = 2.5$ pulgadas
- Factor de compresión del mapa de profundidad: $\mu = \frac{1}{3}$

Los niveles escogidos para el experimento son:

- 96 píxeles: se fija el plano del autoestereograma más cercano al observador.

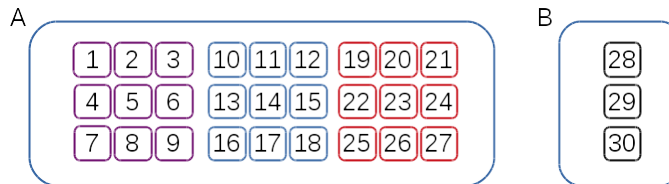
- 120 pixeles: se fija el plano lejano del autoestereograma.
- 240 pixeles: se fija un plano posterior al plano lejano del autoestereograma autoestereograma.

El arreglo factorial del diseño del tratamiento consiste en la combinación de los tres niveles para cada uno de los dos factores en consideración.

3.1.4. Diseño experimental

La combinación de los dos factores bajo consideración da como resultado nueve tratamientos. Se construyeron tres escenas y se obtuvo el mapa de profundidad para cada una de ellas. Cada mapa de profundidad fue codificado en un autoestereograma de puntos aleatorios haciendo uso del algoritmo de Thimbleby et al presentado en la sección 2.3.2. Tanto escenas como mapas de profundidad y autoestereogramas construidos se presentan en el anexo 5.2. Para cada uno de los tratamientos del experimento se construyeron tres videos uno por cada SIRDS. En total se obtuvieron 27 videos, cada uno de 30 segundos, que constituyeron los estímulos presentados a los observadores. Adicionalmente se codificó en un autoestereograma una escena sin objetos y se construyeron tres estímulos adicionales de control. En total se contó con un conjunto de treinta videos distribuidos como muestra la figura 3.1.

Figura 3.1: Agrupación de los estímulos del experimento



La población de observadores se dividió en cinco grupos con la misma cantidad de miembros. Se tomaron cinco combinaciones sin repetición al azar de los elementos del conjunto A y los tres del conjunto B para formar el subconjunto de estímulos que se presentó a cada cada grupo. Los dos elementos restantes de A se designaron a dos grupos como reemplazo de uno de los estímulos de control. Tanto los grupos como el estímulo reemplazado se seleccionaron aleatoriamente. El orden de presentación de los estímulos fue definido también al azar.

Protocolo del experimento

1. **Presentación del experimento:** La persona encargada de conducir el experimento se presenta y da una breve explicación de la finalidad del mismo.
2. **Prueba piloto:** Se selecciona al azar un video que no esté en la configuración que le corresponde al grupo para familiarizar al observador con el estímulo y el instrumento de medición.

3. **Presentación del estímulo:** Siguiendo el ordenamiento definido previamente se presenta a los observadores un estímulo.
4. **Registro de percepción:** Una vez finalizada la presentación del video se reparte el instrumento de registro. Esto se hace posterior a la estimulación con el fin de evitar sesgar al observador.

3.2. Diseño del instrumento de medición

Al evaluar la respuesta de un observador a la presentación de un estímulo estereoscópico existen dos aspectos a considerar, la percepción de profundidad propiamente dicha y la calidad de dicha percepción. La percepción de profundidad hace referencia a la habilidad de entender la configuración de los elementos que componen la escena mientras que la calidad de la percepción se enfoca en las características de la percepción en comparación con la experiencia real [49]. En este experimento el interés se centró exclusivamente en evaluar la existencia o no de estereopsis como resultado de la aplicación de la técnica propuesta.

Se le denomina percepción a la sensación interior resultante de la aprehensión hecha por los sentidos de un estímulo externo [50] y por tanto se caracteriza por ser subjetiva lo que obliga a cuestionar directamente al observador por su experiencia individual. En correspondencia con estudios desarrollados previamente como [49] y [2] se optó por encuestar a los observadores por su experiencia sensorial diseñando un cuestionario que se adaptase a las características del experimento y del objeto medido.

Siguiendo las observaciones dadas en [51] se diseñó un cuestionario autoadministrado con tres preguntas cerradas, dos de ellas dicotómicas y una de selección múltiple con única respuesta. Uno de los cuestionarios se presenta en la figura 3.2

Figura 3.2: Instrumento para el registro de la percepción de profundidad. Las casillas G, E y O en la parte superior derecha identifican al grupo, el estímulo y el identificador del observador encuestado respectivamente

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS	Edad	G	E	O
			1	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado? SI NO

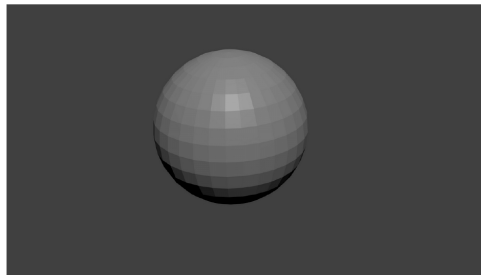
En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

2. ¿La escena percibida es tridimensional? SI NO

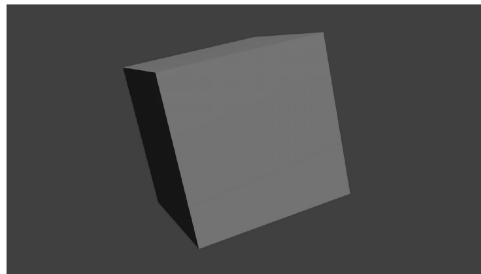
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

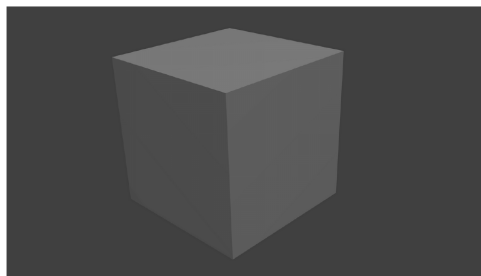
A



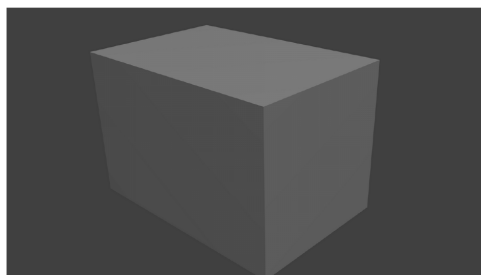
B



C



D



El cuestionario pregunta por tres aspectos de la experiencia del observador los cuales se relacionan en la tabla 3.1 con la pregunta propuesta y el tipo de la misma.

Tabla 3.1: Preguntas del instrumento

Aspecto eva- luado	Pregunta	Tipo de pre- gunta
Existencia de percepción visual	¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?	Dicotómica
Característica de la percepción	¿La escena percibida es tridimensional?	Dicotómica
Correspondencia de la percepción con el estímulo	Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E	Selección múltiple

Para el diseño de la pregunta número tres, que compara la escena percibida por el observador con la codificada en el estímulo, se presentaron cuatro imágenes a manera de opciones, tres de ellas con los mismos elementos que componen la escena original pero ubicadas en posiciones ligeramente diferentes. Los cuestionarios que indagan por una misma escena tienen las mismas gráficas pero el orden de las mismas varía de acuerdo al tratamiento bajo evaluación. Los instrumentos usados en el experimento están recopilados en el anexo 5.2.

Capítulo 4

ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO

4.1. Ficha Técnica

- **Objetivo**

Determinar una configuración de los factores que desencadena la percepción de profundidad en el usuario de un muro de visualización.

- **Características de la muestra**

Se seleccionó al azar un conjunto de 25 personas entre hombres y mujeres con un promedio de edad de 24 años (rango entre 17 y 33 años de edad) que manifestaron no tener problemas visuales que afecten su agudeza estereoscópica.

- **Características técnicas del muro de visualización**

Unidad de Visualización: Arreglo de 3×4 monitores LG 55WV70 de 55 pulgadas con tecnología IPS (LED BLU), resolución nativa de 1920×1080 Full HD y ancho de bisel de 3.4 mm (izquierda/arriba) y 1.9 mm (derecha/abajo).

- **Técnica**

Encuesta, solución de un cuestionario de manera individual.

- **Metodología**

Los observadores seleccionados desconocían inicialmente la naturaleza del experimento. Antes del experimento se les pregunta individualmente por sus experiencias con el cine 3D para confirmar que cuentan con una agudeza estereoscópica aceptable, en caso de no contar con ella se le excluye del estudio. El experimento se ejecuta siguiendo el protocolo establecido.

- **Responsable**

Jonnathan Alfredo Ramos Chaux, estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Industrial de Santander.

4.2. Resultados

4.2.1. Análisis de sensibilidad y especificidad

Para garantizar la fiabilidad de los resultados dentro del diseño experimental se incluyeron elementos de control que se asociaron con la existencia o no de una percepción visual. Los datos obtenidos de los videos de control, en los cuales se codificó una escena sin elementos, y los estímulos correspondientes a los tratamientos experimentales se resumen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Registro de las percepciones visuales de la población encuestada

Percepción de Escena	Tipo de video	
	Estímulo	Control
Si	130	6
No	5	59

Para este caso se consideraron como verdaderos positivos aquellos registros que, ante un estímulo, el observador reportó percibir una escena sin considerarse la tridimensionalidad o la correspondencia de esta con el estímulo. Del mismo modo, se consideró como un verdadero negativo a los reportes que indicaron no percibir una escena cuando se le presentó al observador un video de control.

A partir de los datos presentados en la tabla 4.1 se calcularon la sensibilidad y la especificidad del instrumento de registro obteniéndose:

$$Sensibilidad = \frac{130}{130 + 5} = 0.96296 \quad (4.1)$$

$$Especificidad = \frac{59}{59 + 6} = 0.90769 \quad (4.2)$$

4.2.2. Efecto de los factores en la percepción de profundidad

Una vez evaluada la validez del instrumento de registro el paso a seguir es analizar los resultados obtenidos al presentar a los observadores la técnica propuesta en el proyecto. Como se discutió en la sección 3.2, la encuesta pregunta por tres aspectos:

- Existencia de la percepción
- Característica de la percepción
- Correspondencia de la percepción con el estímulo

Para considerar la percepción del observador como exitosa¹ producto de la estimulación es necesario que el encuestado manifieste haber visto una imagen tridimensional y que

¹Se entiende por percepción exitosa el hecho de que el observador experimente el fenómeno de la estereopsis al presentarle estímulos creados con el método planteado.

ella corresponda con la escena que le fue presentada, en caso contrario se considera como fracaso. La tabla 4.2 presenta las proporciones de percepciones exitosas en la población encuestada para cada uno de los tratamientos del experimento ejecutado.

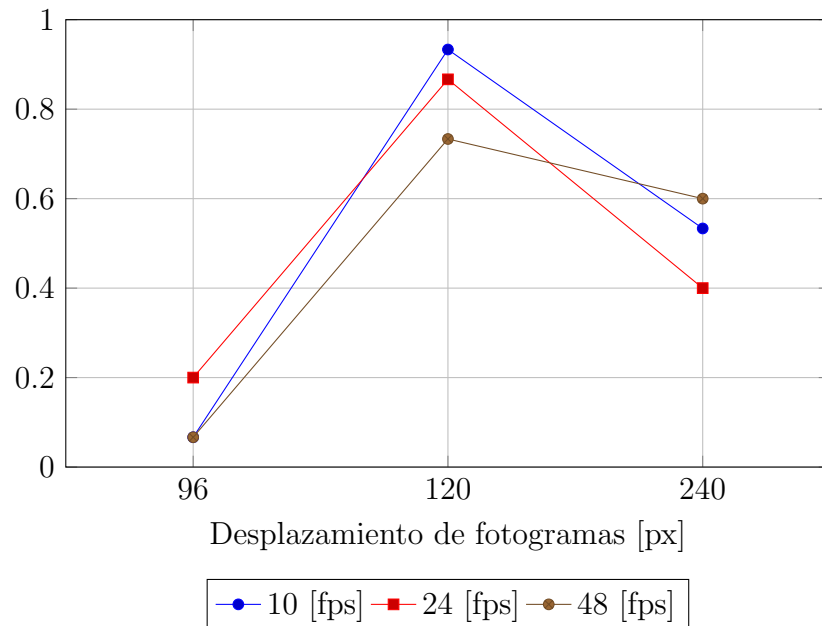
Tabla 4.2: Caracterización de la técnica propuesta

Separación horizontal de fotogramas	Tasa de presentación		
	10 [fps]	24 [fps]	48 [fps]
96 [px]	0.0667	0.2	0.0667
120 [px]	0.9333	0.8667	0.7333
240 [px]	0.5333	0.4	0.6

Incidencia de la separación de los fotogramas

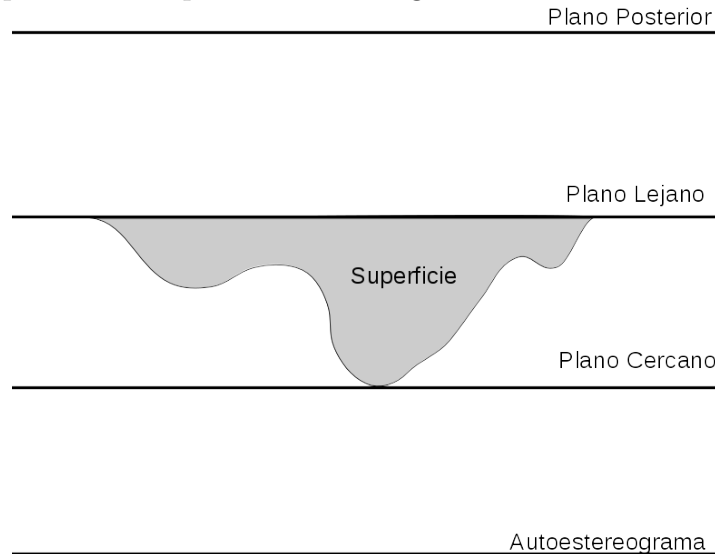
Como se expuso en la sección 2.3.2, la separación horizontal entre un par de fotogramas consecutivos define el plano en el cual ocurre la convergencia ocular. Con el experimento propuesto se evaluó la percepción estereoscópica de los observadores para tres planos específicos: el plano cercano, definido por una separación horizontal de 96 pixeles; el plano lejano, fijado por un valor de separación de 120 pixeles y un plano que se encuentra tras el plano lejano y al que se le denominó plano posterior que es determinado por un valor de 240 pixeles en el factor en consideración. La figura 4.1 presenta el impacto que tiene la separación horizontal de los fotogramas en la percepción de profundidad para los tres niveles de la tasa de presentación.

Figura 4.1: Efecto de la separación de los frames sobre la percepción de profundidad



Como se evidencia en la gráfica, la separación horizontal 120 píxeles entre los fotogramas permite percibir de mejor manera la escena para las tres tasas de presentación en consideración, es decir, de los tres planos considerados la mejor opción es fijar el plano lejano del autoestereograma. Este comportamiento de la percepción se debe a la región del espacio visible para cada uno de los casos. El área visible para cada uno de los casos está acotada por el plano en el que se encuentra el autoestereograma y aquel en el que ocurre la convergencia. Si se considera la figura 4.2, puede notarse que para el valor de 96 píxeles no existirá ninguna porción del objeto dentro del rango visible, por lo que la escena percibida por los observadores estará formada exclusivamente por los elementos de la imagen que alcancen este plano. Para los valores de 120 px y 240 px toda la escena codificada es visible, sin embargo para la convergencia en el plano posterior aparece el fenómeno denominado falsa fusión que puede ocasionar una percepción errónea de la imagen codificada en el SIS[13].

