

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIDAD SONIDO E IMAGEN

Título del Proyecto:

3D ESTEREOSCÓPICO

Estudio de los fundamentos y metodología de visionado, grabación y edición de la tecnología estereoscópica actual, y elaboración de un cortometraje aplicando dichos conocimientos.

Alumno:

Julen Segura Garde

Tutor:

Mikel Sagües García

22 de marzo de 2013

INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO PRIMERO: FUNDAMENTOS DE LA ESTEREOSCOPIA	16
1. PERCEPCIÓN TRIDIMENSIONAL DEL SISTEMA VISUAL HUMANO	18
1.1. Fundamentos básicos de la visión humana	18
1.2. Percepción de profundidad de una escena.....	19
1.2.1. Claves Monoculare	19
1.2.2. Claves Binoculares	25
1.2.3. Claves Oculomotrices	27
1.2.4. Rangos de eficacia de las claves de profundidad	28
2. ESTEREOSCOPIA	29
2.1. Concepto y requerimientos visuales	29
2.2. La Estereoscopia tradicional	30
2.2.1. Freeviewing y autoestereogramas.....	30
2.2.2. Ayudas ópticas para el visionado 3D.....	31
2.2.3. Técnicas tradicionales	33
2.2.3.1. Anaglifos	33
2.2.3.2. Sistema ChromaDepth.....	34
2.2.3.3. Efecto Pulfrich	34
2.3. Rango y límites de la percepción de profundidad estereoscópica	34
2.4. Visión estereoscópica fallida	36
3. HISTORIA	38
4. Bibliografía	41
CAPÍTULO SEGUNDO: VISIONADO 3D	45
5. VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN PANTALLAS 2D.....	46
6. VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN PANTALLAS 3D.....	46
6.1. Sistemas autoestereoscópicos.....	46
6.1.1. Barrera de paralaje.....	46
6.1.2. Fotografía Integral y Matrices Lenticulares	48
6.1.3. Seguimiento de ojos.....	50

6.1.4.	Otros.....	50
6.2.	Sistemas estereoscópicos	51
6.2.1.	Sistemas activos	51
6.2.2.	Sistemas pasivos.....	51
6.2.2.1.	Anaglifos	52
6.2.2.2.	Sistemas polarizados	53
6.2.2.3.	Infitec.....	56
6.3.	Codificación de vídeo estereoscópico.....	57
6.3.1.	Color Shifting	57
6.3.1.1.	Codificación anaglífica	57
6.3.2.	Compresión espacial	57
6.3.3.	Compresión temporal	60
6.3.3.1.	Campo secuencial.....	60
6.3.4.	Codificación de videostream.....	61
6.3.4.1.	Multiview Video Coding	61
6.3.4.2.	2D + Metadata.....	62
6.4.	3DTV	64
7.	VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN SALAS DE CINE	67
7.1.	XpanD 3D	67
7.2.	IMAX 3D	67
7.3.	RealD Cinema	67
7.4.	Dolby 3D	68
7.5.	Panavision 3D	69
8.	Bibliografía	70
	CAPÍTULO TERCERO: CAPTURA DE IMÁGENES 3D	75
9.	CÁMARAS 3D.....	77
10.	SISTEMAS DE DOS CÁMARAS 2D	79
10.1.	Cámaras.....	79
10.2.	Rigs	81
10.2.1.	Side by side.....	81

10.2.2.	Beam splitter	81
11.	CINEMATOGRAFÍA 3D	83
11.1.	Conceptos básicos.....	83
11.1.1.	Distancia Interaxial.....	83
11.1.2.	Convergencia.....	84
11.1.3.	Ventana estereoscópica.....	84
11.1.3.1.	Romper la ventana estereoscópica	85
11.1.3.2.	Curvar la ventana estereoscópica	86
11.1.3.3.	Flotar la ventana estereoscópica	87
11.1.4.	El espacio de la pantalla 3D.....	87
11.1.4.1.	El efecto del tamaño de la pantalla.....	88
11.1.4.2.	El efecto de la distancia a la pantalla	88
11.1.4.3.	El efecto del ángulo de visionado.....	89
11.1.4.4.	Zona de confort	89
11.1.5.	El reparto de profundidad.....	91
11.1.6.	<i>Bracket</i> de profundidad	91
11.1.7.	Posición de la profundidad.....	91
11.1.8.	Ortoestereoscopia.....	92
11.2.	Preproducción	93
11.2.1.	Escribir para 3D	93
11.2.1.1.	El <i>script</i> de profundidad y la carta de profundidad.....	93
11.2.1.2.	El storyboard 3D.....	94
11.2.2.	Dirección artística 3D	95
11.2.2.1.	Composiciones recargadas.....	95
11.2.2.2.	Pistas de profundidad de movimiento.....	95
11.2.2.3.	Profundidad de campo.....	95
11.2.2.4.	Planos cortos	96
11.2.2.5.	Planos largos.....	97
11.2.2.6.	Continuidad de la profundidad	97
11.2.2.7.	Relación entre el tamaño y la distancia	98

11.2.2.8.	Sets	99
11.2.2.9.	Polarización, reflejos y brillos.....	100
11.3.	Producción.....	101
11.3.1.	El estilo cinematográfico 3D.....	101
11.3.2.	Las cámaras	101
11.3.2.1.	Sincronización.....	102
11.3.2.2.	Steadicams.....	102
11.3.2.3.	Lentes y longitud focal	102
11.3.2.4.	Enfoque	103
11.3.2.5.	Zoom.....	104
11.3.2.6.	Vertigo shots en 3D	104
11.3.2.7.	Configuración de la cámara.....	105
11.3.3.	Iluminación.....	107
12.	Bibliografía	109
CAPÍTULO CUARTO: EDICIÓN 3D.....		111
13.	PRINCIPIOS DE LA EDICIÓN 3D	113
13.1.	Montaje	113
13.2.	Continuidad de la profundidad	113
13.3.	Transiciones.....	114
13.4.	Sonido envolvente.....	115
13.5.	Ajuste de color	116
13.6.	Ajuste de profundidad.....	116
13.6.1.	Corrección de profundidad	116
13.6.2.	Ventanas estereoscópicas flotantes	117
14.	METODOLOGÍA DE LA EDICIÓN 3D	120
14.1.	Editar en 2D un proyecto 3D	120
14.2.	Editar en 3D un proyecto 3D.....	120
15.	HERRAMIENTAS DE EDICIÓN 3D	121
15.1.	<i>Plug-ins</i> 3D para editores 2D.....	121
15.2.	Editores 3D	123

16.	Bibliografía	125
CAPÍTULO QUINTO: “DERRELICTO”		127
17.	PREPRODUCCIÓN	129
17.1.	La idea	129
17.2.	El material de preproducción	129
17.2.1.	El guion	129
17.2.2.	El storyboard 3D	130
17.2.3.	La productora	131
17.2.4.	El estudio	132
17.2.5.	El plan de rodaje	133
17.3.	El equipo	134
17.3.1.	Las cámaras	134
17.3.2.	El <i>rig</i>	136
17.3.3.	Sistema de previsualización 3D	137
17.3.4.	Iluminación, sonido y resto	138
18.	PRODUCCIÓN	139
18.1.	Los decorados	139
18.2.	El rodaje	140
19.	POSTPRODUCCIÓN	141
19.1.	Metodología y herramientas	141
19.2.	Preparación de archivos	141
19.3.	Edición 3D	142
19.4.	Montaje	144
20.	Bibliografía	146
CONCLUSIONES		147
ANEXO I: El guion de “Derrelicto”		151
ANEXO II: El storyboard 3D de “Derrelicto”		2
ANEXO III: El plan de rodaje de “Derrelicto”		14

INTRODUCCIÓN

Es difícil encontrar a alguien que no haya tenido ninguna experiencia con el 3D. Está tan extendido, que sigue siendo una de las primeras acepciones en que se piensa al escuchar “tres de”, a pesar de tener un campo rival (en el uso del término) tan serio como es la animación 3D por ordenador. Porque el término completo es 3D estereoscópico, ya que se basa en la estereoscopia para crear la sensación de profundidad o relieve a partir de imágenes planas o bidimensionales.

Mi primera experiencia con el 3D estereoscópico tuvo lugar en mi infancia, a mediados de los años noventa, en forma de una revista sobre dinosaurios, en la que habían añadido un par de imágenes anaglíficas y unas gafas de cartón con filtros rojo y azul. Las imágenes eran horribles (fotografías de muñecos muy inexactos) y el efecto tridimensional era muy pobre, pero la tecnología en sí atrajo mi atención.

Años más tarde volvería a experimentar el 3D, esta vez en una revista profesional, National Geographic, y a través de una agencia aún más impresionante, la NASA. Se trataba de imágenes de la superficie de Marte, tomadas por uno de los primeros rovers que visitaron el planeta. Esta vez la sensación de profundidad era perfecta y, ayudada por la increíble procedencia de las fotografías, absorbente, aunque hay que decir que el color resultante de los anaglifos distaba mucho del de las imágenes 2D.

En 2003 tuve mi primera experiencia cinematográfica en 3D. Se trató de *Ghosts of the Abyss*, documental del director James Cameron sobre una expedición a los restos sumergidos del Titanic. La proyección se realizó en una sala IMAX. La misma pantalla, enorme y curvada, ya era suficiente para hacerme sentir inmerso en la proyección, incluso para marearme un poco ante la sensación de que podría ser absorbido dentro de ella, y el 3D acabó sumergiéndome en aquél mundo submarino. Si bien tenía errores de índole estereoscópica, y el color seguía siendo pobre, fue una experiencia que con gusto hubiese repetido.

Sería el mismo director quien volviese a recordarme la existencia del 3D hace unos años, con la película *Avatar*, haciéndome descubrir con gozo que los avances tecnológicos

propiciaban ahora una experiencia estereoscópica de calidad visual comparable a las producciones bidimensionales.

El 3D funciona a distintos niveles. Funciona como herramienta para acercar más la experiencia cinematográfica a una experiencia visual real, en la que el cerebro dispone de información sobre las distancias relativas, las relaciones de tamaño, etc. También puede funcionar como espectáculo, para sorprender o divertir al espectador. Y, en el mejor de los casos, puede potenciar en estos sentimientos y sensaciones, quizá incluso crearlas, convirtiéndose en parte de la historia que se está contando.

Es, en definitiva, una herramienta poderosa con diferentes usos posibles, todos ellos buenos en sí mismos, que merece ser estudiada e investigada.

Siguiendo la analogía del 3D como herramienta, es sorprendente lo difícil que es encontrar un buen manual de uso. En esta época de conocimientos libremente compartidos en internet, la información sobre el 3D estereoscópico es escasa, raramente gratuita, y a veces contradictoria. Este documento intenta recopilar dicha información en una guía sobre el proceso estereoscópico, abarcando tanto la teoría en la que se fundamenta, como las claves para un buen uso práctico.

En el primer capítulo se explicarán las claves que llevan a la percepción de la profundidad, haciendo hincapié en la estereoscopia, con sus características, rangos y limitaciones, para comprender cómo funciona la sensación de tridimensionalidad del sistema visual humano, y cómo se ha reproducido hasta ahora con herramientas y técnicas tradicionales.

En el segundo capítulo se describirán los sistemas de visionado estereoscópico de la tecnología actual, tanto a nivel de hardware como del procesado de señales de vídeo estereoscópico.

En el tercer capítulo se hablará sobre la captura de imágenes estereoscópicas. Se comenzará por repasar las características de los distintos tipos de cámaras y soportes utilizados en el proceso. Después se detallará la cinematografía 3D, desde el proceso de la preproducción, con las nuevas maneras de pensar y nuevos documentos que requiere respecto a la cinematografía tradicional, hasta la producción, con las claves que afectan a la estereoscopia en los distintos niveles de rodaje y cómo utilizarlas para obtener unos resultados correctos.

El capítulo cuarto hablará sobre la edición 3D, sus distintos procesos y metodologías, y proporcionará una lista del software disponible a tal efecto.

En el quinto y último capítulo se detallará el proceso de realización de “Derrelicto”, un cortometraje en 3D estereoscópico realizado siguiendo los conocimientos de los capítulos anteriores.

CAPÍTULO PRIMERO: FUNDAMENTOS DE LA ESTEREOSCOPIA

*Sobre la percepción tridimensional del sistema visual humano,
la estereoscopia, y la historia del 3D estereoscópico.*

1. PERCEPCIÓN TRIDIMENSIONAL DEL SISTEMA VISUAL HUMANO

Esta sección introduce al lector al funcionamiento del sistema visual, y analiza en detalle los indicadores o claves que llevan al mismo a percibir el entorno de manera tridimensional.

1.1. Fundamentos básicos de la visión humana

El sistema visual de los humanos y animales permite a los individuos asimilar información del entorno.

El acto de *ver* empieza cuando la lente del ojo enfoca una imagen de los alrededores en una membrana de la parte posterior del ojo que es sensible a la luz, llamada retina. La retina es en realidad parte del cerebro, aislada para servir como transductor para la conversión de patrones de fotones de luz en señales neuronales.

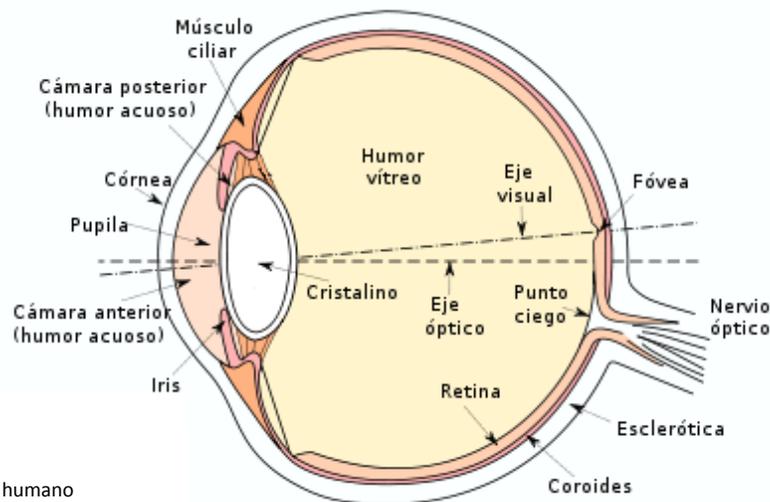


FIGURA 1.1
Sección de un ojo humano

La percepción de colores se basa en los distintos conos retinales situados en el ojo. Los conos son células especializadas, que contienen diferentes pigmentos, sensibles a diferentes espectros de color. En los humanos, existen tres conos sensitivos a tres espectros diferentes, resultando en una visión de color tricromática.

1.2. Percepción de profundidad de una escena

La percepción de profundidad es la habilidad visual de percibir el mundo en tres dimensiones, y la distancia respecto a objetos.

Surge a partir de una variedad de indicadores, clasificados típicamente en claves binoculares, es decir, que requieren de ambos ojos, y monoculares cuando únicamente requieren la visión de un ojo.

1.2.1. Claves Monoculares [Men09]

También llamadas claves monoscópicas, proveen información de profundidad al ver la escena con un único ojo.

- **Forma conocida:** tenemos recuerdo de la forma de los objetos que nos hemos encontrado previamente, y confirmamos dicha información cada vez que volvemos a ver dicho objeto. Aunque este indicador corresponde más a la percepción de forma, también contribuye a la percepción de profundidad.

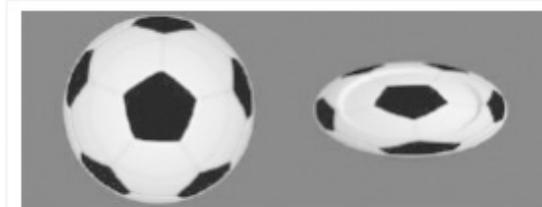


FIGURA 1.2

El objeto de la izquierda se interpreta como un balón de fútbol esférico, aunque fuese en realidad la imagen plana tumbada de la derecha.

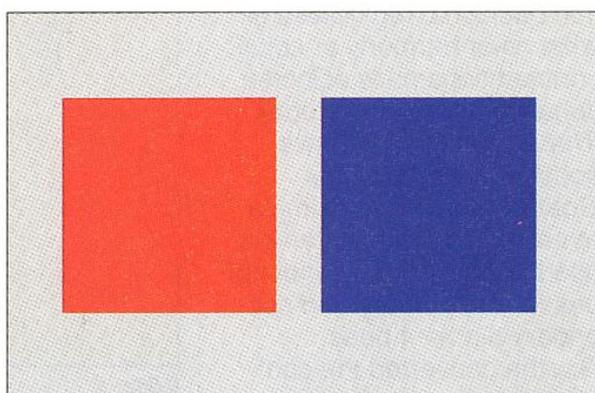
- **Tamaño relativo:** si se conoce que dos objetos son del mismo tamaño, por ejemplo dos árboles, pero su tamaño absoluto es desconocido, el tamaño relativo puede proporcionar información sobre la profundidad relativa de dichos objetos. Si uno de los árboles subtende un ángulo visual con la retina mayor que el otro, parecerá estar más cerca.



FIGURA 1.3

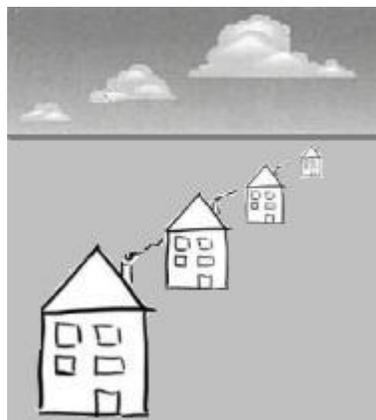
Si vemos que una persona y un edificio tienen el mismo tamaño, asumimos que el edificio debe estar más lejos.

- **Tamaño familiar:** dado que el ángulo proyectado por un objeto en la retina decrementa con la distancia, esta información se puede combinar con conocimientos previos del tamaño del objeto para determinar la profundidad absoluta del mismo. Por ejemplo, el tamaño del automóvil medio es bien conocido. Combinando dicha información con el ángulo que un coche subtende con la retina, se determina la profundidad absoluta del mismo en una escena.
- **Color:** Los colores cálidos se perciben más cercanos, mientras que los colores fríos se perciben más lejanos [Men09].

**FIGURA 1.4**

Los colores cálidos avanzan y los fríos retroceden en un fondo neutral.

- **Posición respecto al horizonte:** contra más lejos se encuentren los objetos, más cercanos al horizonte se perciben. En igualdad de circunstancias, los objetos por debajo del horizonte parecen estar más lejos contra más arriba en el campo visual aparezcan su bases, mientras que los objetos por encima del horizonte parecen más lejanos si se encuentran más abajo en el campo visual [Gol06].

**FIGURA 1.5**

Los objetos parecen más lejanos cuanto más se acercan al horizonte: las casas contra más arriba, y las nubes contra más abajo.

- **Perspectiva lineal:** se basa en el cambio del tamaño de la imagen retinal de un objeto, en proporción inversa a la distancia hasta el mismo. Es decir, contra más lejos se halle un objeto, su imagen será más pequeña. Esto hace que las líneas paralelas que se alejan del observador parezcan converger [Mca02]. A mayor distancia, mayor es la convergencia, hasta que las líneas se unen en un punto de fuga en el infinito [Gol06].

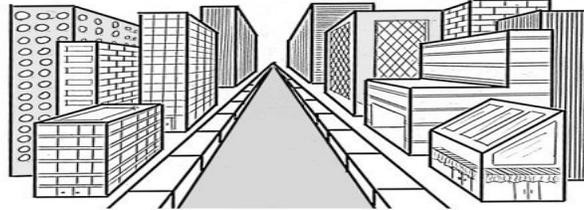


FIGURA 1.6

Las líneas paralelas de la carretera y los edificios parecen converger contra mayor distancia respecto al observador.

- **Perspectiva curvilínea:** en los extremos exteriores del campo visual, las líneas paralelas se curvan, como en una fotografía tomada con lente de ojo de pez. Este efecto, aunque se suele eliminar en cuadros y fotografías, incrementa en gran medida la sensación del observador de estar posicionado dentro de un espacio tridimensional.

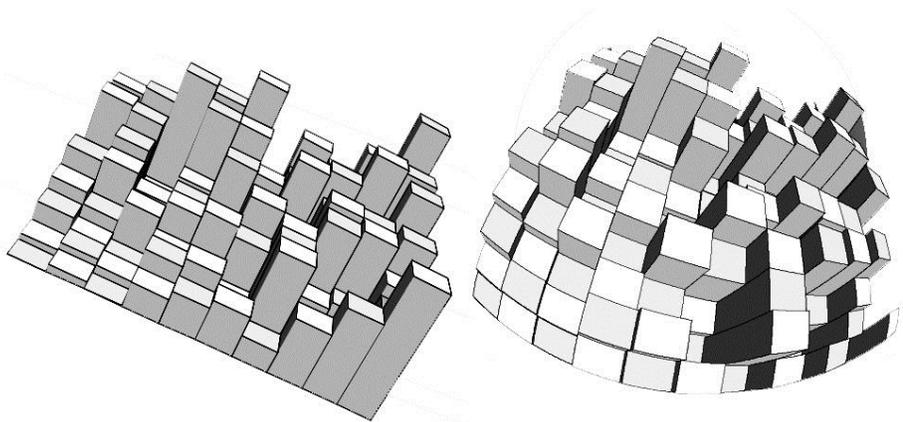


FIGURA 1.7

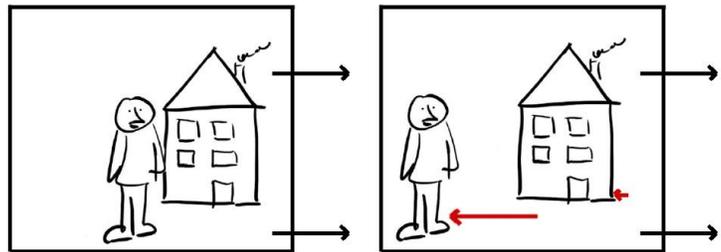
El mismo objeto, representado a la izquierda con un punto de fuga, y a la derecha con perspectiva curvilínea.

- **Paralaje de movimiento:** es la diferencia en velocidad del movimiento aparente de los objetos cuando es el observador el que se mueve. Este efecto se aprecia notablemente al conducir un vehículo: los objetos

próximos se mueven a toda velocidad, mientras que los que están en el horizonte parecen prácticamente estacionarios [Gol06]. Si se conoce la información sobre la velocidad y dirección del movimiento, el paralaje puede proporcionar una información de profundidad absoluta [Fer72]. Algunos animales emplean el paralaje mucho más que los humanos, por ejemplo pájaros que inclinan la cabeza o ardillas que se mueven en dirección ortogonal al objeto de su interés, para percibir el paralaje de movimiento [W.Dep].

FIGURA 1.8

Al moverse el observador (flechas negras), el movimiento aparente (flechas rojas) de la persona es mayor que el de la casa, por la que esta última se percibirá como más lejana.



- **Profundidad a partir del movimiento:** la más conocida de sus formas es la percepción de profundidad cinética, que permite percibir la estructura tridimensional de un objeto cuando este se mueve. Por ejemplo, si observamos la sombra producida por un objeto en rotación, podemos deducir la estructura por el movimiento y deformación de la sombra. También se obtiene información de profundidad a partir de objetos similares en movimiento, ya que los más lejanos parecerán moverse más lentamente.

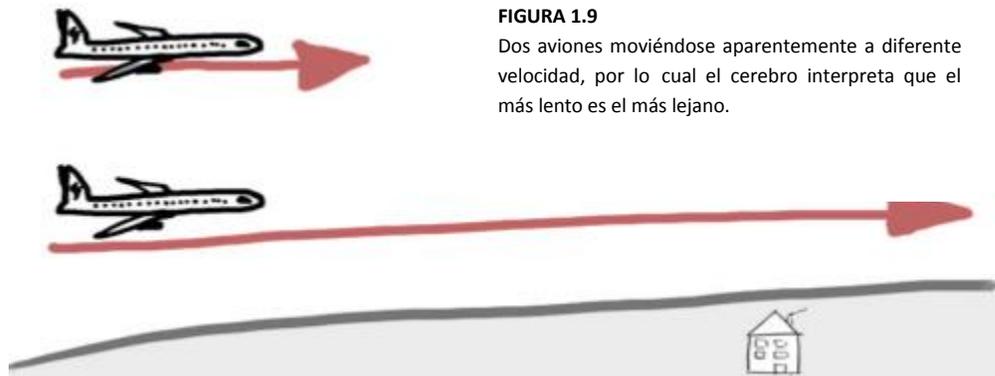


FIGURA 1.9

Dos aviones moviéndose aparentemente a diferente velocidad, por lo cual el cerebro interpreta que el más lento es el más lejano.

- **Perspectiva atmosférica:** los objetos distantes se perciben menos definidos porque son observados a través de más aire, el cual contiene partículas diminutas de polvo, agua y varias formas de contaminación [Gol06]. Dada la dispersión de la luz en la atmósfera, al aire libre los objetos a grandes distancias se perciben con menor contraste lumínico y saturación de color.

Así, objetos que difieren únicamente en su contraste con el fondo, se perciben a distinta profundidad [Osh94]. Además, el color de los objetos muy distantes, por ejemplo las montañas, se perciben azulados, ya que este color, al tener una longitud de onda menor, penetra en la atmósfera más fácilmente que los otros [Mca02].

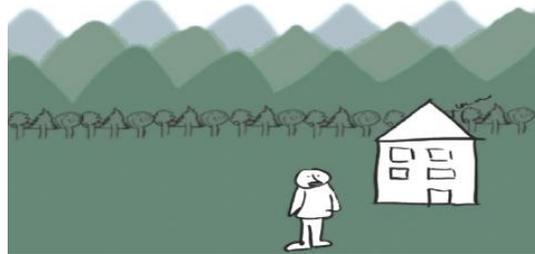


FIGURA 1.10

Dispersión atmosférica. Los objetos más lejanos se perciben “borrosos” y “azulados”.

- **Oclusión:** cuando un objeto oculta completa o parcialmente a otro, éste último se ve más lejano. La oclusión no ofrece información acerca de la distancia absoluta del objeto, sino que indica la distancia relativa, es decir, sabemos que el objeto semioculto está más lejos que el otro, pero ignoramos a qué distancia se halla [Gol06]. Es capaz de reducir la latencia de la percepción de profundidad en estímulos tanto naturales como artificiales [Gil88].



FIGURA 1.11

La casa ocluye la otra figura, luego se encuentra más cerca del observador.

- **Gradiente de textura:** si una textura tiene un patrón repetitivo, éste parecerá volverse más pequeño contra más lejos se encuentre del observador. Los pequeños detalles se pueden apreciar en objetos cercanos, pero no en lejanos. Por ejemplo, en un largo camino de grava, el observador puede ver la grava cercana, su forma, tamaño y color, mientras que en la distancia, la textura del camino no se puede diferenciar claramente.

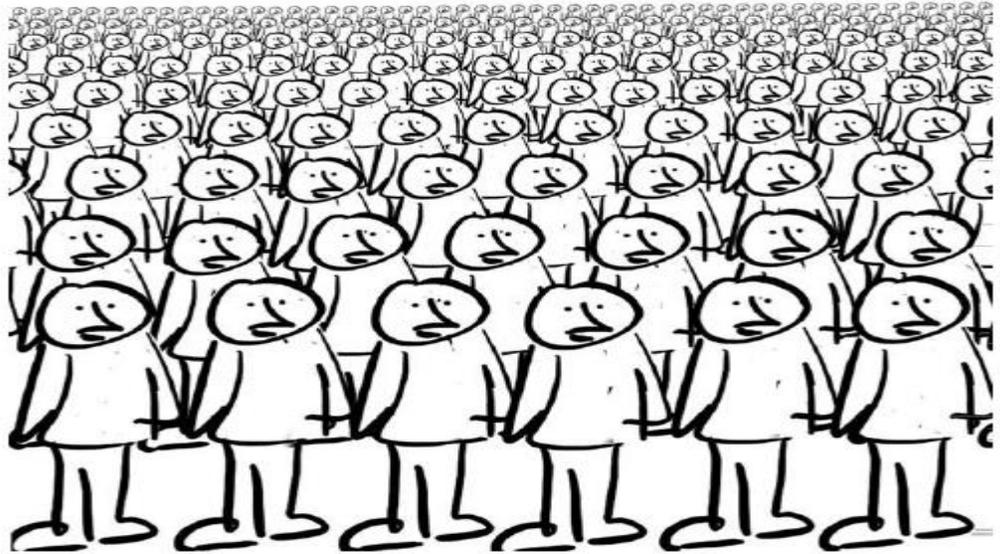


FIGURA 1.12
Gradiente de textura. Los detalles de las figuras se van perdiendo a medida que se alejan.

- **Iluminación y sombreado:** la manera en que incide la luz en un objeto y se refleja en su superficie, y la sombra creada por los objetos, provee al cerebro de una clave efectiva para determinar la forma de los objetos y su posición en el espacio [Lip82]. La cantidad de luz que ilumina una superficie es inversamente proporcional a la raíz de la distancia entre la fuente de luz y la superficie. Así, la superficie de objetos más lejanos de la fuente de luz se aprecian más oscuros, lo cual proporciona pistas tanto de la profundidad como de la forma de los mismos [Mca02].

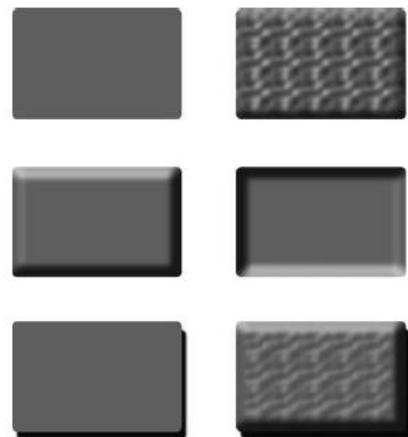


FIGURA 1.13
Arriba a la izquierda, un simple rectángulo gris. En el resto se ha creado una ilusión de profundidad simulando una iluminación y su sombreado correspondiente.

- **Desenfoque borroso:** el desenfoque selectivo se utiliza muy comúnmente en fotografías y video para establecer la impresión de profundidad, y puede funcionar de manera monocular incluso cuando el resto de los indicadores o claves están ausentes. Contribuye a la percepción de profundidad en las imágenes de nuestra retina, ya que la distancia focal del ojo humano es limitada. Existen varios algoritmos de estimación de profundidad basados en el desenfoque [Mat96]. Se conoce que algunas arañas saltadoras utilizan el desenfoque de la imagen para juzgar la profundidad [Nag12].

1.2.2. Claves Binoculares [Men09]

Proporcionan información de profundidad al ver una escena con ambos ojos.

- **Estereopsis o Disparidad retinal:** los animales con los ojos en posición frontal pueden usar la información derivada de la diferente proyección de los objetos en cada retina para juzgar la profundidad. Utilizando dos imágenes de la misma escena obtenidas con ángulos ligeramente diferentes, es posible triangular la distancia hasta el objeto con una alta precisión. Si un objeto está lejos, la disparidad de dicha imagen obtenida en ambas retinas será pequeña. Si el objeto está cerca, la disparidad será mayor.

Contra mayor sea la separación entre los ojos de un animal (Distancia Interocular), mayor será su percepción binocular de profundidad, o “rango de profundidad”. Para los seres humanos, cuya distancia interocular se ha establecido en una media de 6,5 cm, y mientras que las claves monoculares virtualmente no tienen limitaciones de rango, la percepción estereoscópica se encuentra con un límite cuando los objetos están demasiado lejanos como para que haya diferencias entre la imagen registrada por cada uno de los ojos. Este límite se encuentra en el rango de 100-200 metros, donde nuestro discernimiento tiende asintóticamente a cero.

Existen varios factores extraídos de la disparidad retinal que contribuyen a la percepción de profundidad:

- **Paralaje horizontal:** cuando se mira una imagen estereoscópica, el cerebro extrae y procesa el tamaño de las disparidades para calcular la distancia de los objetos.
- **Revelaciones de oclusión:** en la estereoscopía, la oclusión hace que una porción vertical del objeto ocluido sea visible únicamente por un ojo. Este es un indicador tan importante, que reemplaza a cualquiera de los otros, y el cerebro humano tiende a “alterar” la percepción de la escena para hacerlo funcionar.

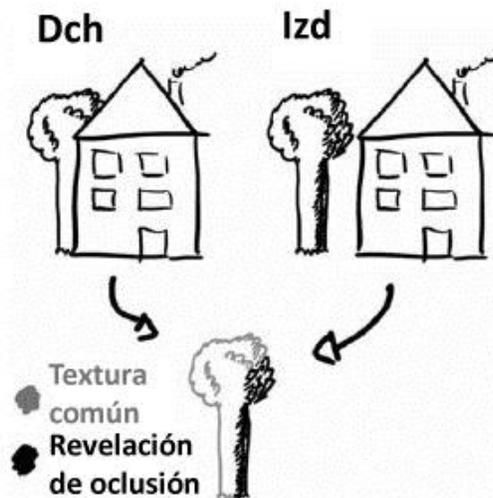


FIGURA 1.14

Para el ojo izquierdo, el árbol está completamente a la vista, revelando detalles ocluidos para el ojo derecho.

- **Cambio de forma:** el cerebro combina las imágenes obtenidas por cada ojo para crear objetos tridimensionales coherentes. Por ejemplo, si observamos de frente un dado, cuyo tamaño es inferior a la distancia interocular (6,5 cm), nuestro ojo izquierdo verá la cara izquierda del dado, pero no la derecha, y el ojo derecho hará lo contrario, pero el cerebro combinara ambas informaciones. Al mirar un edificio, sin embargo, por ser mayor que la distancia interocular, no podremos ver sus lados. Este hecho de que se vean los lados de un objeto en mayor, menor, o ninguna medida, permite calcular tamaños y distancias.
- **Estereopsis de sombras:** se ha demostrado que imágenes retinales sin disparidad de paralaje, pero con diferentes sombras, se fusionan de manera estereoscópica, proporcionando percepción de profundidad a la escena. Las sombras son, por tanto, una clave para la percepción de profundidad [Med89].

1.2.3. Claves Oculomotrices

Proporcionan información de profundidad basándose en la capacidad de sentir la posición de los ojos y la tensión de los músculos oculares.

- **Acomodación:** cuando intentamos enfocar objetos distantes, los músculos ciliares estiran las lentes oculares, haciéndolas más finas, y así cambiar la distancia focal. El córtex visual interpreta la contracción y relajamiento de los músculos ciliares, y determina la distancia y profundidad. Es efectivo sólo para distancias menores a dos metros [Gol06].

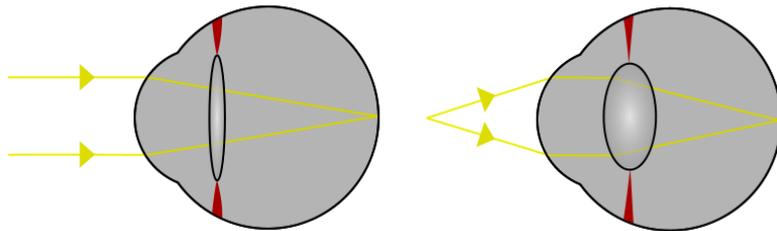


FIGURA 1.15

A la izquierda, los músculos ciliares estiran la lente para enfocar un punto lejano, y a la derecha se relajan para enfocar un punto más cercano.

- **Convergencia y divergencia:** cuando centramos la vista en un objeto, los músculos extraoculares se estiran o relajan para que ambos globos oculares converjan y apunten hacia el objeto.

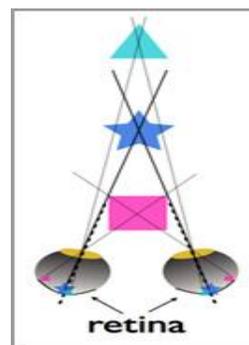


FIGURA 1.16

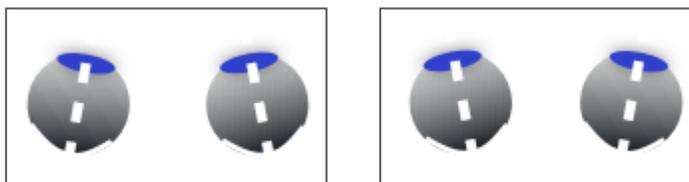
Ojos convergiendo sobre el objeto central.

Converger sobre objetos cercanos conlleva un esfuerzo muscular, pudiendo llegar a ser doloroso, mientras que mirar paisajes lejanos es relajado y confortable. La propiocepción interpreta el estado de dichos músculos para extraer información sobre distancia y profundidad de la escena observada.

Tiene el mismo rango que la acomodación, aunque es la más efectiva de las dos [Gol06].

Lo que nunca les ocurre a los ojos de manera natural es la divergencia, que implica que los ojos apunten hacia el exterior. Esto es así porque el punto más lejano que se podría intentar mirar está en el infinito, lo cual requeriría únicamente que los ojos apunten de manera completamente paralela.

FIGURA 1.17
Izquierda: ojos convergiendo.
Derecha: ojos divergiendo.



1.2.4. Rangos de eficacia de las claves de profundidad [Gol06]

Información de profundidad: 0 - 2 m 2 - 30 m + 30 m

Tamaño relativo			
Posición respecto al horizonte			
Movimiento			
Perspectiva atmosférica			
Acomodación y convergencia			
Oclusión			

FIGURA 1.18
Rango de eficacia de las claves de profundidad.

2. ESTEREOSCOPIA

Esta sección versa sobre la técnica en la que se basa el 3D estereoscópico, presentando las técnicas tradicionales utilizadas para su visionado, así como las limitaciones inherentes a dicha tecnología y otros factores que pueden repercutir negativamente en la misma.

2.1. Concepto y requerimientos visuales [W.Ste]

La palabra estereoscopia deriva del griego "στερεός" (*stereos*; firme, sólido), y "σκοπέω" (*skopeō*; mirar, ver). La estereoscopia es la creación o realce de la ilusión de profundidad en fotografías, películas y otras imágenes bidimensionales. Como su nombre indica, se basa en la estereopsis, previamente explicada, y funciona presentando una imagen ligeramente distinta para cada ojo.

Anatómicamente, existen tres niveles de visión binocular que son requeridos para ver imágenes estereoscópicas:

- Percepción simultánea
- Fusión
- Estereopsis

Estas funciones se desarrollan al principio de la infancia. Algunas personas que padecen estrabismo tienen problemas en el desarrollo de la estereopsis, aunque hay tratamientos orthópticos para mejorar la visión binocular. La estereoagudeza de una persona determina la mínima disparidad que puede percibir como profundidad.

Aunque la Estereoscopia es un método que se comercializa ampliamente hoy en día, bajo el nombre de 3D Estereoscópico, fue inventado en 1838, de la mano de Charles Wheatstone, que creó un dispositivo llamado Estereoscopio que creaba la ilusión de tridimensionalidad a partir de dos dibujos. Según el propio Wheatstone, si se lograba una reproducción perfecta de un objeto, como una rosa, podría conseguirse una imagen estereoscópica indistinguible del objeto real [Whe38]. Poco después llegaría la fotografía, haciendo obsoletos los dibujos a mano.

2.2. La Estereoscopía tradicional [W.Ste]

La fotografía estereoscópica tradicional consiste en crear la ilusión de 3D a partir de dos imágenes 2D, es decir, un estereograma o par estéreo. La manera más fácil de realzar la percepción de profundidad en el cerebro es proveer a los ojos de dos imágenes distintas, representando dos perspectivas del mismo objeto con una desviación mínima, exactamente correspondientes a las perspectivas que ambos ojos reciben de forma natural en la visión binocular. A este método se lo conoce como Side-by-side (lado a lado) por la disposición de las imágenes.



FIGURA 1.19
Estereograma publicado en el año 1900.

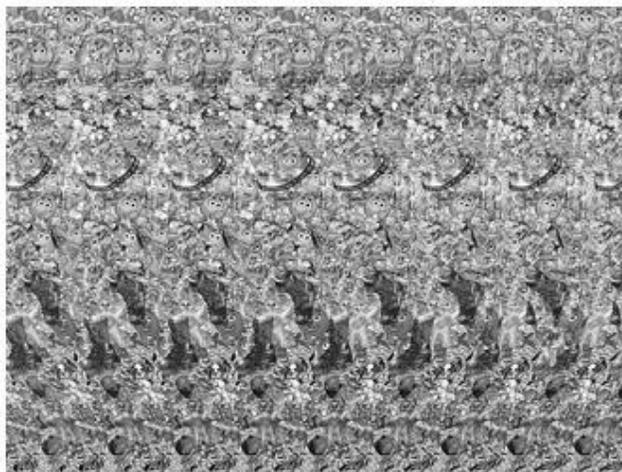
Para evitar la distorsión y el cansancio de la vista, cada una de las imágenes 2D debería ser presentada al ojo correspondiente del espectador, y de manera que cualquier objeto a una distancia infinita sea visto con los ojos completamente paralelos. Cuando la imagen no contiene objetos en la distancia infinita, como son el horizonte o una nube, las imágenes 2D deberían estar menos espaciadas la una de la otra.

2.2.1. Freeviewing y autoestereogramas

Se conoce como *freeviewing* (“visión libre”) al hecho de observar y percibir el efecto 3D sin ningún aparato o ayuda óptica, y autoestereograma a los estereogramas ideados para ser vistos de dicha manera [W.Vis]. Existen varias técnicas:

- **Cross eyed (ojos cruzados):** la imagen de la izquierda corresponde al ojo derecho y viceversa.
- **Parallel eyed (ojos paralelos):** cada imagen corresponde al ojo del mismo lado, con la vista completamente paralela, sin converger.

Ambas técnicas tienen además la ventaja de que la imagen estereoscópica se observa con el color y brillo inalterados, independientemente del tamaño de la misma. Otro tipo de autoestereograma consiste en patrones repetidos horizontalmente que, vistos con la convergencia apropiada, crean la ilusión de profundidad:

**FIGURA 1.20**

Autoestereograma de patrones repetitivos (izquierda), y la imagen que contiene (derecha).



Todas estas técnicas requieren de cierto entrenamiento. A muchas personas les resulta difícil o incómodo, incluso imposible, conseguir obtener el efecto deseado sin ayudas ópticas.

2.2.2. Ayudas ópticas para el visionado 3D

Las ayudas ópticas que se pueden utilizar son las siguientes:

- **Estereoscopio:** inventado por Wheatstone, se basa en un sistema de lentes que lleva cada imagen al ojo correspondiente. Reapareció en la forma moderna del View Master. Permite su ajuste para diferentes distancias de visionado y tamaños de imagen.

**FIGURA 1.21**

Estereoscopio de bolsillo de la década de 1950.

Ofrece varias ventajas:

- Al usar lentes con curvatura positiva (magnificadoras), el punto de enfoque de la imagen se cambia desde corta distancia (entre 30 y 40 cm) a una distancia virtualmente infinita. Esto permite que el enfoque de los ojos sea consistente con las líneas de visión paralelas, reduciendo enormemente la tensión en el ojo.
 - La carta de imagen se magnifica, ofreciendo un campo de visión más amplio y la habilidad de examinar los detalles de la fotografía.
 - El visor proporciona una partición entra las imágenes, evitando una potencial distracción al usuario.
- **Un espejo:** si una de las imágenes se invierte en el sentido horizontal, y colocamos un espejo en la intersección de las imágenes, y perpendicular a las mismas, podemos observar un efecto de profundidad en la escena si nuestros ojos convergen en la imagen del lado no reflectante del espejo.



FIGURA 1.22

Método de visionado de efecto 3D con ayuda de un espejo, y estereograma con imagen invertida para ser visionado con dicha técnica.

- **Dos prismas:** se colocan los extremos de dos prismas de 90 grados uno en frente del otro, con los lados más largos perpendiculares a las imágenes. Cada ojo mira por el prisma correspondiente, y se cambia el ángulo de los prismas hasta que la imagen de un lado quede sobrepuesta a la del otro, dando como resultado tres imágenes, donde la del centro da la ilusión de tridimensionalidad.
- **Gafas:** cada una de las lentes únicamente deja atravesar la imagen correspondiente a dicho ojo. Pueden ser lentes de colores opuestos para el visionado de anaglifos, lentes polarizadas, o lentes con obturadores activos.

Analizaremos estas técnicas con detalle en el Capítulo Segundo de esta memoria.



FIGURA 1.23
Gafas 3D anaglíficas para el visionado de anáglifos.

2.2.3. Técnicas tradicionales

2.2.3.1. Anáglifos [W.Ana]

Un anáglifo consiste en una estereografía en la que se hallan superpuestas dos imágenes tomadas o tratadas con filtros de colores distintos. Para su visualización se requiere de gafas anaglíficas, como las que se ven en la imagen inmediatamente anterior (figura 1.23), que, mediante filtros de colores distintos, hacen llegar a cada ojo únicamente la imagen que le corresponde, creando el efecto estereoscópico.

Las imágenes anaglíficas pueden ser creadas de diversas maneras: empleando los de negativos, colorearlas con ayuda de un ordenador, o proyectar diapositivas desde dos proyectores equipados con filtros.

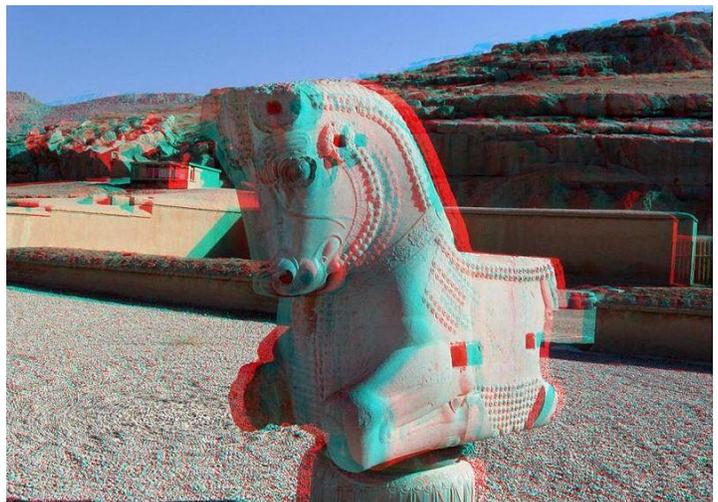


FIGURA 1.24
Imagen anaglífica. Puede verse la superposición de un par estéreo de imágenes, una codificada en rojo, y la otra en cian.

2.2.3.2. Sistema ChromaDepth

Este sistema patentado por la compañía Chromatek [W.Chr] utiliza una rejilla de difracción en las gafas que descompone la luz que lo atraviesa en colores con diferente angulación según su longitud de onda, que llegan al ojo y crean un efecto de profundidad que varía según el color. Para que la desviación entre la luz directa y la difractada sea notable, las imágenes tienen que tener colores muy intensos, por lo que el rango cromático utilizable queda limitado [W.Dep].

2.2.3.3. Efecto Pulfrich [Mor99]

Descubierto en 1922, este efecto se produce al observar el movimiento oscilatorio de un péndulo en un plano frontal al observador cuando colocamos un filtro gris o coloreado sobre uno de los ojos. La explicación del efecto que el mismo Pulfrich teorizó era que el estímulo que se veía con el ojo con filtro era “registrado” con una latencia mayor que el que se veía con el ojo sin filtro. Es decir, la información del ojo con filtro llegaba al córtex cerebral con un retraso temporal. Para un objeto estacionario, esta latencia no tiene consecuencias prácticas, pero cuando el objeto está en movimiento, el ojo con filtro ve la imagen correspondiente al péndulo en un momento anterior al que está viendo el ojo sin filtro. Estas dos imágenes crean una disparidad binocular para el objeto en movimiento en cualquier punto de la trayectoria. La ventaja de esta técnica es que se puede aplicar sobre una escena con imagen normal, pero el gran inconveniente es que dicha escena debe tener un movimiento lateral continuo, y en el mismo sentido, para obtener un efecto de profundidad [W.Dep].

2.3. Rango y límites de la percepción de profundidad estereoscópica [Men09]

Como se ha explicado, la percepción de profundidad estereoscópica alcanza un límite cuando no hay disparidad entre las imágenes obtenidas por cada uno de los ojos, cosa que ocurre para el rango de 100-200 metros previamente (véase apartado 1.2.2). En la visualización de imágenes estereoscópicas recreadas existe la misma limitación, que definirá la “resolución de profundidad” y el “rango de profundidad” del visionado.

- **Resolución 2D y Resolución de profundidad 3D**

Cuando se llega al límite de la resolución 2D, se pierde habilidad en la extracción de información 3D. En otras palabras, cuanto mayor resolución tenga el par de imágenes 2D, mayor será la resolución de profundidad de la imagen 3D creada. La compresión excesiva, la pérdida de detalles en brillos y sombras, proyectores desenfocados y cualquier tipo de imagen de baja resolución afectarán a la calidad de la reconstrucción de profundidad.

- **Distancia máxima y mínima**

En nuestro entorno natural, no estamos acostumbrados a mirar objetos más lejanos que el infinito. Incluso cuando miramos las estrellas, los ejes ópticos de nuestros ojos están paralelos, en una posición de relajación. En una imagen recreada, este es el caso cuando las imágenes izquierda y derecha están separadas 6,5 cm (equivalente a la distancia interocular humana). Sin embargo, esta distancia se convertirá en una diferente si se hace un zoom, o si se proyecta en una pantalla de un tamaño diferente para el que fue creada. Posiblemente pueda ser visualizada, pero pasado un tiempo cansará la vista del observador.

- **Límites de convergencia y decorrelación de acomodación**

Cuando se mira un objeto en el mundo real, los ojos convergen y acomodan, o enfocan, en un único punto. Cuando se mira la imagen 3D de un objeto, los ojos se acomodan sobre la pantalla, pero convergen en un lugar entre esta y los propios ojos. Esta decorrelación no es una función natural de nuestro sistema visual, y de hecho es el cerebro el que está forzando a los ojos a acerlo. Este ejercicio oculo-motriz puede ser doloroso y puede incrementar en dificultad con la edad. Como cualquier actividad muscular, la eficiencia y confort en la decorrelación se incrementan con ejercicio. El entrenamiento reduce el efecto de vista cansada y reduce también el tiempo de procesamiento para asimilar las parejas de imágenes 2D en una imagen 3D.

- **Límite de rango de fusión**

La fusión es el proceso por el cual el cerebro combina dos imágenes 2D en una única imagen 3D. Podemos fusionar imágenes de objetos cercanos o lejanos a nosotros, pero no de objetos demasiado alejados entre ellos, ni fusionar el primer plano o el fondo. Además, nuestro deseo, inherente al ser humano, de controlar el entorno que nos rodea, nos lleva inconscientemente a analizar primero qué está pasando al fondo, antes de concentrarnos en el sujeto. En

las imágenes estereoscópicas, este rango se tiene en cuenta, por ejemplo, no mostrando un plano cerrado cuyo fondo sea un paisaje con mucha profundidad.

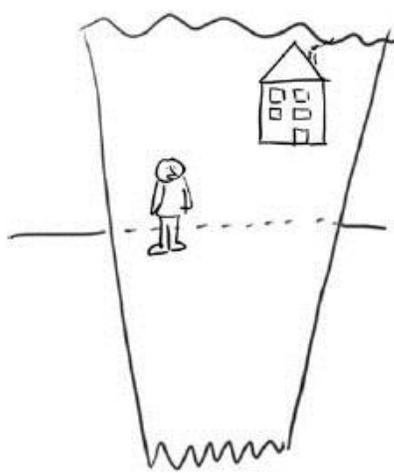


FIGURA 1.25

Tanto el fondo como el frente están en la zona de confort, y los suficientemente cerca para poder ser enfocados con la misma convergencia ocular.

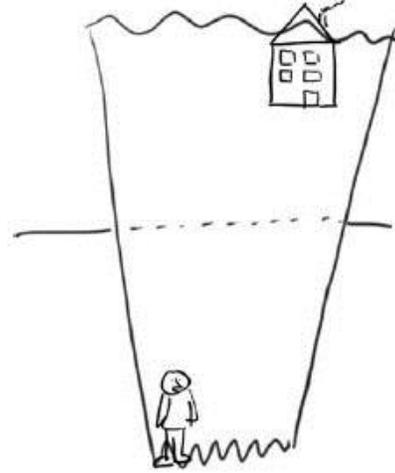


FIGURA 1.26

Tanto el fondo como el frente están en la zona de confort, pero demasiado alejados entre ellos para ser enfocados con la misma convergencia ocular.

2.4. Visión estereoscópica fallida [Men09]

Existen varias circunstancias en las que la visión estereoscópica es incorrecta o imposible:

- **Ceguera estereoscópica**

Se estima que de un 3 a un 15 por ciento de la población padece de ceguera estereoscópica, es decir, no es capaz de ver 3D. La mayoría de estos casos se deben a problemas de convergencia como el estrabismo, o personas con agudeza visual muy asimétrica, que sólo pueden reconstruir imágenes 3D toscas. También puede ocurrir en personas que en su infancia tuvieron alguna clase de problema oftalmológico que impidió el desarrollo de una correcta visión estereoscópica, aún incluso si después se corrigió su problema fisiológico. En estos casos el problema está en el cerebro, aunque se puede

solucionar con entrenamiento. Para que se dé una ceguera total al 3D, y como el cerebro está conectado para compartir la información visual entre los ojos y entre hemisferios, tiene que darse una deficiencia visual importante, en la que un ojo sea estrictamente dominante sobre el otro. Por ejemplo, personas que han perdido la visión en un ojo, o perdido la habilidad muscular para converger y enfocar ambos ojos en un punto del campo visual. Su cerebro no utilizará la estereopsis para reconstruir la percepción visual de profundidad, sino que se basará en las claves monoculares.

- **3D defectuoso**

El mayor causante de una visión estereoscópica incorrecta es una imagen con mala estereoscopia. Prácticamente cualquier problema que pueda haber en una imagen 2D degradará o destruirá el efecto 3D. Los tratamientos fotográficos, colorimétrico y de la geometría de la imagen pueden degradar la percepción de profundidad. Fallos en la postproducción, en la proyección, o incluso en el uso de las gafas 3D pueden impedir la estereopsis. Incluso con imágenes técnicamente perfectas, puede darse un efecto incorrecto si la iluminación o la disposición no son óptimas.

Los objetos mostrados fuera de la zona de confort afectarán a la percepción 3D y eventualmente generarán incomodidad. Incluso dentro de la zona segura, las luces especulares, destellos, y reflejos en agua, cristal o superficies brillantes pueden ser problemáticos.

Dependiendo de la intensidad de los defectos de la imagen, el observador experimentará una imperceptible sobrecarga de su sistema visual, una ligera incomodidad de unos efectos 3D poco impresionantes, y eventualmente vista cansada con una total pérdida de la percepción de profundidad de la imagen, viendo un par de imágenes 2D sin sentido tridimensional aparente.

El nivel de incomodidad incrementa con la duración de la exposición al estímulo defectuoso. Y a mayor defecto, mayor dolor de cabeza.

3. HISTORIA

Esta sección resume los acontecimientos concernientes al 3D estereoscópico más significativos acaecidos desde su creación hasta la fecha [W.Med][W.Ezi].

La tecnología 3D se remonta a tiempos anteriores a la fotografía. En 1838, Charles Wheatstone inventó el estereoscopio, capaz de crear la ilusión de profundidad a partir de dos dibujos. En 1844, David Brewster inventó un aparato capaz de tomar fotografías estereoscópicas. Más tarde, Louis Jules Duboscq mejoró dicho invento, y tomó una imagen de la reina Victoria para exhibirla en la Gran Exposición de 1851. La imagen acabaría siendo bien conocida a lo largo y ancho del mundo. En 1855 se inventó el Kinematoscope, una cámara estéreo, capaz de crear películas en movimiento 3D.

En 1915 se produjo la primera película anaglífica, usando gafas con lentes de colores distintos que llevarían una imagen distinta para cada ojo, y en 1922 se presentó la primera película anaglífica al público, "The Power of Love". En 1935 se produjo la primera película en 3D Color, cuya tecnología permanecería latente por más de diez años.

En 1947 se estrena la primera película 3D creada en la Unión Soviética, "Robinson Crusoe".

En la década de 1950, la tecnología 3D hizo su reaparición, época en la que la televisión se había hecho extremadamente popular y se encontraba ya en muchos hogares. Durante ésta década se produjeron varias películas 3D. La primera de ellas fue "Bwana Devil", por la United Artists, que se mostró por todo Estados Unidos. Se rodó utilizando un proceso denominado Natural Vision, que sería ofrecido a muchos estudios de Hollywood, y rechazado por todos ellos. Un año después, en 1953, se estrenaron "Man in the Dark" y "House of Wax", siendo esta última la primera película 3D que contaba además con sonido estéreo, y que fue dirigida por André de Toth, que tenía un único ojo. Ese mismo año se produjo la primera cancelación de una película 3D en producción, "The 3-D Follies".



FIGURA 1.27

Espectadores de los años 50 del siglo pasado viendo una producción cinematográfica en 3D.

"Dial M for Murder" fue originalmente planeada para estrenarse en 3D, aunque Alfred Hitchcock se decantó finalmente por el 2D, para maximizar beneficios, ya que no todos los cines estaban equipados con la tecnología 3D. El boom del 3D tocaba a su fin.

En la década de 1960 se creó una nueva tecnología 3D llamada Space-Vision, que imprimía dos imágenes una sobre la otra en una única cinta. Al contrario que las tecnologías anteriores, esta requería de una lente especial, que hacía innecesario usar el difícil de sincronizar sistema de dos cámaras para mostrar películas 3D. La primera película que usó esta nueva tecnología fue "The Bubble". La película fue pisoteada por las críticas, pero la experiencia 3D atrajo grandes audiencias, haciéndola rentable y preparando la tecnología para promocionarla ante otros estudios.

En 1970, Allan Silliphant y Chris Condon desarrollaron Stereovision. Era una nueva tecnología 3D que encajaba dos imágenes lado a lado en una única cinta de 35mm, y usaba una lente anamórfica especial para ensanchar las imágenes usando una serie de filtros polaroid. La primera película estrenada en Stereovision fue la comedia "The Stewardesses", que costó solo cien mil dólares y recaudó 27 millones en Norteamérica.

En 1981 se estrena "Comin at Ya!" con la tecnología de Space Visión de imágenes anaglíficas, iniciando el boom 3D de la década, que incluye películas como "Amitivylle 3D", "Friday the 13th Part III", y "Jaws 3-D". A mediados de década, IMAX comenzó a producir documentales 3D. La tecnología IMAX 3D enfatizaba en la corrección matemática, lo que eliminaba la fatiga ocular producida por las tecnologías previas. En 1986, Canadá desarrolló la primera película 3D que usaba gafas polarizadas, "Echos of the Sun", para la Expo 86.

Durante la década de 1990, se estrenaron varios films en IMAX 3D. El de mayor éxito sería "Into the Deep". La primera película IMAX 3D de ficción fue "Wings of Courage", estrenada en 1996.

A lo largo de la década de 2000, se estrenaron muchas películas de grandes estudios en 3D. En 2003, James Cameron estrenó "Ghosts of the Abyss". Fue la primera película de larga duración de IMAX 3D, utilizando la más novedosa tecnología IMAX 3D, llamada Reality Camera System. Dicha tecnología usaba las cámaras HD más novedosas y fue desarrollada por Vince Pace. La misma tecnología se usó en "Spy Kids 3D: Game over", "Aliens of the Deep" y "The Adventures of Sharkboy and Lavagirl in 3-D". En 2004 se estrenó el primer largometraje 3D de animación, "The Polar Express", cuya versión 3D recaudo catorce veces más dinero que la versión 2D, lo que atrajo un gran interés en las películas 3D de animación. En 2005, el cine The Mann's Chinese 6, en Hollywood, se convirtió en el primer cine comercial con tecnología Digital 3D. En 2007 se estrenó "Scar 3D" de manera internacional, siendo la primera película grabada íntegramente en formato digital. A finales de 2009 se estrenó "Avatar", de James Cameron, con un tremendo éxito en taquilla, y llevando la popularidad del 3D un paso más allá.

A raíz de dicha popularidad, se desarrollaron diversas tecnologías para llevar el 3D a casa, en forma de monitores y televisores especializados. El 1 de Enero de 2010, comenzó a transmitir en Corea del Sur el canal HD de televisión “Sky 3D”, el primero con programación íntegramente en 3D.

4. Bibliografía

- [Fer72]** *Motion parallax and absolute distance*
S. H. Ferris
1972
Journal of experimental psychology, 95(2), p. 258-63
- [Gil88]** *The role of monocular regions in stereoscopic displays*
B. Gillam y E. Borsting
1988
Perception, 17, p. 603-608
- [Gol06]** *Sensación y percepción*
E. Bruce Goldstein
2006
Capítulo 7
- [Lip82]** *Foundations of the Stereoscopic Cinema – A Study in Depth*
L. Lipton
1982
p. 56
- [Mat96]** *Image Blur as a Pictorial Depth Cue*
George Mather
1996
Proceedings: Biological Sciences, Vol. 263, nº 1367 (22 Febrero 1996), p. 169-172
- [Mca02]** *Display Technology: Stereo & 3D Display Technologies [D.F.McAllister, 2002]*
D.F.McAllister
2002
- [Med89]** *The power of shadows: shadow stereopsis*
A. Medina
1989
J. Opt. Soc. Am. A 6, p. 309-311
- [Men09]** *3D Movie Making, Stereoscopic Digital Cinema from script to screen*
Bernard Mendiburu
2009
Capítulo 2

- [Mor99]** *Aspectos sensoriales de la Visión Binocular*
Álvaro M. Pons. Moreno
1999
Tema 6: Aspectos espaciotemporales de la estereopsis
- [Nag12]** *Depth Perception from Image Defocus in a Jumping Spider*
Takashi Nagata
2012
Science Vol. 335 nº 6067 (27 Enero 2012) p. 469-471
- [Osh94]** *Contrast as a depth cue*
R. P. O'Shea, S. G. Blackburn, H. Ono
1994
Vision Research, 34, p. 1595-1604
- [Whe38]** *Contributions to the Physiology of Vision.-Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision*
Charles Wheatstone
1838
"Philosophical Transactions" de la Royal Society of London, Vol. 128, p. 371 – 394
- [W.Ana]** *Anaglyph image*
Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph_image
- [W.Chr]** *ChromaDepth Technologies*
Chromatek
<http://www.chromatek.com/>
- [W.Dep]** *Depth perception*
Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception
- [W.Ezi]** *The History of 3D Technology*
Wayden Enciso
<http://ezinearticles.com/?The-History-of-3D-Technology&id=3711641>
- [W.Med]** *The History of 3D*
MediaCollege
<http://www.mediacollege.com/3d/history/>
- [W.Ste]** *Stereoscopy*
Wikipedia
<http://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>

[W.Vis] *The Logical Approach to Seeing 3D pictures*
Optometrists Network para Vision3D.com
<http://www.vision3d.com/3views.html>

CAPÍTULO SEGUNDO: VISIONADO 3D

Sobre las diferentes técnicas para ver contenido estereoscópico en pantallas bidimensionales, tridimensionales y de cine, y los diferentes formatos y codificaciones de video 3D.

5. VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN PANTALLAS 2D

Los métodos de estereoscopia tradicional descritos en el capítulo anterior pueden ser visualizados en una pantalla bidimensional, ya que las imágenes estéreo, los autoestereogramas o los anaglifos se emitirán como imágenes normales, y serán las ayudas ópticas, o las técnicas visuales, las únicas encargadas en el proceso de llevar a cada ojo la imagen correspondiente.

6. VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN PANTALLAS 3D

Los nuevos formatos de contenido tridimensional, a pesar de obtener una calidad de imagen y un efecto de profundidad sin precedentes, no pueden ser visualizados en una pantalla bidimensional, y han hecho necesarios nuevos dispositivos capaces de emitir dichos formatos y hacérselos recibir al observador. Aunque se use el término “Pantalla 3D”, hemos de recordar que sigue siendo únicamente un efecto óptico obtenido a partir de imágenes bidimensionales.

6.1. Sistemas autoestereoscópicos

La autoestereoscopia es cualquier método de mostrar imágenes estereoscópicas sin usar ningún tipo de dispositivo en la cabeza ni gafas por parte del espectador. Por ello, se la conoce también como *glasses-free 3D* o *glassesless 3D* (3D sin gafas).

6.1.1. Barrera de paralaje

La barrera de paralaje es un dispositivo colocado enfrente de la fuente de la imagen, como puede ser una pantalla LCD (pantalla de cristal líquido), y que consiste en una capa de material con una serie de rendijas verticales de precisión, que permiten que cada ojo vea un set distinto de píxeles. Se ha utilizado para crear pantallas estereoscópicas y pantallas multiscópicas, donde estas últimas utilizan un mayor número de imágenes, típicamente cuatro u ocho pares, para conseguir una percepción de paralaje de movimiento izquierda-derecha [Dog99].

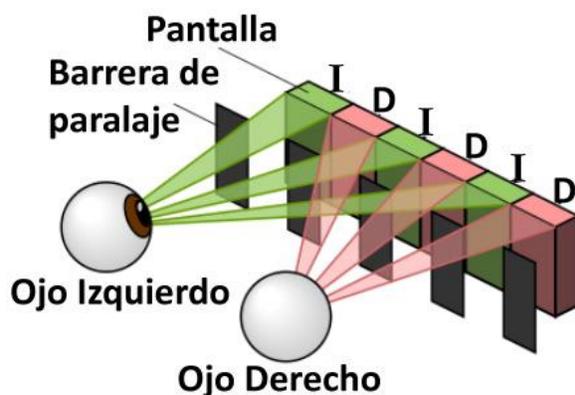
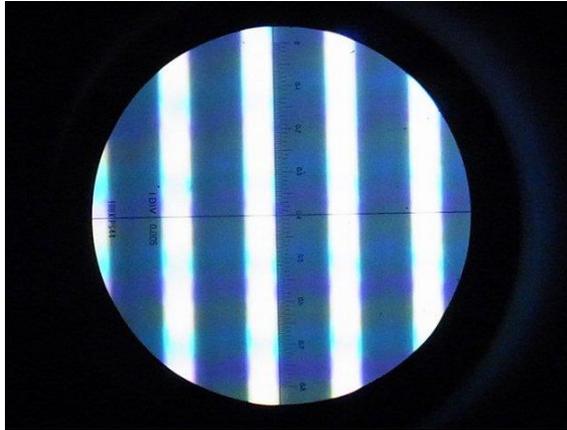


FIGURA 2.1

Funcionamiento de barrera de paralaje. La barrera permite que cada ojo vea las columnas de la imagen que le corresponde, pero le bloquea el resto.

Actualmente, la mayoría de pantallas autoestereoscópicas utilizan la tecnología de barrera de paralaje, con barreras que redirigen la imagen a varias regiones de visionado. Estas zonas de visionado permiten que múltiples espectadores vean simultáneamente la imagen. La desventaja viene con el hecho de que dichas zonas obligan a los espectadores a colocarse en posiciones muy concretas, fuera de las cuales sólo percibirán imágenes no estereoscópicas, pseudoescópicas, o ninguna imagen en absoluto.

El principio de la barrera de paralaje fue inventado por Auguste Berthier, que fue el primero en publicar sobre el asunto pero sin resultados prácticos [Ber96], y por Frederic E. Ives, que desarrolló y exhibió la primera imagen autoestereoscópica conocida en 1901 [Ive02]. Un siglo más tarde, después de que Sharp implementara una pantalla plana autoestereoscópica con barrera de paralaje [Sha08], esta tecnología se ha implementado en diversos dispositivos, como la consola de videojuegos portable Nintendo 3DS [Nin10]; cámaras de fotos digitales como la Fujifilm FinePix Real 3D W1; cámaras de video como la SONY HDR-TD20VE [SonCa] o la JVC GS-TD1BEU [JvcCa]; y en teléfonos móviles como el EVO 3D de HTC [HtcMo]. Aparte del sector de entretenimiento, se le han dado usos prácticos en áreas como la seguridad en aeropuertos [Twi04], y en sistemas de navegación como el del modelo Range Rover de 2010, que permite que conductor y pasajero vean imágenes distintas, por ejemplo información GPS para uno y una película para el otro, en la misma pantalla [Rov11].

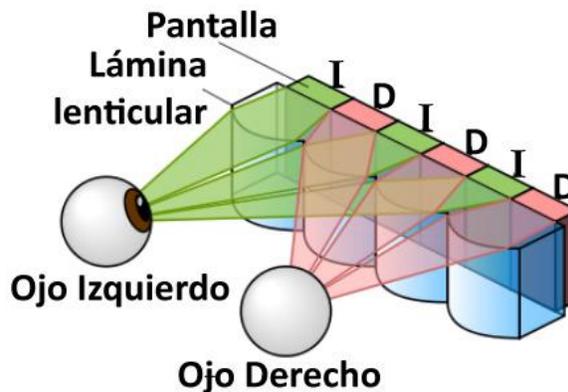
**FIGURA 2.2**

Detalle de la barrera de paralaje de una Nintendo 3DS.

La aplicación a televisores 3D es más complicada, por el limitado ángulo de visionado. Por ejemplo, una pantalla 3D de 21 pulgadas de Toshiba con tecnología de barrera de paralaje necesita utilizar nueve pares de imágenes para cubrir un ángulo de visión de únicamente 30 grados [Eng10].

6.1.2. Fotografía Integral y Matrices Lenticulares

Una lámina lenticular consiste en una serie de lentes semi-cilíndricas verticales, llamadas “lenticulas”, construidas típicamente en plástico. La lámina está diseñada de tal forma que la luz paralela que entra por el frente se enfoca en columnas en la superficie posterior. Si se utilizan imágenes en columnas en consonancia con la óptica de las lenticulas, se produce una imagen autoestereoscópica. El brillo de este tipo de pantallas es normalmente superior al de las barreras de paralaje, y no requiere de iluminación posterior [Mca02]-

**FIGURA 2.3**

Funcionamiento de una lámina lenticular. Las lentes desvían la luz, llevando a cada ojo las columnas de la imagen que le corresponde y bloqueándole el resto.

La fotografía integral es capaz de crear pantallas autoestereoscópicas con forma de ventana para reproducir objetos y escenas en tamaño real, con paralaje de movimiento y cambio de perspectiva completos cuando el espectador se mueve, e incluso con la clave de profundidad de la acomodación.

Esto se consigue a través de una matriz de microlentes (similares a lentes lenticulares) tanto para tomar la imagen, como para mostrarla después, donde cada lente muestra una imagen diferente dependiendo del ángulo de visión. Así, en vez de mostrar una imagen 2D que se ve igual desde cualquier dirección, se reproduce un campo de luz 4D.

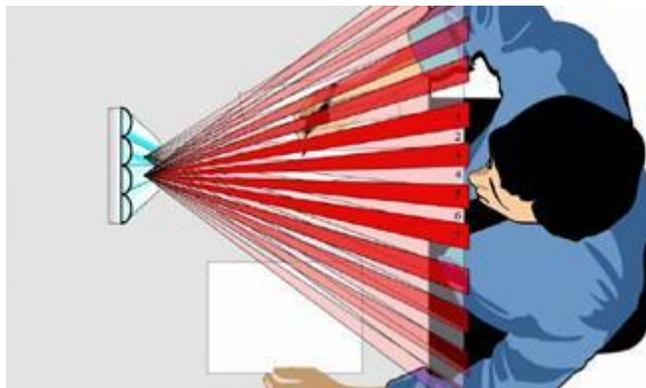
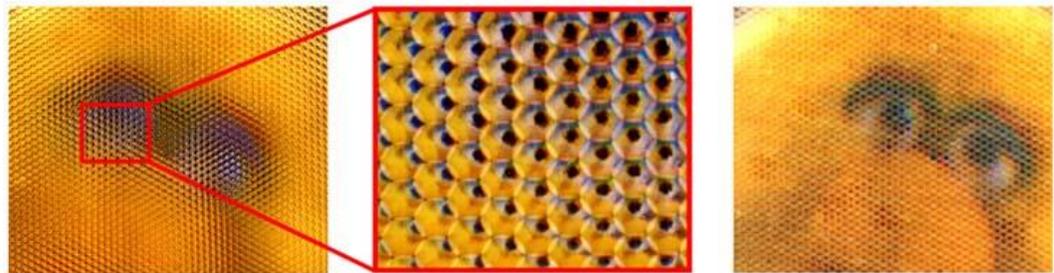


FIGURA 2.4

Arriba, detalle de una imagen creada con lenticulas. Izquierda, una lámina lenticular con nueve pares de imágenes (nueve vistas).