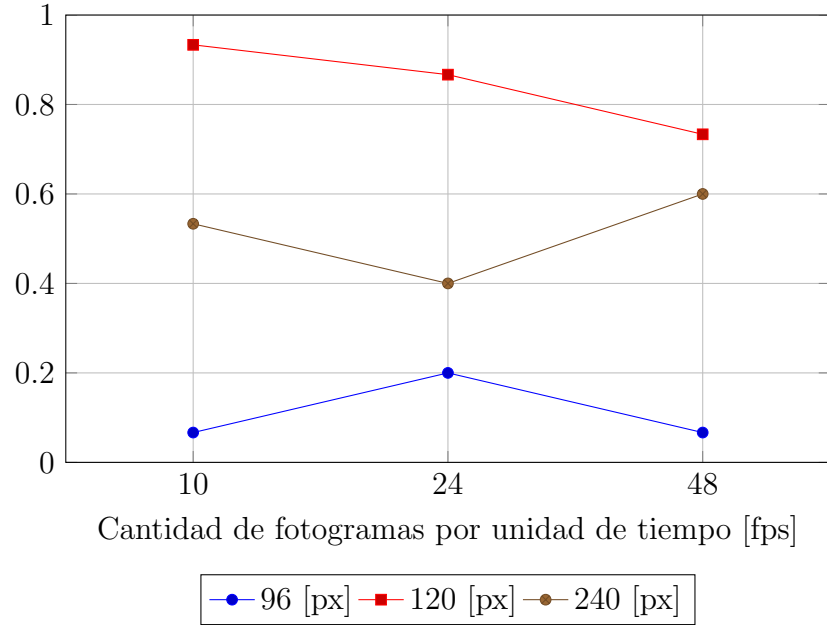
Figura 4.2: Esquema de los planos de convergencia considerados en el experimento



Incidencia de la tasa de presentación

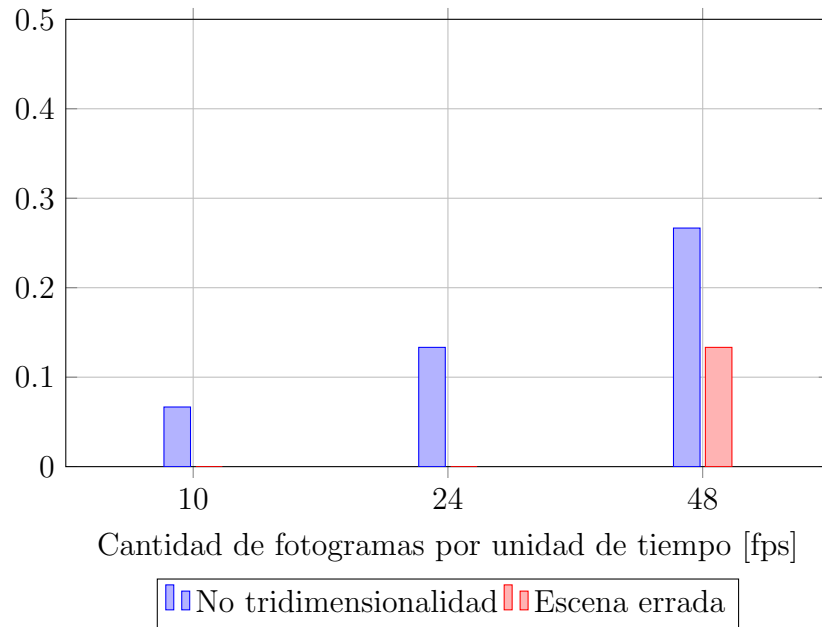
El segundo factor en consideración es la tasa de presentación de cada uno de los estímulos. La figura 4.3 presenta la manera en la cual el número de imágenes presentadas por segundos afecta la percepción de los observadores para tres planos de enfoque diferentes.

Figura 4.3: Efecto de la cantidad de fotogramas sobre la percepción de profundidad



Resulta evidente que la mayor proporción de observadores que perciben profundidad se alcanza para una separación de fotogramas de 120 píxeles. Para esta configuración el punto máximo de observadores que desarrollan estereopsis se alcanza cuando se presentan 10 fotogramas por segundo. Este resultado es inesperado ya que se consideraba que al contar con un movimiento más fluido, producto del incremento en el número de fotogramas, la percepción de la escena podría mejorar. Sin embargo se evidencia un comportamiento contrario a esta suposición. Una posible explicación a este fenómeno se encuentra en la persistencia del sistema visual; cuando de movimiento se trata una mayor cantidad de imágenes da mayor fluidez ya que se hace menos perceptible el cambio entre fotogramas[52]. Sin embargo, una característica de los autoestereogramas es que tanto los objetos de la escena como el fondo tienen el mismo patrón gráfico y al tener un movimiento más fluido la escena puede fusionarse con el fondo dificultando su percepción.

Figura 4.4: Ocurrencia de los factores que desencadenan una percepción calificada como fracaso para una separación de 120[px]



La observación hecha encuentra sustento en la figura 4.4. Como puede notarse, el incremento del número de fotogramas por segundo disminuye la percepción de tridimensionalidad de la escena y para el máximo valor considerado (48 [fps]) además de tener el mayor número de percepciones que el observador señala carecen de profundidad se empieza a registrar la percepción de escenas que no corresponden con el estímulo presentado.

Por tanto se concluye que la técnica propuesta resulta efectiva para el 93 % de la muestra siempre que se presenten autoestereogramas de puntos aleatorios fijando el plano de convergencia en el plano lejano del autoestereogramas, que para el experimento este corresponde a una separación de 120 px, con una tasa de diez fotogramas por segundo.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

En este trabajo se exploró el uso de los autoestereogramas como una herramienta para la presentación de imágenes con contenido estereoscópico a los usuarios de un muro de visualización. Como resultado de esta tarea se propuso una técnica que apela al uso del efecto de profundidad por movimiento para sustituir el desacoplamiento de los procesos visuales, acomodación y convergencia, requerido para percibir en profundidad la escena codificada en el autoestereograma.

Al evaluar el método planteado se pudo comprobar que el efecto de profundidad por movimiento puede compensar de manera efectiva el rompimiento de la coordinación natural existente entre los procesos mencionados y por tanto su uso de manera conjunta con autoestereogramas de puntos aleatorios permite la exhibición eficaz de imágenes estáticas con información de profundidad estereoscópica a los observadores de un muro de visualización sin que el efecto de mosaico perturbe la percepción de profundidad o la legibilidad de la imagen para arreglos de monitores con un bisel de 2.7 mm.

Como resultado del trabajo realizado también se puede concluir que el efecto de profundidad por movimiento, cuando se aplica de manera conjunta con autoestereogramas, solo requiere de una imagen siempre que la separación horizontal existente entre dos fotogramas consecutivos haga coincidir el plano de enfoque con el plano lejano del autoestereograma y que la cantidad de imágenes presentadas por segundo al observador sea de diez.

En el marco de desarrollo del proyecto se obtuvieron los siguientes productos académicos:

- Codirección del proyecto de grado titulado “Mecanismos de implementación de autoestereogramas en arquitecturas escalables” [53].
- Participación como autor del poster titulado “Implementation mechanisms of autostereograms in scalable architectures” presentado en la GPU Technology Conference del año 2015 [54].

- Ponencia titulada “Los Autoestereogramas como Alternativa para la Visualización de Información: Impacto de un Algoritmo en la Escena Codificada”. Ponencia aprobada para el 11 Congreso Colombiano de Computación a realizarse en la ciudad de Popayán - Colombia entre el 28 - 30 de Septiembre de 2016.

5.2. Trabajos Futuros

Como parte de la evolución de la propuesta hecha se recomienda explorar la efectividad de la técnica propuesta en arreglos de monitores que cuenten con un efecto de mosaico más marcado que el de la configuración utilizada. Del mismo modo, se recomienda explorar el uso de autoestereogramas de manera conjunta con el efecto de profundidad por movimiento para la presentación de secuencias de video que incluyan movimiento de los objetos en la escena.

Bibliografía

- [1] Z. Jaroszewicz, “Psychophysiology of 3d vision: short (hi)story of random dot autostereograms,” in *Proc. SPIE 4515, Light and Optics in Biomedicine, 202*, 2001.
- [2] W. A. IJsselsteijn, H. de Ridder, and J. Vliegen, “Subjective evaluation of stereoscopic images: effects of camera parameters and display duration,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 10, pp. 225–233, Mar 2000.
- [3] C. N. de Boer, R. Verleur, A. Heuvelman, and I. Heynderickx, “Added value of an autostereoscopic multiview 3-d display for advertising in a public environment,” *Displays*, vol. 31, no. 1, pp. 1 – 8, 2010.
- [4] S. Winkler, “Characteristics of human vision,” in *Perceptual Digital Imaging: Methods and Applications* (L. Rastislav, ed.), ch. 1, pp. 1–35, CRC Press, 1 ed., Octubre 2012.
- [5] J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*. CRC Press, 6 ed., 2011.
- [6] H. Ishikawa, N. Ikeda, S. Kanno, T. Ikeda, O. Mimuraand, and M. Dezawa, “Vision,” in *Handbook of Physics in Medicine and Biology* (S. Robert, ed.), ch. 10, pp. 1–20, CRC Press, 1 ed., Abril 2010.
- [7] M. C. Puell Marín, *Óptica Fisiológica: el sistema óptico del ojo y la visión binocular*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2006.
- [8] M. Mehrabi, E. Peek, B. Wuensche, and C. Lutteroth, “Making 3d work: A classification of visual depth cues, 3d display technologies and their applications,” in *AUIC '13 Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference*, pp. 91–100, Australian Computer Society, 2013.
- [9] T. Okoshi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*. Academic Press, Inc., 1976.
- [10] J. Hong, Y. Kim, H.-J. Choi, J. Hahn, J.-H. Park, H. Kim, S.-W. Min, N. Chen, and B. Lee, “Three-dimensional display technologies of recent interest: principles, status, and issues [invited],” *Applied optics*, vol. 50, no. 34, pp. H87–H115, 2011.

- [11] T.-w. Yu, *A study on autostereogram: stereopsis and generation techniques*. PhD thesis, University of Honk Kong, 1999.
- [12] W. Pimienta and L. P. Santos, “A comprehensive taxonomy for three-dimensional displays,” in *WSCG 2012 Communications Proceedings* (V. Skala, ed.), vol. 1, pp. 139 – 146, June 2012.
- [13] H. W. Thimbleby, S. Inglis, and W. I. H., “Displaying 3d images: Algorithms for single-image random-dot stereograms,” *Computer*, vol. 27, no. 10, pp. 38–48, 1994.
- [14] C. R. Ponce and R. T. Born, “Stereopsis,” *Current Biology*, vol. 18, no. 18, pp. R845–R850, 2008.
- [15] S. Reichelt, R. Haussler, G. Futterer, and N. Leister, “Depth cues in human visual perception and their realization in 3d displays,” in *Proc. SPIE 7690, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010 and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics IV, 76900B*, Mayo 2010.
- [16] T. M. Son, K. Fazekas, and A. Gschwindt, “The presentation of three-dimensional objects with single image stereogram,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, pp. 955–961, Oct. 2002.
- [17] C. Perez Vega, J. M. Zamanillo Sainz de la Maza, and M. Casanueva Lopez, *Sistemas de telecomunicacion*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria, 2007.
- [18] D. Minoli, *3D television (3DTV) technology, systems, and deployment : rolling out the infrastructure for next-generation entertainment*. CRC Press, 2011.
- [19] H. Urey, K. V. Chellappan, E. Erden, and P. Surman, “State of the Art in Stereoscopic and Autostereoscopic Displays,” in *Proceedings of the IEEE*, pp. 540–555, IEEE, Abril 2011.
- [20] I. Ideses and L. Yaroslavsky, “Three methods that improve the visual quality of colour anaglyphs,” *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 2005.
- [21] R. Ostnes, V. Abbott, and S. Lavender, “Visualisation techniques: an overview-part 2,” *Hydrographic Journal*, pp. 3–10, 2004.
- [22] B. Julesz, “Binocular depth perception without familiarity cues,” *Science*, vol. 145, no. 3630, pp. 356–362, 1964.
- [23] J. Ninio, “The science and craft of autostereograms,” *Spatial vision*, vol. 21, no. 1, pp. 185–200, 2007.
- [24] C. W. Tyler and M. B. Clarke, “Autostereogram,” in *SC-DL tentative*, pp. 182–197, International Society for Optics and Photonics, 1990.

- [25] J. P. McIntire, P. R. Havig, and E. E. Geiselman, “What is 3d good for? a review of human performance on stereoscopic 3d displays,” vol. 8383, pp. 83830X–83830X–13, 2012.
- [26] D. Riaño, L. Martinez, L. Torres, L. Bautista, C. Barrios, and L. Nunez, “Laboratorio de visualizacion de alta resolucion basado en arquitecturas escalables,” in *Contribuciones al Cómputo de Alto Desempeno de Latinoamérica, anos 2012 y 2013*, 2012.
- [27] Texas Motor Speedway, “Big hoss tv.” <http://www.texasmotorspeedway.com/experience/business-opportunities/big-hoss-tv>, 2016. Accedido: 2016-07-01.
- [28] CineMassive Displays, “Las Vegas 100 Screen Video Wall — Case Study.” <https://www.cinemassive.com/video-wall-solutions/digital-signage-video-wall/case-studies/las-vegas-100-screen-video-wall/>, 2015. Accedido: 2016-07-01.
- [29] NAS Division - NASA, “High-end computing capability - Visualization System: Hyperwall.” http://www.nas.nasa.gov/hecc/resources/viz_systems.html, Junio 2015. Accedido: 2016-07-01.
- [30] Texas Advanced Computing Center, The University of Texas at Austin, “Visualization laboratory.” <https://www.tacc.utexas.edu/vislab>, 2014. Accedido: 2016-07-01.
- [31] H. Wallach and D. O’connell, “The kinetic depth effect.,” *Journal of experimental psychology*, vol. 45, no. 4, p. 205, 1953.
- [32] B. Rogers and M. Graham, “Motion parallax as an independent cue for depth perception,” *Perception*, vol. 8, no. 2, pp. 125–134, 1979.
- [33] J. S. Lappin, J. F. Doner, and B. L. Kottas, “Minimal conditions for the visual detection of structure and motion in three dimensions,” *Science*, vol. 209, no. 4457, pp. 717–719, 1980.
- [34] M. Hallett and E. Pettit, “The use of single image random dot stereograms for presenting 3d microscopic confocal images,” *Journal of Microscopy*, vol. 186, no. 3, pp. 275–278, 1997.
- [35] A. Katrusiak, “Crystallographic autostereograms,” *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, vol. 19, no. 3, pp. 363–367, 2001.
- [36] P. Bishop, “Can random-dot stereograms serve as a model for the perception of depth in relation to real three-dimensional objects?,” *Vision research*, vol. 36, no. 10, pp. 1473–1477, 1996.

- [37] J.-F. Colonna, “Are autostereograms useful for computer graphics and scientific visualization,” *The Visual Computer*, vol. 11, no. 7, pp. 390–396, 1995.
- [38] Y. Tsuda, Y. Yue, and T. Nishita, “Construction of autostereograms taking into account object colors and its applications for steganography,” in *Cyberworlds, 2008 International Conference on*, pp. 16–23, IEEE, 2008.
- [39] M. S. Lau and C. Kwong, “Analysis of echoes in single-image random-dot stereograms,” in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP ’01). 2001 IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 1677–1680 vol.3, 2001.
- [40] W. Richards, “Stereopsis and stereoblindness,” *Experimental Brain Research*, vol. 10, no. 4, pp. 380–388, 1970.
- [41] B. T. Yu and W. W. Yu, “Single-image random-dot stereogram by crosstalk,” in *Proc. SPIE*, vol. 3168, pp. 115–122, 1997.
- [42] T. M. Son, G. Marosi, and A. Gschwindt, “Case study of autostereoscopic image based on sirds algorithm,” *Periodica Polytechnica Electrical Engineering*, vol. 45, no. 2, pp. 119–138, 2001.
- [43] R. Kimmel, “3d shape reconstruction from autostereograms and stereo,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 13, no. 1, pp. 324–333, 2002.
- [44] H. Nguyen, D. Abramson, B. Bethwaite, M. N. Dinh, C. Enticott, S. Garic, A. Russell, S. Firth, I. Harper, M. Lackmann, *et al.*, “Integrating scientific workflows and large tiled display walls: Bridging the visualization divide,” in *Parallel Processing Workshops (ICPPW), 2011 40th International Conference on*, pp. 308–316, IEEE, 2011.
- [45] A. Ebert, S. Thelen, P.-S. Olech, J. Meyer, and H. Hagen, “Tiled++: An enhanced tiled hi-res display wall,” *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 1, pp. 120–132, 2010.
- [46] P. Read and M.-P. Meyer, *Restoration of Motion Picture Film*. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2000.
- [47] A. Shepherd, *Pro Tools for Video, Film and Multimedia*. CENGAGE Learning, 2 ed., 2008.
- [48] B. Mamer, *Film Production Technique: Creating the Accomplished Image*. Cengage Learning, 6 ed., 2013.
- [49] P. Lebreton, A. Raake, M. Barkowsky, and P. L. Callet, “Evaluating depth perception of 3d stereoscopic videos,” *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 6, pp. 710–720, Oct 2012.

- [50] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*. 2014.
- [51] J. Hurtado de Barrera, *Metodología de Investigación Holística*. Fundación SYPAL, 2000.
- [52] K. Malkiewicz and M. D. Mullen, *Cinematography*. Simon & Schuster, 2005.
- [53] J. Argüello and W. Hernandez, “Mecanismo de implementación de autoestereogramas en arquitecturas escalables.” Proyecto de pregrado para optar por el título en Ingeniería de Sistemas, 2015.
- [54] J. Argüello, W. Hernandez, J. Ramos, and C. Barrios, “Implementation mechanisms of autostereograms in scalable architectures,” in *GPU Technology Conference*, 2015.