Por tanto, la realización de estas imágenes requiere de un número muy alto de sistemas ópticos de pequeño tamaño y alta calidad, así como de un muy alto ancho de banda para su transmisión. Las implementaciones fotográficas y de video implementadas hasta la fecha podrían calificarse de crudas.

El principio de la fotografía integral fue presentado por Gabriel Lippman en 1908 [Lip08]. En 1912 Walter Hess patentó una matriz unidimensional de lentes cilíndricas que evitaba la pérdida de luz y restringía menos la posición del observador que el sistema anterior [Hes12]. A mediados de las década de 1990, Philips resolvió problemas significativos de estas pantallas, al inclinar las lentes cilíndricas respecto a la cuadrícula de píxeles de debajo [Ber97]. Hasta 2009, produjo la línea WOWvx, llegando hasta una resolución de 3840x2160 píxeles y

con 46 ángulos de visionado [Phi10]. La compañía StereoGraphics produjo pantallas basándose en una idea muy similar previamente patentada, y Magnetic3d y Zero Creative se involucraron en el mismo negocio [Xyz10]. El hardware llamado 3DeeSlide disponible para los iPhone e iPod touch también utiliza esta tecnología para convertir la pantalla estándar en un dispositivo autoestereoscópico [3DeSp].

6.1.3. Seguimiento de ojos

El *eye tracking* o “seguimiento de ojos” es el proceso de evaluar el punto donde se fija la mirada, o el movimiento del ojo en relación con la cabeza. Aplicado al 3D, sirve para determinar qué imagen o par de imágenes debe mostrarse dependiendo de hacia dónde mira el espectador. El seguimiento de ojos se ha utilizado como método para conseguir el efecto de paralaje de movimiento limitando el número de imágenes mostradas a únicamente dos. Sin embargo, es un sistema que limita la pantalla a un único espectador, lo cual lo hace poco viable para el mercado de consumo.

El método de crear 3D autoestereoscópico mediante lentes se desarrolló principalmente en 1985 por Reinhar Boerner en el Heinrich Hertz Institute (HHI) de Berlín [Boe85], y en la década de 1990 se presentaron varios prototipos de pantallas en dicho instituto. Uno de los dispositivos 3D más conocidas del HHI fue la Free2C, una pantalla con muy alta resolución y un confort muy bueno, conseguido por un sistema de seguimiento de ojos y un ajuste mecánico perfecto de las lentes. Más recientemente, Apple ha desarrollado un software de 3D por seguimiento de ojos para su Ipad2 [Pcwl1], y LG ha desarrollado un monitor 3D con la misma tecnología [Teclg].

6.1.4. Otros

Pueden agruparse bajo el término “3D sin gafas” las tecnologías de dispositivos volumétricos y dispositivos holográficos, que crean imágenes “sólidas” o “reales” [Mca02], pero, ya que no basan su funcionamiento en la estereoscopía, este documento no se explayará sobre los mismos.

6.2. Sistemas estereoscópicos

Los sistemas estereoscópicos se ayudan de gafas para llevar una imagen diferente a cada ojo.

6.2.1. Sistemas activos [Mca02]

Los sistemas activos utilizan gafas con obturador de cristal líquido, también llamadas gafas LCS (*liquid cristal shutter glasses, LCS glasses*). Las lentes de estas gafas son pequeñas pantallas LCD que se “abren” y cierran”, es decir, dejan pasar la luz o se vuelven opacas, según se les aplique voltaje o no. Para cada lente se alternan pulsos de voltaje. Al mismo tiempo, las imágenes izquierda y derecha se alternan, una por cada campo, en la técnica conocida como campo secuencial. El proceso se sincroniza, normalmente mediante una señal infrarroja o una conexión por cable, de manera que la lente de un ojo esté abierta cuando se emite la imagen correspondiente, y la otra lente esté cerrada. La imagen emitida es de resolución completa, con una frecuencia de imágenes del doble que la correspondiente a una señal 2D (comúnmente se proponen 120Hz para los sistemas activos) [Mcc09].

La mayor ventaja del sistema es su eficiencia de transmisión (porcentaje de la luz emitida por la pantalla que llega al espectador), que es mayor que en los sistemas polarizados (véase el apartado siguiente), y que se puede utilizar proyección trasera de manera efectiva. Para su emisión con proyector, tiene además la ventaja de que no necesita de una pantalla especial sobre la cual mostrarse [Ves10]. Su mayor desventaja son las propias gafas, que al tener una componente electrónica las hace más caras, además de más voluminosas y pesadas. Necesitan también sincronización y alimentación, dos factores cuya disminución puede además derivar en un efecto de parpadeo perceptible.

6.2.2. Sistemas pasivos

En los sistemas pasivos, las gafas no realizan ningún tipo de acción mecánica. No requieren sistemas electrónicos, alimentación ni sincronización, lo cual las hace cómodas y baratas. Esta es la principal ventaja y el mayor atractivo de los sistemas pasivos, los cuales utilizan distintas técnicas:

6.2.2.1. Anaglifos

La codificación anaglífica es tan prevalente en las tecnologías de visualización de profundidad que es casi un sinónimo de estereoscopia, y de 3D. Como ya hemos visto en el capítulo anterior, es una tecnología que, pese a resurgir y caer en el olvido varias veces, ha permanecido con vida durante más de un siglo, popular por su facilidad de producción y exhibición, y el amplio rango de medios en el que se ha distribuido: comics, libros, cine y televisión.

Funcionamiento

El espectador lleva un par de gafas, con dos filtros de los mismos colores que se usaron en las cámaras (o fueron simulados por software) para llevar cada imagen al ojo correspondiente. En un anáglifo rojo-azul, por ejemplo, el ojo cubierto por el filtro rojo ve las partes rojas de la imagen como “blanco”, y las azules como “negro”, y el ojo cubierto por el filtro azul percibe el efecto opuesto, mientras que las partes realmente blancas o negras se ven igual por los dos ojos.

Gafas anaglíficas con rojo agudizado

Las gafas simples de papel con gel no corregido no pueden compensar la diferencia de 250 nanómetros en las longitudes de onda rojo-cyan, por lo que la imagen filtrada por el rojo queda de alguna manera borrosa. El enfoque retinal del filtro rojo difiere de la del filtro cyan, el cual domina el enfoque del ojo. Las gafas acrílicas de mayor calidad emplean frecuentemente una graduación de corrección esférica para equilibrar el desfase relativo de enfoque entre el filtro rojo y el cyan, lo que reduce la blandura innata y la difracción de la luz roja. Las gafas de lectura de pequeña graduación, junto a las gafas anaglíficas de papel, también agudizan la imagen notablemente.

La corrección es de aproximadamente sólo media dioptría en la lente roja, aunque hay personas a las que puede molestar la diferencia de dioptrías entre las lentes, ya que una de las imágenes se magnifica ligeramente respecto a la otra.

Filtros anacromáticos

Las gafas plásticas desarrolladas en los últimos años proveen de la corrección de rojo explicada anteriormente, así como un cambio en el filtro cyan, que lleva

a una pérdida intencionada de un 2% de la luz roja. Esto crea “indicadores de rojez” a objetos y detalles, como son la ropa roja, que son fusionados en el cerebro. Se debe tener cuidado de recubrir las zonas rojas en un registro cuasi perfecto, para que no se dé el efecto de *ghosting* (efecto por el cuál además de la imagen 3D puede percibirse, con menor opacidad, parte de una o de ambas imágenes 2D). La fórmula de lentes anacromáticas funciona bien con el blanco y negro, pero obtiene resultados excelentes con imágenes preparadas para el sistema anacromático. Por convención, las imágenes anacromáticas intentan evitar el exceso de separación entre cámaras, para reducir el *ghosting* que el extra de ancho de banda de color introduce en las imágenes.

Esquemas de color

Las imágenes anaglíficas pueden usar varios esquemas de color. Bajo el principio de tricromacidad, los tres colores primarios, rojo, verde y azul, actúan como filtros e, idealmente, si se van a mezclar colores, ambos ojos no deberían llevar ninguno de estos colores, o se dará *ghosting*. Por ello, existen únicamente seis combinaciones posibles de colores para anáglifos puros: rojo-verde, rojo-azul, verde-azul, rojo-cyan (verde + azul), verde-magenta (rojo + azul), y azul-amarillo (rojo + verde). Se han desarrollado esquemas que intencionadamente crean un *ghosting* limitado en uno o ambos ojos para presuntamente hacer el visionado anaglífico más placentero, aunque estos esquemas se basan generalmente en una de las seis combinaciones básicas mencionadas. En el caso de colores claros emparejados con oscuros (por ejemplo, rojo-cyan, rojo-verde, y sobre todo amarillo-azul), el color claro podría necesitar ser oscurecido para permitir que ambos ojos trabajen al mismo tiempo, impidiendo un posible e indeseado efecto Pulfrich (véase el apartado 2.2.3).

La elección del esquema de color adecuado viene dictada por la imagen que va a ser visionada.

6.2.2.2. Sistemas polarizados [Mca02]

En un sistema polarizado, la pantalla produce luz polarizada, bien a través de la adhesión de un obturador polarizador en el caso de las pantallas CRT (Rayos de Tubos Catódicos), o de manera directa en los LCD (Pantallas de Cristal Líquido). El sistema polariza las imágenes izquierda y derecha con direcciones ortogonales (90º de diferencia), y el espectador se pone unas gafas pasivas polarizadas donde los ejes de polarización son también ortogonales. Las lentes polarizadoras de las gafas, combinadas con la luz polarizada proveniente de la

pantalla, actúan como obturadores bloqueantes para cada ojo. En la imagen derecha, la luz está polarizada en un eje paralelo al eje de la lente del ojo derecho, por lo que este ojo ve la imagen en la pantalla. Como el eje es ortogonal respecto al polarizador de la lente del ojo izquierdo, este no ve la imagen.

El sistema pasivo utiliza la técnica de micropolarización, en la cual ambas imágenes se muestran al mismo tiempo en una base de alternancia línea a línea, es decir, una imagen polarizada en las líneas pares de la pantalla, y la otra en las impares. Así, la frecuencia de imagen es la misma que en el contenido 2D, aunque se reduce la resolución vertical de las imágenes a la mitad.

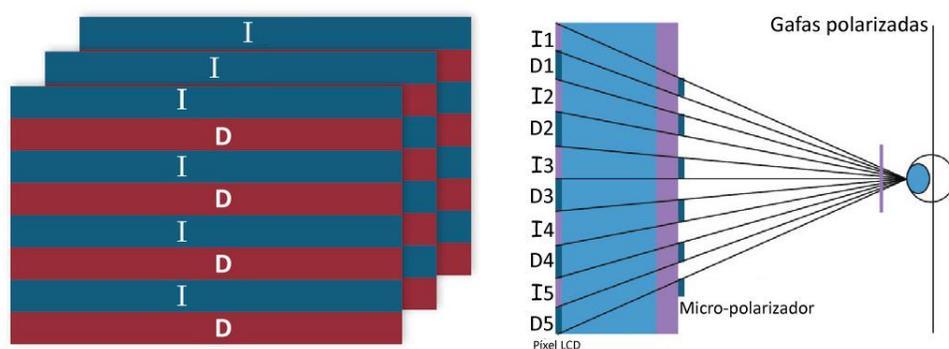


FIGURA 2.5

Sistema micropolarizado. Ambas imágenes comparten el mismo campo, en líneas alternas. Las gafas polarizadas hacen que un ojo pueda ver un conjunto de líneas (en este caso, las correspondientes a la imagen izquierda), y que el resto le sean bloqueadas.

En salas de proyección, el proyector debe tener lentes polarizadas, y la pantalla sobre la que se proyecte debe estar construida de tal manera que no altere o elimine la polarización de la luz (comúnmente, una pantalla con vapor de plata o de aluminio depositado, conocida simplemente como “pantalla plateada”).

La ventaja de los sistemas pasivos respecto a los sistemas activos reside en las propias gafas, que son baratas, no requieren alimentación, no necesitan sincronización con la pantalla, y no sufren problemas de parpadeo.

Entre las desventajas están la ya mencionada disminución de la resolución vertical a la mitad, y que la eficiencia de transmisión es más pobre, por lo que la imagen emitida es más oscura que la original. También puede incluirse como desventaja la incompatibilidad entre los dos métodos de polarización utilizados, que son los que siguen:

Gafas de polarización lineal

En polarización lineal, las dos imágenes se proyectan superpuestas mediante dos proyectores, polarizadas con filtros ortogonales (normalmente en 45 y 135 grados [Kai55]), sobre una pantalla que conserve la polarización. Este proceso tiene muy poca interferencia entre los ojos (que parte de la imagen correspondiente a un ojo se perciba por el otro). Las desventajas son la aparición del efecto *ghosting* si los polarizadores no están separados por exactamente 90 grados, y que requiere por parte del espectador mantener la cabeza a nivel, sin ladearla [Ves10].

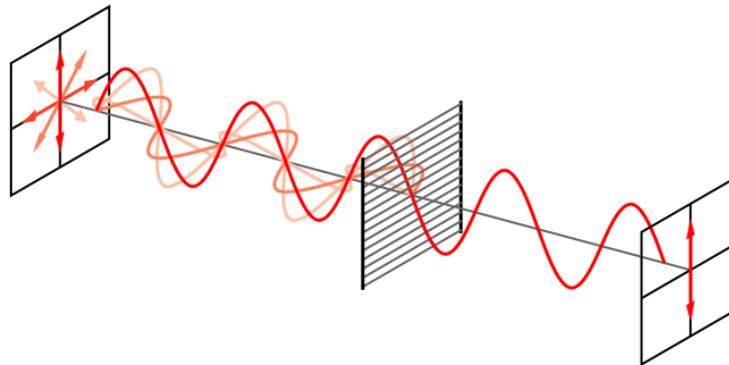


FIGURA 2.6

El polarizador lineal convierte un haz no polarizado en uno con una única polarización lineal. Se transmiten las componentes verticales de todas las ondas, mientras que las componentes horizontales se absorben y reflejan.

Gafas de polarización circular

La polarización circular utiliza polarización en un sentido circular y en el contrario para separar las imágenes. Este proceso se puede utilizar con dos proyectores, o con uno que utilice alternancia de la polarización circular como es el sistema RealD, y su patente ZScreen, una pantalla que conserva la polarización. Esta técnica es mucho más tolerante con el ladeo de cabeza, lo que se traduce en una experiencia de visionado más cómoda [Ves10].

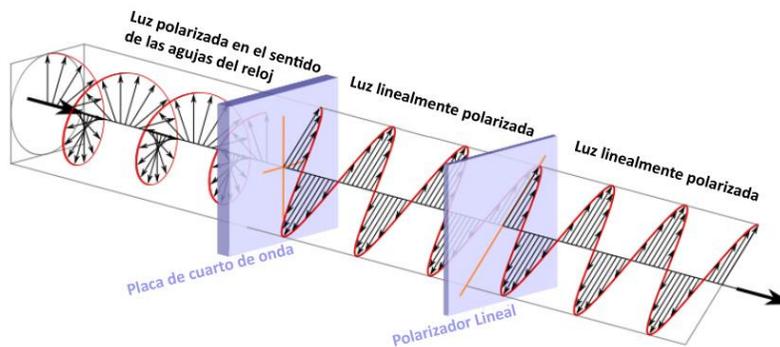


FIGURA 2.7

La luz polarizada en el sentido de las agujas del reloj es transformada en luz linealmente polarizada con la misma dirección que el eje de transmisión del polarizador lineal, por lo cual lo atraviesa. La luz polarizada en el sentido contrario de las agujas del reloj se habría polarizado en dirección perpendicular, siendo después bloqueada por el polarizador.

6.2.2.3. Infitec

Toda imagen proyectada consiste en ondas de luz, que son percibidas por el ojo humano en el rango de longitudes de onda entre 400nm y 700nm. La tecnología Infitec utiliza filtros de interferencia para mostrar el contenido estéreo con colores básicos consistentes en diferentes longitudes de ondas. [InfHo]. Los filtros dividen el color visible en seis bandas estrechas, dos en la región del rojo, dos en la región del verde, y dos en la región del azul. Un ojo ve uno de los tríos de colores, y el otro ojo, el otro trío. El ojo humano es muy poco sensitivo para diferencias espectrales tan pequeñas, por lo que esta técnica genera imágenes estereoscópicas a todo color con diferencias de color muy pequeñas entre ambos ojos [Jor06].

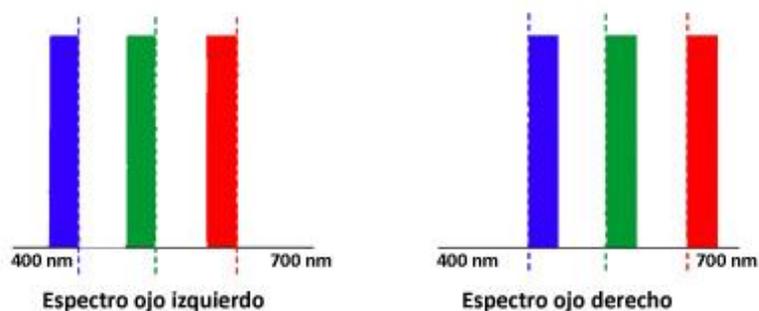


FIGURA 2.8

Las líneas de puntos están en las mismas posiciones en ambas gráficas. Puede apreciarse que las bandas de cada color son ligeramente distintas para cada ojo, sin solaparse.

Al igual que en los sistemas con polarización, las gafas utilizadas en el sistema Infitec no necesitan de alimentación. Además, la multicapa dieléctrica en que consiste el filtro de interferencia puede añadirse en gafas de corrección óptica, de modo que los espectadores con gafas de este tipo no necesiten otras extra. La multiplexación de las longitudes de onda tiene una ventaja especial cuando se utiliza proyección frontal, y es que los filtros de interferencia permiten que pase únicamente un porcentaje de la luz diurna, por lo que el ratio de contraste aumenta eficientemente en habitaciones iluminadas [Steln].

6.3. Codificación de vídeo estereoscópico

6.3.1. Color Shifting [Pir10]

Se codifica el par estéreo con una desfase colorimétrico.

6.3.1.1. Codificación anaglífica

En la codificación anaglífica, el par de imágenes estéreo, previamente coloreadas o tomadas con filtros de color, se codifican superponiéndolas en una única imagen bidimensional de resolución completa.

6.3.2. Compresión espacial [Pir10]

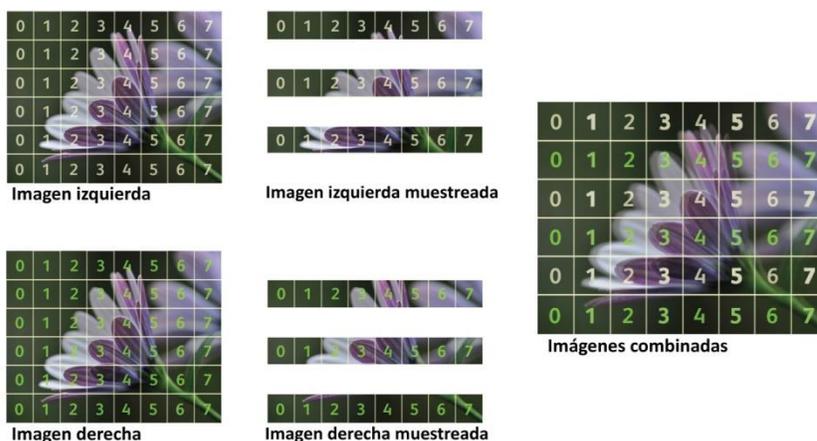
La compresión espacial efectúa un submuestreo de píxeles para codificar el par estéreo en un único campo de imagen, sin superponerlas: Hay varios métodos de muestreo:

- **Líneas alternadas**

También llamado *line-by-line* (línea a línea). Las líneas horizontales van alternando la imagen izquierda y la derecha. La resolución vertical de cada imagen se reduce a la mitad.

FIGURA 2.9

Codificación con formato de líneas alternadas. El par estéreo original (izquierda) se filtra horizontalmente y se diezma (centro), y se combinan (derecha).

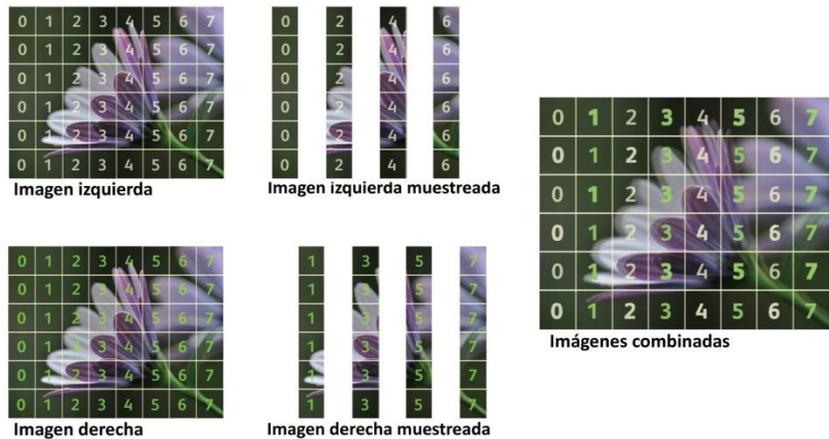


- **Columnas alternadas**

También llamado column-by-column (columna a columna). Las líneas verticales van alternando la imagen izquierda y la derecha. La resolución horizontal de cada imagen se reduce a la mitad.

FIGURA 2.10

Codificación con formato de columnas alternadas. El par estéreo original (izquierda) se filtra verticalmente y se diezma (centro), y se combinan (derecha).

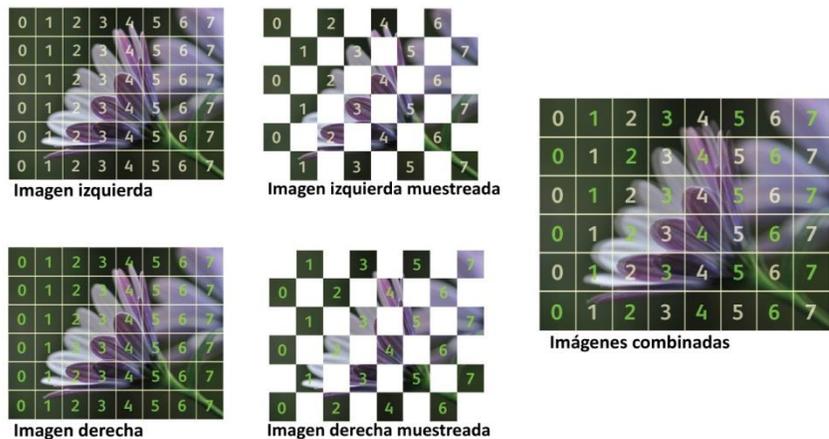


- **Tablero de ajedrez**

También llamado quincunx (quincuncio). Las líneas verticales van alternando la imagen en un patrón de quincuncio o tablero de ajedrez. La resolución total de cada imagen se reduce a la mitad.

FIGURA 2.11

Codificación con formato de tablero de ajedrez. El par estéreo original (izquierda) se filtra diagonalmente y se diezma (centro), y se combinan (derecha).





Compresión espacial de tablero de ajedrez

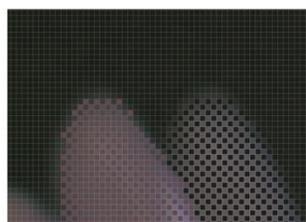


FIGURA 2.12
El par estéreo (arriba), es combinado con compresión espacial (abajo izquierda), con formato de tablero de ajedrez (detalle, abajo derecha).

- **Lado a lado**

Las imágenes izquierda y derecha se codifican una al lado de la otra, cada una con la mitad de resolución horizontal.



FIGURA 2.13
Codificación lado a lado.

- **Arriba/abajo**

Las imágenes izquierda y derecha se codifican una encima de la otra, cada una con la mitad de resolución vertical.



FIGURA 2.14
Codificación arriba y abajo.

La codificación espacial permite que la infraestructura existente de emisión de televisión de alta definición transmita señales estereoscópicas, pero con la desventaja de que la pantalla receptora puede tener un formato diferente. La transformación de un formato a otro es posible, pero conlleva una pérdida significativa de calidad. Por ejemplo, si se transforma un formato lado a lado a un formato arriba y abajo, la resolución se reduce en un 25%.

6.3.3. Compresión temporal [Pir10]

6.3.3.1. Campo secuencial

Las imágenes izquierda y derecha se codifican alternando de una a otra por cada campo, cada una con resolución total. Requiere el doble de frecuencia de campo, y por tanto el doble de ancho de banda. La compresión puede utilizar predicción entre las imágenes izquierda y derecha, y, aunque esto reduce el número de imágenes tipo I, tiende a no ser mejor que la predicción temporal normal.

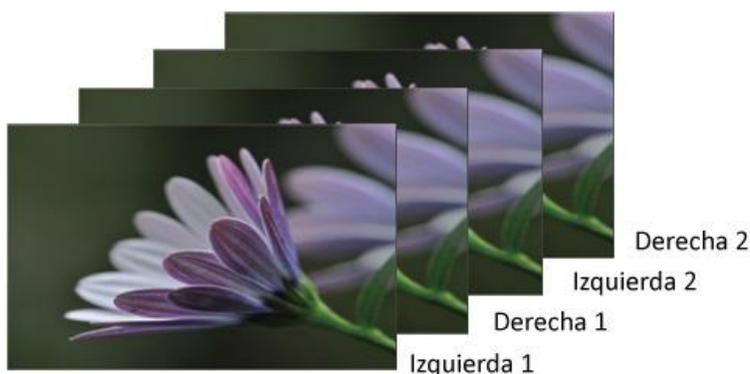


FIGURA 2.15
Codificación de campo
secuencial.

6.3.4. Codificación de videostream

6.3.4.1. Multiview Video Coding [IsoMu]

Multiview Video Coding (MVC, Codificación de Video Multivista) es una extensión del estándar Advanced Video Coding (AVC, Codificación de Video Avanzada) que provee de una codificación eficiente para el video multivista, es decir, cuando se transmiten al usuario múltiples vistas de la misma escena. El codificador trabaja con múltiples pistas de video, sincronizadas temporalmente, y genera un único bitstream. El decodificador lo recibe, lo decodifica y devuelve las diferentes pistas de video.

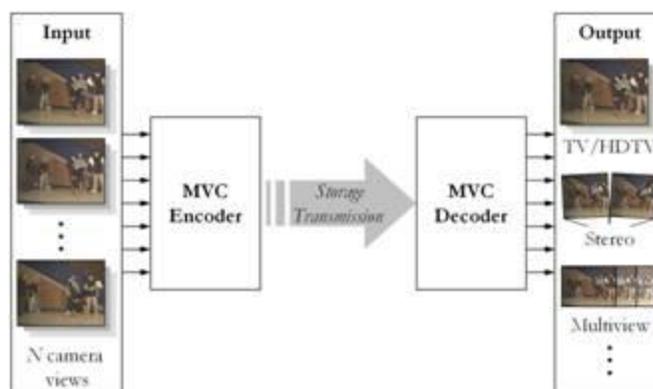


FIGURA 2.16
Estructura básica del MVC. Las
distintas vistas se codifican en un
bitstream, y luego se decodifican.

El video multivista contiene una gran cantidad de dependencias estadísticas entre las distintas vistas, ya que todas ellas corresponden a la misma escena. El MVC hace hincapié en una combinación de predicción temporal y predicción entre las distintas vistas.

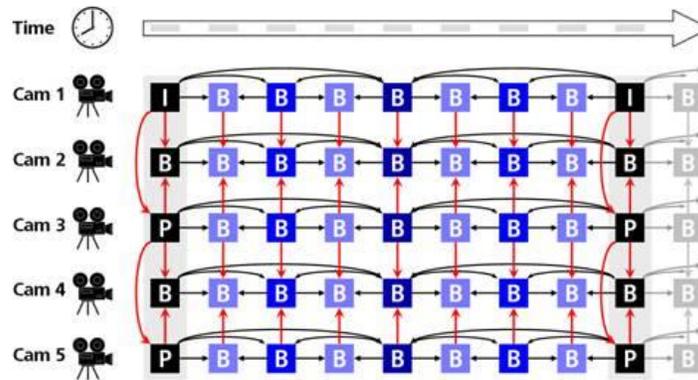


FIGURA 2.17

Estructura de la predicción de MVC. La imagen tomada con una determinada cámara puede ser predicha tanto con imágenes temporalmente relacionadas de la misma cámara, como con las imágenes tomadas por las cámaras vecinas.

6.3.4.2. 2D + Metadata

Este tipo de codificación transmite una señal 2D junto a algún tipo de información que permita al decodificador reconstruir la otra señal 2D. Esto la hace compatible con los dispositivos y pantallas bidimensionales, a la par que reduce el ancho de banda necesario, ya que la información adicional que transporta ocupa menos espacio que una segunda señal 2D. Esta codificación está incluida en el MPEG, y tiene varios formatos posibles [Pir10]:

- **2D Plus Delta**

2D Plus Delta (o 2D+Delta, 2D más Diferencia) codifica una de las imágenes, izquierda o derecha, además de una imagen diferencia de ambas. El decodificador utiliza dicha información para recrear la imagen que no se ha transmitido, creando un par estéreo de resolución completa. Requiere entre un 40 y un 80 por ciento de tasa de datos adicional a la del 2D [Mcc09].

Es un estándar abierto utilizado en la implementación de MVC del H.264 [FocGI].

- **2D-plus-Depth**

El formato 2D-Plus-Depth (o 2D + Z, 2D-más-Profundidad) codifica video estereoscópico almacenando la imagen original junto a una representación en escala de grises de la misma. Ésta última, también llamada mapa de profundidad, lleva la información de profundidad

de cada pixel del contenido 2D, de manera que cada nivel de gris representa un nivel de profundidad distinto [PhiPI]. La desventaja de este formato es que es difícil crear el mapa de profundidad con mucha precisión, sobre todo en eventos a tiempo real. Además, en algunas implementaciones la profundidad tiende a parecer poco natural, debido a la cuantización, que, por otro lado, hace que la información relativa a la profundidad sea pequeña; requiere únicamente entre un 20 y un 60 por ciento de tasa de datos adicional a la del 2D [Mcc09].

La codificación 2D-plus-Depth está estandarizada como extensión para el 3D en el MPEG [IsoPI].



FIGURA 2.18

Imagen 2D y su mapa de profundidad, donde las áreas más claras están más cercanas al

- **2D-plus-DOT**

El formato 2D Plus DOT (o 2D+DOT) codifica la imagen 2D junto a un set de mapas de profundidad, oclusión, y transparencia, más difíciles aún de crear en tiempo real que únicamente el mapa de profundidad. Esta información adicional añade un soporte para el transporte de video multivista, aunque requiere entre un 80 y un 120 por ciento de tasa de datos adicional a la del 2D [Mcc09].

6.4. 3DTV [Mcc09]

La 3DTV, o televisión 3D, está todavía en desarrollo, a la espera de la estandarización de varios aspectos:

- Primero, el formato de vídeo a transmitir (y por tanto el ancho de banda dedicado a ello). Las transmisiones actuales en Europa siguen la especificación DVB de codificación de audio y video, en uno de dos formatos distintos:
 - 720p (1280 píxeles x 720 líneas a 50 cuadros por segundo (progresivo))
 - 1080i (1920 píxeles x 1080 líneas a 25 cuadros por segundo (entrelazado))

Para la emisión 3D, y teniendo en cuenta las pérdidas de resolución inherentes a los distintos sistemas, se ha propuesto adoptar el siguiente formato:

- 1080p (1920 píxeles x 1080 líneas a 50 cuadros por segundo (progresivo))

Este formato forma parte de la especificación DVB, aunque todavía no ha sido adoptado por ningún servicio de televisión. Se ha propuesto también la implantación de UHDTV (Televisión de Ultra Alta Definición), cuyos formatos tendrían una resolución 4 veces (4Kx2K) y 16 veces (8K4K) la resolución del formato 1080p.

- Segundo, el formato del contenido a transmitir, de modo que sea compatible con las tecnologías existentes, las cuales han sido explicadas previamente y se resumen en la siguiente tabla:

	Ventajas	Desventajas
Televisor estereoscópico usando anaglifos	Práctico con la mayoría de televisores existentes; ya se ha utilizado en algunos Blu-Ray. Gafas muy baratas.	Problemas en la reproducción de color. Calidad pobre en "3D" en ambiente del hogar.
Televisor estereoscópico usando sistema polarizado	Buena calidad en "3D". Buena calidad en 2D. Gafas baratas.	Requiere una pantalla LCD nueva con micropolarización, más cara que una normal. En "3D" se reduce la resolución espacial
Televisor estereoscópico usando sistema activo	Buena calidad en "3D". Calidad completa en 2D. No incrementa el coste de las pantallas.	Requiere una pantalla de alta frecuencia. En "3D" se reduce la resolución temporal. Gafas caras.
Televisor autoestereoscópico	Sin gafas.	Requiere una nueva pantalla muy cara. Actualmente ofrece una experiencia "3D" mediocre, con ángulos de visionado limitados. Las lentes lenticulares degradan el visionado de contenido 2D.
Dispositivo estereoscópico montado sobre la cabeza	Calidad completa en "3D" sin ningún tipo de filtrado. Experiencia de visionado inmersiva.	Requiere un dispositivo caro por cada espectador. No válido para visionado social.
Dispositivos volumétricos, holográficos o de campo de luz	3D real (no sólo estereoscópico)	Improbable su disponibilidad a precios de consumidor en el futuro cercano

- Tercero, la codificación a utilizar en la transmisión de la programación. La siguiente tabla muestra las distintas codificaciones de vídeo estereoscópico, que han sido explicadas en detalle previamente en este capítulo:

	Formato de transmisión	Posibilidad de ver el contenido (en 2D) en una pantalla 2D	Tasa de datos requerida en relación con 2D
Vistas izquierda y derecha independientes	2 x 1080p/50	Sí	200%
Compresión temporal	1080p/100	Posible, si se usa codificación de escalado de vídeo	170 -190%
Compresión espacial	2160p/50 (u otro formato del doble que 1080p/50)	Posible, si se usa codificación de escalado de vídeo	170 -190%
2D plus Delta	1080p/50 + metadata	Sí	140 -180%
2D-plus-Depth	1080p/50 + metadata	Sí	120 -160%
2D plus DOT	1080p/50 + metadata	Sí	180 - 220%

Existen otros aspectos “menores” que requieren estandarización, como por ejemplo los subtítulos para contenido estereoscópico.

A la espera de dicha estandarización, la especificación DVB 3D-TV reúne técnicas y procedimientos en la transmisión de video estereoscópico, con una implantación de dos fases:

- La primera fase corresponde a la emisión de contenido estereoscópico con los actuales estándares de transmisión (cable, terrestre, o satelital), y con una compatibilidad hacia delante, a través de actualizaciones de *firmware*, de los receptores de alta definición actuales. En esta fase, únicamente se permite la emisión en formato de campo secuencial. Las imágenes izquierda y derecha viajan en el mismo canal, con la codificación H.264. Esto permite manejar el video estereoscópico como video normal de alta definición, utilizando canales e interfaces típicos, como es el cable HDMI (en su versión 1.4). En esta fase se hallan actualmente algunos canales como Sky3D y Canal+3D. Los formatos que soporta son los que siguen:
 - 1080i @ 50Hz, lado a lado
 - 720p @ 50Hz, lado a lado
 - 720p @ 60 Hz, lado a lado
 - 1080p @ 24 Hz, lado a lado
 - 1080i @ 60 Hz, lado a lado
 - 1080p @ 24 Hz, arriba y abajo
 - 720p @ 60 Hz, arriba y abajo

- La segunda fase corresponderá con canales de transmisión específicos para el 3D, y los requerimientos para su transmisión. No será compatible con los receptores 3D actuales, aunque si lo será con los receptores 2D.

7. VISIONADO ESTEREOSCÓPICO EN SALAS DE CINE

En esta sección se detallan las distintas tecnologías de visionado 3D Estereoscópico utilizadas en las proyecciones en salas de cine.

7.1. XpanD 3D [Coh09]

La tecnología XpanD 3D es la única que utiliza un sistema activo (véase apartado 6.2.1 de este capítulo) en una sala de cine. Las gafas en la sala se sincronizan mediante una señal infrarroja.



FIGURA 2.19

Gafas XpanD de obturador de cristal líquido usadas por el sistema activo.

7.2. IMAX 3D [Kha10]

La tecnología IMAX 3D utiliza polarización lineal (véase apartado 6.2.2.2). Proyecta ambas imágenes izquierda y derecha al mismo tiempo, a través de dos proyectores con lentes polarizadas, sobre una pantalla plateada.

7.3. RealD Cinema [Cow07]

RealD Cinema es una tecnología de proyección digital estereoscópica construida y vendida por RealD Inc. Utiliza polarización circular (véase apartado 6.2.2.2) para una libertad de movimiento de cabeza y confort mayores. Utiliza un único proyector digital de alta resolución, emitiendo las imágenes izquierda y derecha de manera secuencial, emitiendo cada cuadro tres veces, para reducir el parpadeo. Para cada ojo se emiten 24 cuadros por segundo (la frecuencia total es por tanto de 144 cuadros por segundo), lo cual puede producir un ligero efecto de *ghosting* y de saltos de imagen en los movimientos de cámara horizontales. Se proyecta sobre una pantalla plateada.

La mayor desventaja corresponde al brillo del sistema. El filtro de polarización del proyector bloquea la mitad de la luz proyectada, y el de las gafas bloquea la mitad de la

luz que las atraviesa, resultando en que únicamente el 25% de la luz proyectada llega a los ojos del espectador. La pantalla plateada lo compensa ligeramente, pero no más allá de un total de 35% de brillo respecto a la imagen original.



FIGURA 2.20
Dos pares de gafas RealD, demostrando el efecto de polarización.

7.4. Dolby 3D [Sla08]

La tecnología Dolby 3D se basa en el sistema Infitec (véase apartado 6.2.2.3). Los colores primarios son divididos por un filtro en forma de rueda dentro del proyector, lo que proporciona imágenes de mayor calidad que si se filtra la imagen después de pasar por las lentes del proyector. Esta rueda puede además desacoplarse de manera electrónica, de modo que el proyector pueda emitir contenido 2D. Se proyecta sobre pantallas blancas estándar, a una frecuencia típica de 144 cuadros por segundo. La mayor desventaja es el precio de cada par de gafas, que, debido a la complejidad de los filtros de interferencia de las lentes, son más caras que las gafas de otros sistemas pasivos.

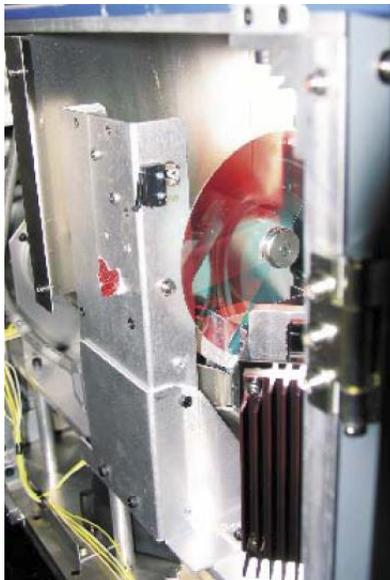


FIGURA 2.21
Izquierda: disco de color Dolby Digital 3D, en el interior de un proyector.
Abajo: gafas Dolby 3D



7.5. Panavision 3D [Pan11]

La tecnología Panavision 3D ha sido desarrollada conjuntamente por Panavision y Omega Optical. La construcción varía ligeramente dependiendo de si se va a utilizar con proyectores de film, proyectores digitales, o proyectores digitales Sony 4K, pero el funcionamiento básico es el mismo: un filtro *comb* (peine) divide el espectro visible en diez bandas, cinco para un ojo y cinco para el otro. Las gafas de los espectadores (que son las mismas para proyecciones de film o digitales) llevan filtros similares, de manera que a cada ojo le llegan las longitudes de onda correspondientes. Este sistema consigue una imagen de brillo y color muy similares a la original, cuando se proyecta sobre pantallas blancas.

8. Bibliografía

- [Ber96] *Images stéréoscopiques de grand format*
Auguste Berthier
1896
p. 205-210, 227-233
- [Ber97] *Characterisation and optimisation of 3D-LCD module design*
Cees van Berkel
1997
p. 179-186
- [Boe85] *3D-Bildprojektion in Linsenrasterschirmen*
R. Boerner
1985
- [Dog99] *Multi-View Autostereoscopic 3D Display*
N. A. Dogson, J. R. Moore, S. R. Lang
1999
- [Lip08] *Épreuves réversibles. Photographies intégrales*
G. Lippman
1908
- [Hes12] *Stereoscopic picture*
Walter Hess
1912
- [Ive02] *A novel stereogram*
Frederic E. Ives
1902
p. 51-52
- [Jor06] *Stereo projection using interference filters*
Helmut Jorke y M. Fritz
2006
- [Kai55] *Make your own Stereo Pictures*
Julius B. Kaiser
1955
p. 271

- [Mca02] *Display Technology: Stereo & 3D Display Technologies [D.F.McAllister, 2002]*
D.F.McAllister
2002
- [Ves10] *The VES Handbook of Visual Effects*
Visual Effects Society
2010
Capítulo 5: *Stereoscopic 3D*
- [W.sha] *2D/3D Switchable Displays*
Sharp white paper
2008
<http://sharp-world.com/corporate/info/rd/tj4/pdf/4.pdf>
- [W.sof] *Hitachi Comes Up with 3.1-Inch 3D IPS Display*
News.softpedia.com
2010
<http://news.softpedia.com/news/Hitachi-Comes-Up-With-3-1-inch-3D-IPS-Display-139601.shtml>
- [W.bbc1] *Nintendo unveils 3DS handheld games console*
www.bbc.co.uk
2010
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/technology/10323971.stm>
- [W.bbc2] *Easy 3D X-rays for air security*
Jo Twist para news.bbc.co.uk
2004
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/technology/3772563.stm>
- [W.son] *TD20VE Videocámara doble Full HD 3D con memoria Flash*
www.sony.es
<http://www.sony.es/product/cam-high-definition-on-memory-stick/hdr-td20ve>
- [W.jvc] *Videocámara con memoria GS-TD1BEU*
JVC Europe
<http://jsp.jvc-europe.com/product.php?id=GS-TD1BEU&catid=100133>
- [W.htc] *Un teléfono que ve el mundo como tú, en 3D*
www.htc.com
<http://www.htc.com/es/smartphones/htc-evo-3d/>

- [W.lan] *Land Rover e-brochure PDF (page 19)*
www.landrover.com
2011
<http://www.landrover.com/content/me/english/pdf/me-en/rr-ebrochure.pdf>
- [W.eng] *Toshiba Mobile Display touts 21-inch glasses-free 3D HDTV, raises a few eyebrows*
Engadget
2010
<http://www.engadget.com/2010/04/27/toshiba-mobile-display-touts-21-inch-glasses-free-3d-hdtv-raise/>
- [W.pcw] *Multi-View Autostereoscopic 3D Display*
Chris Brandrick para PCWorld
2011
http://www.pcworld.com/article/224987/eyetracking_trick_brings_glassesfree_3d_to_ipad_2.html
- [W.tec] *LG intros D2000 glasses-free monitor with eye-tracking technology*
TechFever Network
2011
<http://www.techfever.net/2011/07/lg-intros-d2000-glasses-free-3d-monitor-with-eye-tracking-technology/>
- [W.wir] *Philips' 3D HDTV Might Destroy Space-Time Continuum, Wallets*
Wired.com
2010
<http://www.wired.com/gadgetlab/2008/10/philips-3d-hdtv/>
- [W.xyz] *xyz 3D Displays - Autostereoscopic 3D TV - 3D LCD - 3D Plasma - No Glasses 3D*
Xyz3d.tv
2010
<http://www.xyz3d.tv>
- [W.spa] *3Dee Central*
Spatial View
<http://www.spatialview.com/3deecentral/>
- [W.dis] *3D TV Display Technology Shoot-Out*
Raymond M. Soneir
2011
http://www.displaymate.com/3D_TV_ShootOut_1.htm

- [W.inf] *How does it work?*
Infitec.net
2012
<http://www.infitec.net/index.php/en/about-us>
- [W.ste] *Interference Filters (Wavelength multiplex visualization) /Infitec TM*
Stereoscopy.com
2006
<http://www.stereoscopy.com/faq/interference-filters.html>
- [W.sne] *Stereoscopic 3D Technologies*
Roberta Piroddi
2010
<http://www.snellgroup.com/documents/white-papers/white-paper-stereoscopic-3d-technologies.pdf>
- [W.zet] *Beyond HDTV: Implications for Digital Delivery*
Ken McCann
2009
http://www.zetacast.com/Assets/Beyond_HDTV.pdf
- [W.chi] *Introduction to Multiview Video Coding*
ISO
2008
<http://mpeg.chiariglione.org/technologies/mpeg-4/mp04-mvc/index.htm>
- [W.foc] *3D Glossary*
3DFocus.co.uk
<http://www.3dfocus.co.uk/3d-glossary>
- [W.bus] *2D-plus-Depth format*
Philips
<http://www.businesssites.philips.com/sites/philipsbs/3dsolutions/3dcontentinterfacformats/2dplusdepthformat/index.page>
- [W.web] *Preview of "ISO/IEC 23002-3. Information technology — MPEG video technologies — Part 3: Representation of auxiliary video and supplemental information"*
ISO/IEC
2007
http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec23002-3%7Bed1.0%7Den.pdf

[W.var] *S3D to get CES showcase - XPAND making aggressive moves in the market*

David S. Cohen

2009

<http://www.variety.com/article/VR1118012426?refCatId=3691>

[W.buz] *How IMAX 3D works*

David S. Cohen

2010

<http://www.buzzle.com/articles/how-imax-3d-works.html>

[W.edc1] *Real D 3D Theatrical System*

Matt Cowan

2007

http://www.edcf.net/edcf_docs/real-d.pdf

[W.edc2] *The Dolby solution to Digital 3D*

Jim Slater

2008

http://www.edcf.net/edcf_docs/dolby-3d.pdf

[W.dpv] *Panavision 3D System*

DVPO Theatrical

2011

http://www.dpvotheatrical.com/uploads/Panavision_3D_System_Technical_Overview.pdf

CAPÍTULO TERCERO: CAPTURA DE IMÁGENES 3D

*Sobre las cámaras y sistemas de grabación estereoscópicos,
y los procesos de preproducción y producción 3D.*

9. CÁMARAS 3D

Las cámaras 3D se componen de dos equipos de lentes y sensores montados en un mismo cuerpo. Esto las hace compactas y tan manejables como cualquier cámara 2D, pero tienen un uso muy limitado debido a que la distancia interaxial (distancia entre las lentes) es fija, y la convergencia (ángulo subtendido por los ejes de las cámaras) es generalmente limitada. En esta memoria únicamente se muestran las cámaras 3D que ocupan actualmente el mercado, y una tabla con las características más relevantes (estereoscópicamente hablando) de las mismas [W.pan1][W.pan2][W.jvc][W.son1][W.son2][W.son3].



FIGURA 3.1

Cámaras 3D de Panasonic: la HDC-SDT750K (izquierda) y la HDC-Z10000 (derecha).



FIGURA 3.2

Cámara 3D de JVC, la GY-HMZ1U



FIGURA 3.3

Cámaras 3D de Sony: de izquierda a derecha, la HDR-TD20V, la HXR-NX3D1U, y la PMW-TD300.

	Panasonic HDC- SDT750K	Panasonic HDC - Z10000	JVC GY-HMZ1U	Sony HDR-TD20V	Sony HXR-NX3D1U	Sony PMW-TD300
Formato de grabación	1080/50p, 50i	1080/ 60i, 60p, 30p, 24p (en 2D) 1080/ 60i, 30p, 24p (en 3D)	1080/60i, 24p	1080/60i, 60p, 24p	1080/60i, 60p, 50i, 50p, 25p, 24p (en 2D) 1080/60i, 50i, 24p (en 3D)	1080/60i, 50i, 30p, 25p, 24p, 720/50p
Formato 3D	Lado a lado	Lado a lado	Lado a lado, Izda/dcha independientes	Lado a lado		Izda/dcha independientes
Formato de compresión	MPEG-4 AVC/H.264	MVC /AVCHD 2.0	MPEG 4 MVC /AVCHD	MVC /AVCHD 2.0	MPEG 4 AVC /MVC	MPEG2 HD (4:2:0)
Sensor de imagen	3xCMOS 1/4.1" 3.05 megapíxeles	2x3MOS (3x CMOS cada uno) 1/4.1" 3.05 megapíxeles	2xCMOS 1/4,1" 3.32 megapíxeles	2xCMOS 1/3.91" 3.54 megapíxeles	2xCMOS 1/4" 4.2 megapíxeles	2x3MOS (3xCMOS cada uno) 1/2"
Distancia interaxial	12 mm	42 mm	35 mm	21 mm		45 mm
Ajuste de convergencia	Auto /manual	Auto /manual	Auto /manual	No	Auto /manual	Auto /manual (de 1,2m infinito)
Longitud focal focal (16:9)	3.45mm - 41,4mm (en 2D) 2.5 mm fijos (en 3D)	2.84 - 34,1 mm (en 2D) 2.84 - 28,4 mm (en 3D)	3.76 - 37,6 mm (en 2D) 3.76 - 18,8 mm (en 3D)	3,2mm-32mm (en 2D y 3D)	2.9mm-34,8 mm (en 2D) 2.9mm - 29mm (en 3D)	
Equivalencia a 35mm				29.8mm - 298mm (en 2D) 34.4mm - 400,8mm (en 3D)	29.8mm - 357.6mm (en 2D) 34.4mm - 344mm (en 3D)	40.6mm-284mm
Zoom óptico	18x	12x (10x en 3D)	10x (5x en 3D)	12x (10x en 3D)	12x (10x en 3D)	
F-Stop	F1.5 -F2.8 (en 2D) F3.2 (en 3D)		F1.2 - F2.8 (en 2D) F1.2 - F2.28 (en 3D)	F1.8 -F3.4	F1.8 -F3.4	F1.6
Monitor	3", 230k pixel	3,48", 3D sin gafas (barrera de paralaje) 1226k píxeles	3,5", 3D sin gafas (barrera de paralaje) 920k pixel	3,5", 3D sin gafas (barrera de paralaje) 1229k pixel	3,5", 3D sin gafas (barrera de paralaje) 1229k pixel	3,5", 3D sin gafas (barrera de paralaje) 1229k pixel

TABLA 3.1

Características de las cámaras 3D de Panasonic, JVC y Sony.

10. SISTEMAS DE DOS CÁMARAS 2D [Men09]

Trabajar con dos cámaras 2D de cuerpos independientes permite un control total de la convergencia y del paralaje de las imágenes estereoscópicas que se desean capturar, y, como toda técnica, tiene sus propias reglas.

10.1. Cámaras

El 3D estereoscópico no requiere un modelo o tipo específico de cámara de video, pero las cámaras, en condición de pareja, deben cumplir ciertos requisitos [Men09]:

- **Cámaras parejas:**

Para obtener pares de imágenes lo más parecidas posible (salvo por el desplazamiento horizontal), se requieren cámaras prácticamente idénticas. La solución obvia es utilizar dos cámaras del mismo modelo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en la producción de un modelo de cámara concreto los procesos de manufactura, los componentes utilizados y los micrócodigos en el software pueden variar con el tiempo, resultando en que dos cámaras de la misma serie difieran significativamente. Por todo ello, conviene utilizar cámaras con números de serie contiguos, o que al menos hayan sido fabricadas con poca diferencia de tiempo, que utilicen el mismo software, y que lleven la configuración de fábrica.

- **Fotografía pareja:**

Las cámaras digitales incorporan componentes electrónicos que controlan el procesado óptico y digital de la imagen, desde las ópticas de las lentes hasta los sensores de datos, automatismos computerizados que pueden variar de una cámara a otra. Por ello, es aconsejable configurar manualmente el balance de blancos, la sensibilidad, la velocidad de obturación, el ángulo de obturación, la exposición, la apertura, el *genlock*, la tasa de cuadros, y la ganancia.

- **Ópticas parejas:**

Las dos cámaras deben ir ópticamente parejas en longitud focal y punto de enfoque. La mayoría de cámaras digitales de consumo y de *rigs* 3D (véase siguiente apartado) profesionales tienen lentes de zoom que, por su naturaleza óptica, son piezas únicas y difíciles de emparejar. Los mejores resultados se obtendrán en los extremos del rango de zoom, donde es más probable que coincidan. Los valores intermedios requerirán un pase de postproducción para hacer coincidir la magnificación de ambas imágenes.

- **Relojes parejos:**

Las señales de reloj de video de ambas cámaras deben ir parejas, de modo que las señales de video estén sincronizadas en tiempo. Para vincular dos cámaras digitales, pueden utilizarse controles infrarrojos remotos que controlen ambas cámaras, o alterar la circuitería de las cámaras de modo que ambas respondan al accionar un único interruptor. Un método de sincronización electrónica es el basado en el puerto de comunicación para una cámara de vídeo creado por Sony, llamado LANC. El LANC Sheperd y el SteFraLANC son dispositivos electrónicos que encienden ambas cámaras al mismo tiempo, buscan las señales de reloj, y muestran el retraso entre ellas, con lo que, tras un par de intentos, se consiguen imágenes suficientemente parejas en tiempo como para trabajar durante varios minutos. El 3D LAN Master, por otro lado, permite controlar la deriva del tiempo, de manera que las cámaras permanezcan sincronizadas durante horas.

- **Geometrías parejas:**

Para generar un 3D estereoscópico confortable, ambas cámaras deberán tener una posición relativa perfectamente controlada. Básicamente, una cámara deberá ser la referencia, y la otra una translación lateral de ella. El resto de discrepancias en la posición relativa, salvo la rotación en el eje vertical cuando se converja sobre un punto, crearán disparidades retinales inapropiadas que dañarán el efecto 3D. La mayoría de los *rigs* 3D mantienen las cámaras firmemente en una correcta posición, o permiten los ajustes necesarios para ello.

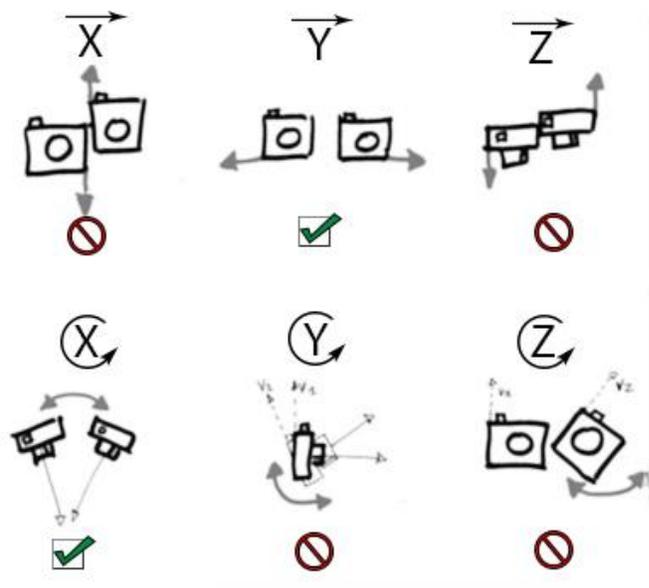


FIGURA 3.4
Discrepancias en la posición relativa
entra cámaras.

10.2. Rigs

Los *rigs* 3D son soportes sobre los que van montadas las dos cámaras, haciendo que estas se mantengan en la posición correcta y precisa que se requiere para obtener un buen efecto 3D. Permiten, además, manipular la convergencia y la distancia interaxial de las cámaras de manera sencilla y controlada (en algunos casos, de manera electrónica y a distancia). Existen dos tipos de *rigs*.

10.2.1. Side by side

El *side by side* (lado a lado) es el *rig* más sencillo, consistente en un travesaño con dos plataformas correderas en las que se acoplan las cámaras.

FIGURA 3.5

Izquierda: *rig* side by side.
Derecha: con cámaras y montado sobre un trípode.



La convergencia se manipula girando las cámaras en el eje vertical, y la distancia interaxial deslizándolas a lo largo del travesaño.

10.2.2. Beam splitter

Este tipo de *rig* se utiliza cuando la cercanía del sujeto a grabar a la cámara requiere, para un correcto efecto 3D, una distancia interaxial más pequeña que la que pueda proporcionar un *rig* de tipo *side by side*.

Utiliza un espejo *beam splitter* (divisor de haz), que divide el haz de luz que lo incide en dos, transmitiendo un 50%, y reflejando otro 50%, perpendicularmente el uno respecto al otro.

Las cámaras, colocadas perpendicularmente entre ellas y a 45 grados cada una respecto al espejo, reciben entonces exactamente la misma imagen, como si ocupasen exactamente el mismo espacio y la misma posición. Por tanto, el paralaje, que se consigue desplazando una de las cámaras en sentido horizontal,

puede ser tan reducido como se desee, llegando incluso a paralaje cero. El inconveniente de este tipo de *rigs* es que los espejos 50/50 son caros, frágiles y propensos al polvo, que su tamaño limita el campo de visión, y que reducen la luz que llega a las cámaras en un f -stop [Men09].

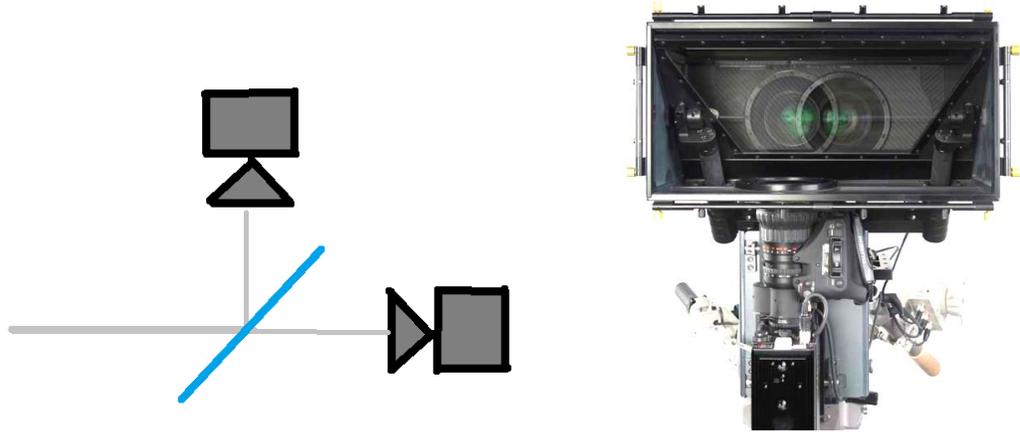


FIGURA 3.6

Izquierda: esquema básico de un sistema de cámaras *beam-splitter*.
Derecha: detalle frontal del espejo, en el cual se observa la reducción de la distancia interaxial más allá de lo posible sin este sistema.

Por la posición de las cámaras, existen dos formatos: *over*, si una de las cámaras está encima y apunta hacia abajo, y *under*, si está debajo y apunta hacia arriba.



FIGURA 3.7

beam-splitter con formato *over* (izquierda), y con formato *under* y montado sobre un trípode (derecha).

11. CINEMATOGRAFÍA 3D [Men09]

Configurar el 3D estereoscópico para una producción audiovisual consiste en reproducir el mundo real en el espacio 3D de una pantalla, creado por la interacción de la pantalla 2D y los ojos del espectador. Esta sección describe dicho espacio y los efectos visuales que lo transforman, que tendrán que ser tenidos en cuenta en las diversas fases de la producción.

11.1. Conceptos básicos

El 3D altera la percepción que se obtiene de la pantalla, y los conceptos básicos de la misma cambian drásticamente.

11.1.1. Distancia Interaxial

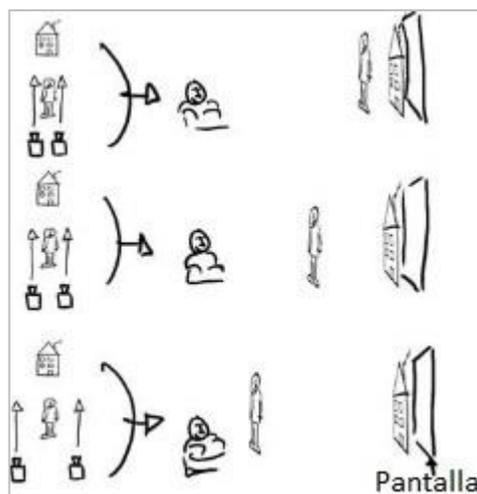
La distancia interaxial (también distancia interocular o base estéreo) es la distancia entre las lentes de las cámaras.



FIGURA 3.8
Distancia interaxial (en amarillo) entre dos cámaras.

Es el parámetro más importante en la estereoscopía, pues regula la fuerza del efecto 3D. Una gran distancia interaxial hace que el sujeto en primer plano se perciba mayor y más cercano al espectador, mientras que una distancia interaxial pequeña lo hace más pequeño y próximo al fondo.

FIGURA 3.9
Efecto de la distancia interaxial en el posterior visionado de las imágenes adquiridas.



La elección de una distancia interaxial es una decisión tanto técnica como artística, que dependerá de las lentes utilizadas, el efecto 3D deseado, y el posterior formato de proyección.

11.1.2. Convergencia

La convergencia es el ángulo subtendido por los ejes de las cámaras, y es el segundo parámetro más importante de la estereoscopía, pues regula la posición aparente de las imágenes respecto a la pantalla. Si los ejes de las cámaras están paralelos, todo el contenido se percibirá en frente de la pantalla, con los objetos en la distancia infinita mostrándose sobre la pantalla, sin disparidad estereoscópica alguna. Por otro lado, si los ejes de las cámaras convergen sobre un punto, este se mostrará sobre la pantalla, sin disparidad, los objetos más cercanos a las cámaras respecto a dicho punto se percibirán en frente de la pantalla, y los más lejanos se percibirán detrás de ella.

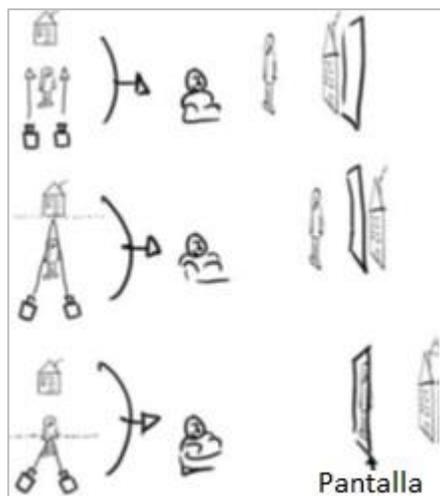


FIGURA 3.10
Efecto de la convergencia en el posterior visionado de las imágenes adquiridas.

La convergencia se utiliza a veces como sustituta de una distancia interaxial adecuada, normalmente convergiendo sobre el sujeto de interés y desenfocando el fondo que diverge.

11.1.3. Ventana estereoscópica

En la estereoscopía, la pantalla no se considera un plano en el que se proyecta la imagen, sino una ventana móvil en la que se observan objetos flotando en un espacio definido por la posición relativa de la pantalla y la posición de los ojos del espectador. Esta ventana produce diversos efectos cuando interactúa con las imágenes proyectadas:

11.1.3.1. Romper la ventana estereoscópica

Se conoce como romper la ventana al efecto que se produce cuando un personaje se mantiene en uno de los bordes laterales del plano de la pantalla, y es visible únicamente parcialmente. Si bien el personaje debería percibirse flotando enfrente de la pantalla, la oclusión, que es una pista de profundidad más fuerte que el paralaje, lleva al cerebro a interpretar el personaje como si estuviese detrás de la pantalla.

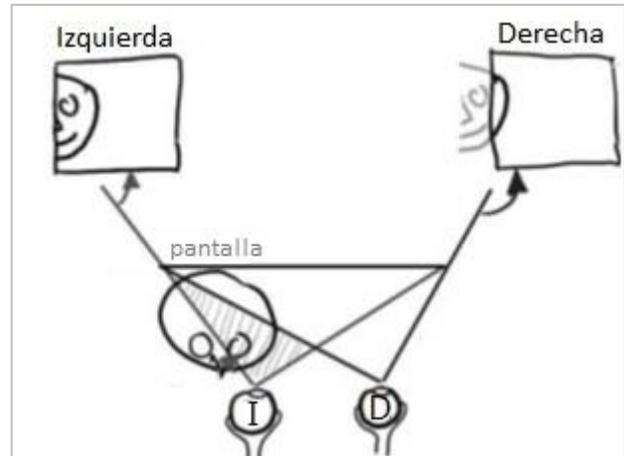


FIGURA 3.11
Efecto de romper la ventana.

Es lo que se conoce como una violación de la ventana estereoscópica, y es el tercer error más molesto después de los errores en la distancia interaxial y los errores en la convergencia. Deben evitarse, pues, planos que son muy comunes en 2D, tales como los de escorzo, en los que parte de uno de los personajes interfiere con uno de los laterales de la pantalla.

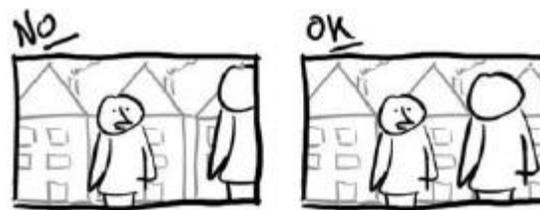


FIGURA 3.12
Si un objeto interfiere con el lateral de la pantalla, puede romper la ventana.

Este error no se percibe en objetos que estén claramente en frente de la pantalla y que salgan de la imagen rápidamente (menos de medio segundo, aproximadamente), ya que el cerebro interpreta la situación de la misma manera que con objetos cercanos en la vida real. Lo mismo ocurre para los personajes que entran en la imagen, siempre que entren enteros antes de que el cerebro los localice enfrente de la pantalla.

11.1.3.2. Curvar la ventana estereoscópica

El efecto conocido como curvar la ventana se produce cuando un personaje queda parcialmente oculto por los bordes superior e inferior del plano de la pantalla. El cerebro del espectador no puede manejar el conflicto entre la oclusión y la posición del personaje, e interpreta que la pantalla está curvada hacia el espectador.



FIGURA 3.13
Efecto de curvar la ventana en la percepción de la imagen.

Este efecto se considera también como una violación de la ventana estereoscópica, y se da sobre todo en planos cerrados o medios típicos 2D en los que se corta parte de la cabeza de los personajes. Se mitiga acercando el espectador a la pantalla, y es menos acusado cuando el personaje toca únicamente el borde inferior del plano de la pantalla, ya que estamos acostumbrados a ver la cabeza, pero no así los pies, de las personas enfrente de nosotros.

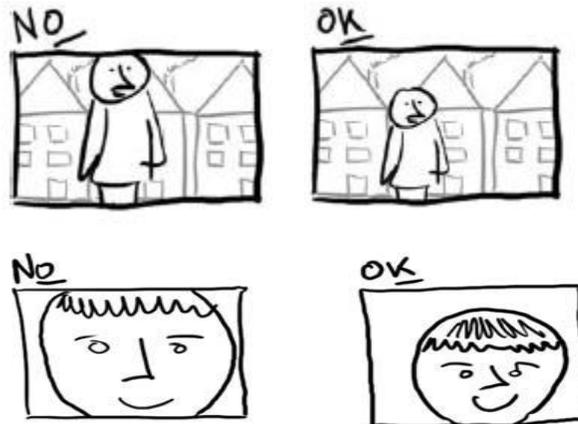


FIGURA 3.14
Si un objeto interfiere con el borde superior de la pantalla, puede doblar la ventana.

11.1.3.3. Flotar la ventana estereoscópica

Respetar estrictamente la ventana limita el espacio disponible detrás de la pantalla. Desplazando la ventana hacia adelante, lo que se conoce como flotar la ventana, libera espacio detrás de la pantalla. Se realiza en posproducción, aplicando máscaras en los bordes laterales de la imagen, que esconden aquello que los ojos no deberían poder ver, y es un efecto que pasa totalmente desapercibido para el espectador.

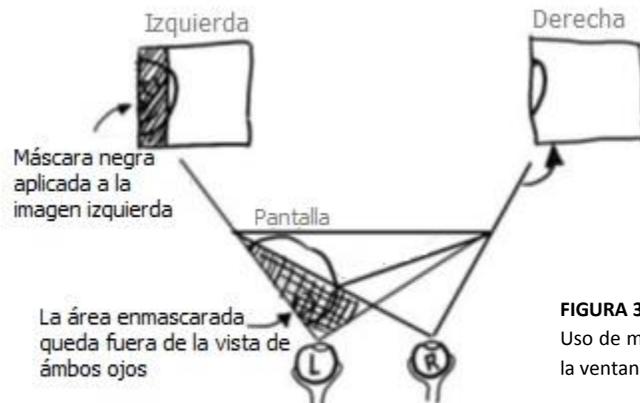


FIGURA 3.15
Uso de máscaras para flotar la ventana.

Flotar la ventana puede arreglar las violaciones de la ventana estereoscópica, siempre que estas sean moderadas.

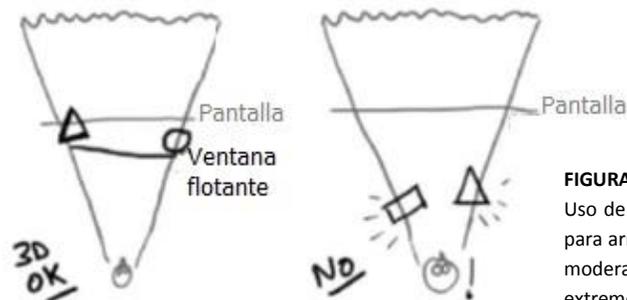


FIGURA 3.16
Uso de flotar la ventana para arreglar violaciones moderadas. En casos extremos, no funciona.

11.1.4. El espacio de la pantalla 3D

El espacio tridimensional creado por una pantalla varía según las características de esta y del modo en que se visualice.

11.1.4.1. El efecto del tamaño de la pantalla

La profundidad de una imagen estereoscópica se incrementa linealmente respecto a su tamaño 2D. Esto crea el riesgo de paralaje divergente en pantallas grandes. Por ejemplo, si se proyecta una imagen sobre una pantalla de 5 metros, y el paralaje es de 6.5 cm, la misma imagen magnificada para ser proyectada sobre una pantalla de 10 metros tendrá un paralaje de 13 centímetros, lo que requerirá una extrema divergencia por parte de los ojos del espectador para ser fusionada, y generará un fuerte dolor de cabeza al cabo de pocos minutos.

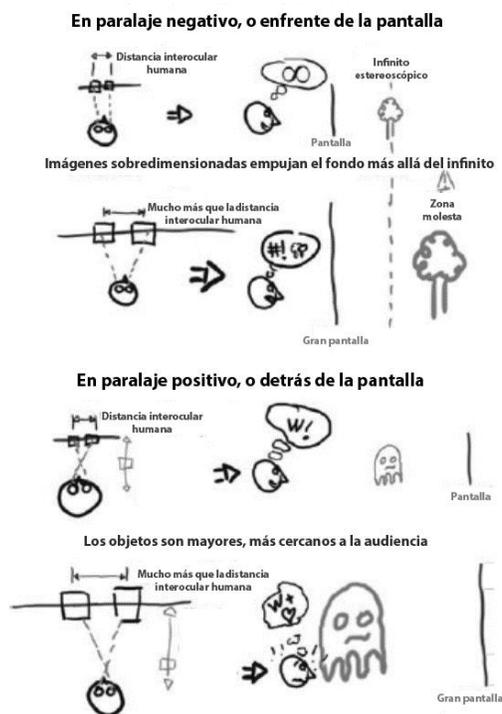


FIGURA 3.17
El efecto del tamaño de la pantalla.

Las imágenes 3D deben estar, por tanto, ajustadas al tamaño de pantalla en el que se planea mostrarlas, y no pueden ser ampliadas.

11.1.4.2. El efecto de la distancia a la pantalla

La profundidad de la parte 3D percibida enfrente de la pantalla incrementa con la distancia a la pantalla a lo largo del eje z (perpendicular a la pantalla). A mayor distancia, los objetos se verán más grandes, pero la acción parecerá desarrollarse más lejos; a menor distancia, la acción

parecerá más cercana, pero los objetos se verán más pequeños. El tamaño de los objetos en el eje z también cambia con la distancia, de modo que contra más lejos, más alargados parecerán en el mencionado eje.