Anexos

Anexo A: Instrumentos

Edad	G	E	O
		1	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

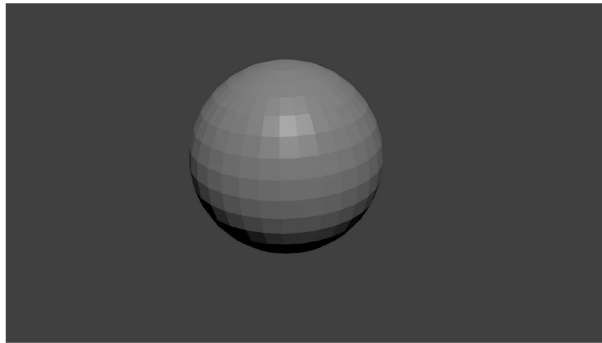
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

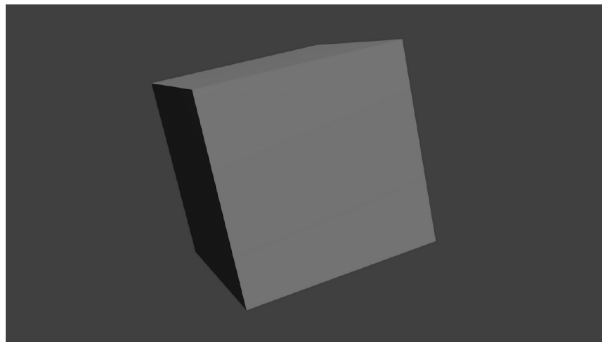
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

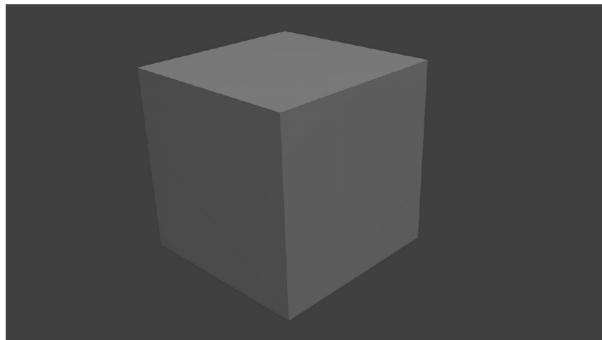
A



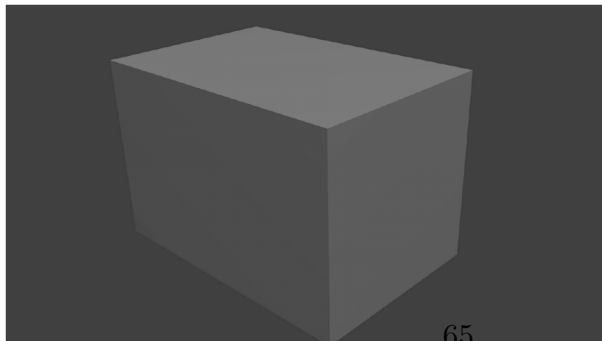
B



C



D



Edad	G	E	O
		2	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

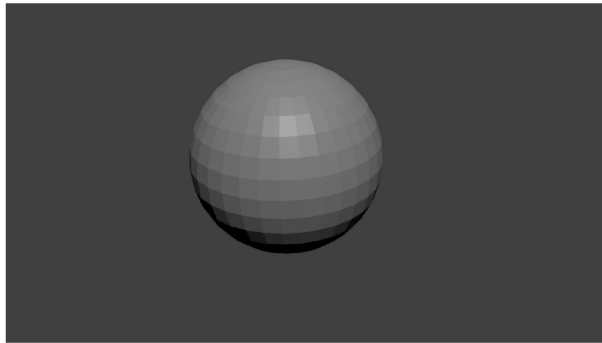
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

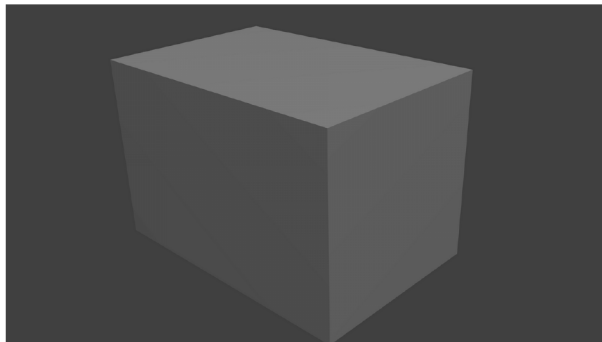
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

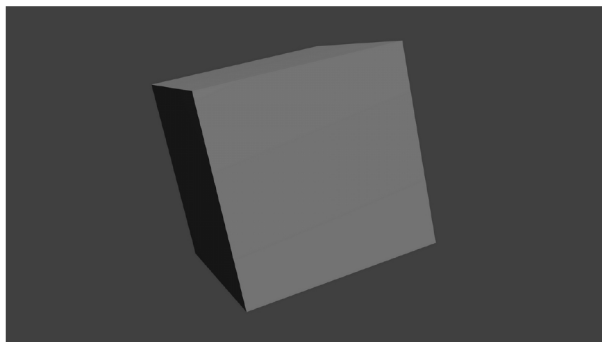
A



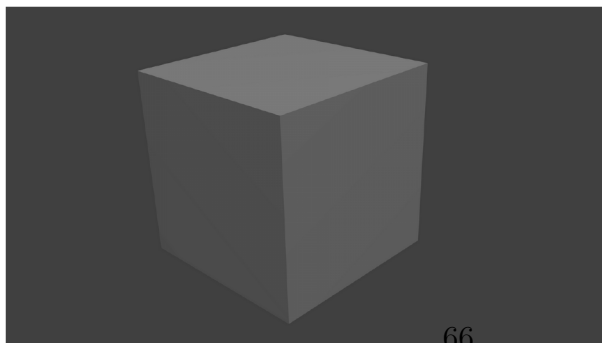
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			3	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

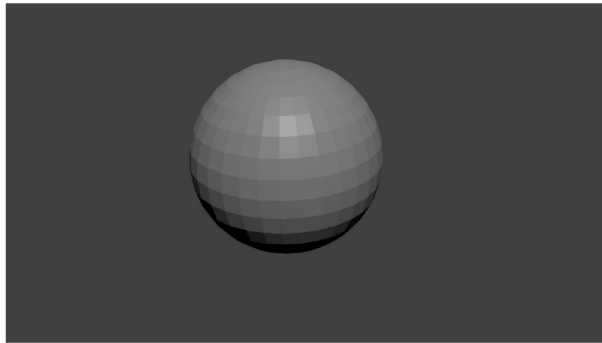
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

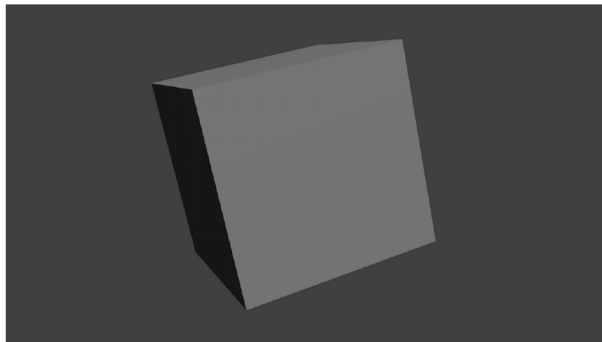
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

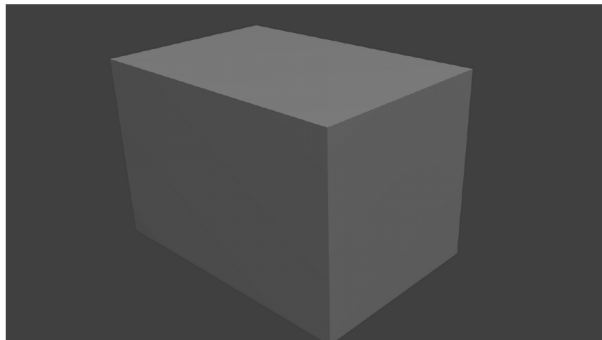
A



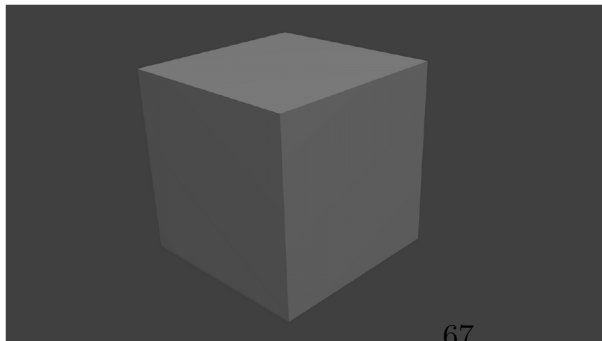
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			4	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

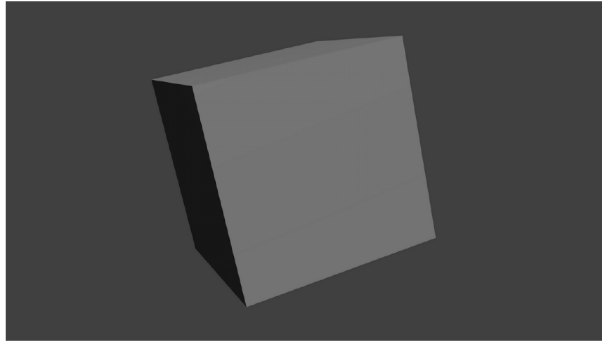
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

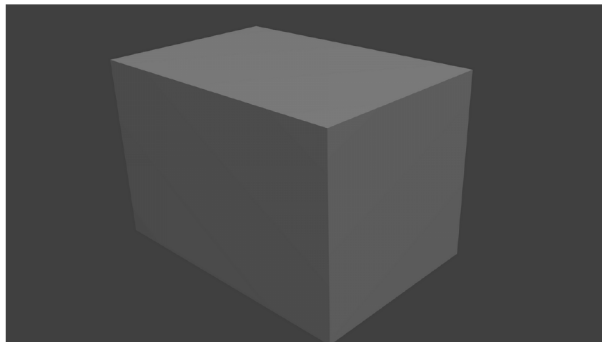
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

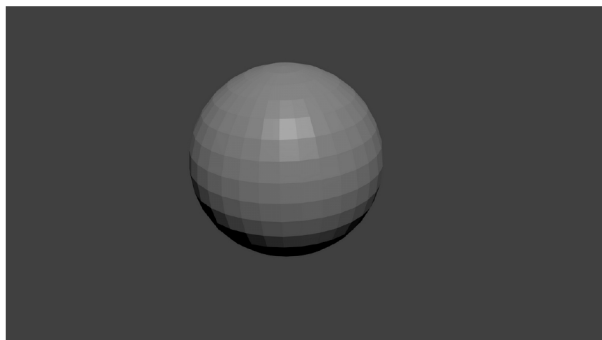
A



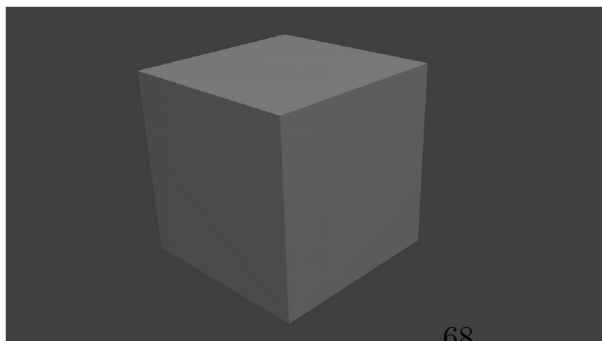
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			5	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

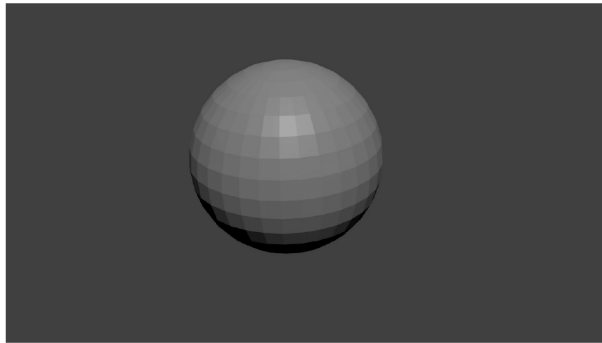
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

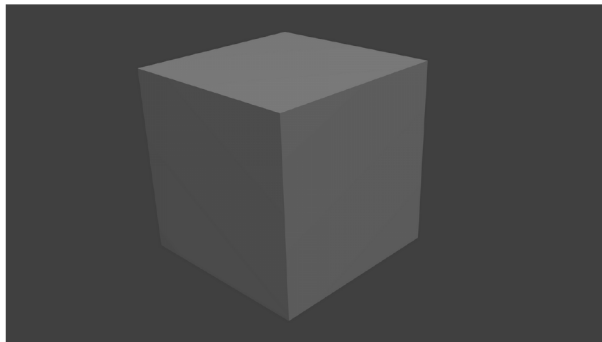
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

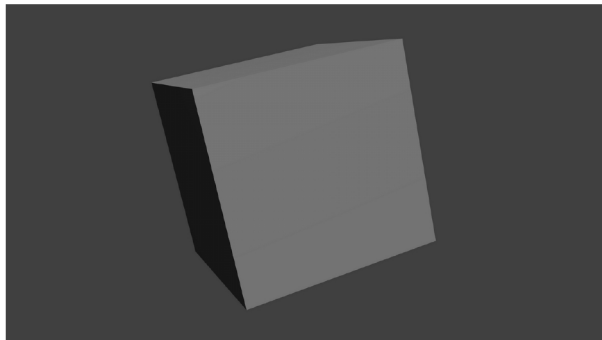
A



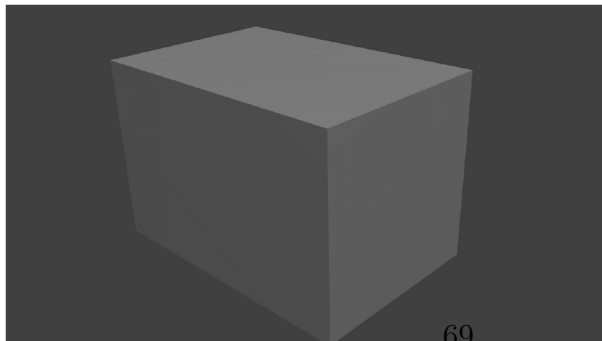
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			6	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

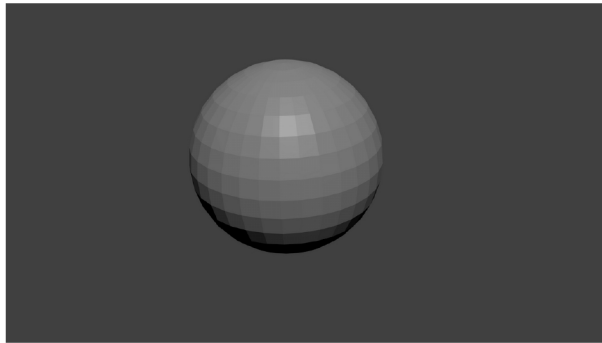
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

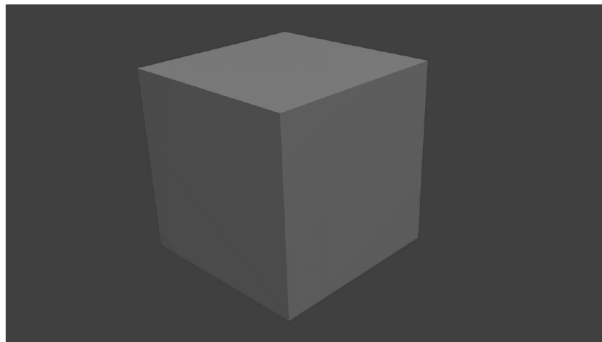
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

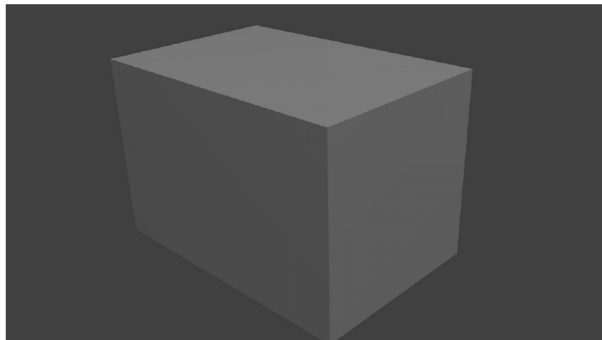
A



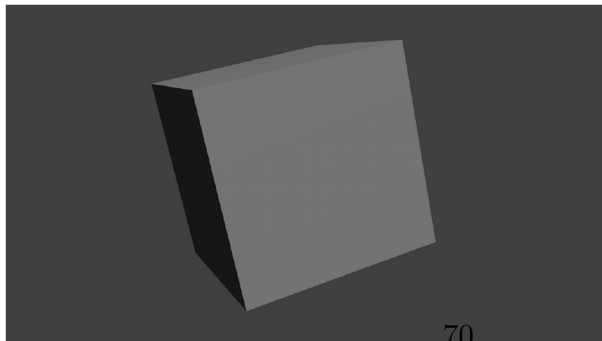
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			7	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

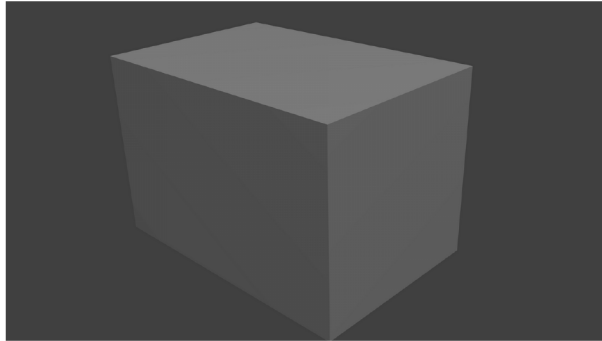
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

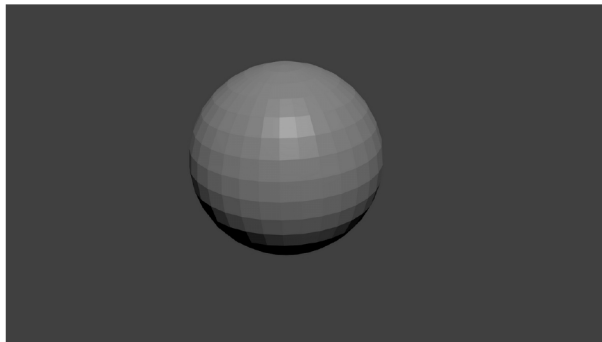
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

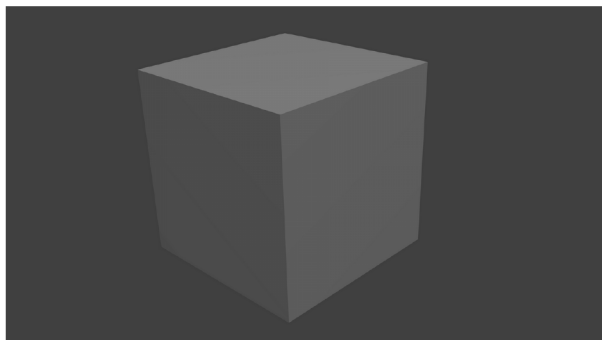
A



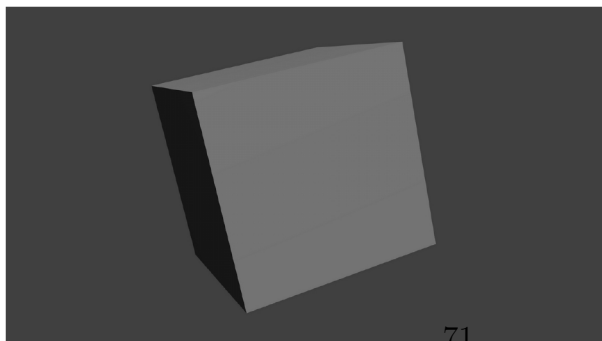
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			8	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

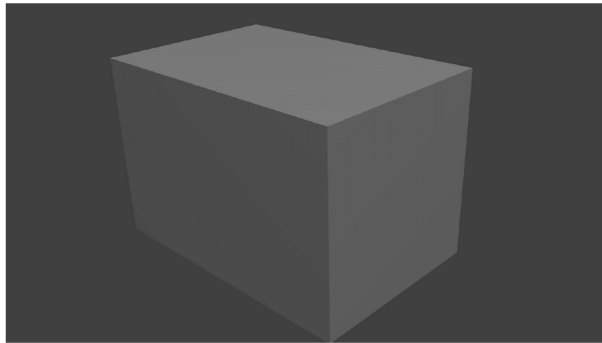
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

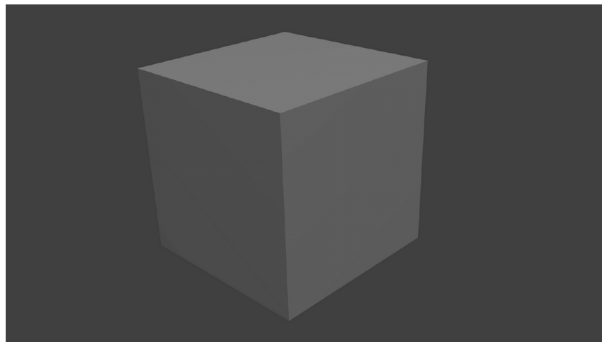
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

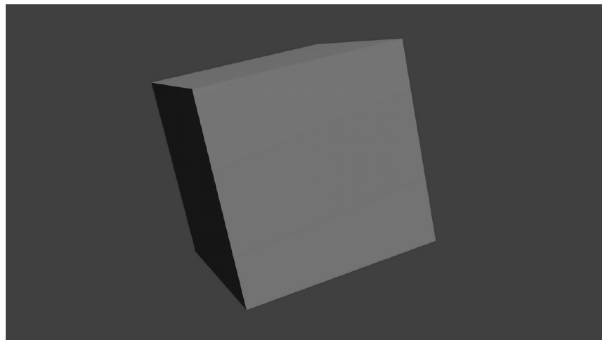
A



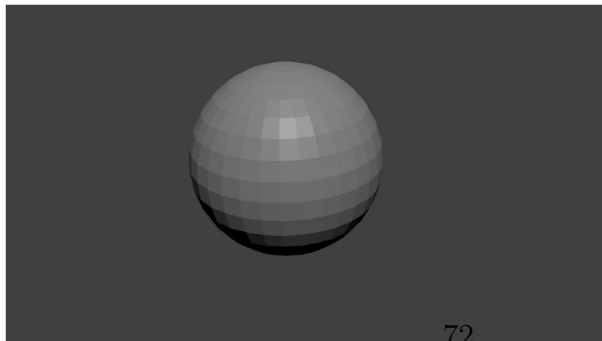
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			9	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

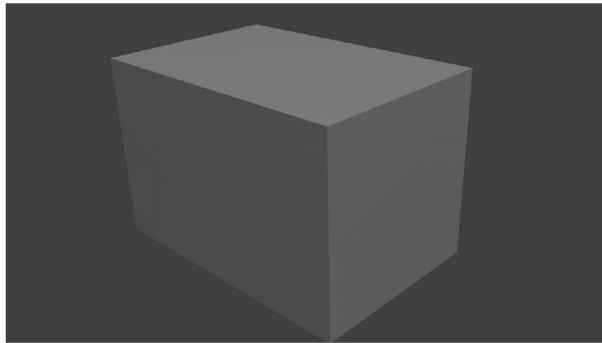
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

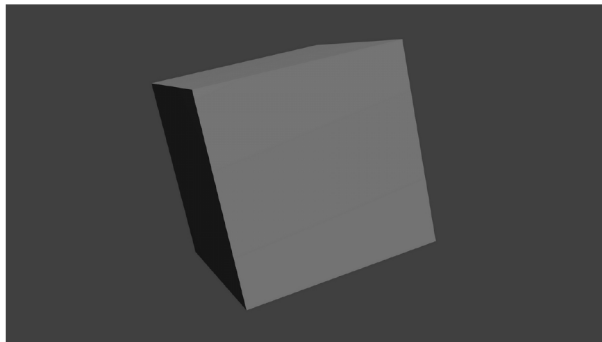
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

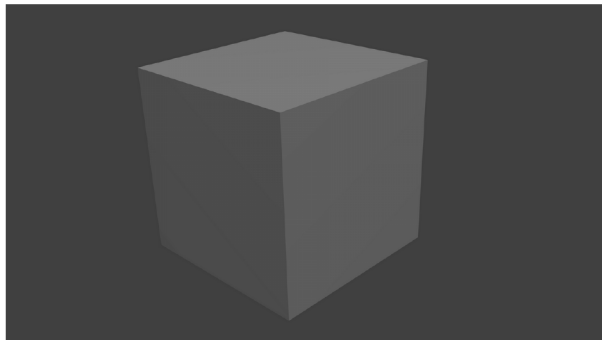
A



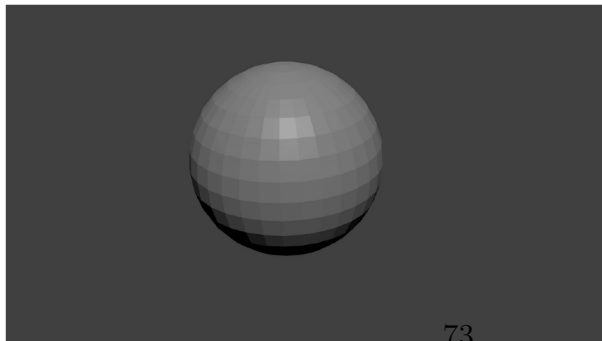
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			10	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

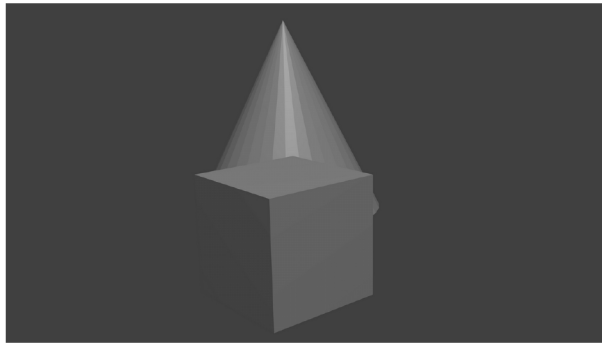
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

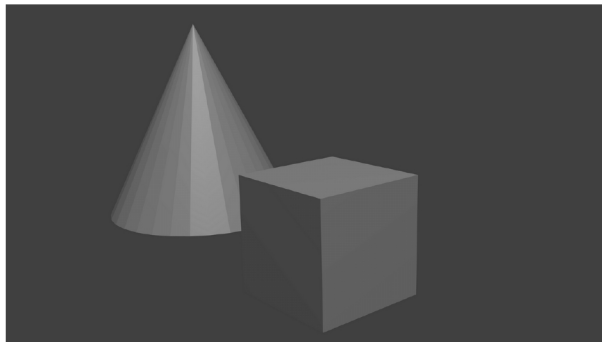
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

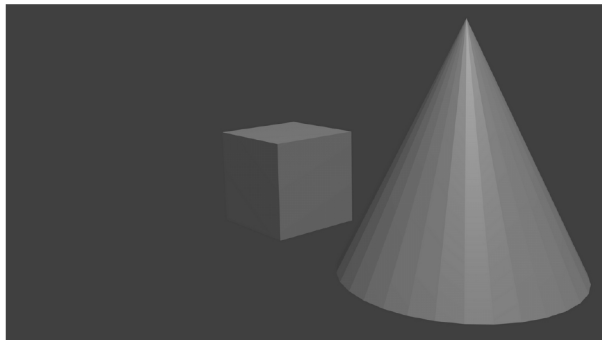
A



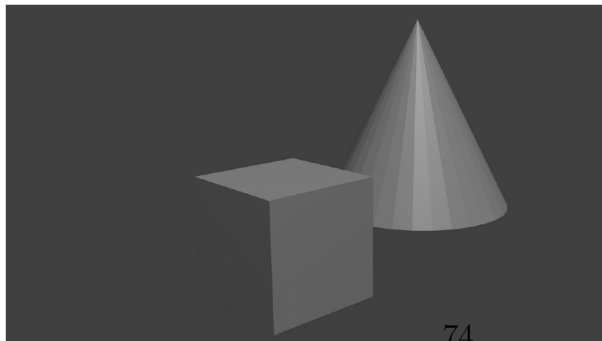
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			11	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

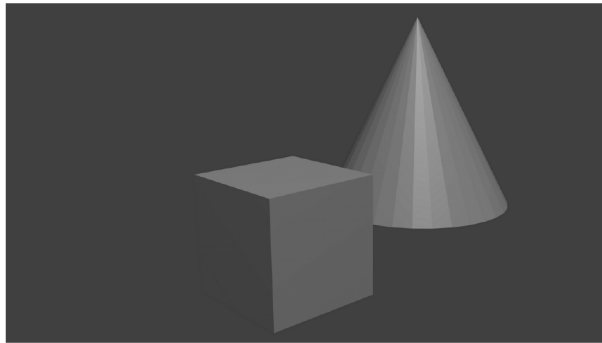
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

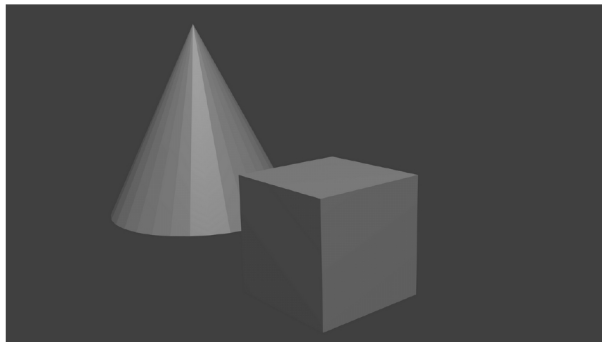
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

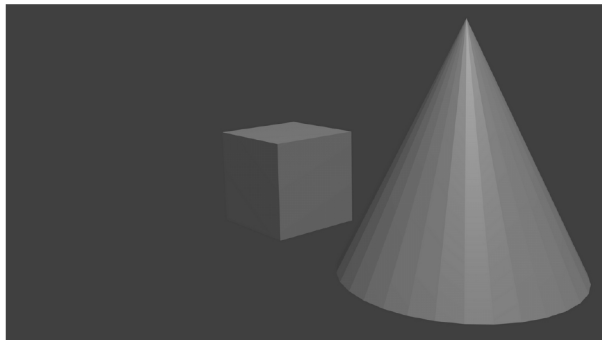
A



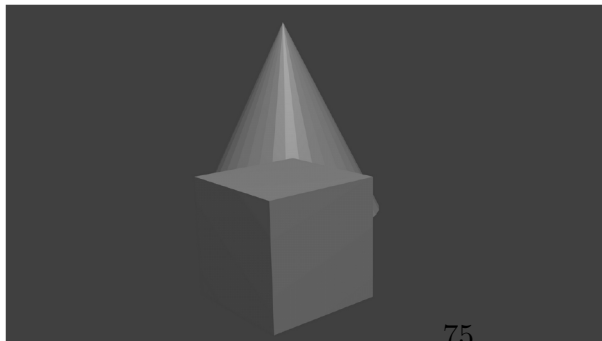
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			12	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

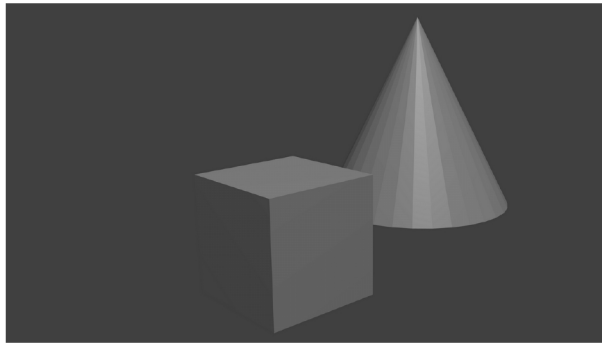
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

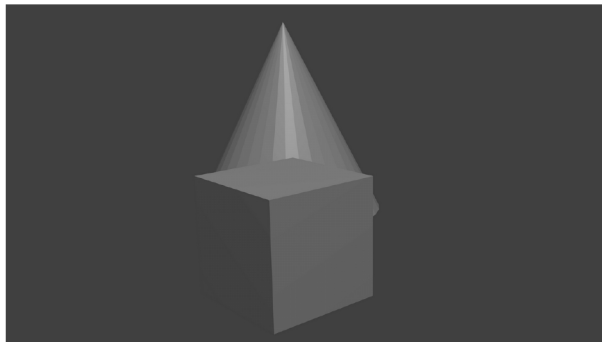
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

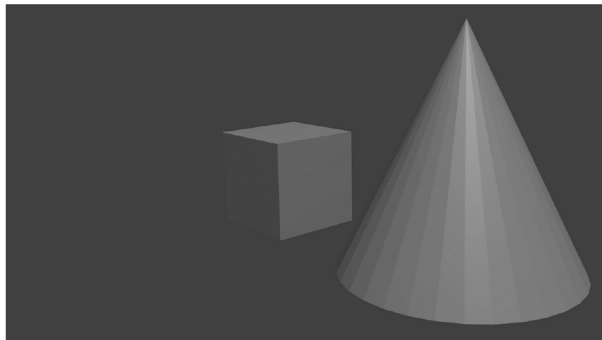
A



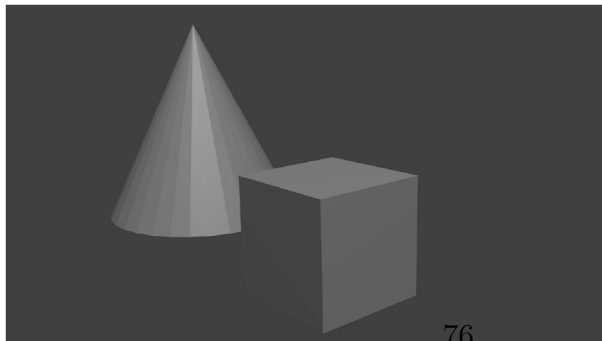
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			13	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

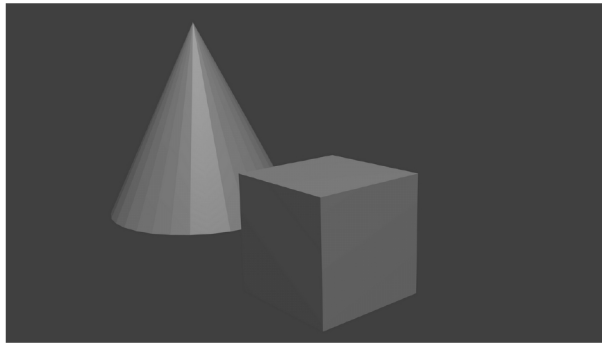
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

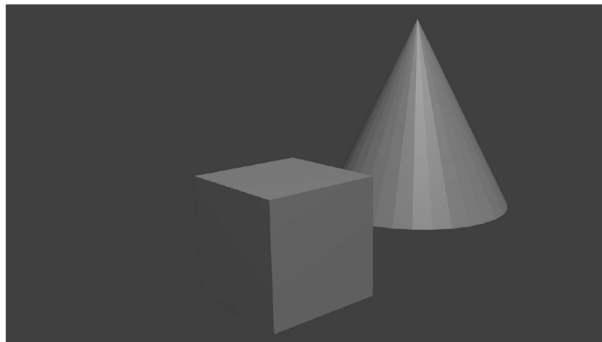
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