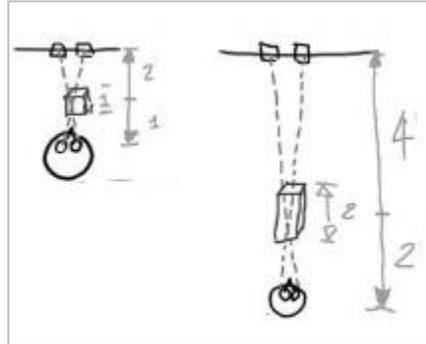


FIGURA 3.18
El efecto de la distancia a la pantalla.

11.1.4.3. El efecto del ángulo de visionado

Visualizar la pantalla desde una posición que no esté justo enfrente de la misma conlleva una deformación que afecta a la forma de los objetos mostrados.

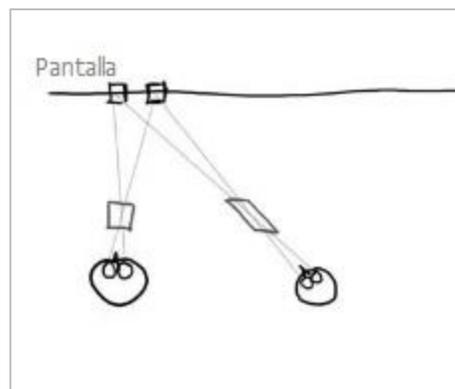


FIGURA 3.19
El efecto del ángulo de visionado.

Contra más se aleje el espectador del ángulo perpendicular a la pantalla, más acusado será el efecto de deformación, pasando por un efecto tolerable o incluso imperceptible para posiciones laterales pero alejadas de la pantalla, hasta una experiencia desagradable para posiciones laterales y muy cercanas a la pantalla.

11.1.4.4. Zona de confort

Juntando las reglas estereoscópicas previamente explicadas, puede dibujarse una zona de confort:

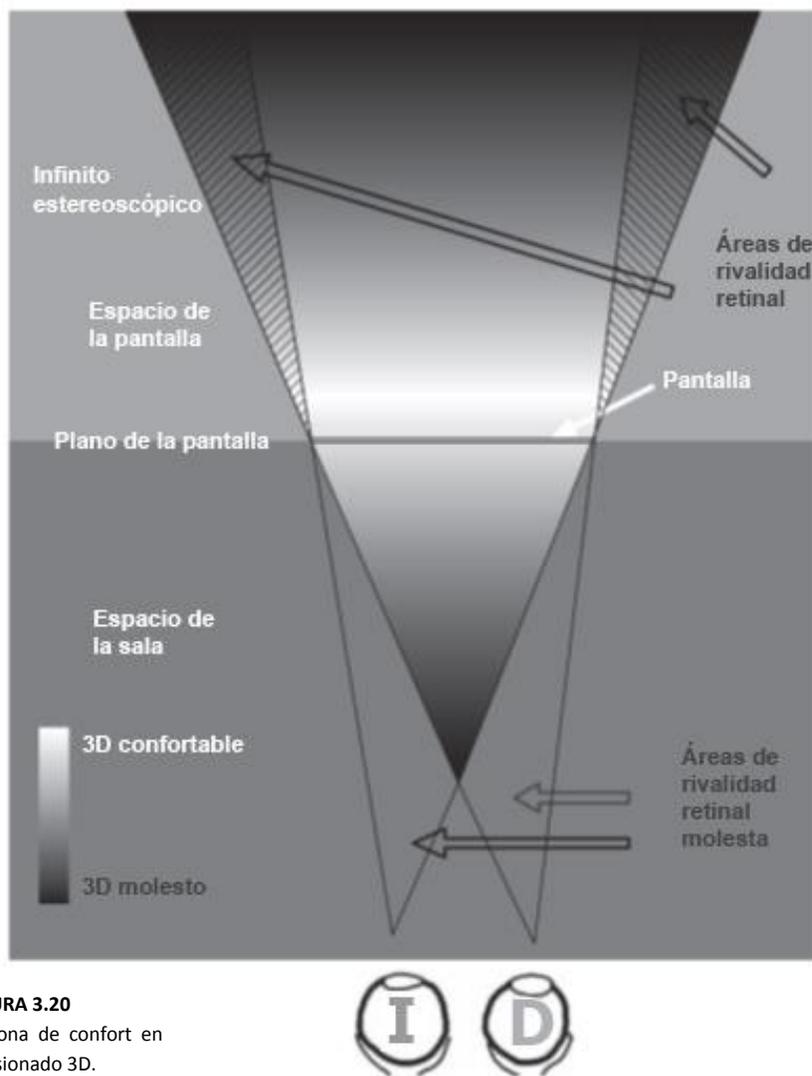


FIGURA 3.20
La zona de confort en el visionado 3D.

- Las pirámides muestran la visión de cada ojo, definidas por los mismos ojos y las cuatro esquinas de la pantalla.
- El área de visión estereoscópica se muestra en gradiente blanco a negro.
 - La zona de confort, de blanco a gris oscuro, puede utilizarse libremente.
 - La zona de duración sensitiva, de gris a negro, es donde la convergencia o divergencia excesivas pueden generar dolor ocular con el tiempo, por lo que puede ser utilizado únicamente por periodos limitados, intercalando secuencias de descanso.

- Las áreas rayadas se ven únicamente por un ojo y generan rivalidad retinal, por lo que deberán ser usadas con precaución.
- En la zona gris plana enfrente de los ojos, los objetos deberían moverse únicamente de manera rápida saliendo o entrando en la imagen.
- Las demás zonas grises son invisibles para la audiencia.

11.1.5. El reparto de profundidad

Basándose en el tamaño de la pantalla y la resolución de la producción, puede calcularse el paralaje infinito y de media distancia. Estos son números simétricos que definen un paralaje de 65mm en la pantalla, generando una visión paralela hacia el infinito, y una visión con los ojos cruzados convergiendo al 50% de la distancia hasta la pantalla. A este número se lo conoce como el paralaje nativo de la pantalla, y define el punto más agradable de la zona de confort.

Dependiendo del tipo de producción y de la audiencia a la que va dirigido, puede expandirse dicho rango más del doble en paralajes positivos detrás de la pantalla, y de cinco a diez veces en paralajes negativos enfrente de la pantalla. En algunas tomas, los paralajes negativos pueden expandirse hasta veinte veces el paralaje nativo, aunque por una duración no superior a una docena de cuadros, y para objetos de rápido movimiento, típicamente en dirección hacia la cámara. El cerebro posiblemente no los fusione en 3D, pero los percibirá como proyectiles volantes sin ningún inconveniente.

11.1.6. Bracket de profundidad

El espacio 3D disponible en un sistema de visualización se conoce como “estado real”. Es mayor que el área de confort, y por tanto una escena no lo cubre en su totalidad. La porción de espacio 3D utilizado en un plano o secuencia se conoce como el *bracket* (paréntesis) de profundidad.

11.1.7. Posición de la profundidad

La posición del *bracket* dentro del estado real se conoce simplemente como posición de la profundidad, y es determinada por el punto de convergencia, si lo

hay, y por la reconvergencia en posproducción (modificar la convergencia mediante la translación horizontal de las imágenes).

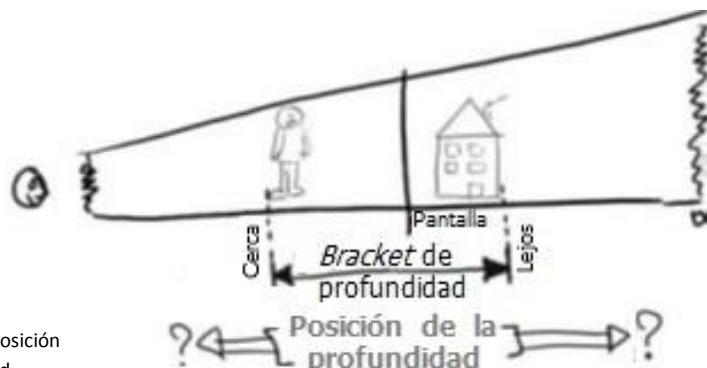


FIGURA 3.21
El *bracket* y la posición de la profundidad.

11.1.8. Ortoestereoscopia

Una imagen 3D es ortoestereoscópica cuando replica perfectamente la visión humana; la geometría y la perspectiva son naturales y los tamaños percibidos son iguales a los originales. Como resultado, el proceso de estereopsis es completamente natural, y la ilusión roza la perfección.

Esta técnica tiene severas limitaciones. Necesita filmar con una distancia focal que coincida perfectamente con el campo angular humano cuando sea replicado en la pantalla, por lo que deben conocerse las métricas exactas del sistema de proyección. Esto significa que lo que es ortoestereoscópico en una pantalla, no lo será en otra, y que la posición del espectador debe ser tomada en cuenta todavía más que en una producción estereoscópica convencional. El tamaño de las imágenes emitidas, además, debe corresponder con el real, lo cual descarta muchos de los planos utilizados en el arte audiovisual contemporáneo.

Ejemplos en los que la ortoestereoscopia tiene una perfecta aplicación son la presentación de objetos en aplicaciones comerciales, o las atracciones en las que se quiere crear la ilusión de que el espectador viaja en una nave y que está contemplando sucesos al otro lado de una ventana.

11.2. Preproducción

En la preproducción de cualquier proyecto audiovisual, deben tenerse en cuenta el sonido y el color, pues tienen un gran efecto sobre la misma. El impacto del 3D en la preproducción es todavía mayor, pues la planificación debe tener en cuenta cómo afecta la tercera dimensión a la historia que se quiere contar, y a la experiencia visual que se quiere tenga el espectador.

11.2.1. Escribir para 3D

El 3D conlleva nuevos documentos de posproducción, además de alterar documentos más tradicionales.

11.2.1.1. El *script* de profundidad y la carta de profundidad

El *script* de profundidad representa la distribución de la profundidad respecto al tiempo de la producción cinematográfica. Puede representarse en forma de texto o en una gráfica, llamada carta de profundidad, donde los diversos actos y escenas tienen una puntuación de 0 a 10 en una escala de profundidad, desde “plano” a “difícilmente soportable por más de unos minutos”, y que puede incluir también detalles como el punto más lejano, más cercano, y aquél sobre el cual quiere centrarse la atención.

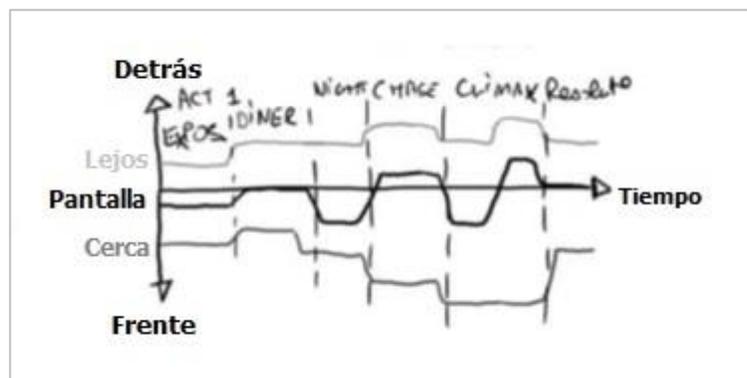
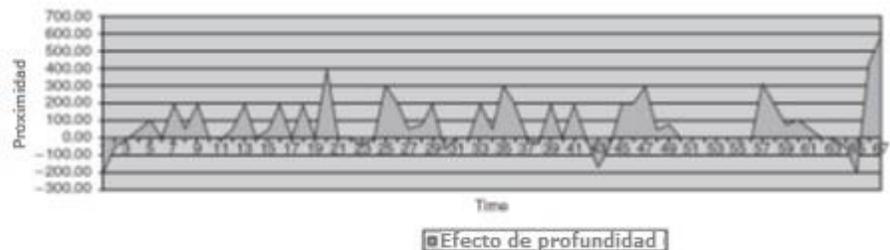


FIGURA 3.22
Dos ejemplos de cartas de profundidad.

Las secuencias con un 3D muy acusado deben ser intercaladas con otras más suaves, conocidas como secuencias de descanso porque permiten que los músculos del sistema visual del espectador descansen.

11.2.1.2. El storyboard 3D

En 3D, el *storyboard* debe mostrar la profundidad deseada en un plano, estableciendo, al menos, qué objetos aparecerán delante de la pantalla, cuales en el plano de la pantalla, y cuales detrás de la misma. Estos pueden distinguirse bien por el grosor de las líneas con el que se han dibujado, o por un esquema de colores. En este último caso, puede utilizarse la convención frío a cálido, con el azul el más lejano, verde detrás de la pantalla, amarillo en el plano de la pantalla, naranja enfrente de la pantalla, y rojo lo más cercano. Dicha elección de colores se basa en las pistas de profundidad, y es de hecho el utilizado por el sistema ChromaDepth (véase apartado 2.2.2.3).



FIGURA 3.23

Ejemplo de un plano en un storyboard 3D en el que el grosor de las líneas determina la posición estereoscópica de los objetos dibujados.

También pueden utilizarse vistas laterales y superiores para establecer la composición de profundidad de las escenas.

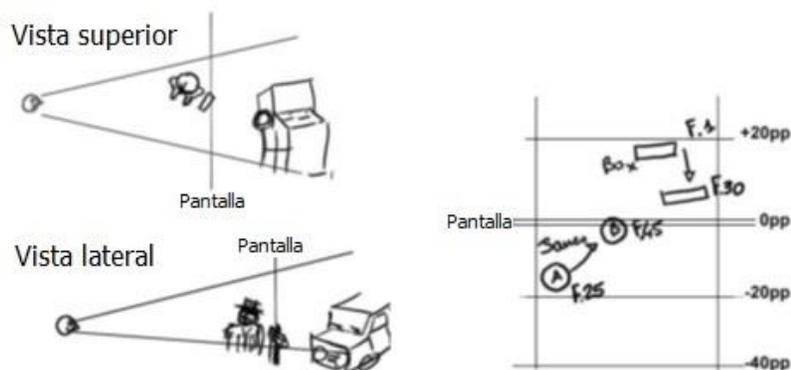


FIGURA 3.24

Composición de profundidad de una escena mediante vistas laterales y superiores

11.2.2. Dirección artística 3D

El 3D estereoscópico introduce nuevos límites y nuevas posibilidades en aspectos artísticos de una producción cinematográfica, y que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de planear una escena, ya sea para evitarlos por ser dañinos para el efecto 3D, o realzarlos, bien porque aporten calidad al 3D, o por cuestiones puramente artísticas.

11.2.2.1. Composiciones recargadas

En 2D, las composiciones abarrotadas de objetos son más incómodas y complejas de interpretar, ya que el córtex visual trata de identificar todos los objetos de la escena. Un buen ejemplo son los recargados decorados de la película *Alien*, donde es fácil ver monstruos donde no los hay, o no ver al alienígena escondido entre tubos y cables.

En el 3D estereoscópico, sin embargo, las composiciones recargadas se perciben como gradientes continuos de detalles a lo largo del eje de profundidad, aportando mucho valor visual tridimensional. Las composiciones más vacías aportan escasas pistas de profundidad, en las que es más difícil percibir la posición relativa entre ellas.

11.2.2.2. Pistas de profundidad de movimiento

En 2D, las pistas de profundidad contradictorias crean una escena donde el mundo se percibe plano o desorientativo. En 3D, si van en contra de la percepción estereoscópica, crean una molestia todavía mayor. Si en vez de contradecirse, se apoyan, se consigue una drástica mejora, mayor que la que se conseguiría en 2D.

El efecto acumulativo del movimiento de la cámara y la visión estereoscópica es enorme, pues cuando se experimenta la confirmación recíproca entre las pistas monoscópicas y estereoscópicas de profundidad y desplazamiento, el cerebro interpreta de manera más efectiva y con mayor facilidad la tridimensionalidad de la escena.

11.2.2.3. Profundidad de campo

Puede utilizarse una gran profundidad de campo con una profundidad tridimensional de toda la escena, o bien una profundidad de campo pequeña como una pista de profundidad más fuerte, restringiendo la estereopsis a un estrecho plano.

11.2.2.4. Planos cortos

Hay dos situaciones a tener en cuenta cuando se rueda un plano corto:

- **Violaciones de la ventana estereoscópica**

Como se ha explicado en los apartados 11.1.1.1 y 11.1.1.2, los objetos que se desea aparezcan enfrente de la pantalla, como son los personajes, no deben interferir con los bordes del plano de la pantalla, sobre todo el superior y los laterales, pues se producirían efectos indeseados al observar la escena (a no ser que se trate de elementos entrando o saliendo muy rápidamente del cuadro).



FIGURA 3.25
Violaciones de la ventana estereoscópica.

- **Objetos de fusión incómoda**

Deben evitarse objetos que se muestren muy cerca del espectador y cuya fusión sea incómoda. Un ejemplo de esto sería una pelota solitaria flotando cerca del espectador. No es incómodo, sin embargo, si la bola se acerca con una determinada velocidad, o si algo la une a la pantalla, digamos una mano que la sujeta, o una simple hilera de bolas que sale de la pantalla hacia el espectador.

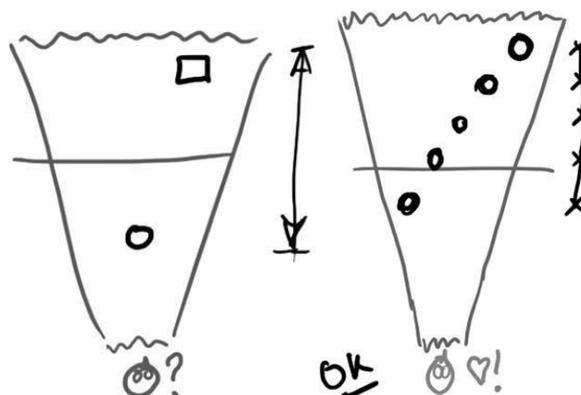


FIGURA 3.26
Objetos de fusión incómoda.

11.2.2.5. Planos largos

Deben tenerse en cuenta tres aspectos en los planos largos:

- **Lentes de distancia focal larga**
Mientras que en 2D pueden utilizarse este tipo de lentes para separar al sujeto del fondo, desenfocando este último, o para que parezca que los sujetos están más cerca de lo que realmente están, no funciona con el 3D. Las lentes de distancia focal larga hacen que los actores parezcan figuras planas de cartón, y el 3D revela la distancia real entre los elementos de la escena.
- **Objetos cercanos con fondos lejanos**
Como se explica en el apartado 2.3, existe un límite en el rango de fusión estereoscópico, por el cual no deben mostrarse objetos cercanos con fondos o paisajes lejanos al mismo tiempo. Esto puede solucionarse comprimiendo ópticamente la profundidad, aunque aplanará la profundidad de los objetos.

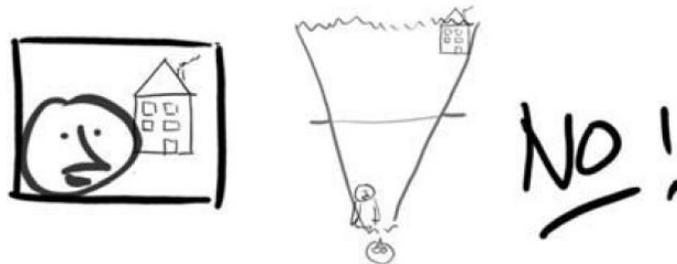


FIGURA 3.27

Tener objetos muy cercanos con fondos muy lejanos puede abandonar la zona de confort del visionado 3D.

- **Multirigging**
El multirigging es un efecto visual basado en CGI (*computer-generated imagery*, imagen generada por computadora) que se aplica a escenas grabadas sobre una pantalla verde o croma. El proceso consiste en grabar la escena del frente y la del fondo con dos sets diferentes de lentes.

11.2.2.6. Continuidad de la profundidad

En 3D, algunos cortes de imagen se conocen como saltos de profundidad, ya que en *bracket* de profundidad salta de una posición a otra. Esto fuerza al espectador a reajustar la convergencia, basándose en la visión doble que percibe al producirse el salto. Deben evitarse los saltos grandes, pues

para el espectador es imposible seguirlos. Además, saltar del frente al fondo del plano es menos molesto que lo contrario.

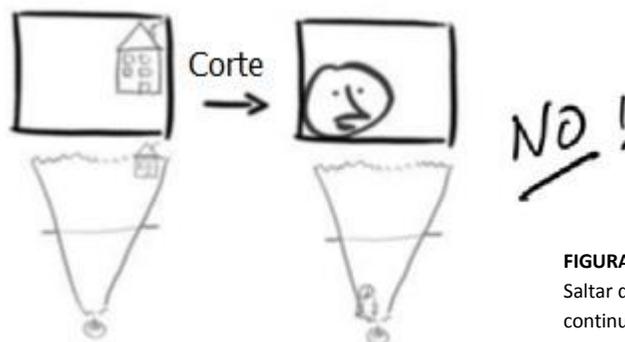


FIGURA 3.28

Saltar del fondo al frente atenta contra la continuidad de profundidad.

Respetar las posiciones de la profundidad entre las tomas se conoce como continuidad de la profundidad. Puede conseguirse planeando las tomas de manera apropiada, utilizando fundidos, o con cortes activos de profundidad. En los cortes activos de profundidad, se guía la convergencia del espectador desde la posición de profundidad de la toma saliente a la toma entrante, reconvergiendo la una hacia la otra a lo largo de varios fotogramas.

11.2.2.7. Relación entre el tamaño y la distancia

En 2D, el tamaño de los objetos se percibe en relación a los demás objetos de la escena, por pistas de tamaño como el peso y la inercia aparentes, o por el tamaño familiar de los mismos. Por ejemplo, si la cara de un actor llena la pantalla, no se interpreta que sea un gigante, sino simplemente que está más cerca de la audiencia.

En 3D, sin embargo, la percepción del tamaño de un objeto viene por la lejanía o cercanía aparente del mismo. Así, si la cara del actor llena la superficie de la pantalla y se muestra detrás de ella para preservar la ventana estereoscópica, significa que la cara es realmente tan grande como la pantalla. A este efecto se le llama gigantismo.

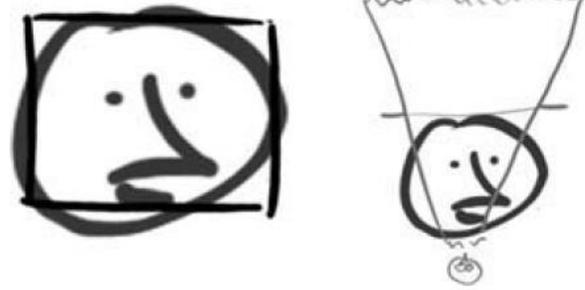


FIGURA 3.29
Efecto de gigantismo creado por el tamaño relativo del objeto respecto a la superficie de la pantalla.

Si se desea preservar tamaños realistas, debe utilizarse el desplazamiento de profundidad (véase el apartado 11.2.1.3). Por ejemplo, para agrandar un objeto, debe alejarse el mismo del espectador, detrás de la pantalla, pero sin empujar el fondo más allá de la zona de confort.

11.2.2.8. Sets

- **Simular la profundidad**

En 2D, es común simular la profundidad en decorados, por ejemplo con *matte paintings*. Para que estos funcionen en 3D, tienen que ser tratados en posproducción, o al menos hacerlos en multicapa o pintados sobre soportes curvados. Simular iluminación externa a través de ventanas, sobre todo con efectos de cristales coloreados, no funciona en 3D, pues no se perciben de manera correcta al reproducir las imágenes.

- **Colores y profundidad**

Los colores cálidos avanzan en su percepción hacia el espectador, mientras que los colores fríos retroceden hacia el infinito. Debe evitarse transgredir esta regla, a no ser que lo requiera el script, lo mismo que en una producción 2D.

- **Contraste y profundidad**

Los contrastes altos en primer plano o en el fondo pueden generar efecto *ghosting*.

- **Objetos cercanos**

Los objetos aislados muy cercanos, como pueden ser un poste o una lámpara de pie, al tener que estar dentro del rango de fusión, obligan a que el espacio de profundidad se acomode a ellos, definiendo la estereoscopía de toda la escena. Y aún si el espacio de profundidad es adecuado, hay que tener en cuenta que dichos objetos cercanos atraerán la atención del espectador.

- **Patrones**

La percepción estereoscópica requiere patrones que se enlacen por ambos ojos del espectador. Si se usan colores planos, sólo se perciben los ejes de los objetos, no sus formas. Los patrones necesitan una componente vertical, porque las líneas horizontales no generan paralaje que pueda ser percibido. Los patrones horizontales repetitivos pueden producir una falsa percepción de profundidad cuando el cerebro no sabe a qué parte izquierda corresponde la derecha.



FIGURA 3.30
El efecto de los patrones de las texturas en la percepción de la profundidad.

11.2.2.9. Polarización, reflejos y brillos

Un artefacto visual que se base en las posiciones tanto del espectador como de la fuente de luz resultará dañino para el 3D, ya que no se mostrará simétricamente en las vistas izquierda y derecha.

Las reflexiones en el agua, la polarización de la luz y los destellos pueden crear este tipo de efecto.

11.3. Producción

Llevar a cabo las tomas planeadas en preproducción requiere unos ajustes precisos de la cámara y de la iluminación, pues la configuración de los diversos elementos afecta al efecto 3D obtenido.

11.3.1. El estilo cinematográfico 3D

Existen dos estilos cinematográficos básicos en el 3D estereoscópico: replicar la visión humana, moviendo las cámaras de la misma manera que se moverían los ojos y centrando la atención donde se desea que mire la audiencia, o replicar la escena como un mundo tridimensional en la que los espectadores deciden en qué parte de la misma quieren centrar su atención.

	Replicando la visión humana	Replicando el mundo 3D
Método de posicionamiento de profundidad	Convergencia de las cámaras	Desplazar las imágenes
Enfoque	Profundidad de campo pequeña	Profundidad de campo infinita
Bracket de profundidad	Mayor que el rango de fusión	Limitado al rango de fusión
Continuidad 3D	Todo el tiempo, siempre en 3D	Con áreas de descanso
Estilo 3D	3D profundo	3D poco profundo
Ventana estereoscópica	Romper si es necesario	Flotar si es necesario
Realismo de la profundidad	3D ortoscópico	Mundo a escala
Tamaño de pantalla más adecuado	Pantalla gigante, tipo IMAX	Pantalla corriente de cine
Tipo de película	Atracciones y películas científicas	Cine

TABLA 3.2
Comparación de estilos cinematográficos 3D.

11.3.2. Las cámaras

Los sistemas 3D de dos cámaras difieren de sus homólogos 2D, y su manejo debe llevarse a cabo con el conocimiento de varias características:

11.3.2.1. Sincronización

La sincronización en la grabación de ambas cámaras es un proceso delicado, sensible a cualquier pequeño tropiezo o problema técnico.

Además, es necesario enlazar el enfoque y el iris de ambas cámaras, idealmente motorizando las ópticas y controlándolas con un único control remoto. Existen también soluciones electrónicas de control remoto, más asequibles pero menos precisas.

11.3.2.2. Steadicams

La mayoría de los *rigs* 3D son voluminosos y pesados, por lo que su uso con una steadicam, que debe haber sido específicamente diseñada para 3D, es más complicado. Además, en los *rigs* motorizados con convergencia y distancia interaxial dinámicos, el movimiento de los mismos durante la escena afecta al equilibrio del operador de la steadicam.

11.3.2.3. Lentes y longitud focal

La elección de las lentes es crítica, porque está ligada a la distancia hasta el sujeto en un tamaño de pantalla dado, y la distancia al sujeto está ligada a la distancia interaxial para un efecto 3D dado. Es decir, cambiar las lentes focales cambia el efecto 3D.

Para una longitud focal fija, el efecto 3D en el sujeto principal está fijado por el ángulo formado por los dos ejes ópticos. A mayor distancia interaxial de las cámaras, mayor ángulo y mayor el efecto 3D. Si se desplaza la cámara hacia atrás y se hace zoom, es necesaria una mayor distancia interaxial para compensar el incremento en la distancia. Al estar haciendo zoom, se magnifica el fondo, lo cual tiene un efecto acumulativo en el paralaje, empujando el fondo más atrás.

Para mantener la profundidad dentro de la zona de confort, será necesario reducir la distancia interocular al usar lentes largas. Este efecto se conoce como *cardboarding* (acartonamiento) porque hace que los personajes parezcan recortes de cartón. Se percibirá la distancia entre ellas y el fondo, pero se verán en un plano delgado. Por otro lado, utilizar lentes cortas permite acercarse al sujeto y que se perciba con una forma bien definida, con una estructura de profundidad detallada. En general, el

mejor efecto 3D se consigue con longitudes focales inferiores a los 30 mm.

11.3.2.4. Enfoque

Todo tipo de desenfoque tiene una repercusión especial en el 3D. Como las formas se reconstruyen enlazando las texturas de las imágenes izquierda y derecha, los desenfoques impiden una buena percepción 3D.

- **Desenfocar el fondo**

El sistema visual humano está acostumbrado a esta configuración en la vida diaria, pues la convergencia y la acomodación desenfocan el fondo, típicamente cuando queda estereoscópicamente lejos del punto de atención. Este efecto ayuda a tolerar las disparidades retinales demasiado grandes. En 3D, desenfocar el fondo funciona siempre que el espectador no intente fusionar en fondo, lo cual no se puede garantizar, y por tanto limita la exploración visual de la escena.

Los patrones granulados, como las paredes de cemento, se convierten en un color uniforme cuando se desenfocan, por lo que parecerán planas y crearan potenciales conflictos entre las pistas de profundidad.

- **Desenfocar el primer plano**

Esta es una situación a la que el sistema visual humano está menos habituado, pues acostumbra a excluir espontáneamente el objeto que interfiere en su campo visual, ya sea moviéndose a un lado o simplemente olvidándose de él, de la misma manera que el cerebro elimina la nariz de los estímulos visuales. En la estereoscopia, deben moverse el objeto o la cámara, o corregirlo en postproducción.

- **Desenfoque de movimiento**

El desenfoque de movimiento afecta negativamente a la percepción de profundidad estereoscópica. Cuando se desenfoca el fondo, como en una escena de conducción tomada desde un lateral del coche, la percepción 3D queda desemparejada, pues las disparidades horizontales desaparecen y la imagen parece estar en el plano de la pantalla.

11.3.2.5. Zoom

Las lentes de zoom se usan en 3D sobre todo cuando se utiliza un *beam-splitter*, ya que cambiar las lentes en estos sistemas es complejo y lleva mucho tiempo, y para evitar la necesidad de cambiarlas la mayoría lleva lentes de zoom incorporadas. Sin embargo, esto conlleva algunas complicaciones diferentes:

- **Progresividad del zoom**

El factor de magnificación que se consigue con un zoom no tiene una progresión lineal, y una pareja de zooms, aunque sean idénticos, tendrán diferentes curvas de progresión. Las disparidades de tamaño resultantes generan paralaje vertical y errores de profundidad.

La solución consiste en utilizar *rigs* computerizados que compensen las discrepancias ópticas, o hacer un pase de corrección en la postproducción.

- **Centro del zoom**

Cuando se apunta a un sujeto y se hace zoom, el sujeto no se mantiene totalmente en el centro del cuadro, porque el eje óptico del zoom tiende a moverse a medida que se progresa en el factor de magnificación. Como resultado, se crean disparidades verticales y errores de convergencia.

Corregir este defecto es mucho más complejo, ya que necesita un ordenador y un soporte de cámara motorizado. Algunos de los *rigs* 3D más avanzados llevan un control de tres ejes en al menos una de las cámaras, pudiendo así controlar tanto la distancia interaxial como la compensación del eje del zoom, e incluso la convergencia si fuera necesario.

11.3.2.6. Vertigo shots en 3D

Las *vertigo shots* son tomas en las que la cámara retrocede a la vez que se hace zoom, de manera sincronizada, haciendo que el personaje se mantenga en el mismo estado pero haciendo zoom sobre el fondo y desenfocándolo. En 3D, para mantener el fondo dentro de la zona de confort, debe reducirse la distancia interaxial a medida que se mueve la cámara hacia atrás.

11.3.2.7. Configuración de la cámara

Para conseguir el objetivo de una reproducción a escala del mundo tridimensional en una pantalla, deben ajustarse tres parámetros ópticos de la cámara; la distancia interaxial, la convergencia, y la distancia focal, en relación con la distancia hasta el sujeto. Existen varios métodos para configurar dichos parámetros:

- **Fórmulas matemáticas y tablas**

Existen excelentes libros de fotografía estereoscópica en los que se proporcionan tablas y fórmulas matemáticas, como es el *Foundations of Stereoscopic Cinema* de Lenny Lipton.

- **Previsualización estereoscópica**

La previsualización generada por computador, trabajando a escala real, puede ayudar a determinar la mejor configuración 3D para un plano o secuencia concretos.

- **Software de cálculo estéreo**

Pueden encontrarse diferentes programas en los que se introducen los parámetros de la escena que se desea grabar y que calculan la configuración óptima para llevarlo a cabo.

- **Configuración empírica**

Se realiza en cuatro pasos consecutivos:

- **La regla del 1/30:** estipula que la distancia interaxial debe ser de un 1/30 de la distancia entre la cámara y el primer objeto del frente. Puede utilizarse con la condición de adaptarse al distancia focal utilizada y al tamaño de la pantalla en que se vaya a mostrar. Un mayor tamaño de pantalla amplifica la profundidad y reducirá linealmente la distancia interaxial a 1/100. El uso de unas lentes de distancia focal corta lo aumentará a 1/10.
- **Configuración inicial de la cámara 3D:** sigue la configuración de una cámara 2D. Se empieza eligiendo el eje de la cámara y componiendo la imagen. Cuando las lentes y la posición de la

cámaras están preparada, se realiza la configuración estéreo. Se comienza seleccionando la distancia interaxial que genere el paralaje necesario, de acuerdo al *script* y al reparto de profundidad. Si se decide utilizar convergencia, esta ha de configurarse físicamente en el *rig*, o desplazando digitalmente las imágenes en el sistema de monitoreo 3D.

- **Evaluar visualmente los volúmenes 3D:** para obtener un 3D que además de ser técnicamente correcto, esté artísticamente optimizado, debe chequearse en una pantalla del tamaño más aproximado a aquél con el que se ha decidido trabajar. Deben comprobarse los paralajes positivos y negativos máximos y, si quedan fuera del *bracket* de la escena, volver a las cámaras y corregirlo. Una vez el paralaje sea correcto, debe comprobarse el efecto de redondez o realismo de las formas, de modo que no se genere un volumen exagerado, ni una escena plana.
- **Refinar los efectos de profundidad:** para ajustar y refinar el *bracket* de profundidad, se debe variar la distancia interaxial y reajustar la posición de profundidad cuanto sea necesario. Si el 3D general es correcto, pero los objetos se ven planos, se incrementará el campo de visión, para que la ganancia en la base estéreo se compense con la reducción del tamaño aparente. Si no se desea cambiar el tamaño aparente del sujeto principal, harán falta lentes de menor distancia focal, acercar la cámara al sujeto, e incrementar la distancia interocular.

- **Configuración en una escena animada**

En planos animados, cuando la distancia focal o la distancia al sujeto cambian mucho, la configuración de la cámara debería seguir la acción.

- **Animación de la distancia interaxial:** los planos complejos con movimientos de cámara importantes necesitan animar la distancia interaxial. Como esto tiene un efecto de escala en el tamaño de los objetos percibido, deberá ser sincronizado con

una progresión del movimiento de la cámara o progresión del zoom, si se desea que pase desapercibido. Aunque es prácticamente imposible un ajuste manual de este tipo durante una escena, existen diversos *rigs* con sistema de control motorizados que pueden ser utilizados en planos animados complejos.

- **Animación de la convergencia:** es más común que la animación de la distancia interaxial, aunque es una herramienta de uso delicado, pues desliza toda la escena en el eje Z. En programas en directo, un técnico de convergencia que sigue la acción es el encargado de la animación de la convergencia. En una producción cinematográfica, es usual que las cámaras graben de forma paralela y efectuar la convergencia en postproducción. En este caso, deberá disponerse de un leve sobreescaneo, ya que la imagen será posteriormente magnificada y trasladada horizontalmente. Como la corrección nunca excederá el doble del paralaje nativo de la pantalla, puede calcularse su máximo.
- **Posiciones clave y velocidad:** cuando se lleve a cabo un movimiento de cámara complejo, deberá repetirse la configuración del 3D en cada una de las cámaras clave y las posiciones de los actores. Animando la distancia interaxial y la convergencia entre las posiciones clave se obtiene un 3D suave y fluido, por ejemplo, si la toma comienza con un paisaje y se mueve hasta un plano corto. Además, si el movimiento de la cámara comienza y se para en la toma, la velocidad de la configuración 3D deberá seguir la velocidad de la cámara, o se generará una discontinuidad apreciable en los volúmenes y profundidad percibidos.

11.3.3. Iluminación

El 3D requiere una ingente cantidad de luz a la hora de rodar; una gran profundidad de campo requiere más luz; un *beam-splitter*, que divide la luz en dos y conlleva una pérdida de un f-stop por cámara, requiere más luz; las sombras, que si son demasiado oscuras se perciben planas y en el plano de la pantalla, requieren más luz.

Los grandes contrastes, aunque no en el plano de la pantalla, pues las imágenes izquierda y derecha se superponen perfectamente, pueden generar *ghosting*, por lo que habrá que evitarlos, con una iluminación suave en ambos extremos del espacio de profundidad. Puede utilizarse la zona de confort como mapa de compatibilidad para el alto contraste, pues las zonas de mayor disparidad deberán tener las sombras más suaves.

Los extremos laterales del cuadro son zonas de incomodidad, debido a la rivalidad retinal. Si dichas zonas se iluminan demasiado, se corre el riesgo de mostrar un objeto bien iluminado y bien definido que sólo pueda ver un ojo. Este objeto atraerá la atención del espectador, aunque este no será capaz de fusionarlo.

12. Bibliografía

- [Men09] *3D Movie Making, Stereoscopic Digital Cinema from script to screen*
Bernard Mendiburu
2009
- [W.pan1] *HDC-SDT750 Videocámara 3D*
panasonic.es
http://www.panasonic.es/html/es_ES/Productos/HDC-SDT750/Ficha/5712423/
- [W.pan2] *HDC-Z10000 Videocámara de mano*
panasonic.es
http://www.panasonic.es/html/es_ES/8073666/index.html
- [W.jvc] *ProHD 3-D Camcorder GY-HMZ1U*
jvc.com
http://pro.jvc.com/prof/attributes/features.jsp?model_id=MDL102101
- [W.son1] *Full HD Handycam Camcorder*
sony.com
<http://store.sony.com/p/Handycam-Full-HD-3D-Camcorder/en/p/HDRTD20V>
- [W.son2] *HXRNX3D1U NXCAM 3D/2D WorldCam (PAL/NTSC) Compact Camcorder*
sony.com
<http://pro.sony.com/bbsc/ssr/product-HXRNX3D1U/>
- [W.son3] *PMWTD300 Solid-state Memory 3D Shoulder Camcorder*
sony.com
<http://pro.sony.com/bbsc/ssr/product-HXRNX3D1U/>

CAPÍTULO CUARTO: EDICIÓN 3D

*Sobre los conceptos y principios de la edición 3D,
así como las diferentes metodologías y herramientas utilizadas en dicha labor.*

13. PRINCIPIOS DE LA EDICIÓN 3D

En 3D estereoscópico, la edición conlleva, además de los aspectos tradicionales 2D, un control sobre la convergencia y sobre la vista del espectador, por lo que es una continuación del estilo fotográfico 3D. Esta sección detalla dicho proceso.

13.1. Montaje

Existen dos corrientes separadas en el estilo de trabajo a la hora de montar una producción estereoscópica:

- **Adaptar la profundidad a la edición:** siguiendo este enfoque, la tridimensionalidad de las imágenes no se considera como una característica mayor de la producción. Se edita de la misma forma que una producción 2D, y después se genera la versión 3D, la cual es comprobada por un artista estereoscópico, que se asegura de que se respete la continuidad de profundidad. Mediante herramientas como el posicionamiento de la profundidad, los cortes activos de profundidad, y de flotar las ventanas, ajusta la intensidad del efecto 3D en pos de conseguir una actividad oculo-muscular suave y fluida por parte del espectador. La mayor ventaja de esta corriente de trabajo es la libertad en la creatividad del montaje.
- **Adaptar la edición a la profundidad:** este enfoque se basa en la premisa de que las imágenes 3D son más complejas de procesar visualmente, porque requieren más tiempo para ser “leídas” y porque el espectador tiende a escanear toda la escena antes de volver a centrarse en el sujeto, y que por lo tanto las imágenes con un carácter 3D fuerte deben ser tratadas directamente como 3D. Un 3D fuerte puede significar que una imagen o secuencia dada posee un contenido emocional mayor del que tendría en 2D. Otro significado de un 3D fuerte es un fuerte paralaje, el cual debe comprobarse sea fisiológicamente posible de seguir, considerado el rápido cansancio que suele conllevar su visualización. Editar un proyecto tomando estas características en cuenta genera un montaje más lento, es decir, con tomas más largas y cortes más espaciados.

13.2. Continuidad de la profundidad

No deben efectuarse cortes entre tomas si las profundidades de ambas no encajan, es decir, el espectador no fusiona inmediatamente las imágenes izquierda y derecha, y se interrumpe la estereopsis. Por ejemplo, un corte de una toma amplia posicionada detrás de la pantalla a un plano corto delante de la pantalla es un corte de profundidad

que no encaja, ya que el punto de convergencia de la toma entrante queda muy lejos de la toma saliente, por lo que el espectador pierde la percepción 3D durante un instante, mientras busca el punto de convergencia correcto.

- **Cortes de salto de profundidad:** existen cortes de profundidad hacia atrás y hacia adelante. En los cortes de profundidad hacia atrás, el punto de convergencia se acerca al espectador, con lo cual este debe entornar los ojos para restaurar la estereopsis. Los cortes hacia adelante son menos perturbadores, ya que en ellos el espectador sólo debe relajar los músculos oculares, y pueden utilizarse, bajo férreo control, para crear efectos artísticos, como una sensación de vértigo al ampliar inesperadamente un paisaje.
- **Cortes de profundidad activos:** puede ajustarse dinámicamente el punto de convergencia de dos tomas. Este proceso se realiza en tres pasos:
 1. Llevar el punto de atención de la escena saliente a un lugar dentro de la zona de confort (por ejemplo, el plano de la pantalla).
 2. Cortar a la escena entrante, con su punto de enfoque colocado en la misma profundidad.
 3. Mover el punto de convergencia hacia la posición correcta de la escena entrante.

El espectador seguirá la convergencia sin problemas. El movimiento ha de ser suficientemente rápido para no ser detectado, y suficientemente lento para que pueda ser seguido con facilidad. Se consigue además la sensación de un montaje más rápido.

13.3. Transiciones

- **Fundidos:** si se usan entre tomas que ocupan el mismo área de profundidad, los protagonistas de la toma entrante parecen ir materializándose en el escenario de la toma saliente, creando una conexión o sensación de continuidad más fuerte que en una transición 2D de este tipo.
- **Cortinillas:** los efectos de cortinilla y cortes de pantalla son efectos intrínsecamente 2D en el plano de la pantalla. Los cortes de pantalla verticales constriñen la ventana estereoscópica en el medio de la pantalla, incrementando la rivalidad retinal. Si se dan cerca de la visión periférica del espectador (en los bordes de la pantalla en salas de cine), que no es estereoscópica, es un efecto molesto pero aceptable hasta cierto punto. Si se dan en la mitad del campo visual

del espectador, justo donde se centra la atención del mismo, el efecto es mucho más perturbador. Para utilizar transiciones de este tipo, debe construirse la escena de manera que ambos lados del corte tengan la misma profundidad, y suavizar el borde del corte en varios píxeles para acomodar la vista a la discontinuidad de profundidad entre la toma entrante y la saliente.

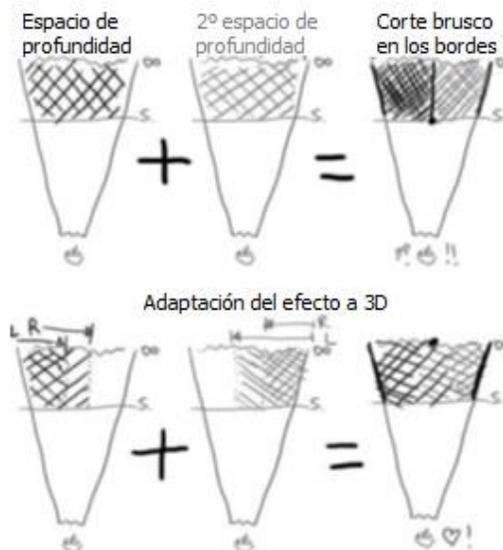


FIGURA 4.1

Los efectos de transiciones tipo cortinilla deben ser adaptados al 3D para una correcta visualización.

13.4. Sonido envolvente

El sonido envolvente o multicanal ocupa, generalmente, un espacio rectangular creado por los altavoces frontales en el plano de la pantalla, y los laterales a ambos lados del espectador. Las imágenes estereoscópicas, sin embargo ocupan un espacio de forma triangular dado por la zona de confort, que se extiende más allá de la pantalla. Es decir, ambos volúmenes no coinciden perfectamente.

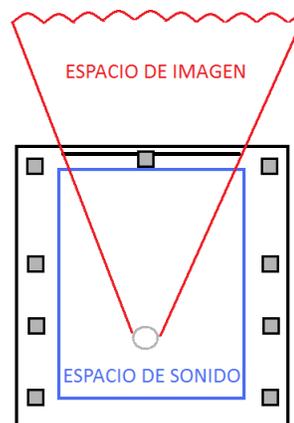


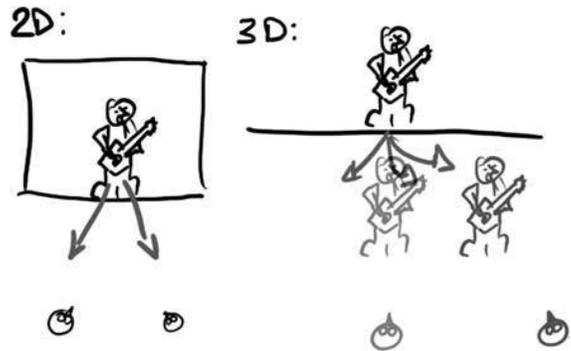
FIGURA 4.2

El volumen de las imágenes estereoscópicas (en rojo), y el del sonido envolvente (en azul) no coinciden perfectamente.

En salas de cine, si el espectador observa la imagen desde una posición lateral, el sonido se percibirá desplazado respecto a la fuente aparente del mismo, a menos que esta esté en el plano de la pantalla. Para evitar este efecto en los diálogos de los personajes, los canales de voz deberán ser emitidos de manera envolvente, llenando la sala.

FIGURA 4.3

En salas de cine, en 2D la percepción de la fuente aparente del sonido (imagen del guitarrista) y la real (altavoz en el plano de la pantalla) coinciden. En 3D no es así, sobre todo si el espectador se halla en una posición lateral.



13.5. Ajuste de color

El ajuste de color en una producción estereoscópica se realiza en dos fases:

1. **Ajuste en 2D:** se realiza un ajuste tradicional del color.
2. **Ajuste en 3D:** se realiza un ajuste simulando en la medida de lo posible el formato de visualización, tanto gafas como pantalla, en el que se pretende emitir posteriormente las imágenes, ya que los distintos sistemas de visualización afectan de distinta manera al color y luminancia de las imágenes (véase el Capítulo Segundo). Debe tenerse en cuenta también el efecto, mencionado anteriormente, por el que los colores cálidos se perciben más cerca que los fríos.

13.6. Ajuste de profundidad

13.6.1. Corrección de profundidad

- **Corrección de divergencias:** ninguna toma debería salir del proceso de postproducción con objetos en el fondo más allá del máximo paralaje permitido. Si es necesario, debe moverse la profundidad de toda la escena hacia adelante, y ajustar las transiciones entrantes y salientes.

- **Corrección de la distancia interaxial:** es un proceso muy complicado, que requiere software que compute un mapa de correspondencias, como es el Nuke con el plug-in Ocula. Utilizado junto con un mapa de desplazamiento, pueden virtualizarse las lentes, y corregir la distancia interaxial. En los casos en los que esta solución no funcione, sólo quedará realizar una gran corrección de efectos especiales, como es una conversión 3D completa.
- **Mezcla de profundidades:** los saltos más grandes en la profundidad deberían haber sido solucionados en el proceso de edición, pero debe realizarse un último pase de cortes activos para refinarlos.

13.6.2. Ventanas estereoscópicas flotantes

Una ventana estereoscópica flotante se crea añadiendo máscaras negras en los laterales de las imágenes izquierda y derecha. Si se enmascaran ambas imágenes en uno de los laterales de la pantalla, se reduce su tamaño visible. Si se enmascara sólo una de ambas imágenes, se cambia la posición percibida de la pantalla. La posición de profundidad de la escena no se ve afectada por el reposicionamiento de la pantalla.

Si se enmascara el lateral derecho de la imagen derecha, el borde derecho de la pantalla parece moverse hacia la audiencia. Si al mismo tiempo se enmascara el lateral izquierdo de la imagen izquierda, toda la pantalla parecerá acercarse a la audiencia. El enmascaramiento opuesto, derecho en la izquierda e izquierdo en la derecha, aleja la pantalla.

El ancho de cada máscara es igual al paralaje del objeto proyectado, más uno o dos píxeles. Esto deja algo de espacio entre la ventana flotante y el objeto más cercano.

En la mayoría de los casos no hay problemas de continuidad de las ventanas flotantes, y se pueden realizar cortes sin precauciones particulares respecto a las posiciones de las mismas.

Flotar la pantalla la convierte en una pantalla virtual, que puede alterarse de diferentes formas:

- **Atraer y empujar la ventana**

Atraer la ventana lleva la pantalla virtual hacia el espectador, creando espacio estereoscópico adicional y acercando la acción al espectador,

permitiendo además un control sobre el efecto de gigantismo que acontece cuando los objetos se perciben detrás de la pantalla real (véase el apartado 11.2.2.7). Empujar la ventana más allá de la pantalla real aleja toda la escena, y puede utilizarse para exagerar el efecto de un objeto delante de la pantalla, cuando este no puede ser llevado más cerca del espectador por el efecto de miniaturización (11.2.2.7).

- **Ventanas estáticas y dinámicas**

Las ventanas estáticas se mantienen en la misma posición durante la toma.

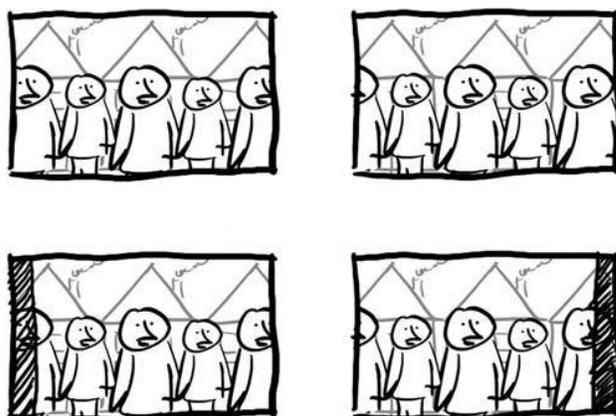


FIGURA 4.4

Una ventana flotante estática utilizada para solucionar la violación dada al tocar los personajes los bordes laterales del cuadro.

Las ventanas dinámicas cambian en el curso de la toma, haciendo que la pantalla virtual se mueva, de manera desapercibida. Se utilizan para suavizar rupturas del cuadro por una acción o un movimiento de cámara, como un personaje que entra en el cuadro estando enfrente de la pantalla virtual.

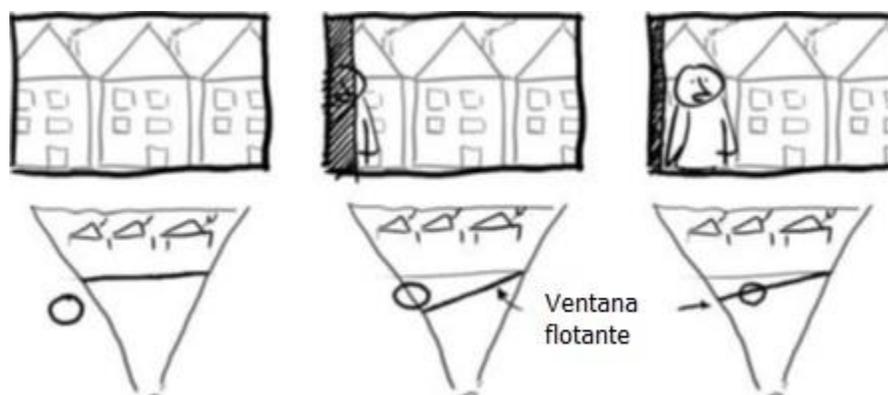


FIGURA 4.5

Una ventana flotante dinámica utilizada para solucionar la entrada en el cuadro de un personaje percibido delante del plano de la pantalla.

Si se busca que el movimiento de la pantalla virtual sea perceptible por parte del espectador, este lo interpretará como un movimiento de cámara durante el rodaje de la toma.

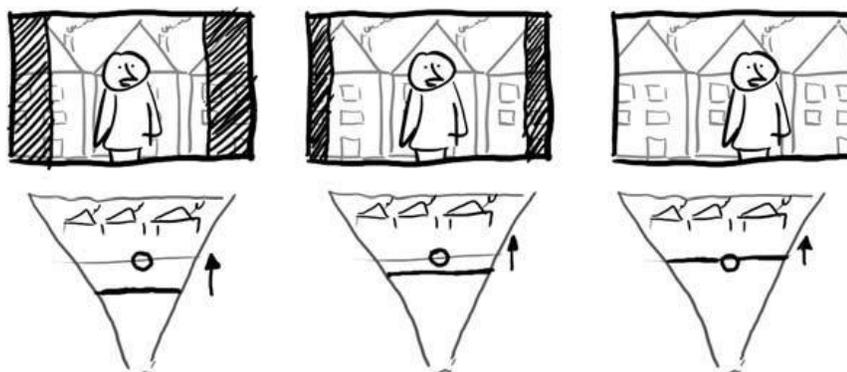


FIGURA 4.6
Una ventana flotante animada puede simular movimiento de la cámara.

- **Ventanas anguladas e inclinadas**

Las ventanas flotantes anguladas tienen máscaras izquierda y derecha asimétricas, de modo que la pantalla virtual queda angulada, con el espacio en perspectiva y con uno de sus lados más cercano al espectador que el otro. Se utilizan en planos con escorzo de dos actores enfrentados. Las ventanas flotantes inclinadas, por otro lado, son asimétricas verticalmente, con lo que la parte superior o la inferior de la pantalla virtual parecen acercarse al espectador, inclinándose hacia él o en la otra dirección. Se utilizan para solucionar violaciones de la ventana estereoscópica en los que una posición baja de la cámara y el uso de lentes anchas hacen que el suelo de la escena se acerque demasiado al espectador.

- **Ventanas retorcidas**

Las ventanas flotantes retorcidas tienen asimetrías tanto superiores/inferiores como laterales, creando el efecto de que una de las esquinas se hunde o sobresale. Se utilizan para controlar violaciones de la ventana estereoscópica en tomas con posiciones de cámara muy dinámicas y paralajes negativos muy grandes.

14. METODOLOGÍA DE LA EDICIÓN 3D

Como se ha visto en el apartado anterior, la edición 3D conlleva nuevas tareas y ajustes. Estos pueden realizarse de dos maneras distintas:

14.1. Editar en 2D un proyecto 3D

Editar un proyecto 3D con las herramientas tradicionales 2D conlleva dos películas de resolución completa, que después pasarán a ser una película 3D. Para ello, se trabaja con formatos 3D compatibles con 2D, que son (véase el apartado 6.3.2): lado a lado, arriba/abajo, líneas o columnas alternadas, y tablero de ajedrez.

La mayor ventaja de utilizar formatos compatibles con 2D es que no deben re-renderizarse todas las decisiones de edición que se tomen, por lo que el proceso se responde en tiempo real, con reproducciones inmediatas.

La mayor desventaja es que al trabajar en 2D se puede perder de vista el 3D, con lo que se corre el riesgo de evaluar mal el aspecto tridimensional de una toma, usar una toma estereoscópicamente defectuosa, o de que produzca la sensación de una película convertida a 3D más que una 3D nativa; en definitiva, el resultado probablemente no esté optimizado en 3D. La otra desventaja de esta técnica es que la mayoría de sistemas editores 2D trabajan estrictamente con determinados formatos de video y sistemas de codificado, con interfaces que no permiten trabajar con metraje de tamaño doble. Una solución a esto consiste en codificar el metraje estéreo en un formato monoscópico compatible, y decodificarlo cada vez que se quiera verlo en 3D.

14.2. Editar en 3D un proyecto 3D

Al editar un proyecto 3D con herramientas específicas en 3D, el primer paso es comprobar la estereoscopía de las tomas y ajustarla si fuera necesario, corrigiendo disparidades verticales, ajustando la posición de profundidad a la zona de confort, y haciendo ver qué tomas no funcionan bien en 3D, de manera que puedan eliminarse o intentar corregirlas. Después de este proceso, el montaje es llevado a cabo y supervisado directamente en 3D. Para ello pueden utilizarse editores 2D con *plug-ins* 3D, o editores 3D (véase siguiente apartado).

Y esa es la principal ventaja de editar en 3D, que se comprueban en 3D todas las decisiones de edición tomadas, evitando utilizar tomas cuya estereoscopía sea incorrecta.

La mayor desventaja de este método es el hecho de que deba comprobarse y ajustarse el 3D de todo el metraje antes de comenzar con el montaje.

15. HERRAMIENTAS DE EDICIÓN 3D

Los procesos de edición específicos de 3D requieren herramientas específicas, que pueden darse en dos formas. Esta sección detalla el software de ambos tipos que puede utilizarse en la edición 3D.

15.1. *Plug-ins* 3D para editores 2D

Los *plug-ins* 3D son conjuntos de herramientas de edición 3D que pueden añadirse a editores 2D tradicionales.

- ISP Stereoscopic 3D:** es un *plug-in* para After Effects. Permite ajustar la alineación horizontal y vertical, escala, rotación, así como el paralaje mediante dos cámaras virtuales colocadas automáticamente. Tiene distintos formatos de salida, como lado a lado, arriba/abajo, líneas alternadas, y anaglífico en varios esquemas de colores [W.Isp].



FIGURA 4.7

After Effect con el *plug-in* ISP Stereoscopic 3D.

- Onsight 3D:** es un *plug-in* gratuito para Final Cut Pro. Permite ajustar la alineación horizontal y vertical, escala, rotación y sincronía. Los formatos de entrada admitidos son canales izquierdo y derecho separados o lado a lado, lo mismo que los formatos de salida, además de codificación anaglífica. Sólo trabaja con archivos de resolución 1920x1080px [W.3dv].

- **Stereo3D Toolbox:** funciona en After Effects, en Final Cut Pro y en Motion, proporcionando controles para ajustar la convergencia y para eliminar disparidades verticales, rotacionales, y de longitudes focales, con una precisión sub-píxel. Incorpora además herramientas para crear ventanas flotantes, herramientas para reducir el *ghosting* en sistemas circularmente polarizados (véase apartado 6.2.2.2), y herramientas para previsualizar estadísticas inmediatas de las decisiones de edición, como la diferencia izquierda/derecha o la previsualización anaglífica. Soporta diferentes formatos de entrada, incluido 2D + Z (apartado 6.3.4.2) [W.das].



FIGURA 4.8
Final Cut Pro con el *plug-in* Stereo3D Toolbox.

- **Cineform Studio:** es compatible con Premiere Pro, After Effects, Final Cut Pro, Avid Media Composer y Sony Vegas. Permite ajustes de convergencia, de color estéreo y de zoom en tiempo real, además de ajustes individuales para cada ojo, útiles para metraje tomado con un *beam-splitter* (véase apartado 10.2.2). También permite ajustar la profundidad relativa de los objetos primarios en una escena, y la sincronización de los cuadros. Además, permite observar los resultados de la edición en tiempo real en distintos formatos, en un monitor o televisor compatible con los mismos.

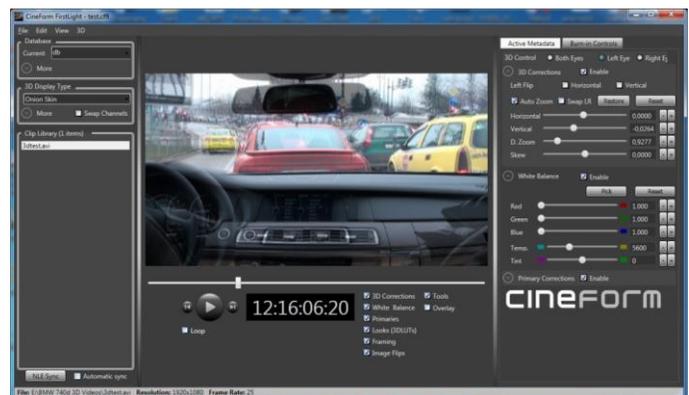


FIGURA 4.9
Plug-in 3D Cineform FirstLight, parte del conjunto de aplicaciones de Cineform Studio.

15.2. Editores 3D

Los editores 3D incorporan de base todos los controles y herramientas necesarios para la edición estereoscópica, además de la tradicional, de un proyecto multimedia.

- **Sony Vegas Pro:** existen diversos *plug-ins* con herramientas para trabajar en 3D en la versión 8.0 y posteriores de Sony Vegas Pro. La versión 11 es en sí misma un editor 3D, que mantiene el flujo de trabajo de los contenidos multimedia 2D. Permite varias opciones de supervisión, incluida una visualización 3D de líneas alternadas mediante una conexión SDI o HDMI. Admite diferentes formatos de entrada y de salida. Permite corregir violaciones de la ventana estereoscópica, y ajustar la profundidad de transiciones y otros efectos [W.son].
- **Avid Media Composer:** es una herramienta profesional que permite trabajar con distintos flujos de trabajo, incluso para transmisiones 3D en directo, con resoluciones completas o mitad para cada ojo, y con diferentes formatos de entrada y salida. Permite ajustar parámetros como la distancia de visionado, tamaño de pantalla, separación de ojos, punto de convergencia, reparto de profundidad y paralaje, además de ajustar la profundidad de una escena, profundidad en las transiciones y color, y crear ventanas flotantes. Incorporándole el hardware Nitris System, puede mostrarse el contenido estereoscópico en un televisor o proyector 3D mediante SDI o HDMI, de manera que permite, por ejemplo, visualizar al mismo tiempo una versión en formato 2D compatible con 3D en el monitor de la estación de edición, y el resultado final en completo 3D en otro dispositivo [W.pin].



FIGURA 4.10
Editor 3D Avid Media Composer.

- **Assimilate Scratch:** originalmente fue el primer editor 3D, presentado en 2007. Trabaja en tiempo real, a resolución completa y con los formatos nativos de las cámaras más populares. Convierte la salida a cualquier formato en tiempo real, para

poder observar las imágenes en un televisor o proyector 3D, mediante SDI o HDMI, y comprobar inmediatamente en estéreo las decisiones de edición tomadas. Permite gestionar al mismo tiempo varias versiones de la misma toma, para poder compararlas fácilmente. Tiene niveles primario y secundario de ajuste de color, también en tiempo real y no destructivos. Está disponible tanto para PC como para Mac [W.ass].



FIGURA 4.11
Editor 3D Assimilate Scatch.

- Quantel Pablo 3D:** es una herramienta capaz de manejar dos flujos de 2K al mismo tiempo. Trabaja en tiempo real con los formatos nativos de las cámaras más populares, y es el primero en presentar un flujo de trabajo interactivo con control de convergencia en tiempo real. Permite aplicar efectos, a ambos ojos o a uno sólo, comprobando simultáneamente los resultados. Dispone además de una consola de medición estéreo, que muestra histogramas y vectorscopios para identificar las diferencias entre ambos ojos, y un medidor de disparidades. Dispone también de herramientas para invertir señales de modo que el contenido tomado con un *beam-splitter* pueda ser visualizado en 3D sin efectuar otras correcciones, para solucionar errores geométricos, y para corregir distorsiones producidas por la convergencia [W.Qua].



FIGURA 4.12
Editor 3D Pablo 3D.

16. Bibliografía

- [W.3dv] *Onsight 3D Free Plugin for Editing 3D Video with Final Cut Pro*
www.3dvision-blog.com
<http://3dvision-blog.com/7585-onsight-3d-free-plugin-for-editing-3d-video-with-final-cut-pro/>
- [W.ass] *Scratch Overview*
www.assimilateinc.com
<http://www.assimilateinc.com/products-scratch-overview>
- [W.das] *Stereo3D Toolbox*
www.dashwood3d.com
<http://www.dashwood3d.com/stereo3dtoolbox.php>
- [W.isp] *ISP Stereoscopic 3D*
www.isp.co.jp
<http://www.isp.co.jp/en/products/tools/stereoscopic3d/>
- [W.qua] *Pablo 3D*
www.quantel.com
<http://www.quantel.com/page.php?u=853d09060c777a0f7f8a66b0499acdf8#3>
- [W.pin] *Avid Stereoscopic 3D Editing Workflow Guide*
www.pinnaclesys.com
http://cdn.pinnaclesys.com/supportfiles/attach/Stereo3D_Workflow_Guide.pdf
- [W.son] *Vegas Pro 11*
www.sonycreativesoftware.com
<http://www.sonycreativesoftware.com/vegaspro/3dediting>

CAPÍTULO QUINTO: “DERRELICTO”

*Sobre el cortometraje en 3D estereoscópico “Derrelicto”,
y la aplicación de los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores.*

17. PREPRODUCCIÓN

Esta sección detalla las decisiones tomadas para llevar a cabo el rodaje de “Derrelicto”, y la preparación de equipo y materiales para la realización del mismo.

17.1. La idea

La idea de “Derrelicto” es posterior al proceso de investigación que dio como resultado los capítulos anteriores de esta memoria. Así, el 3D está presente desde el primer momento, enraizado en el proyecto.

La importancia (subjetiva) de este hecho es que en la elaboración de la idea, la estereoscopia debía tener una razón de ser, ayudar a la historia y no ser mero espectáculo.

El 3D agudiza, obviamente, la percepción de los espacios, distancias y escalas de una escena. Un sentimiento que se puede crear con una herramienta así es el de sentirse encerrado, prisionero. ¿Por qué no rodar en unos interiores pequeños, casi claustrofóbicos para crear esa sensación? ¿Y por qué no añadir unos pasillos largos, para obtener unos planos generales con mucha profundidad que añadan soledad o aislamiento al personaje? Continuando con esa idea, ¿por qué no hacer que lo que más ansía el protagonista esté terriblemente lejos?

De pensamientos como esos surgió la idea básica de “Derrelicto”; un astronauta encerrado en una estación espacial, rodeado del vasto espacio y con un lejano planeta al que no puede volver al otro lado de una ventana.

El resto de la historia serían pequeñas ideas que se fueron enlazando y agrandando en la escritura del guion.

17.2. El material de preproducción

17.2.1. El guion

Se escribió un guion en formato profesional, de 16 páginas, lo que corresponde aproximadamente a 16 minutos de metraje.

Se adjunta una copia del guion al final de este documento.

2.

INT. NODO
 ELLA atraviesa el camarote hacia el observatorio. La MÚSICA continúa aumentando en intensidad.

INT. CAMAROTE
 ELLA atraviesa el camarote hacia el observatorio. La MÚSICA continúa aumentando en intensidad.

INT. OBSERVATORIO
 ELLA entra y echa un vistazo a la pequeña radio, pegada al mamparo con cinta aislante, de la que procede la MÚSICA.

ÉL (barba, desaseado) se ejercita en una cinta de correr, con el mono desabrochado hasta la cintura y atado alrededor de ella, en camiseta de tirantes y mostrando un torso y brazos muy delgados.

Enfrente de ÉL, sujeto a un lado del gran ventanal, hay un lienzo, una reproducción de una porción del planeta, verde, azul y blanco, hermoso. El planeta al otro lado del ventanal, sin embargo, es marrón, gris, estéril.

En uno de los vistazos que dirige hacia el ventanal, ve el reflejo de ELLA en el cristal: intenta no prestar atención a ese hecho, pero tras otro vistazo a la ventana, suspira y comienza a detenerse. Jadeando y sudando ligeramente, se da la vuelta para mirarla.

ELLA
 (sorpresa)
 ¿Qué?

ÉL se lleva una mano a la nuca. En cuanto sus dedos tocan el pelo, gime de dolor y aparta la mano rápidamente. Se mira los dedos, que están limpios. Piensa durante un instante, y luego la mira directamente. ELLA se sorprende.

ELLA
 (asombrada)
 ¿Hablares? Pero sigues creyendo...

ELLA lo mira, todavía asombrada, mientras ÉL suelta las cintas elásticas y, en gravedad cero, se impulsa de un salto y sale flotando por la puerta hacia el camarote.

(CONTINUED)

FIGURA 5.1
 Una página del guion de "Derrelicto"

17.2.2. El storyboard 3D

Se construyó un *storyboard* 3D (véase apartado 11.2.1.2) en código de colores, para garantizar la continuidad de profundidad (apartado 11.2.2.6) a la hora de planear una escena, y como referencia visual durante el rodaje de la misma.

Se adjunta una copia del *storyboard* 3D al final de este documento.

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
		PLANO GENERAL -ÉL mira a través de una de las ventanas del Nexo.	PLANO SECUENCIA, INICIO
		PRIMER PLANO -Cierra los ojos.	PLANO SECUENCIA, FIN
		PLANO DETALLE -Los pies de ELLA caminan por la sala. Se detienen, se desprenden del calzado, y ascienden flotando.	Seguimos a los pies. Cuando se descalza, nos quedamos con el calzado, y los pies desaparecen por la parte superior de la pantalla.
		PRIMER PLANO -Desde el exterior, lo observamos a ÉL, con los ojos cerrados	PLANO SECUENCIA, INICIO
		PLANO GENERAL -El Nexo, desde el exterior.	PLANO SECUENCIA, CONT.

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
		PLANO GENERAL -ÉL se está poniendo el traje espacial en la Exclusa, cuando algo le interrumpe.	
		PLANO MEDIO -ELLA le habla. -Se marcha.	
		PLANO MEDIO -Se miran a través del ventanal del Observatorio. -ELLA se queda, en la penumbra, sola, sentada en el suelo y apoyada contra el ventanal.	
		PLANO MEDIO -Observan la estación espacial perderse en la oscuridad, luego giran hacia el planeta. El ordenador de VAL está con ellos.	

FIGURA 5.2
 Un par de páginas del *storyboard* 3D de "Derrelicto".

17.2.3. La productora

Se fundó la productora Reentry Films, a nombre de Mikel Diez y Julen Segura, para formalizar la producción, los pagos y la comunicación con el personal implicado.



FIGURA 5.3
Logotipo de la productora Reentry Films.