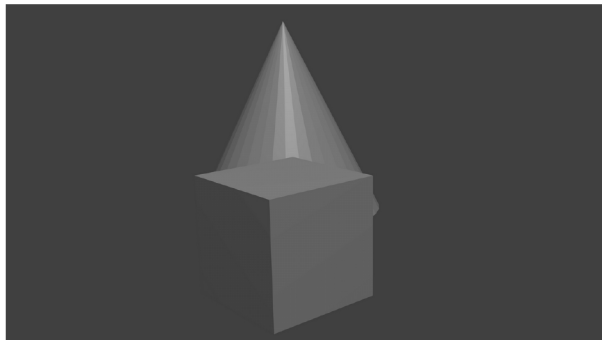
A



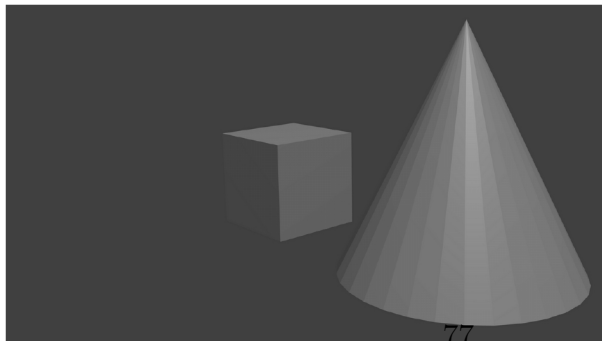
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			14	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

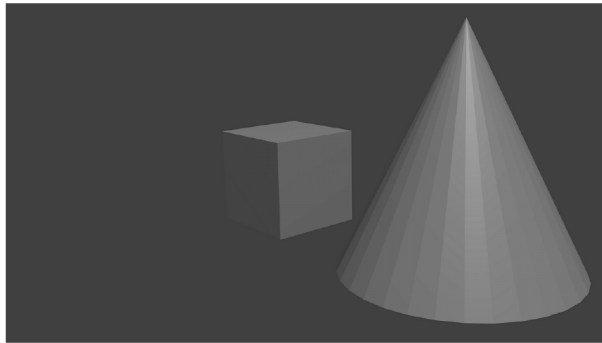
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

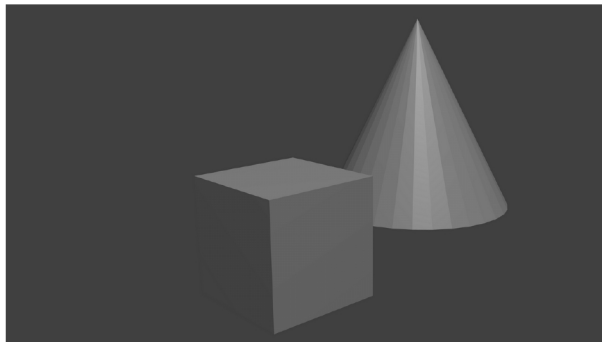
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

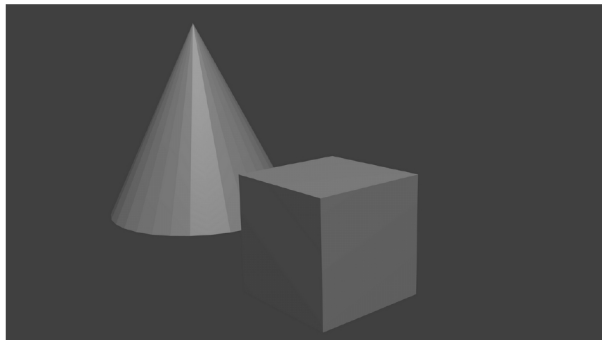
A



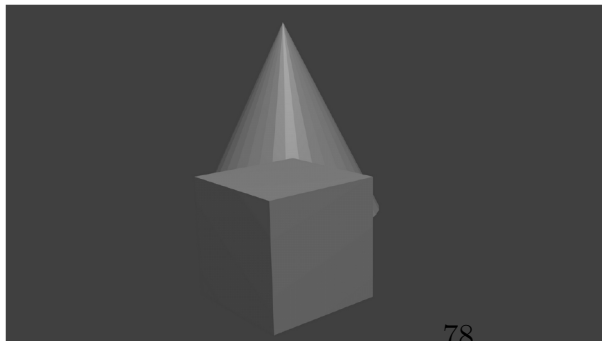
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			15	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

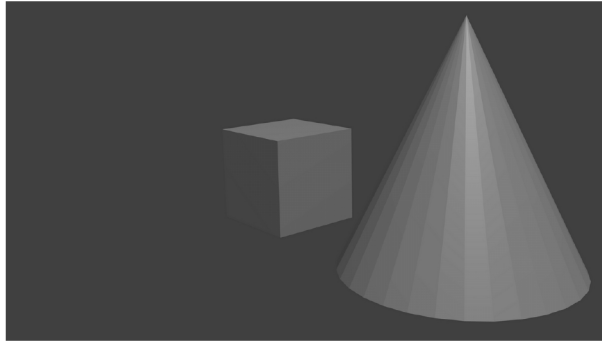
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

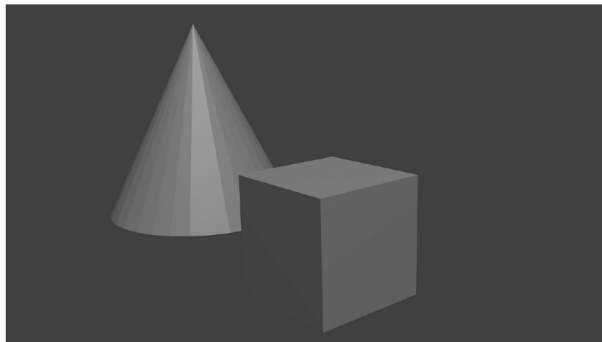
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

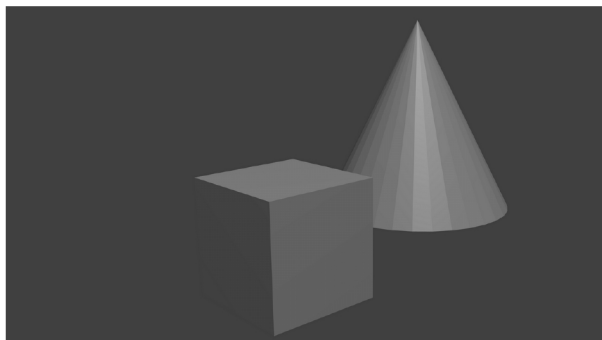
A



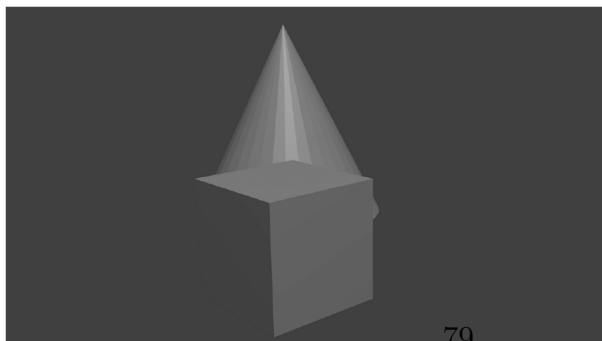
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			16	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

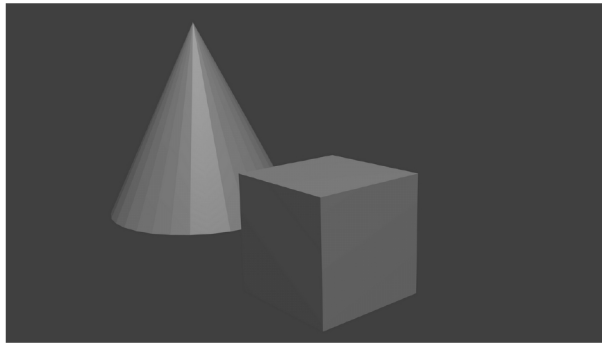
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

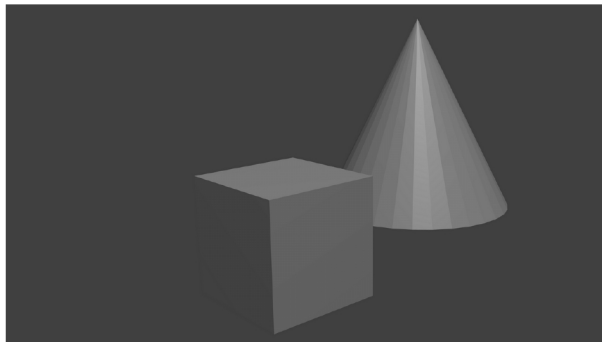
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

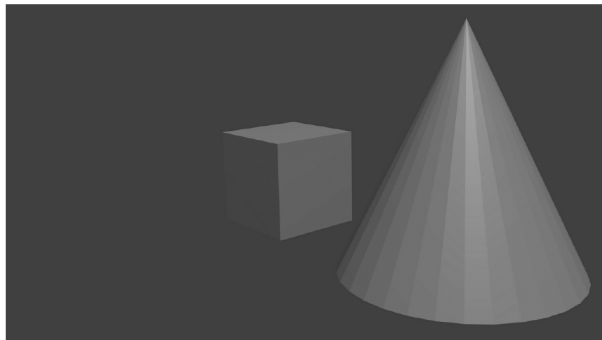
A



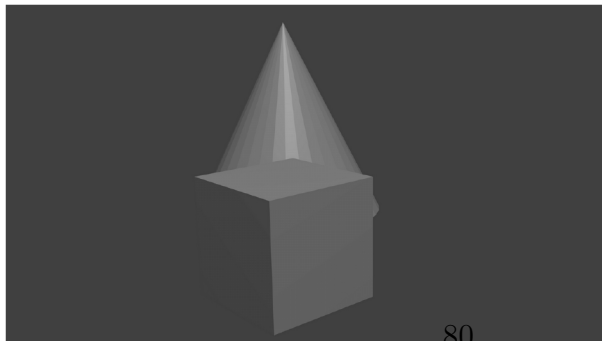
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			17	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

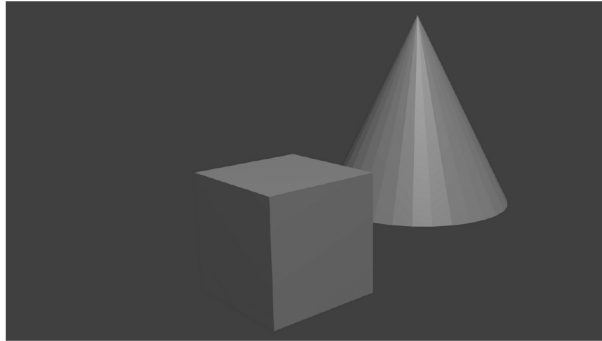
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

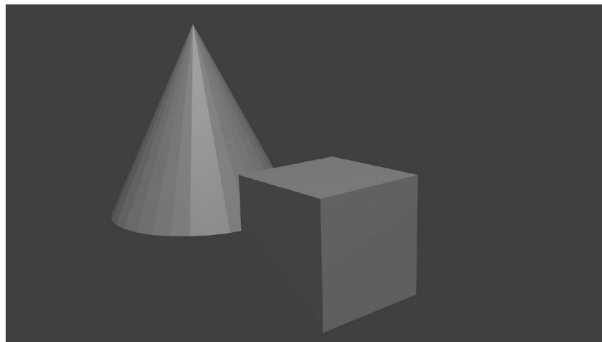
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

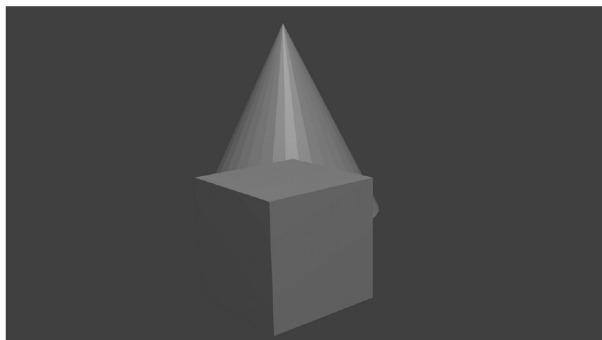
A



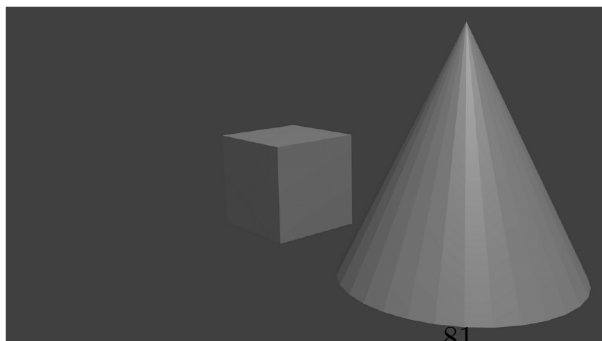
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			18	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

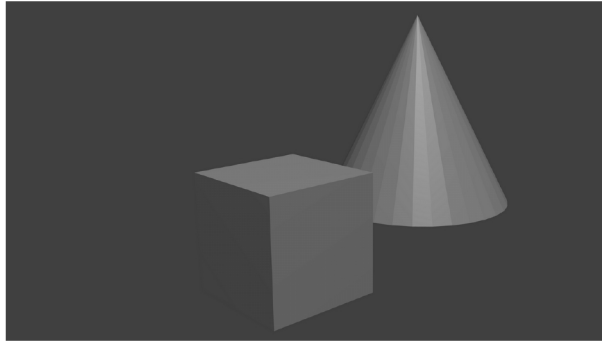
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

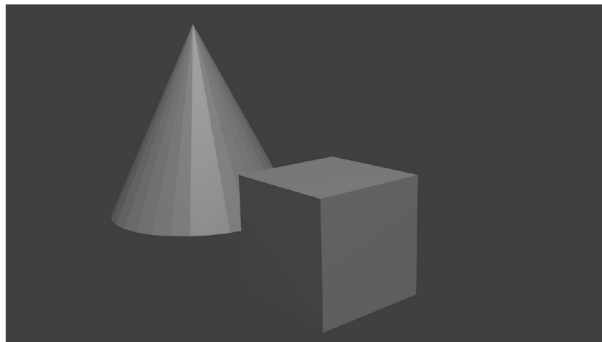
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

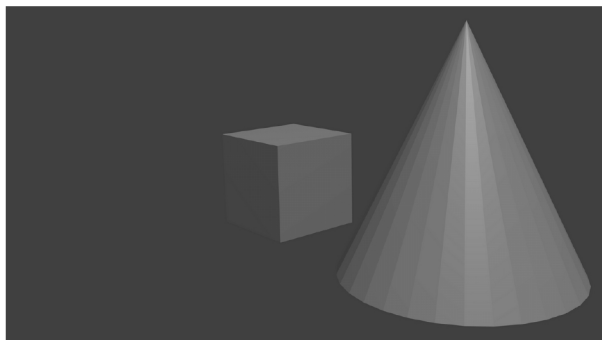
A



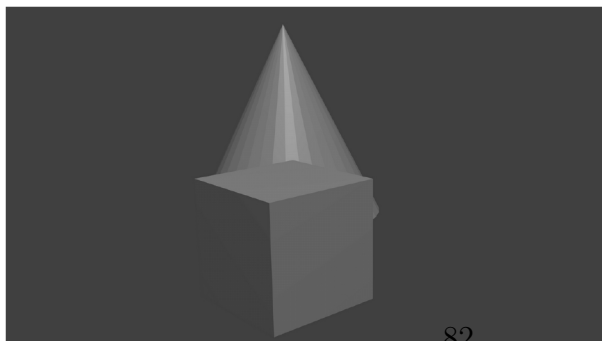
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			19	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

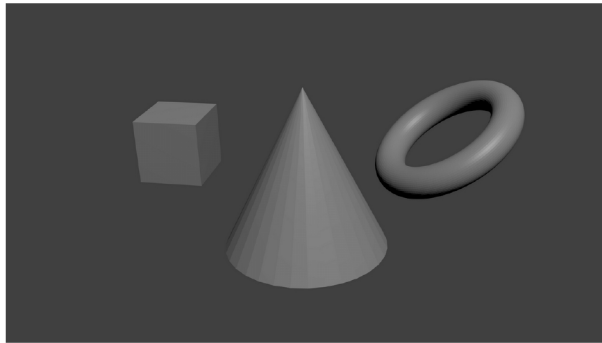
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

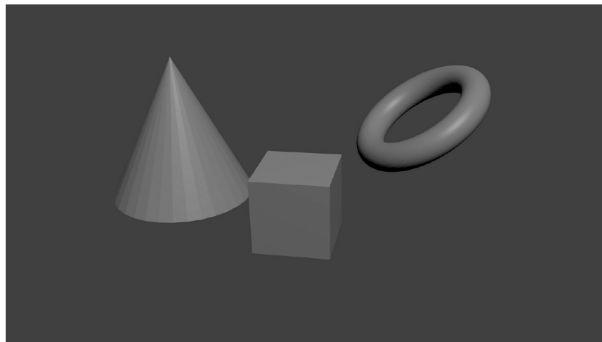
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