Dani Biedma creó una página web para la productora:

- Página web: www.reentryfilms.com

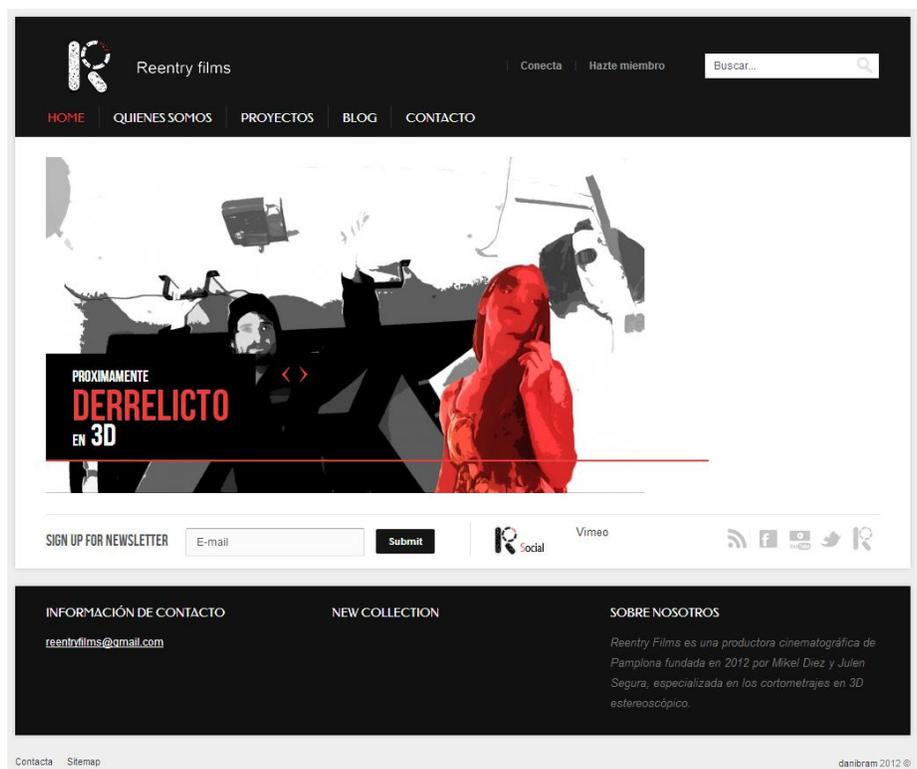


FIGURA 5.4
Página principal de www.reentryfilms.co

Además, se utilizaron diferentes plataformas en internet ya existentes para atraer a actores y personal técnico, y como medio para mostrar los trabajos desarrollados.

- Facebook: <http://www.facebook.com/pages/Reentry-Films>
- Twitter: <https://twitter.com/ReentryFilms>
- Youtube: <http://www.youtube.com/user/reentryfilms>
- Vimeo: <http://vimeo.com/reentryfilms>

FIGURA 5.5
Material publicitario
de Reentry Films.



17.2.4. El estudio

Se habilitaron tres estancias de una vivienda situada en Undués de Lerda (Zaragoza) para el rodaje; una como taller y ubicación para pequeños decorados, otra para la estructura de los decorados principales, y una última para el almacenaje de material técnico y como sala de ordenadores. Se hizo hincapié en tener una potencia eléctrica suficiente (5 kw) para atender a las necesidades del equipo durante el rodaje.



FIGURA 5.6
Izquierda: estructura de los decorados principales.
Derecha: sala de ordenadores.

17.2.5. El plan de rodaje

Se elaboró un plan de rodaje que atendiese a la disponibilidad del personal implicado. Se organizó el rodaje en base a los decorados, ya que la mayoría de ellos se construirían en el mismo recinto, aprovechando una estructura base. Así, por ejemplo, se asignó el primer día de rodaje a todas las escenas y planos que aconteciesen en el decorado del observatorio, el segundo día para los decorados del camarote y el nicho, etc. Se planificó un rodaje en días alternos de manera que hubiese un mínimo de un día para el cambio de decorados.

Se distribuyó también por planos y escenas, relegando los planos en los que no fuesen necesarios los actores para el final, para contar con un cierto margen de tiempo. Se asignaron también descansos para los actores, aprovechados para resolver temas técnicos.

Se adjunta una copia del plan de rodaje al final de este documento.

"DERRELICTO" DE JULEN SEGURA								
DÍA	DÍA PRIMERO							
ESCENARIO	OBSERVATORIO							
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda							
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	NOTAS
La cinta de correr								
	1	Secuencia (general a medio)	ÉL	Oscura	1h	09:00-10:00	Polea	(pág. 2) Nos acercamos a él, que corre en la cinta.
	2	General	ELLA	Oscura				Ella le está observando, le habla.
	3	General	ÉL, ELLA	Se encienden fluorescentes			Polea	Él comienza a flotar. Enciende la luz.
Cuestiones sin respuesta								
	4	Medio	ELLA		1h	10:00-11:00		(págs. 2-3) Ella le hace preguntas.
	5	Medio	ÉL				Polea	Él calla y se viste.
	6	Secuencia (general de ambos a medio de Ella)	ELLA, ÉL				Carro	Él se marcha, Ella sigue preguntando.
Descanso								
					30min	11:00-11:30		
Ruidos extraños								
	7	General	ELLA, ÉL		1h30	11:30-13:00		(pág. 4) Ella se sienta junto al marco de la puerta.
	12	Medio	ELLA					Ella está fumando sentada junto a la puerta.
	15	Secuencia (medio de Ella a medio de ambos)	ELLA, ÉL					Ella exhala humo, que toma formas extrañas. Se oye un ruido, ella se levanta, y él se asoma por la puerta.
	16	Primer plano	ÉL					Él mira hacia abajo.
	17	Plano detalle					Ventilador	El humo, siendo soplado.
	18	Primer plano	ÉL					Él mira hacia arriba
	19	Plano detalle					Ventilador	El respiradero, soplando.
	20	Secuencia (medio de ambos a medio de Ella)	ELLA, ÉL					Él se marcha, Ella mira hacia arriba.
	21	General	ELLA					La seguimos a Ella, que va tras de él.
A través del cristal								
	72	Secuencia (general a medio)	ELLA, ÉL		30min	13:00-13:30		(pág. 15) Ella está mirando por el ventanal, mirándolo a él.
Sola								
	73	Secuencia (general a medio)	ELLA	Oscura	30min	13:30-14:00		(pág. 15) Nos acercamos a ella, que está sentada, dormida. Se despierta al oír un ruido.
	74	General	ÉL	Oscura			Polea	Él aparece por la puerta de la sala de control con uno de los ordenadores de VAL, y se marcha por el camarote.
	75	Medio	ELLA	Oscura				Ella le observa, asombrada.
Varios								
	X	X	X		2h	16:00-18:00		Escenas compuestas

FIGURA 5.7
Plan de rodaje, día primero.

17.3. El equipo

17.3.1. Las cámaras

Se utilizaron dos GoPro Hero 2, con las siguientes características [W.gop]:



FIGURA 5.8
Cámara Go Pro Hero 2.

Foco fijo f/2.8

Campo de Visión: Panorámico de 170°
Medio 127°
Angosto de 90°

Resolución: 1920×1080, 25FPS

Sensor de Imagen CMOS 1 /2.3" CMOS de Alto Rendimiento

Sensibilidad a la Luz: .84 V/lux-sec

Formato de Vídeo: códec H.264, formato de archivo .mp4

Control de Exposición: Centro de Promedio Ponderado Spot

Balance de Blancos: Automático

La decisión del uso de estas cámaras se hizo en base a varios criterios:

-La distancia interaxial (véase apartado 11.1.1). Gracias al reducido tamaño y construcción de las Go Pro Hero 2, se obtiene una distancia interaxial mínima de 3 cm, un valor pequeño en comparación con la amplia mayoría de cámaras. Al grabar "Derrelicto" en espacios pequeños y cerrados, la cámara se colocaría a la fuerza cerca de la acción, por lo que era necesaria una distancia interaxial pequeña para obtener buenos resultados.

-Su manejabilidad, derivada de su tamaño y peso, importante debido a la estrechez y a veces impracticabilidad de los decorados, y a la necesidad de grabar ciertos planos "a pulso".

-La sencillez de la sincronización de ambas cámaras, gracias al dispositivo 3D Hero System [W.gop2].



FIGURA 5.9
Dispositivo 3D Hero System sincronizando dos cámaras Go Pro.

Otra característica de estas cámaras es que graban con efecto de lente de pez, beneficioso para crear la sensación de profundidad (véase apartado 1.2.1, perspectiva curvilínea).



FIGURA 5.10
Efecto de lente de pez de las cámaras Go Pro.

El control de exposición y balance de blancos automáticos, sin embargo, resultó problemático en un par de planos, ya que podía variar en el tiempo si la escena cambiaba. Además, hubo planos en los que se obtuvo una considerable discrepancia en el balance entre lo registrado por una cámara y la otra. En ambos casos, el problema tuvo que ser solucionado en postproducción.

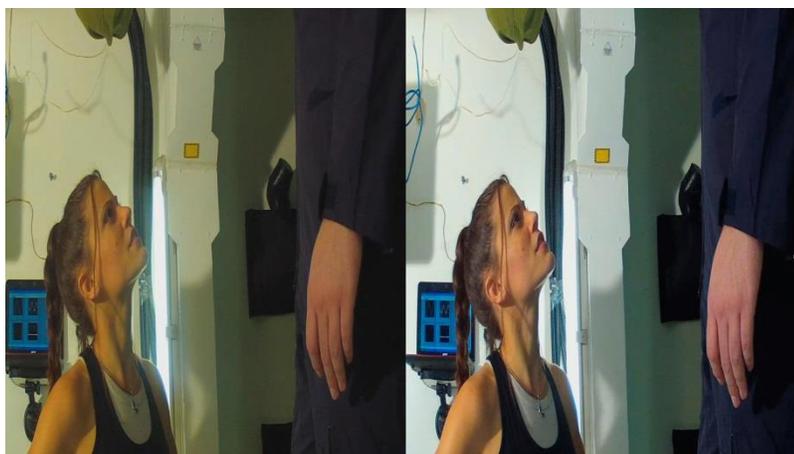


FIGURA 5.11

Discrepancias en el balance de blancos obtenido por las dos cámaras.

17.3.2. El rig

Se construyó un *rig* específico para las cámaras, de tipo *side by side* (véase apartado 10.2.1). Permite la rotación y traslación de las cámaras respecto a los tres ejes, de manera que puede ajustarse correctamente y usarse tanto de forma paralela como convergente.

Permite una distancia interaxial máxima de 46 cm, y mantiene la mínima, dada por las propias cámaras, de 3 cm. Puede utilizarse tanto montado en un trípode como al hombro.

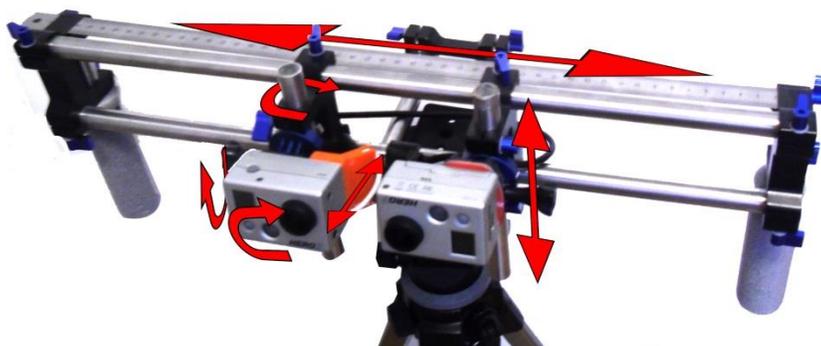


FIGURA 5.12

Rig *side by side* construido para las cámaras GoPro. Las flechas en rojo indican los movimientos disponibles para su ajuste.

Tras una serie de pruebas, se decidió grabar en modo paralelo, por sencillez y facilidad.

Para la configuración de las cámaras (véase apartado 11.3.2.7) se probaron programas que calculasen los ajustes estereoscópicos necesarios para una escena dada, como StereoCalc [W.eye], StereoBrain Calculator [W.ini] y StereoMeter [W.tri], si bien finalmente se optó por hacer los ajustes en base a una previsualización 3D de la escena.



FIGURA 5.13
Grabando con el rig al hombro.

17.3.3. Sistema de previsualización 3D

Se montó un sistema para previsualizar las imágenes en 3D. Como se iban a utilizar ordenadores portátiles de bajas prestaciones y sin entradas HDMI, se utilizaron capturadoras de video USB conectadas tal como indica el diagrama de la figura 5.14.

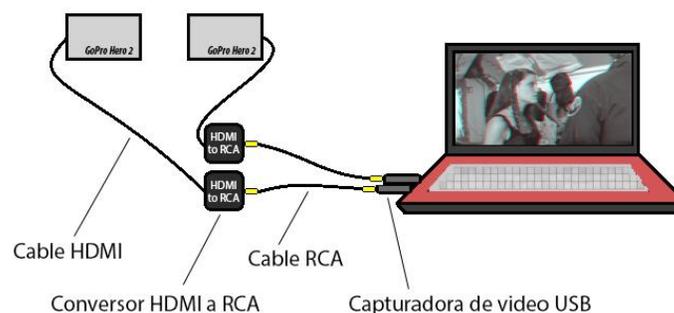


FIGURA 5.14
Diagrama de conexiones del sistema de previsualización 3D.

Se utilizó el software StereoMuxer [W.mux] para capturar ambas señales, y Stereoplayer [W.pla] para visualizarlas. Este último programa permitía visualizar cada una de las señales independientemente, las dos al mismo tiempo (por ejemplo en formato lado a lado, muy conveniente para comprobar que las cámaras estuviesen alineadas correctamente, o que el encuadre de ambas fuese correcto), o en 3D.

La previsualización 3D sirvió para comprobar que la distancia interaxial fuese correcta y que el efecto de profundidad fuese el deseado. Se visualizó en 3D anaglífico (véase apartado 2.2.3.1) debido al reducido requerimiento computacional e independencia de monitores externos del mismo.

17.3.4. Iluminación, sonido y resto

El resto del equipo utilizado, resumido en la siguiente tabla, fue prestado por el Centro Superior de Innovación Educativa:

Concepto	Ud.	Descripción
Red	6	Alargaderas de alimentación de red
Bolsa de Trípode	1	Trípode Manfrotto con cabezal fluido de vídeo
Maleta de cuarzos abiertos de 1000W	3	Cuarzos abiertos de 1000W con conector schuko
	3	Pie de foco 2m compatibles con butanitos
	3	Dimmers 1000W máx con fusibles
Maleta de cuarzos abiertos de 1000W	3	Cuarzos abiertos de 1000W con conector schuko
	3	Pie de foco 2.5m compatibles con butanitos
	3	Dimmers 1000W máx con fusibles
Focos de luz de efecto	3	Focos
	3	Pie de foco
	3	Regletas con interruptor
Recambios	3	Bombillas 1000W recambio
	3	Bombillas 650W recambio
	2	Filtros de color amarillo, azul y rojo para fresnels
	1	Bolsa de pinzas de madera y plástico
Papeles difusores y Correctores Color	3	translúcido, CTO y CTB
Difusores/Reflectores	2	1,8x1,2m plegables con soporte para pie
Equipo de sonido grabación directa	1	micrófono direccional AKG
	1	pértiga
	1	zepelín
		cables
		Grabador digital Tascam con alimentador
		Tarjeta CF de 4GB

TABLA 5.1
Resumen del resto del material
utilizado.

18. PRODUCCIÓN

Esta sección se resume brevemente las tareas realizadas durante la producción de “Derrelicto”.

18.1. Los decorados

Los decorados de “Derrelicto” se diseñaron y construyeron de manera que proporcionasen un buen 3D. Para ello, se tuvo en cuenta que las superficies lisas no aportan pistas de profundidad, por lo que se añadieron diversos objetos de tamaño considerable (columnas, compartimentos,...) que proporcionasen de manera inmediata la sensación de profundidad e información sobre las distancias relativas entre objetos.

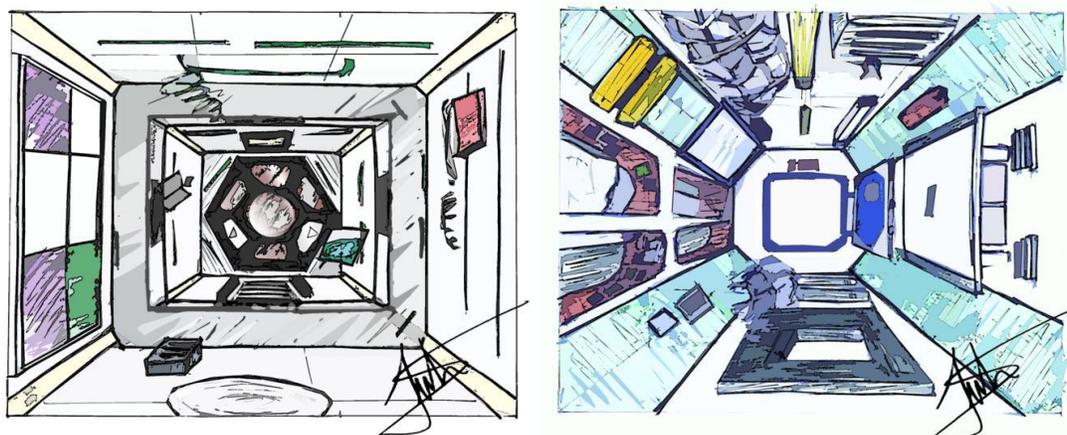
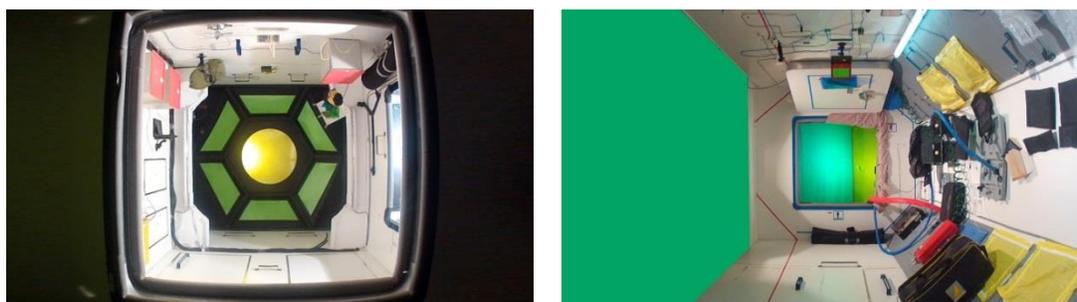


FIGURA 5.15

Arriba: diseños conceptuales del observatorio (izquierda) y el camarote (derecha).

Debajo: decorados del observatorio (izquierda) y el camarote (derecha).



Además, se añadieron multitud de elementos más pequeños distribuidos por todas las superficies de los decorados (cables, aparatos electrónicos,...) a fin de obtener composiciones recargadas (véase apartado 11.2.2.1) que proporcionasen la mayor cantidad de detalles en el eje de profundidad.

FIGURA 5.16

Ejemplo de una composición recargada; detalle del decorado del camarote.



La elección del color blanco como color dominante en los decorados se basó tanto en una decisión artística como en la necesidad estereoscópica actual de una gran cantidad de luminosidad (véase apartado 11.3.3). Sin embargo, de esta decisión derivó un problema, ya que en determinados planos se provocó un alto contraste entre los actores y el decorado, lo cual creó un efecto de *ghosting* totalmente indeseado (véase apartado 11.2.2.8), que hubo que solucionar en postproducción.

18.2. El rodaje

El rodaje de “Derrelicto” se llevó a cabo entre el 31 de octubre y el 14 de noviembre de 2012, en cinco días no consecutivos. Las personas implicadas y sus trabajos fueron:

- Julen Segura: Guion, Director, Productor, Actor (*Él*)
- Mikel Diez: Productor
- Iñaki Llorente: Asistente de dirección, Sonidista
- Carmen Herbozo: Operadora de cámara
- Kari Herbozo: Continuidad
- Bego Iribas: Actriz (*Ella*)

**FIGURA 5.17**

Rodando una escena de “Derrelicto”.

19. POSTPRODUCCIÓN

En esta sección se detalla la metodología utilizada en la edición y montaje de “Derrelicto”, así como las distintas herramientas y procesos utilizados.

19.1. Metodología y herramientas.

Se decidió desde un principio editar “Derrelicto” en 3D (véase apartado 13.2), de modo que este estuviese presente en el montaje. Para ello, se utilizaron las siguientes herramientas:

Hardware:

- Monitor 3D pasivo HP 2311gt.

Software:

- Cineform Studio Professional (conjunto de aplicaciones) [W.stu]
 - Cineform Studio
 - FirstLight
- Adobe Premiere Pro CS6 [W.pre]

19.2. Preparación de archivos

La preparación de los archivos se llevó a cabo con el programa Cineform Studio.

Se mezclaron las parejas de archivos .mp4 (cámara izquierda y cámara derecha) en archivos únicos .avi. Este tipo de archivos no tienen compresión alguna, y se muestran por defecto con la opción que estuviese activada en Cineform Studio a la hora de crearlos o editarlos (sólo una cámara, lado a lado, 3D anaglífico, 3D líneas intercaladas, etc.).

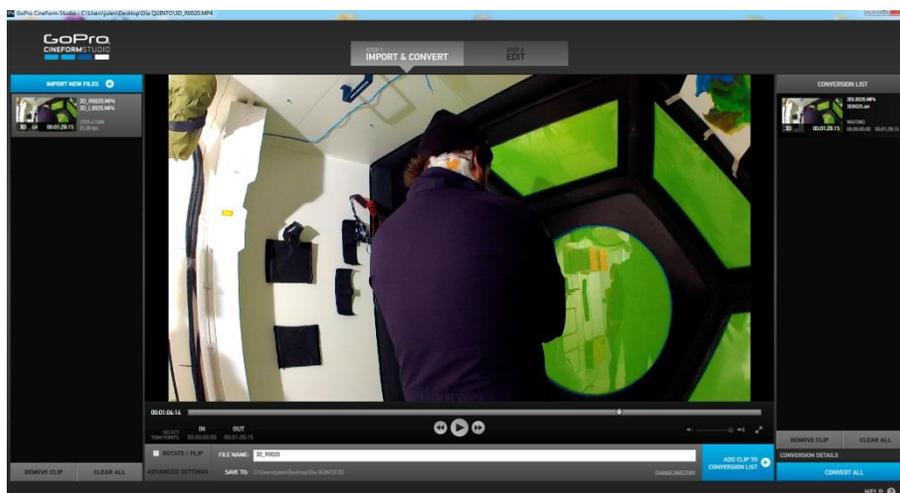


FIGURA 5.18
Entorno de trabajo de Cineform Studio.

19.3. Edición 3D

La edición 3D se llevó a cabo con el programa FirstLight.

FirstLight permitió efectuar, en una o ambas imágenes, correcciones de convergencia, balance de blancos y color, así como crear máscaras (véase apartado 11.1.3.3).

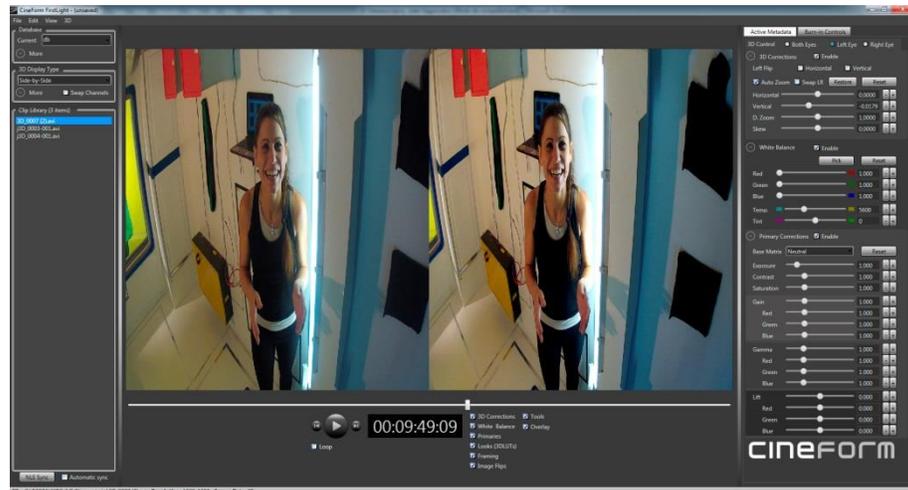


FIGURA 5.19
Entorno de trabajo de Cineform FirstLight

Se aplicaron correcciones de convergencia para corregir pequeñas desalineaciones en el eje vertical, y disparidades excesivas en objetos muy próximos a las cámaras. También se utilizó para corregir el problema creado por los altos contrastes entre personajes y decorado que, como ya hemos mencionado, creaba un efecto de *ghosting* totalmente indeseado. Se corrigió ajustando la convergencia horizontal, de modo que las imágenes izquierda/derecha del personaje se superpusieran, imposibilitando así la aparición del *ghosting*. Es decir, se llevó a los personajes al plano de la pantalla (véase apartado 11.1.2), conservando la profundidad pero modificando su reparto (11.1.5). Se pierde resolución horizontal al tener que escalar la imagen debido a la pérdida en los laterales.



FIGURA 5.20

Corrección del *ghosting* debido a alto contraste.

Arriba: original, (líneas intercaladas).

Debajo: corrección de convergencia, llevando los personajes al plano de la pantalla (líneas intercaladas).

Las correcciones de balance de blancos y de color se efectuaron tanto por la necesidad inherente a una producción audiovisual, como para corregir las disparidades creadas por el balance automático de las cámaras utilizadas.

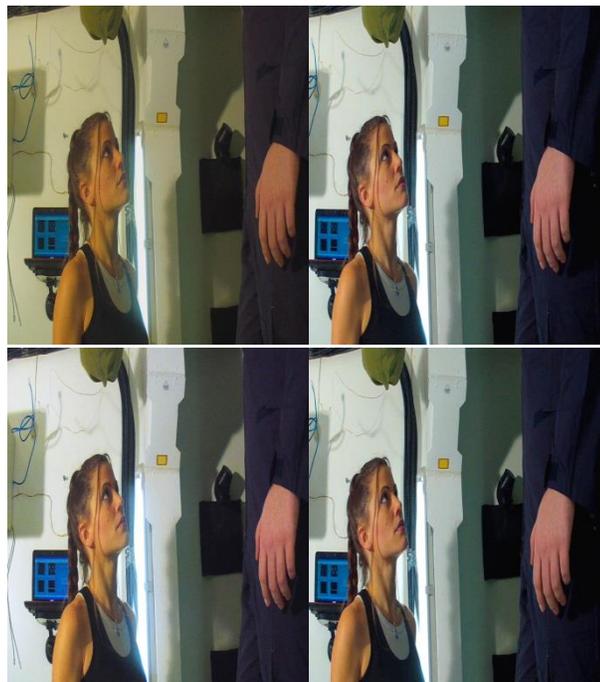


FIGURA 5.21

Corrección de las disparidades de balance de blancos.

Arriba: original.

Debajo: corrección de balance y color.

19.4. Montaje

El montaje se llevó a cabo con el software Adobe Premiere Pro CS6. Se realizó sobre los archivos .avi generados que, al no estar comprimidos, podían previsualizarse en tiempo real sin necesidad de ser renderizados.

Como primer paso, se sincronizaron los archivos de video con las pistas de audio recogidas por el micrófono.

Después se realizó el montaje, siguiendo el mismo proceso que en una producción 2D, pero asegurando respetar la continuidad de profundidad (véase apartado 12.2) entre planos y entre escenas. Para cerciorarse de ello, se trabajó con FirstLight y Premiere al mismo tiempo, previsualizando en este último el material en 3D, de dos maneras deiferentes:

-Anaglifo: seleccionando la visualización en anáglifo en FirstLight, en la ventana de previsualización de Premiere se mostraba el contenido en anáglifo, con lo que se podía visualizar en 3D con las correspondientes gafas.



FIGURA 5.22
Trabajando en Adobe Premiere Pro con previsualización en anaglifo.

-Monitor pasivo: creando una secuencia de Premiere de tipo 3D, la previsualización podía realizarse en 3D de líneas intercaladas en el monitor 3D pasivo. Este método, sin embargo, tenía grandes requerimientos computacionales (y no permitía renderizar los archivos), y en el ordenador sobre el que se trabajó se obtuvo una previsualización demasiado lenta, nada útil para el proceso de montaje, por lo que se relegó este método únicamente a comprobaciones finales.

En los casos en que se necesitó efectuar ajustes de convergencia para preservar la continuidad de profundidad, se efectuaron con FirstLight sobre los archivos .avi, con el resultado de las modificaciones reflejado de manera inmediata en Premiere.

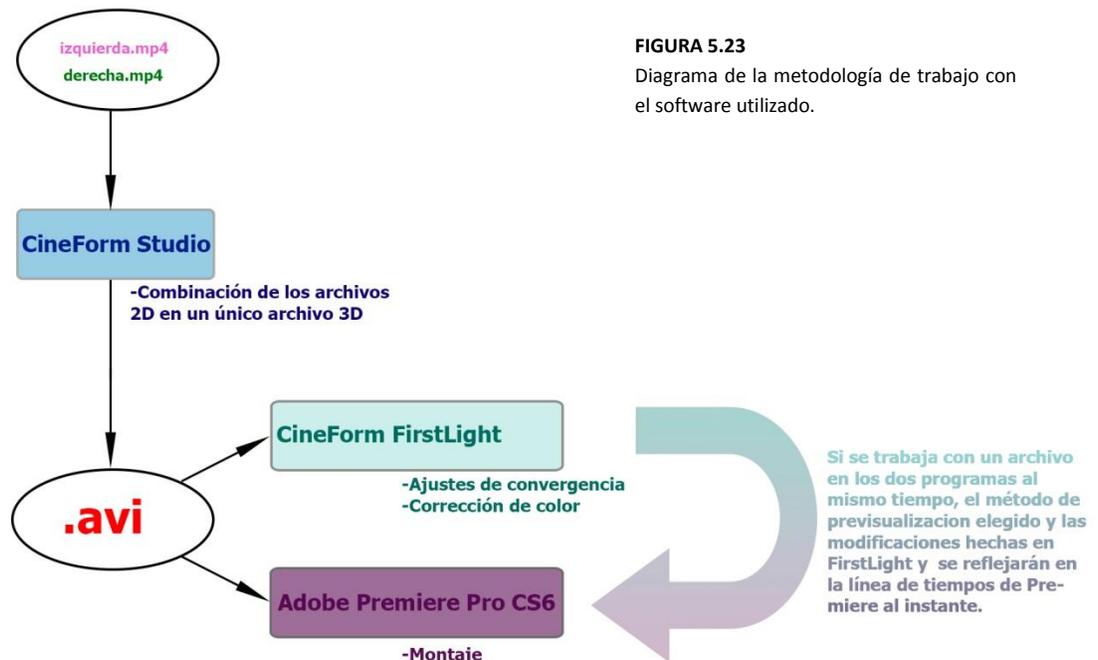


FIGURA 5.23
Diagrama de la metodología de trabajo con el software utilizado.

20. Bibliografía

- [W.gop] *Hero2 Cameras*
www.gopro.com
<http://es.gopro.com/hd-hero2-cameras>
- [W.gop2] *3D Hero System*
www.gopro.com
<http://es.gopro.com/hd-hero-accessories/3d-hero-system>
- [W.eye] *Stereo Calc*
www.stereoeye.jp
http://www.stereoeye.jp/software/sbcalc_e.html
- [W.ini] *Inition StereoBrain calculator*
inition.co.uk
<http://inition.co.uk/3D-Technologies/inition-stereobrain-calculator>
- [W.tri] *Triaxes Stereometer User Guide*
triaxes.com
<http://triaxes.com/downloads/stereometer-en.pdf>
- [W.mux] *Stereoscopic Multiplexer Overview*
www.3dtv.at
http://www.3dtv.at/Products/Multiplexer/Index_en.aspx
- [W.pla] *Stereoscopic Player Overview*
www.3dtv.at
http://www.3dtv.at/Products/Player/Index_en.aspx
- [W.stu] *GoPro Cineform Studio Professional*
cineform.com
<http://cineform.com/products/gopro-cineform-studio-professional>
- [W.pre] *Adobe Premiere Pro CS6*
www.adobe.com
<http://www.adobe.com/es/products/premiere.html>

CONCLUSIONES

Pueden enumerarse fácilmente las desventajas que tiene realizar una producción en 3D estereoscópico.

Desde el punto de vista del realizador, las desventajas son las limitaciones y el coste. Las limitaciones a nivel artístico son tan escasas que, para la mayoría de producciones, podrían despreciarse. Por su lado, el coste es inherente al equipo y al tiempo de ejecución añadido, como con el resto de herramientas utilizadas en la producción.

Desde el punto de vista del espectador, la mayor desventaja del 3D es (precios aparte) la incomodidad que este pueda generar en su visionado. Esta puede darse, como ya se ha explicado en este documento, a causa de propiedades fisiológicas del sujeto, o por una mala realización de la producción. Puede argumentarse que en ambos casos el fallo es ajeno a la propia tecnología. Donde sí puede darse a causa de la propia tecnología es en las gafas utilizadas para ver una producción 3D. Pueden producir incomodidad física, si su construcción es pobre, y también está la incomodidad menor del hecho de necesitarlas, incomodidad que la tecnología parece estar intentando subsanar.

La ventaja es, por supuesto, la información visual que añade. En general, la sensación de profundidad proporciona una experiencia visual más cercana a la realidad, y a veces puede ayudar a comprender más fácilmente lo que se está viendo. Esa información puede usarse además como espectáculo, o para reforzar la historia.

El 3D estereoscópico aplicado a la cinematografía, es nada más, y nada menos, que una herramienta, una más entre las muchas herramientas audiovisuales. No puede ser completamente aceptado ni rechazado, sino que tendrá que hacerse caso por caso, dependiendo del proyecto al que se aplique. Es el uso que se le dé en una producción, o el beneficio que aporte a esta, el que decidirá si merece la pena el esfuerzo extra que supone en las distintas etapas del proyecto, ya que el 3D exige adaptarse a nuevas líneas de pensamiento y a tener en cuenta diferentes limitaciones.

En la preproducción, a la hora de escribir un proyecto 3D, pensar en estereoscópico es indispensable. No sólo es necesario para planificar las escenas de modo que respeten la continuidad de profundidad, también lo es para encontrar la manera en que el 3D no haga

simple acto de presencia, sino que ayude a la escena. Además, toda planificación es poca si se quiere ahorrar tiempo durante la producción.

Rodar en 3D es un ejercicio de memoria. Este documento ha enumerado multitud de claves que afectan a la profundidad de un proyecto audiovisual estereoscópico, y se ha comprobado que olvidarse de alguna de ellas lleva casi definitivamente al error. Pero esto no es tan diferente de una producción 2D. De mi experiencia puede deducirse que las dificultades que puedan surgir del hecho de rodar en 3D serán pequeñas en comparación con el resto de complicaciones, viejas conocidas, de cualquier producción.

Y en cuanto a la dificultad de conseguir un buen producto desde el punto de vista estereoscópico, no es una tarea tan complicada como podría parecer. Podríamos decir que la clave está en conseguir un buen sistema de previsualización 3D, ya que este indicará si se sigue el buen camino, lo mismo que un monitor de campo es indispensable para comprobar que se está grabando lo que se quiere grabar.

Caso de haber pequeños errores y defectos estereoscópicos, estos pueden subsanarse, en su mayoría, en la postproducción. Se hará a costa de información visual o resolución espacial, pero al menos existe la posibilidad, que no es poco.

La postproducción, con el software adecuado, es un proceso muy intuitivo, ya que se hará, o se debería hacer siempre, previsualizando el resultado final.

En resumidas cuentas, el 3D estereoscópico es una herramienta cuya dificultad añadida es pequeña en comparación con el resultado que puede proporcionar. Es una herramienta cuyo uso será desaconsejable en determinadas producciones, y obligatorio en otras, y que debería ser, en general, bienvenido, ya que el 3D aporta, no quita.

Es una herramienta que exige conocimientos básicos, desde el proceso de la percepción de profundidad del sistema visual humano hasta la cinematografía 3D, y que requiere mantenimiento, ya que se debe estar al tanto de la tecnología sobre la que se aplica, en su visualización, grabación y edición.

Y a fin de mejorarlo y llevarlo a otros niveles, debe seguirse investigando y experimentando el 3D estereoscópico.

Julen Segura

22 de marzo de 2013

ANEXO I: El guion de “Derrelicto”

"Derrelicto" por
Julen Segura Garde

julensegura@gmail.com

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

SILENCIO. Un objeto metálico con forma de tuerca flota lentamente en la oscuridad. Después el sol va haciendo aparecer la superficie del planeta, sobre la cual, a mucha altura, flota la tuerca.

De manera similar flota, a mayor altura, una estación espacial. Tiene mal aspecto, con severos daños estructurales. Nos acercamos a ella a intervalos, hasta entrar a través de una ventanilla llena de condensación.

INT. CAMAROTE 2

Dentro, un pasillo helado, iluminado únicamente por la tenue luz azulada que entra desde fuera. Sujeto al techo hay un bulto envuelto en tela térmica, y flotando, pequeñas bolas de líquido rojo congeladas. Un leve ZUMBIDO llena el lugar. Recorremos el pasillo a todo lo largo, hacia una compuerta de metal con ventanilla. Pasamos a través de la ventanilla, también empañada.