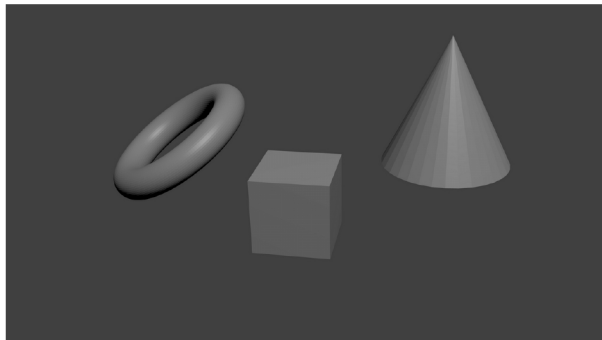
A



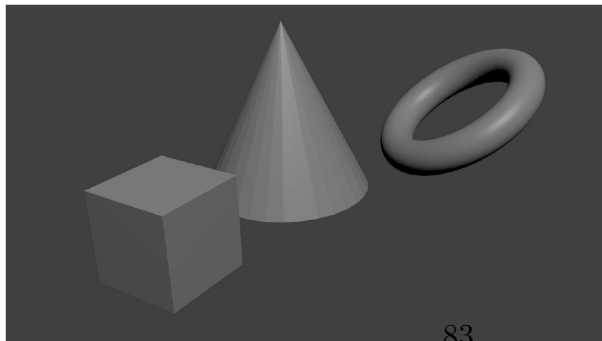
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			20	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

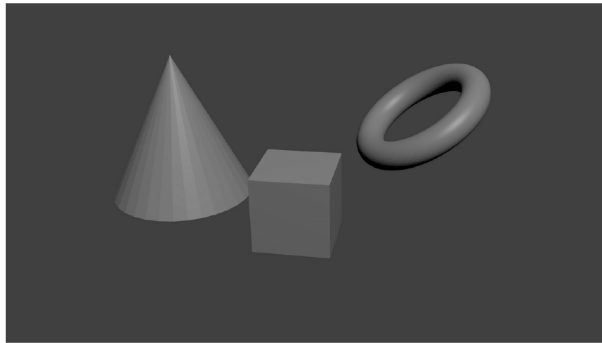
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

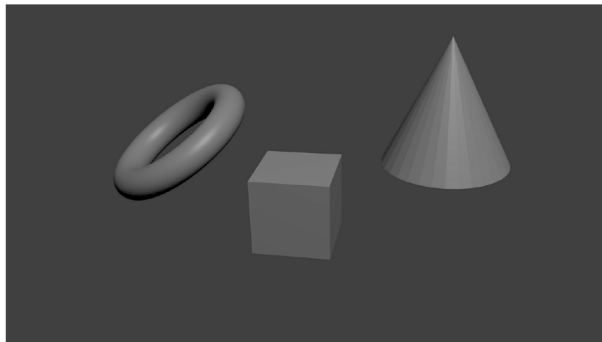
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

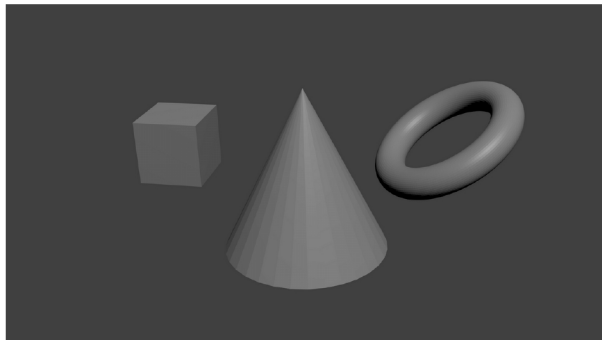
A



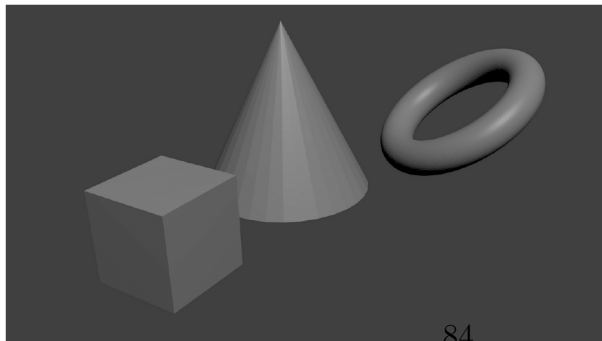
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			21	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

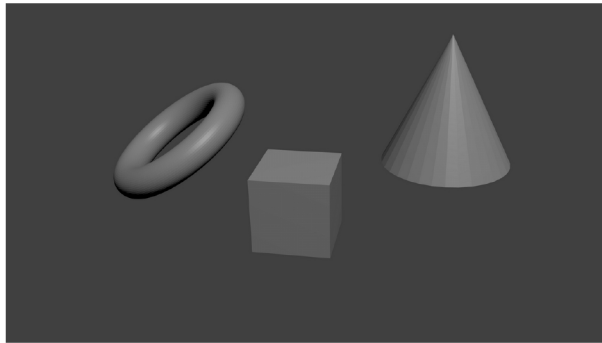
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

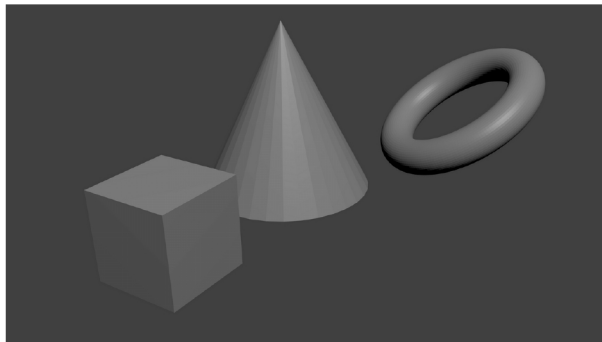
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

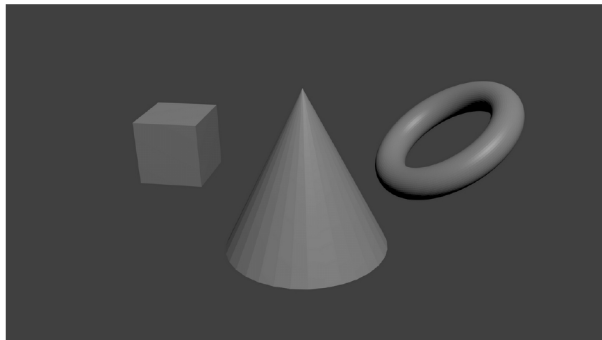
A



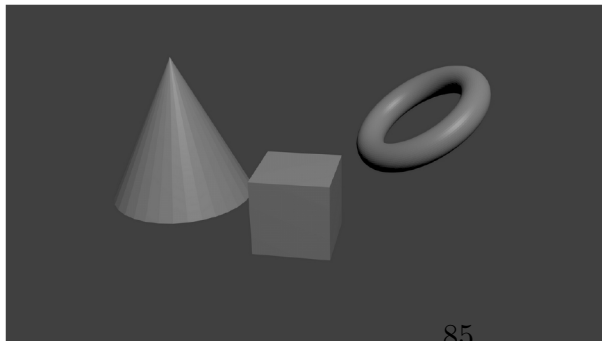
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			22	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

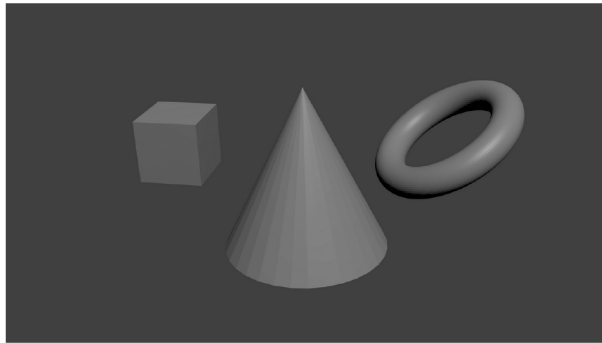
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

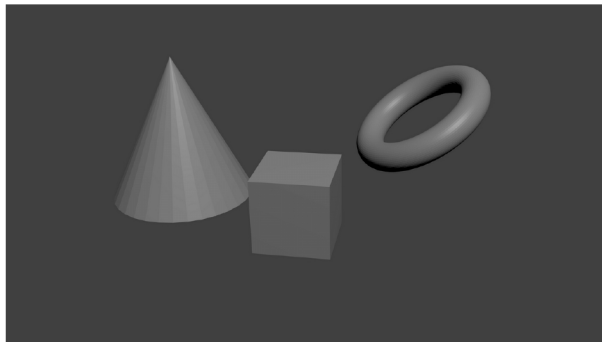
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

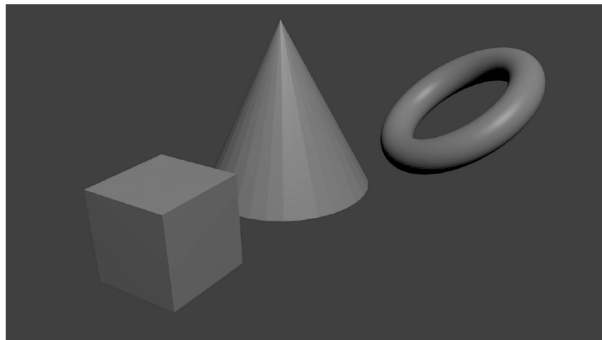
A



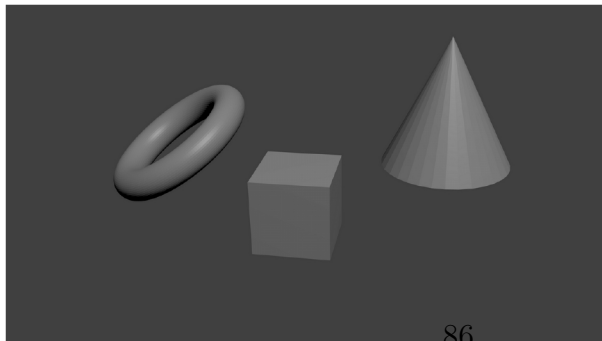
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			23	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

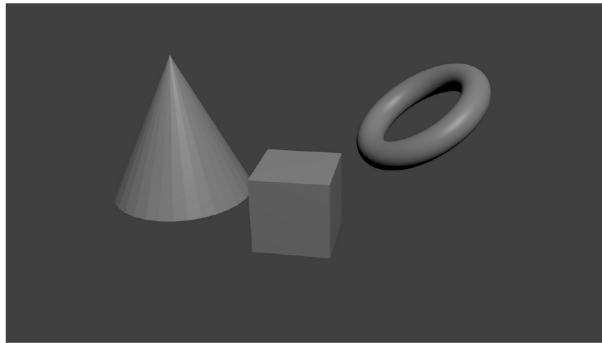
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

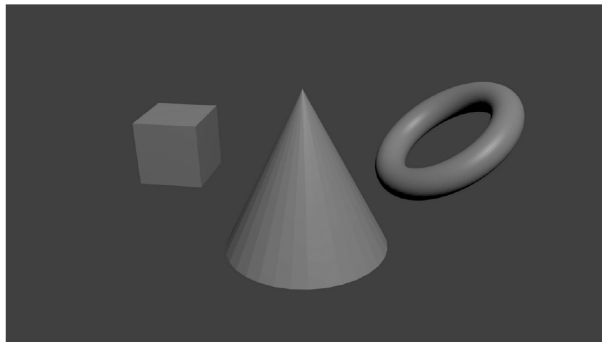
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

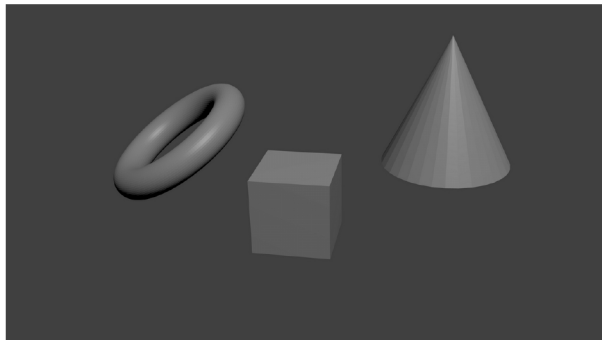
A



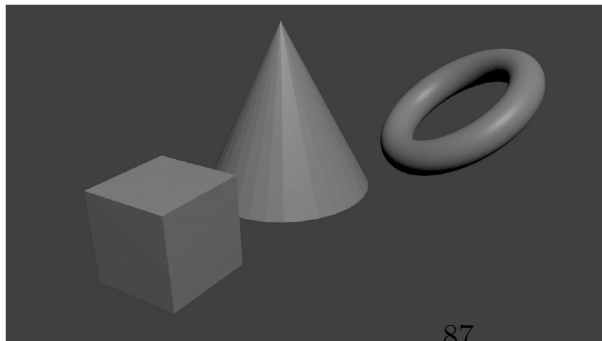
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			24	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

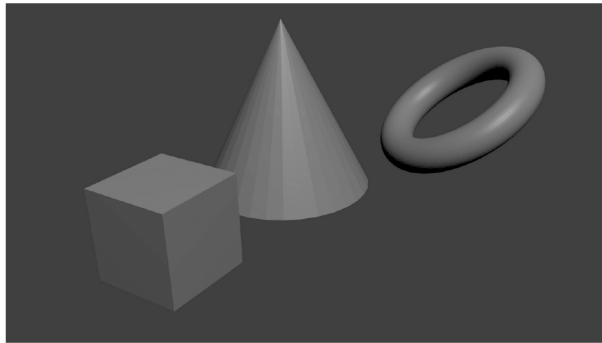
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

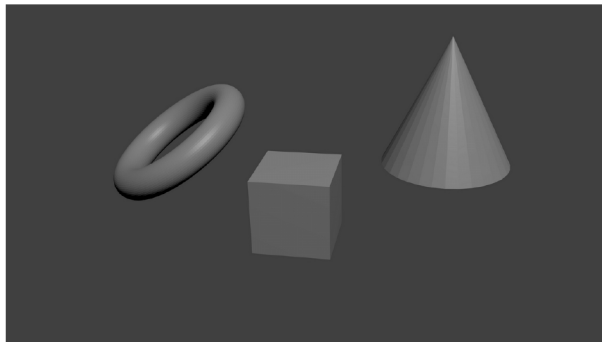
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

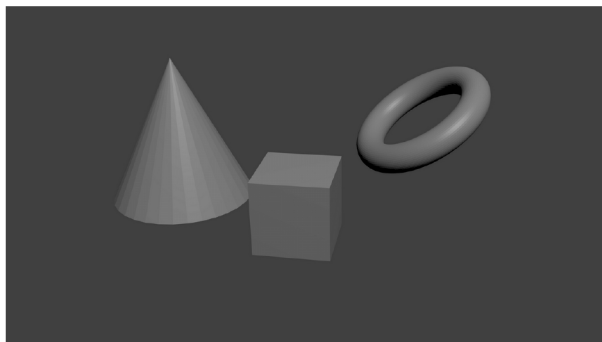
A



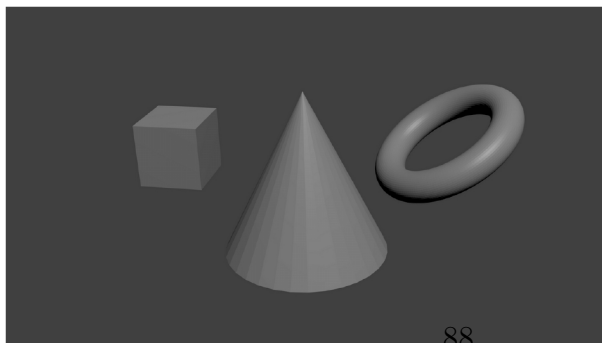
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			25	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

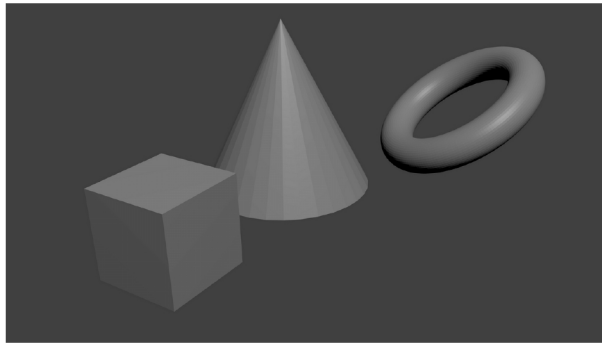
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

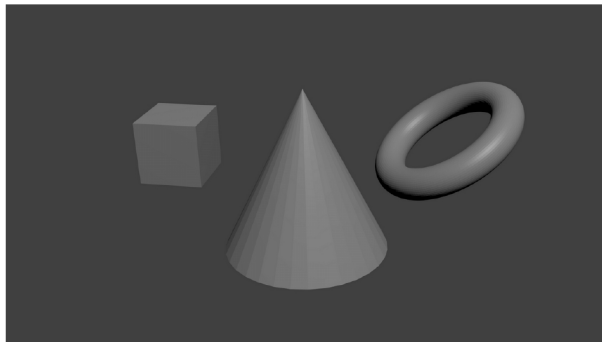
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

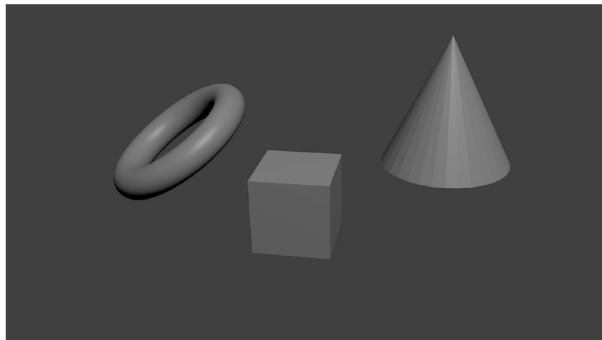
A



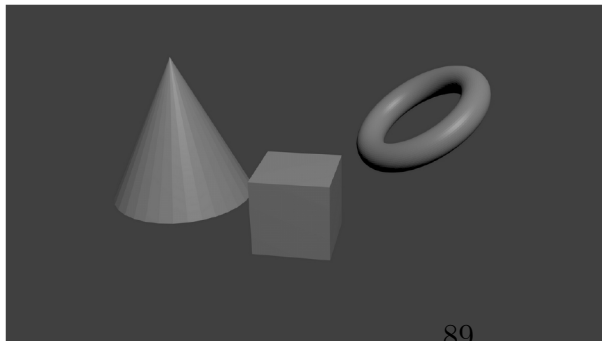
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			26	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

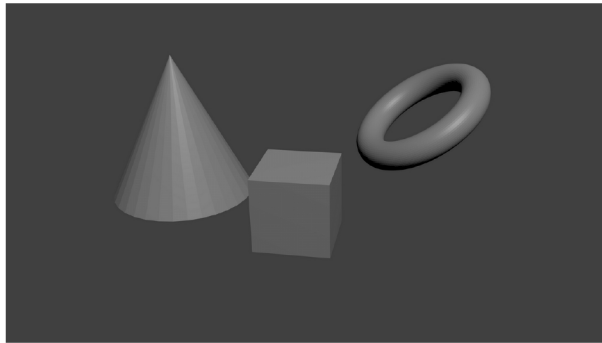
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

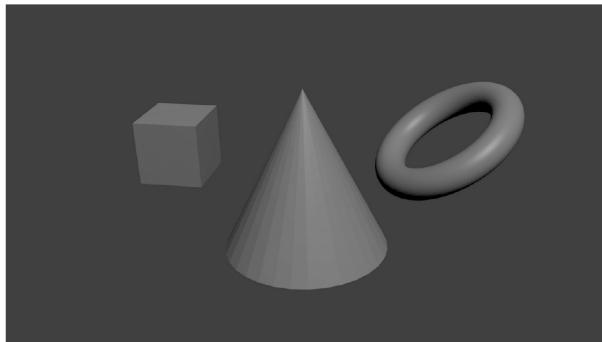
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

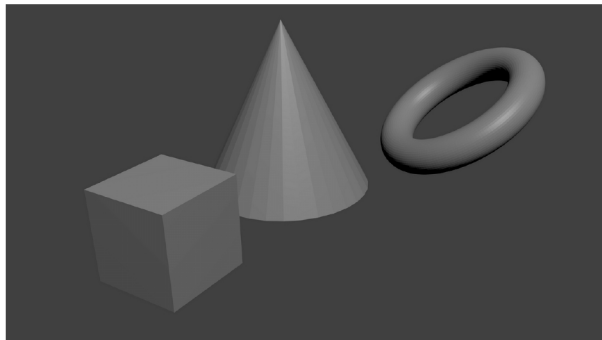
A



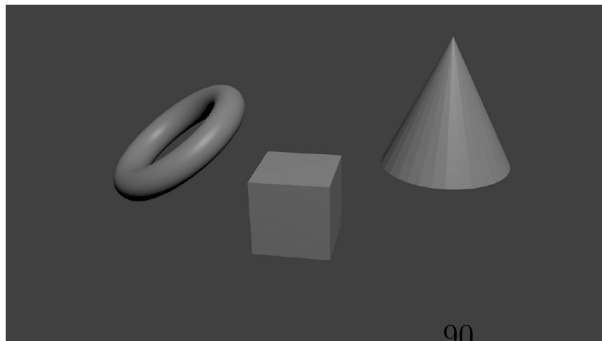
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			27	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

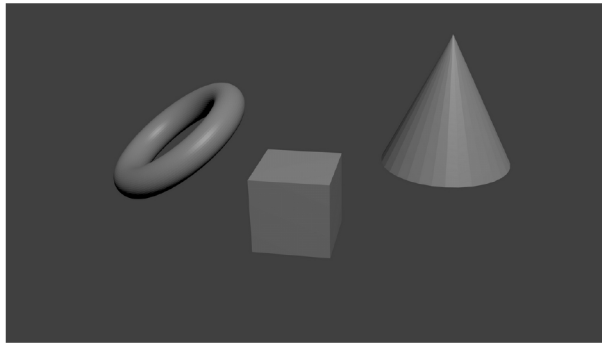
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

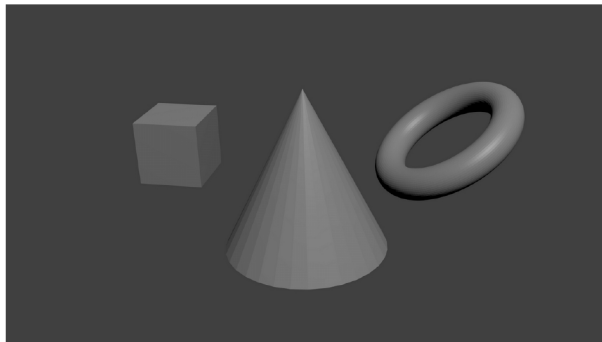
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

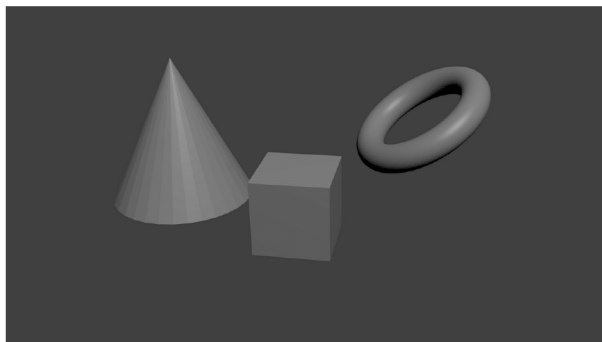
A



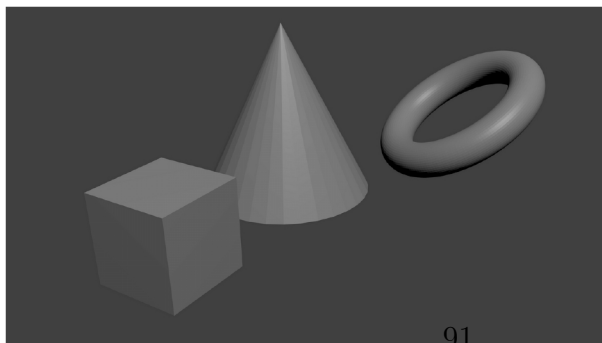
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			28	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

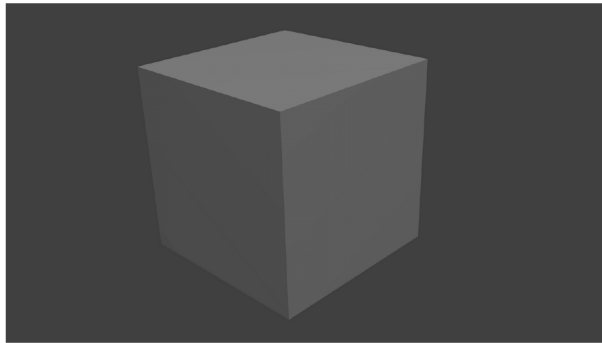
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

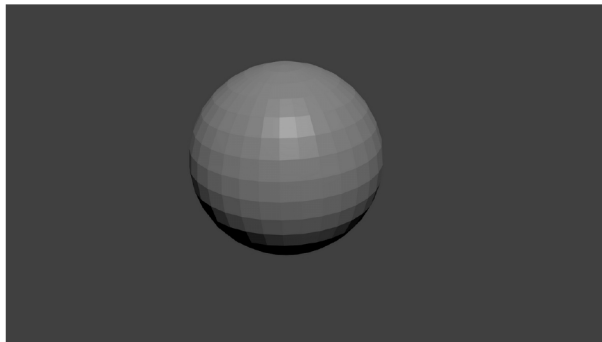
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

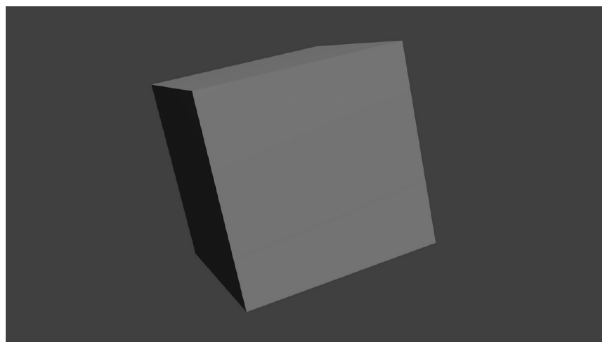
A



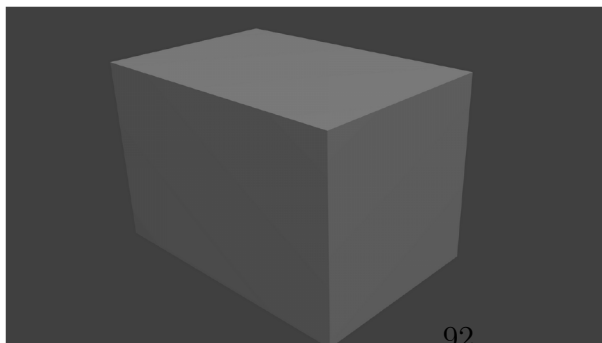
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			29	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

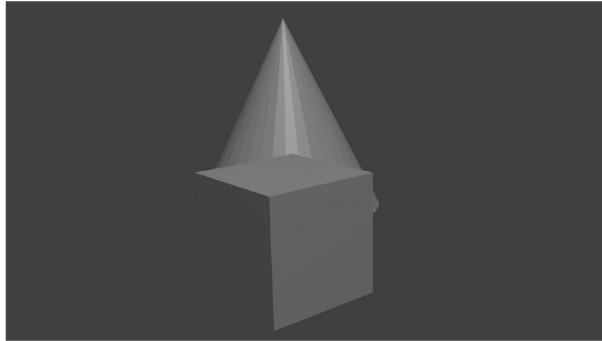
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

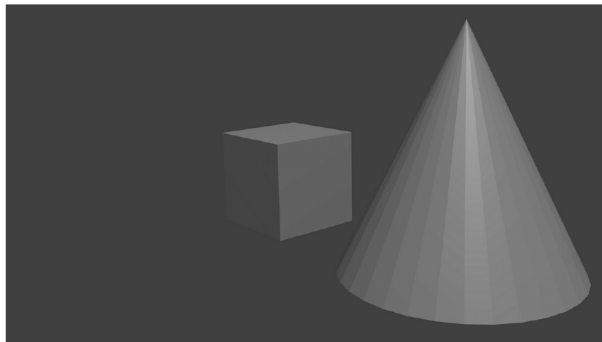
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A B C D E

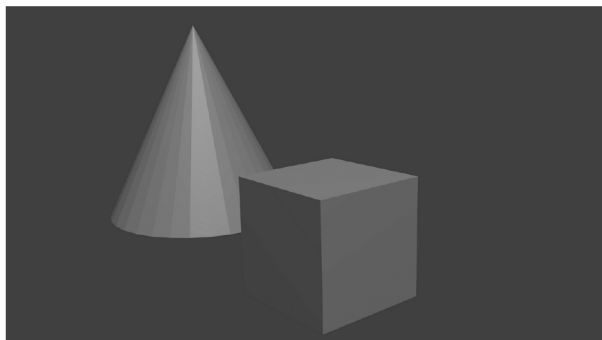
A



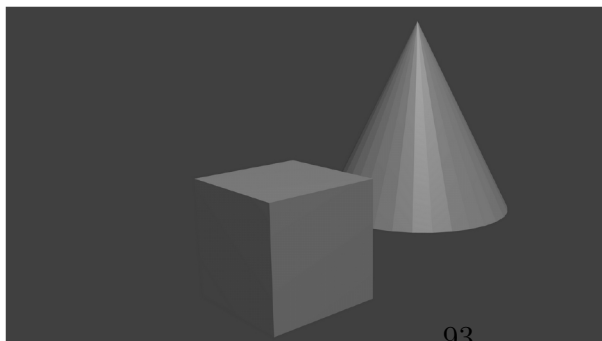
B



C



D



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS	Edad	G	E	O
EVALUACIÓN DE TÉCNICA AUTOESTEREOSCÓPICA BASADA EN AUTOESTEREOGRAMAS			30	

1. ¿Percibe visualmente alguna escena en el video presentado?

SI NO

En caso de responder afirmativamente la pregunta 1. responda las preguntas 2. y 3.

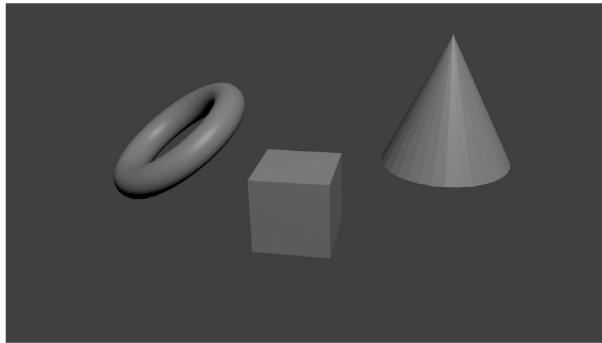
2. ¿La escena percibida es tridimensional?

SI NO

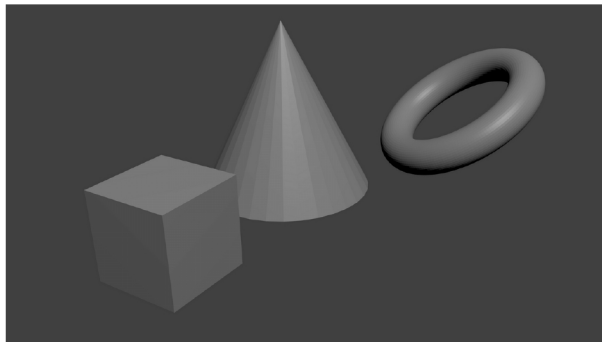
3. Seleccione la escena percibida, en caso de no estar entre las opciones seleccione la opción E

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

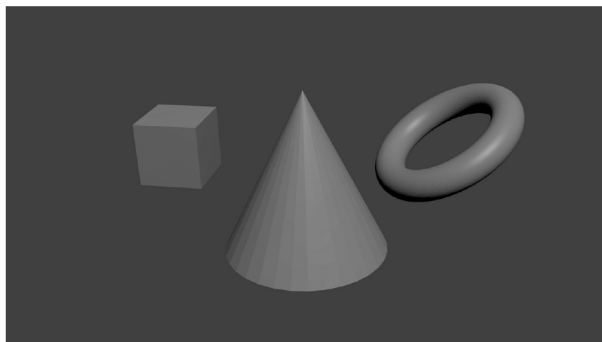
A



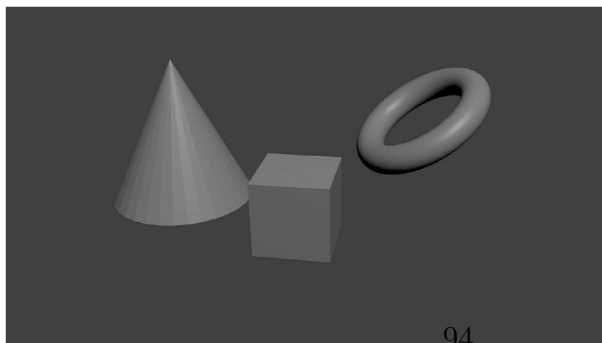
B



C



D



Anexo B: Imágenes usadas en el experimento

Figura 1: Primera escena de experimentación

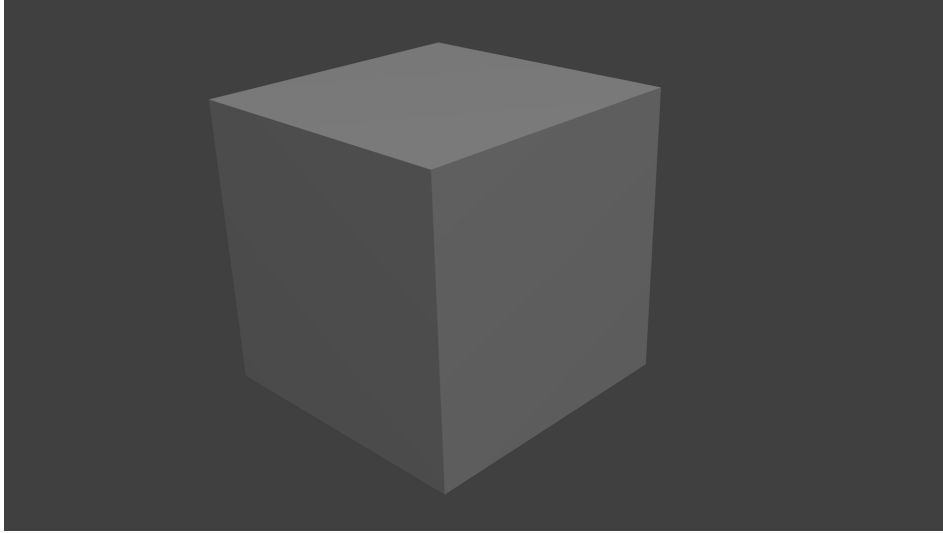


Figura 2: Mapa de profundidad de la primera escena de experimentación

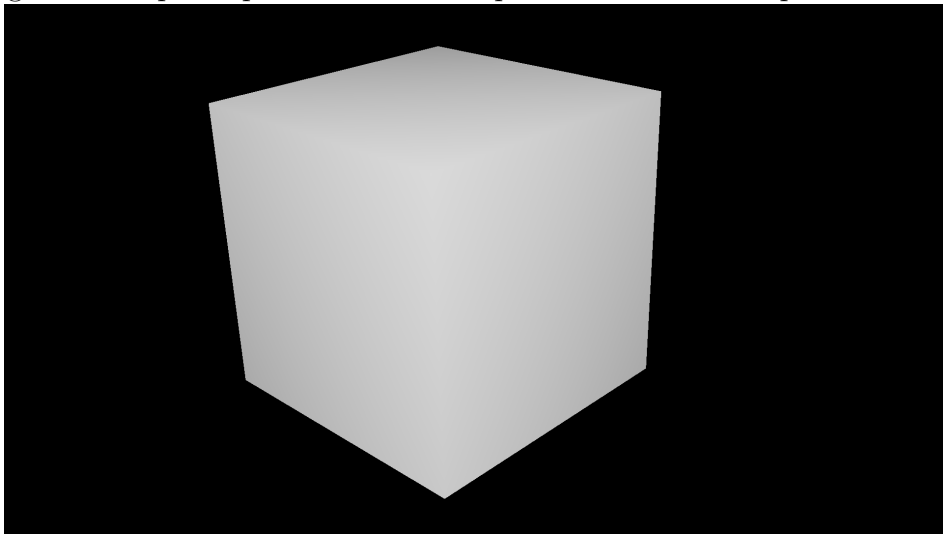


Figura 3: Autoestereograma de puntos aleatorios de la primera escena de experimentación

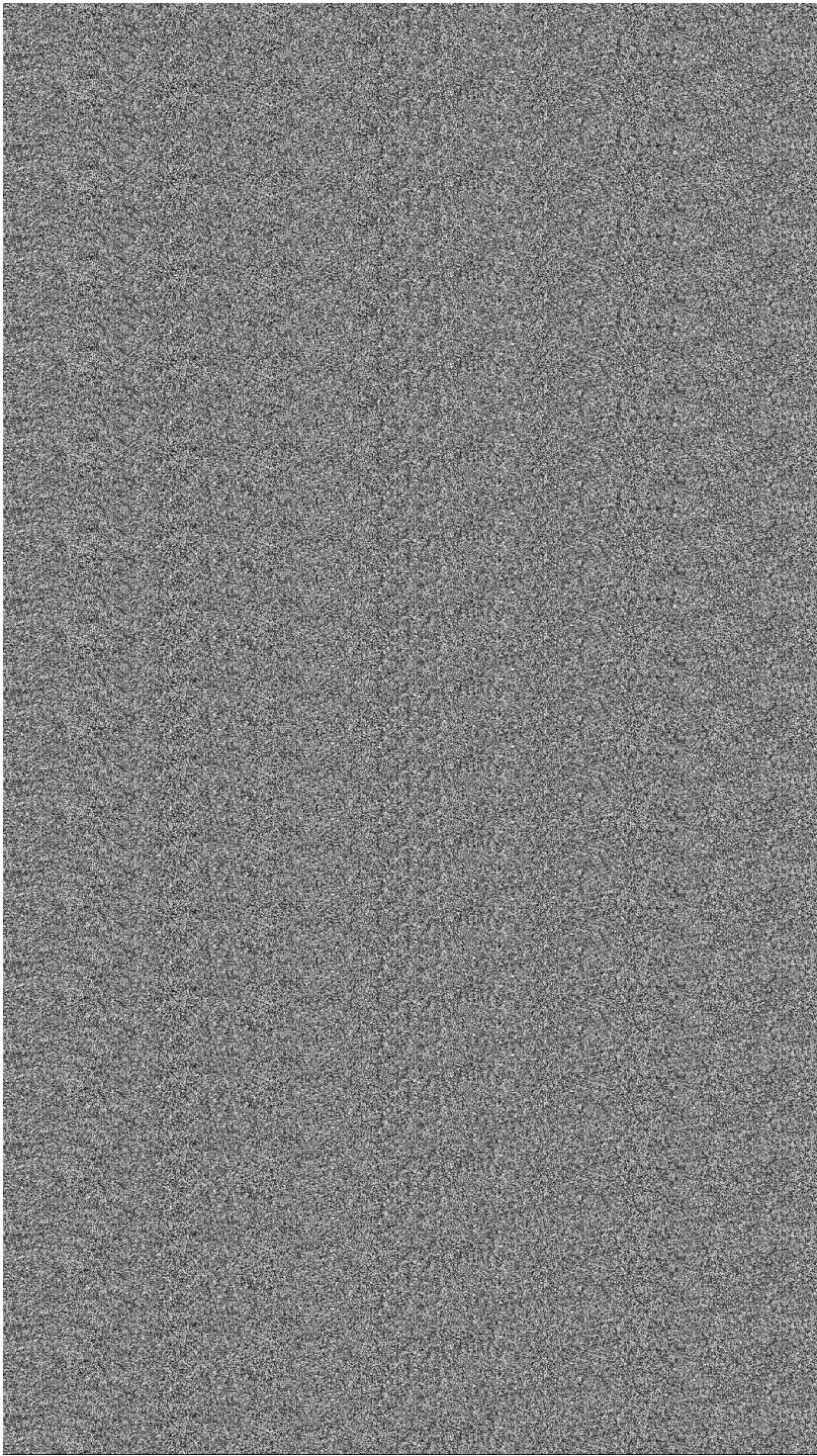


Figura 4: Tercera escena de experimentación

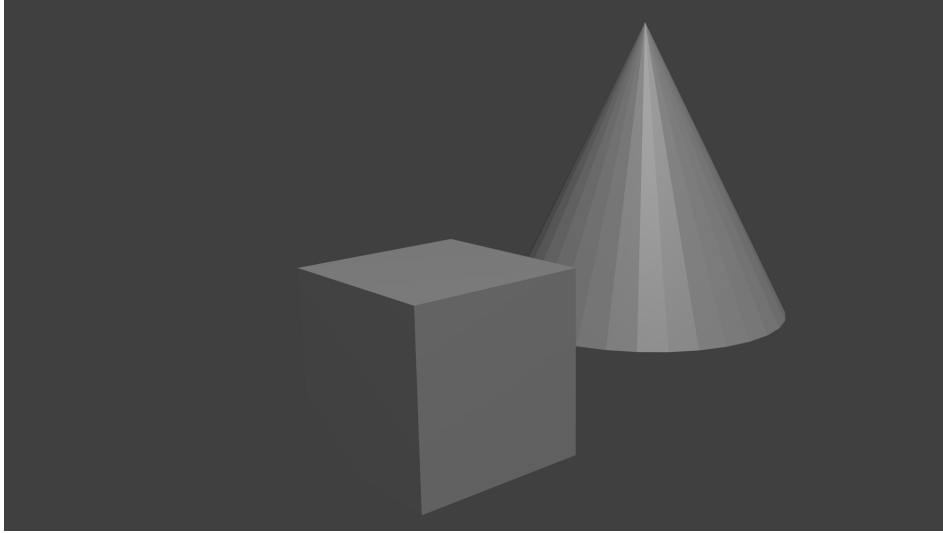


Figura 5: Mapa de profundidad de la tercera escena de experimentación

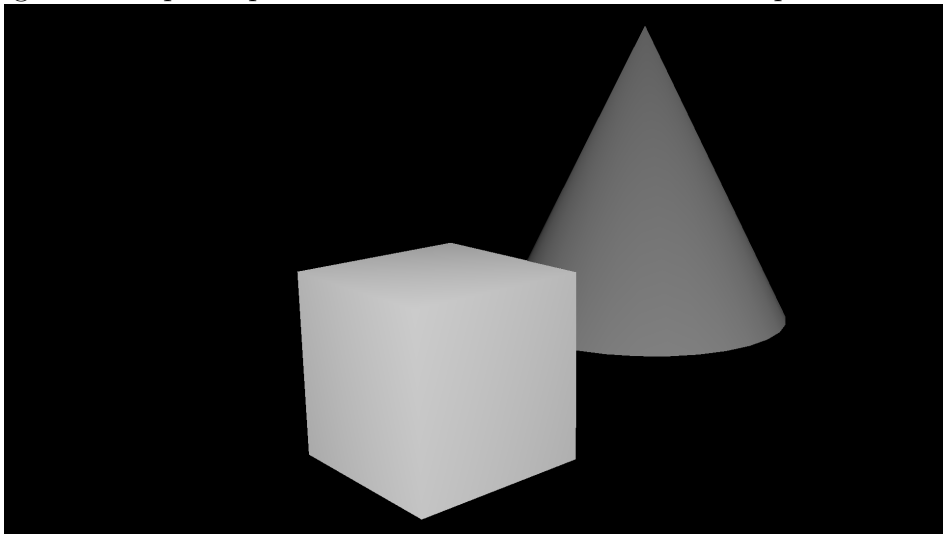


Figura 6: Autoestereograma de puntos aleatorios de la tercera escena de experimentación

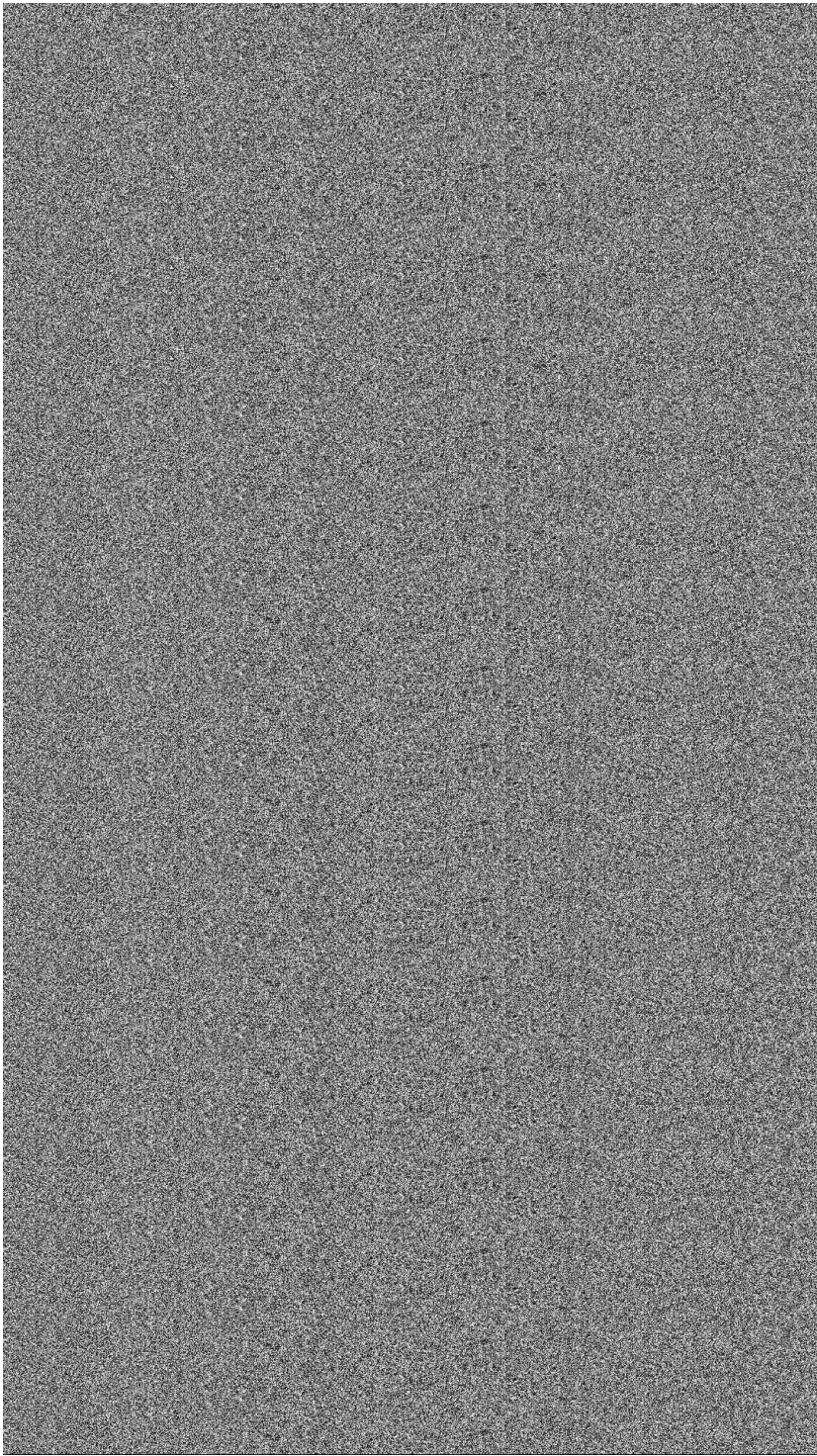


Figura 7: Tercera escena de experimentación

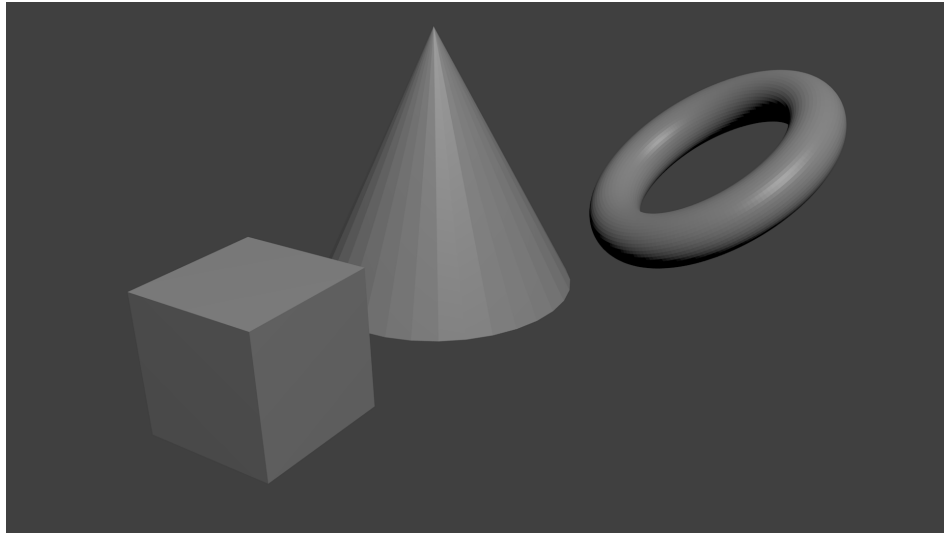


Figura 8: Mapa de profundidad de la tercera escena de experimentación

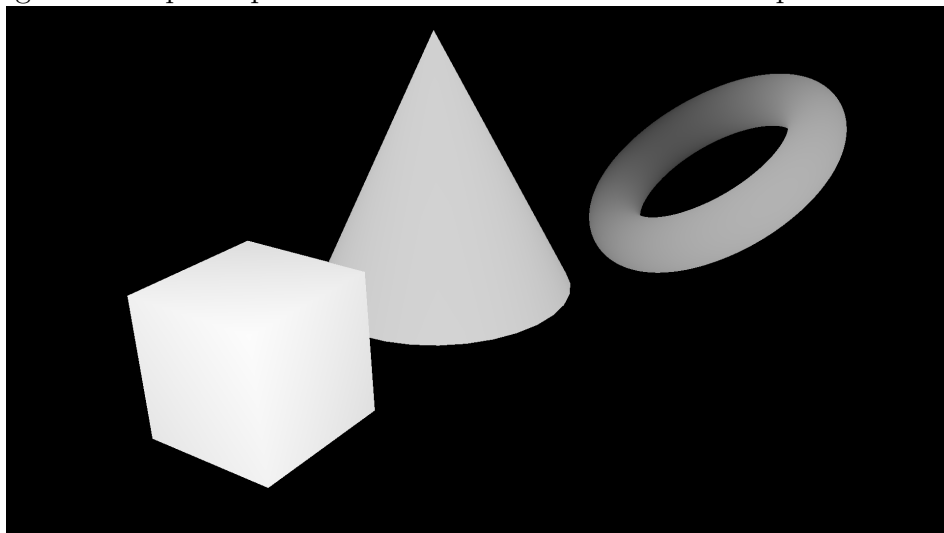


Figura 9: Autoestereograma de puntos aleatorios de la tercera escena de experimentación