INT. LABORATORIO

Regresa el SILENCIO ABSOLUTO, pues el laboratorio está expuesto al vacío. Falta una sección entera de la sala, hierros retorcidos y escombros posados alrededor del agujero, por el que entra la luz del sol. Los objetos sujetos a los mamparos están congelados. Diagonalmente opuesta a la compuerta por la que hemos entrado, hay otra idéntica a través de cuya ventanilla asoma el rostro de ELLA, que mira hacia el pasillo 3, buscando algo. Atravesamos la ventanilla.

INT. NEXO

Suena MÚSICA lejana.

ELLA deja de buscar a través de la ventanilla, se da la vuelta y comienza a dirigirse hacia el camarote. Camina sobre uno de los mamparos, la gravedad tirando de ELLA hacia abajo. La seguimos.

La MÚSICA aumenta en intensidad a medida que nos acercamos al camarote.

2.

INT. NODO

ELLA atraviesa el camarote hacia el observatorio. La MÚSICA continúa aumentando en intensidad.

INT. CAMAROTE

ELLA atraviesa el camarote hacia el observatorio. La MÚSICA continúa aumentando en intensidad.

INT. OBSERVATORIO

ELLA entra y echa un vistazo a la pequeña radio, pegada al mamparo con cinta aislante, de la que procede la MÚSICA.

ÉL (barba, desaseado) se ejercita en una cinta de correr, con el mono desabrochado hasta la cintura y atado alrededor de ella, en camiseta de tirantes y mostrando un torso y brazos muy delgados.

Enfrente de ÉL, sujeto a un lado del gran ventanal, hay un lienzo, una reproducción de una porción del planeta, verde, azul y blanco, hermoso. El planeta al otro lado del ventanal, sin embargo, es marrón, gris, estéril.

En uno de los vistazos que dirige hacia el ventanal, ve el reflejo de ELLA en el cristal. Intenta no prestar atención a ese hecho, pero tras otro vistazo a la ventana, suspira y comienza a detenerse. Jadeando y sudando ligeramente, se da la vuelta para mirarla.

ELLA (*sorprendida*)

¿Qué?

ÉL se lleva una mano a la nuca. En cuanto sus dedos tocan el pelo, gime de dolor y aparta la mano rápidamente. Se mira los dedos, que están limpios. Piensa durante un instante, y luego la mira directamente. ELLA se sorprende.

ELLA (*asombrada*)

¿Hablaresmos? Pero sigues creyendo...

ELLA lo mira, todavía asombrada, mientras ÉL suelta las cintas elásticas y, en gravedad cero, se impulsa de un salto y sale flotando por la puerta hacia el camarote.

(CONTINUED)

CONTINUED:

3.

ELLA
Que no soy real.

INT. CAMAROTE

Cuando ELLA entra, ÉL está flotando por encima de ELLA, cerca de uno de los nichos. Se seca con una toalla, vuelve a ponerse la parte superior del mono, se pone una gorra y la mira a ELLA fijamente. ELLA levanta una ceja, y ÉL se encoge de hombros.

ELLA
Está bien... Veamos. El ordenador, VAL, o lo que sea. ¿Por qué no te responde?

(pausa para ver si ÉL responde)

¿Por qué insistes tanto? *(otra pausa)*

Está bien, no importa. Pero cada vez que le hablas, miras de reojo, sólo un instante, a ese reloj en cuenta atrás. ¿Qué va a pasar en cuatro horas?

ÉL mira hacia otro lado, fingiendo aburrirse.

ELLA *(exasperada)*
¡Dí algo! Finge por un momento que me crees cuando te digo que no soy una alucinación, que no tengo nada que ver con que te llevases una descarga o te golpeases la cabeza. Que no tengo ni idea de qué demonios ha pasado en este lugar antes de... de... de aparecer aquí.
¡Yo también estoy encerrada en este lugar, y ni si quiera sé qué demonios ha pasado!

ÉL se lo piensa un momento, niega con la cabeza, y se impulsa hacia la sala de control, desapareciendo por la compuerta.

ELLA
(gritando, señalando hacia el laboratorio)
¿Y qué demonios buscas al otro lado de esa ventanilla?

INT. SALA DE CONTROL

ÉL la ignora y se acerca hasta el panel de VAL, afianzando los pies a un par de recuadros de velcro del mamparo. Uno de los monitores muestra únicamente código en cascada. Mira hacia atrás para ver si está ELLA, pero no es así.

ÉL
(susurrando)

VAL, muéstrame la cuadrícula uno-cinco-nueve.
VAL, por favor. Está bien.

Por un instante, mira de reojo al reloj en cuenta atrás que marca poco menos de cuatro horas. Se da cuenta de lo que acaba de hacer, y se gira para ver si ELLA le ha visto. Pero está solo.

Teclea varios comandos, y las pantallas comienzan a encenderse. La luz azul grisácea de los monitores ilumina su rostro mientras maneja un joystick. Sus ojos están fijos, mostrando una ligera tristeza y un gran distanciamiento sobre lo que está viendo.

Son imágenes de satélite de la superficie del planeta, cuadrícula 159. Todo es gris, vacío, sin vida. En una de las imágenes se aprecia lluvia.

ÉL
(ensimismado)
Hecho de menos la lluvia.

INT. CAMAROTE

ELLA está junto a la compuerta, apoyada contra la pared, cabizbaja.

De repente, se oyen unos GOLPES MECÁNICOS, y un SISEO.

ELLA levanta la cabeza. ÉL se asoma, mirando a su alrededor, sin prestarle atención a ELLA.

ÉL
¿Pero qué...?

Se oye otro SISEO. Unas cintas de plástico atadas a uno de los respiraderos se mueven ligeramente. ÉL lo ve, y se impulsa hacia el nodo.

CONTINUED:

5

ÉL
¡No, no, no!

INT. NODO

Cuando ELLA llega, ÉL está intentando abrir la compuerta que da al pasillo de mantenimiento.

ELLA
¿Qué pasa? ¿Qué ocurre?

ÉL
¡El aire de la sección dos! ¡Está siendo desviado hacia aquí!

ELLA
¿Y qué? ¿Qué pasa?

ÉL consigue abrir la compuerta. Coge aire, contiene la respiración, y entra.

INT. PASILLO DE MANTENIMIENTO

Las luces parpadean antes de encenderse, hasta mostrar un pasillo completamente helado. Al apoyarse en los mamparos, salen disparados pequeños trozos de escarcha.

Manipula palancas, ruedas y botones con esfuerzo, pues todo está congelado. Lo hace con los ojos entrecerrados y respirando la menor cantidad de aire y de veces posible. Su respiración se ve en forma de vaho, y le produce escarcha en la barba. Mira hacia unas válvulas, y ve los indicadores, que van cayendo.

Empieza a tirar de todo a la desesperada, y comienza a desfallecer.

INT. CAMAROTE

Las cintas de plástico atadas al respiradero se mueven con mucha más fuerza.

INT. NODO

ELLA mira hacia el pasillo de mantenimiento, donde ÉL flota de espaldas a ELLA, inmóvil.

(CONTINUED)

ELLA

¿Qué haces? ¡Sal! ¡Sal, joder!

La mano de ÉL, pálida, se agarra al marco de la compuerta.

INT. CAMAROTE

Entra encogido sobre sí mismo, pálido, las manos temblando violentamente. Tose quejumbrosamente.

Se mete en un saco de dormir en uno de los nichos, y se tapa como puede hasta arriba. A pesar de estar temblando, sus ojos se van cerrando poco a poco.

Oye el sonido del ROCE DE TELA y mira de reojo. ELLA se está desnudando muy lentamente.

A ÉL se le abren los ojos, y su cuerpo comienza a relajarse.

ELLA está acabando de desnudarse, y ÉL abre el saco de dormir. ELLA se mete con ÉL, y comienza a besarle el cuello. Los ojos de ÉL se cierran. Su mano deja de temblar.

Un segundo después, ÉL abre los ojos de golpe. ELLA vuelve a estar lejos de ÉL, de pié, completamente vestida. ÉL se da media vuelta dentro del saco y le da la espalda.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

SILENCIO. Un objeto metálico con forma de tuerca flota lentamente en la oscuridad.

INT. OBSERVATORIO

ELLA está mirando por el ventanal al planeta. No se da cuenta de que ÉL ha entrado. Cuando habla, lo hace mirando hacia otro lado, como si no le hablase a ELLA.

ÉL

Después de que chocáramos con el satélite, nos quedamos solos, Lara y yo. Ella se quedó al otro lado del laboratorio, y yo en este. Hablábamos por radio, y podíamos vernos a través de la ventanilla.

Nos... queríamos... porque no había nadie más.

(MORE)

(CONTINUED)

CONTINUED:

7.

ÉL

Luego ella se... Dejó de contestar a la radio, o de asomarse a la ventanilla.

(mira hacia un respiradero) Este aire... viene de donde estaba ella.

ELLA espera un poco, pero ÉL se mantiene callado.

ELLA

¿Qué ocurre con VAL?

ÉL piensa unos segundos, luego se impulsa hacia el nodo. Se detiene un momento en la compuerta, esperando que ELLA le siga, y después cruza.

INT. SALA DE CONTROL

ÉL entra, flotando, seguido de ELLA, que camina sobre el mamparo. Se acercan a la unidad central de ordenadores, uno de cuyos lados está chamuscado por un fuego eléctrico. Se lee el nombre "VAL" en varias unidades.

ELLA

Bueno... no es para tanto.

Él se da la vuelta, sorprendido, y comienza a reírse, mirándola directamente.

ÉL

(entre carcajadas)

¡No es para tanto!

Ella se ríe, aunque un poco incómoda. Señala la parte quemada de los ordenadores.

ELLA

¿Y eso?

ÉL

Un fuego eléctrico. Un chispazo mientras lo revisaba. Así me di el golpe en la cabeza.

ELLA

Supongo que por eso VAL ya no contesta.

ÉL

Sí... la maté.

(CONTINUED)

ELLA
La rompiste.

ÉL
No, no. La maté. Ven.

INT. CAMAROTE

ÉL entra y directamente empieza a rebuscar entre un montón de papeles.

ÉL
¡Mira! No, espera... Mira... No,
este tampoco es...

Va tirando hacia atrás folio tras folio, que flotan de un lado para otro.

ÉL
¡Mierda!

Suspira. Se calma. Se impulsa hacia una pizarra, borra su contenido y comienza a dibujar un pequeño gráfico en el extremo derecho de la pizarra. Varias veces tiene que corregirlo.

ÉL
Ven, mira esto. No encuentro el
original, pero con esto bastará.

ELLA
¿Qué es?

ÉL
¿Ves ese indicador de en el módulo contiguo?
*(señala un indicador numérico en un panel de VAL de
la sala de control)*

Es el rendimiento conjunto de los sistemas de VAL,
un porcentaje. Esta es su gráfica, de la semana
anterior a que me llevase la descarga. Ahora ya no
me deja acceder a los registros, pero me acuerdo
perfectamente de cómo era, y era así.

Dibuja una gráfica, de derecha a izquierda, con una serie de altibajos.

(CONTINUED)

ELLA

¿Y bien?

ÉL

Mira estos descensos en la gráfica.

ELLA

¿Se repiten?

ÉL

Sí, eso es. Se repiten. Cada vez que VAL me pedía que reparase el traje.

Continúa el gráfico hacia la izquierda. Cada vez que dibuja un descenso, lo explica:

ÉL

Este día la culpé no recuerdo de qué, y me desahogué insultándola.

Este otro Lara acusó a VAL de tergiversar los mensajes que yo le enviaba a través de la radio.

(se gira para mirarla)

Antes de estos yo ya lo había sospechado, y le había hecho unas cuantas pruebas para asegurarme.

(vuelve a concentrarse en la pizarra y dibuja una línea repleta de altibajos)

Le conté sucesos tristes de mi vida. Cosas así. Me inventé mucho de lo que le dije.

El siguiente descenso que dibuja es cuantitativamente superior que todos los demás.

ELLA

¿Y ese grande?

ÉL

Ese no fui yo. Es de cuando murió Meitshell, su programador, cuando lo del satélite. ¿Lo entiendes?

ELLA

No. Para nada. ¿Y cómo chocasteis con un satélite?

(CONTINUED)

ÉL

Debió descontrolarse cuando... Hubo un gran destello, y todo... y todos... se apagaron allá abajo.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

ELLA

(voz en off)

¿Y aquí arriba no ocurrió nada?

INT. CAMAROTE

ÉL

Bueno, no exactamente.

(dibuja hacia la izquierda una serie de altibajos, y luego una línea recta. Hace una marca donde el carácter de la gráfica cambia)

Este es el momento en que ocurrió.

ELLA

¿Antes de eso no había nada? ¿Una señal plana?

ÉL

Lo que fuera que mató al planeta, le dio vida a VAL. O al menos, hizo que empezase a... no sé, a sentir.

Cómo si se hubiese dado cuenta de que acaba de decir un disparate, se ríe, un poco históricamente. Se calma rápidamente y se queda mirando el dibujo, como hipnotizado.

ÉL

En realidad, es bastante hermoso, ¿no crees? Casi como un ECG.

ELLA se ha dado la vuelta y está mirando las pantallas de la sala de control.

ÉL

¿Qué ocurre?

ELLA se da la vuelta, pero no se le ocurre qué decir.

ÉL

Creas que estoy loco. Joder, tal vez lo esté, le estoy hablando a una alucinación.

ELLA
¡No soy una alucinación!

Durante un rato, se mantienen en silencio.

ELLA
¿Qué traje?

ÉL
¿Qué?

ELLA
Has dicho que VAL te pedía
continuamente que reparases el
traje. ¿Qué traje?

ÉL
El traje espacial.

ELLA
¿Para qué quería que lo arreglases?

ÉL
Para salir de aquí.

ELLA
¿¿Salir?? ¿¿Puedes irte??

ÉL
Hay un transbordador al otro lado
de la estación.

ELLA
¿¿Y por qué no has arreglado el
traje??

ÉL
Sólo hay uno, y éramos dos.

ELLA
¡Pero ahora sólo estás tú!

ÉL
¿Qué hay de ti?

ELLA
¡Yo soy una alucinación!

ÉL frunce el ceño, con un sonrisa, sorprendido pero divertido.
Después su sonrisa se vuelve más triste, amarga. No se da
cuenta de que, detrás de ella, el indicador de rendimiento de
VAL ha descendido.

(CONTINUED)

CONTINUED:

12.

ÉL
Da igual. Ya no hay tiempo.

INT. SALA DE CONTROL

El reloj en cuenta atrás marca un par de minutos.

INT. OBSERVATORIO

ELLA
¿Qué va a pasar?

ÉL
El impacto del satélite nos impulsó
a una órbita decadente. Vamos a
atravesar una nube de restos
espaciales.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

SILENCIO. Un objeto con forma de tuerca flota lentamente sobre
la superficie del planeta. Desde más arriba, puede verse que
muchos otros objetos y pedazos de metal lo acompañan.

INT. OBSERVATORIO

ÉL
Impactarán a una velocidad de diez kilómetros por
segundo. La estación no aguantará.

ELLA
¡Tienes que irte! ¡Tienes que
reparar el traje!

ÉL
Tranquila, no importa.

El indicador de rendimiento ha vuelto a caer, pero esta vez
ÉL se da cuenta.

ELLA
¡Tú no las mataste!

ÉL vuelve a mirarla.

(CONTINUED)

ÉL
No, no lo hice.

ELLA
¡Entonces vete!

ÉL no dice nada, y ELLA se cubre el rostro con las manos. Detrás de ELLA, el indicador ha vuelto a bajar.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

A través de una ventanilla de un módulo, se observa el interior del nexo. Aparece el rostro de ÉL.

INT. NEXO

Se agarra a un asidero, y contempla el espacio a través de la ventana que tiene sobre su cabeza.

Los pies de ELLA entran y se detienen. Se despegan de sus zapatos y comienzan a flotar.

ÉL mira por la ventana y cierra los ojos.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

Los restos espaciales comienzan a acribillar la estación, como una lluvia de meteoritos, uno tras otro, en silencio.

A través de la ventanilla, ÉL espera con los ojos cerrados.

INT. NEXO

Se oye un ruido como de LLUVIA SOBRE UN CRISTAL. ÉL abre los ojos, y parpadea varias veces. Gotas de agua helada golpean la parte externa de la ventana.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

Un depósito de agua ha recibido un impacto. Tiene un agujero por el que sale agua, que se congela al instante y va a parar al casco del módulo del nexo, para después rebotar hacia el espacio.

14.

INT. NEXO

ÉL contempla el agua congelada caer, y acerca el rostro al cristal, hasta que el agua se agota. Entonces mira a su alrededor, como para comprobar que realmente el lugar ha sobrevivido, y después la mira a ELLA, que se ha abrazado a ÉL, la cara contra su pecho.

Los dos flotan en medio del pasillo, ahora en silencio, girando lentamente sobre sí mismos.

INT. SALA DE CONTROL

El reloj ha vuelto a ponerse en marcha, cuenta atrás de noventa minutos.

INT. EXCLUSA

ÉL se está poniendo el traje espacial.

ELLA (voz en off)
Ya lo habías arreglado.

ÉL se sobresalta. Se queda mirándola. ELLA, que una vez más camina por los mamparos, le dedica una sonrisa triste y breve antes de marcharse.

ÉL continúa poniéndose el traje. Cuando finaliza, abre la puerta de la exclusiva, y la cierra tras de sí.

INT. CAMAROTE

El camarote está vacío.

INT. NODO

El nodo está vacío.

INT. NEXO

El nexos está vacío.

15.

INT. SALA DE CONTROL

La sala está vacía. El reloj marca 45 minutos.

INT. OBSERVATORIO

ELLA mira a través del ventanal. ÉL aparece al otro lado, dirigiéndose hacia la lanzadera. Se gira hacia ELLA, pero su rostro es invisible tras el casco. Luego se marcha.

ELLA apoya la espalda en la pared y se deja caer hasta quedar sentada en el suelo. Se sujeta las rodillas con los brazos, y mete la cabeza entre ellos.

INT. CAMAROTE

El indicador de VAL comienza a subir, bajar, y parpadear erráticamente.

INT. OBSERVATORIO

Se escuchan PEQUEÑOS GOLPES y otros ruidos. ELLA, que se había quedado dormida, levanta la cabeza, se frota los ojos y presta atención, pero no se escucha nada. Entonces aparece ÉL, flotando a toda prisa hacia la exclusiva, con la mitad del traje puesto. Detrás de él, con un cable, lleva una unidad CPU con la palabra VAL inscrita.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

La estación flota pacíficamente en la distancia.

INT. SALA DE CONTROL

Al reloj le quedan pocos segundos para llegar a cero.

EXT. EXTERIOR ESTACIÓN ESPACIAL

Los restos espaciales vuelven a acribillar la estación. Ésta vez uno de los módulos se separa completamente, y se estrella contra otro, abriéndolo al espacio, y generando un movimiento de rotación en toda la estación. Tras rebotar sale despedido hacia el espacio, no sin antes atravesar por completo varias placas solares. Las luces se apagan completamente.

La estación flota hacia el lado oscuro del planeta, desapareciendo en la penumbra.

16.

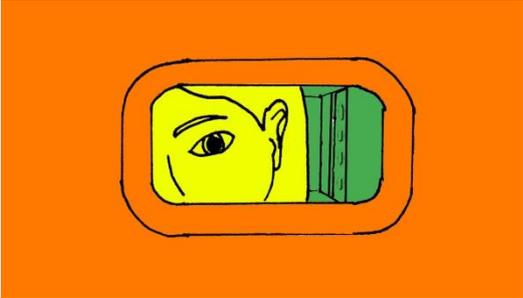
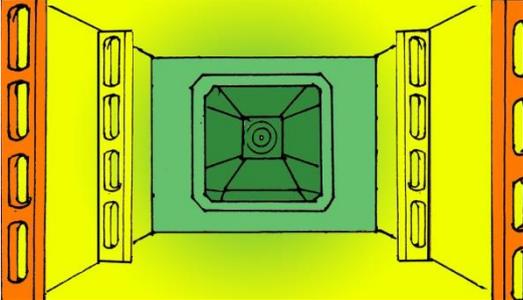
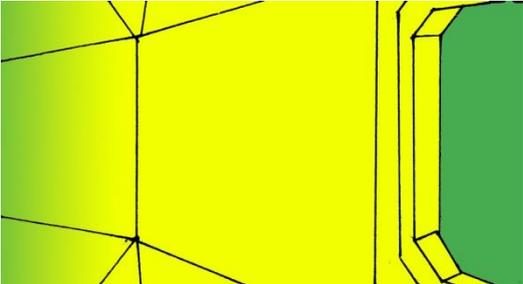
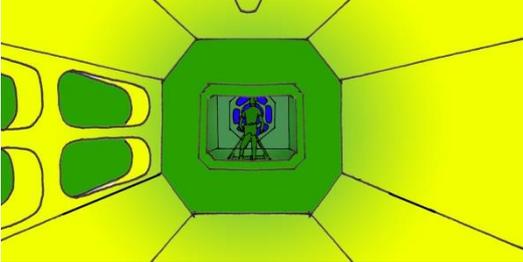
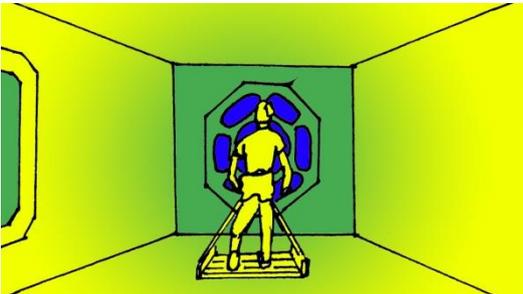
INT. CABINA DEL TRANSBORDADOR

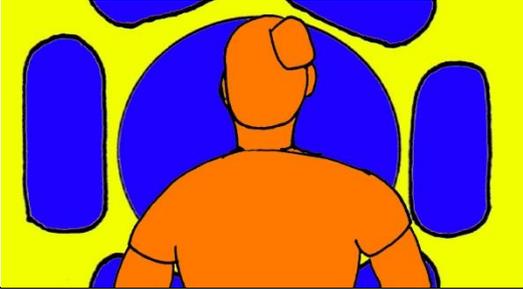
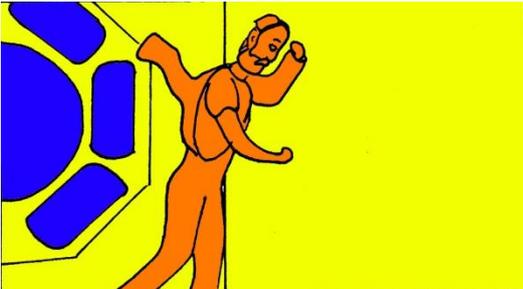
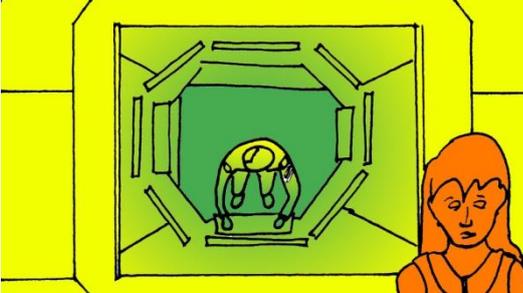
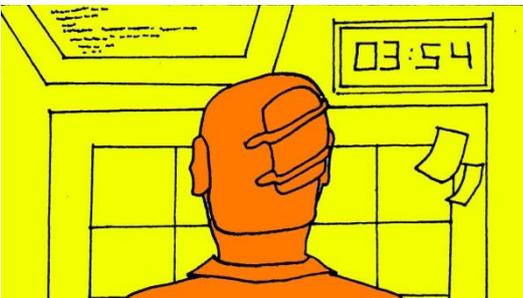
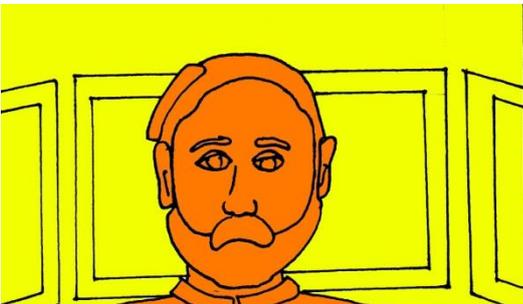
ÉL mira por la ventana cómo desaparece la estación espacial.
Detrás de su asiento está la unidad CPU de VAL.

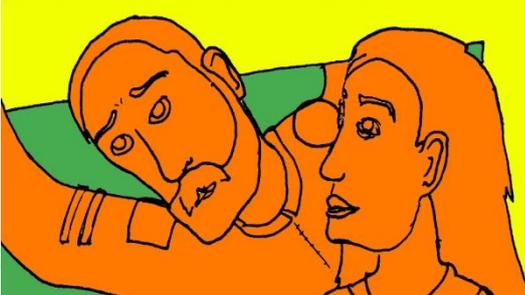
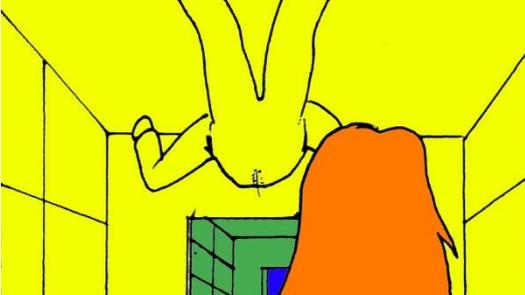
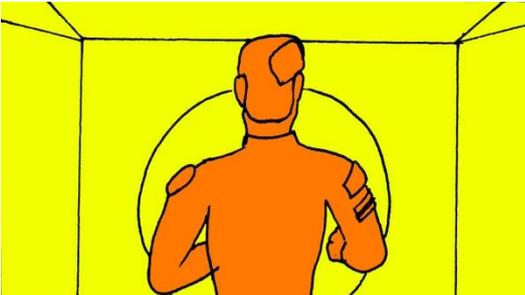
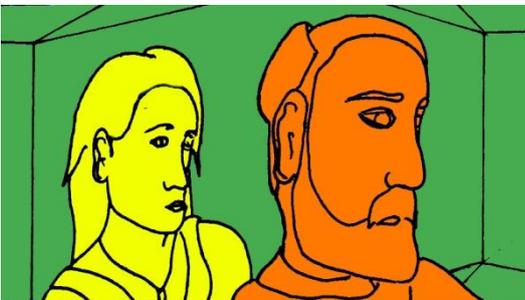
En el asiento del copiloto, está ELLA. Por la ventana se ve
aparecer el lado luminoso del planeta, hacia donde gira la nave.

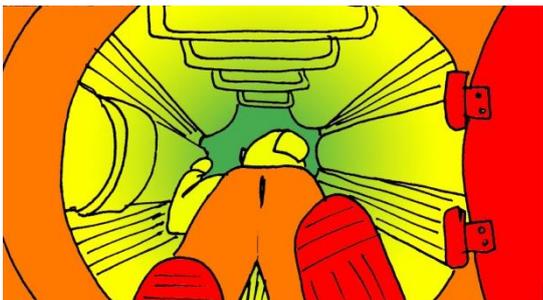
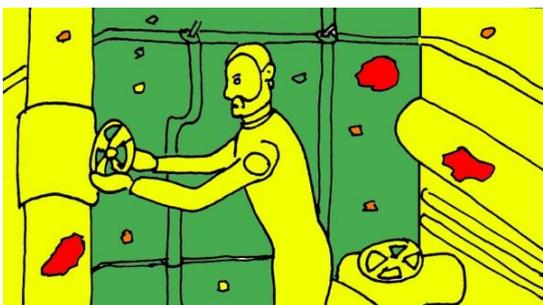
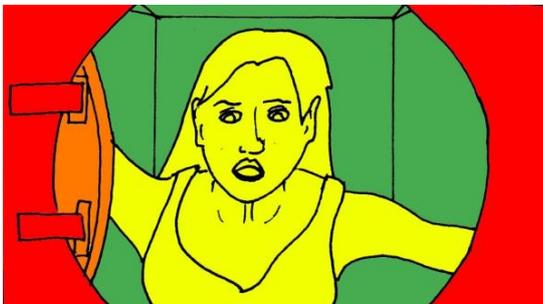
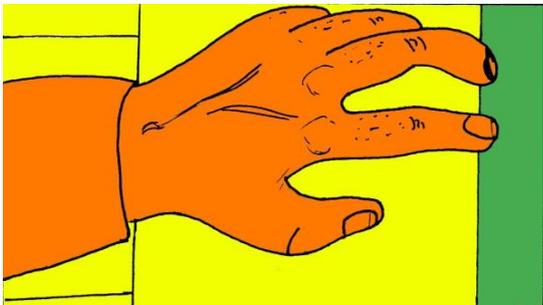
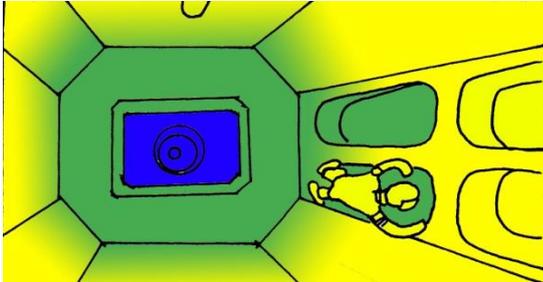
FIN

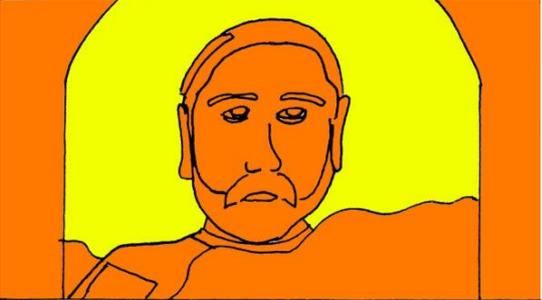
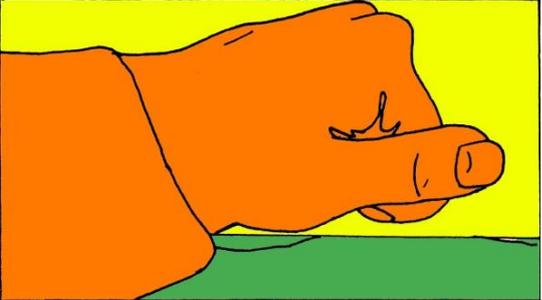
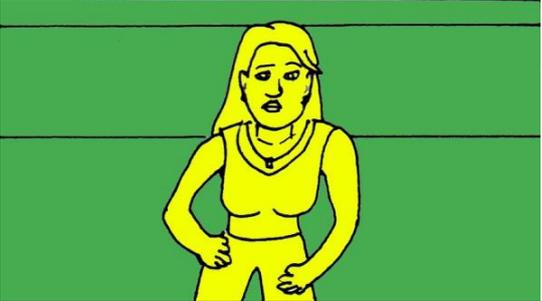
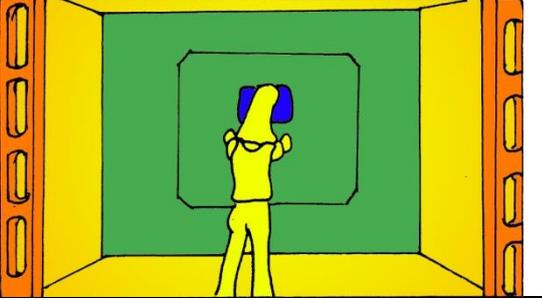
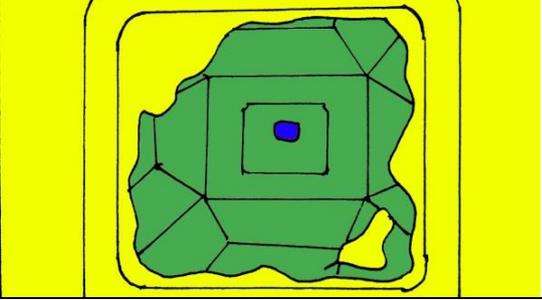
ANEXO II: El storyboard 3D de “Derrelicto”

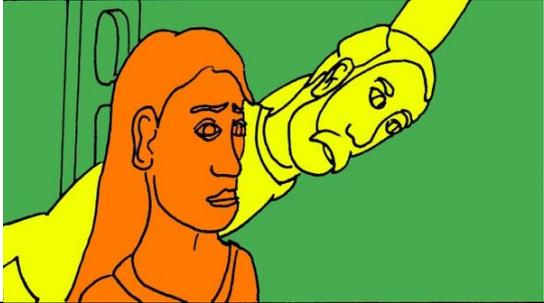
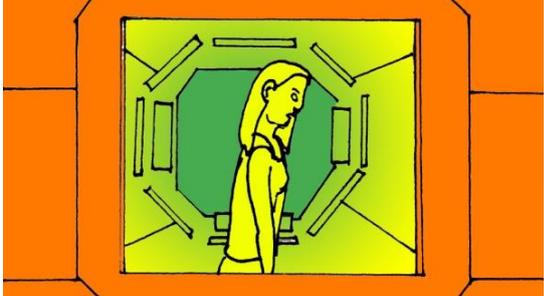
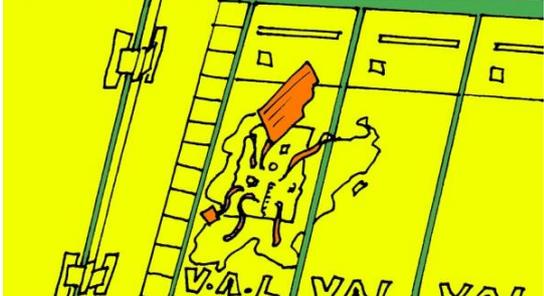
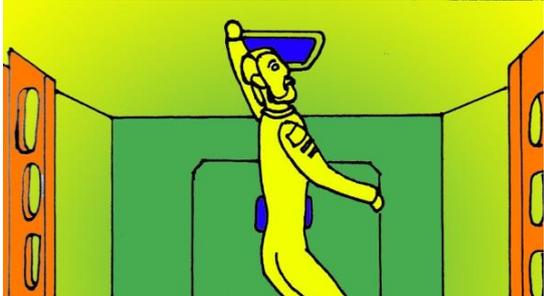
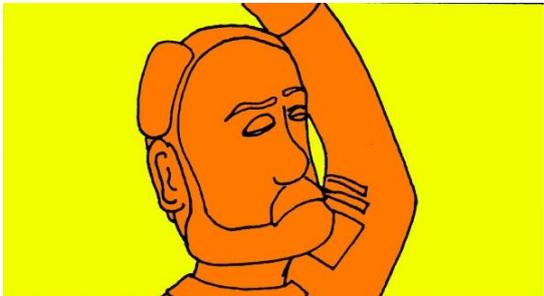
Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
1		PRIMER PLANO -ELLA mira a través de la ventanilla.	PLANO SECUENCIA, INICIO
2		PLANO GENERAL -Atravesamos el Nexo.	PLANO SECUENCIA, CONT.
3		PLANO GENERAL -Giramos por el Nodo.	PLANO SECUENCIA, CONT.
4		PLANO GENERAL -Atravesamos el Camarote.	PLANO SECUENCIA, CONT.
5		PLANO GENERAL -Llegamos al Observatorio, Él está corriendo en la cinta.	PLANO SECUENCIA, CONT.

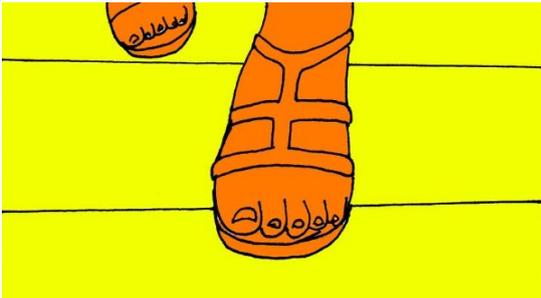
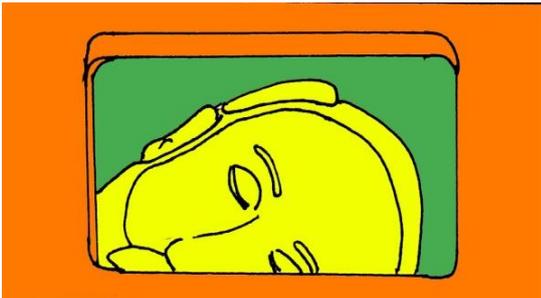
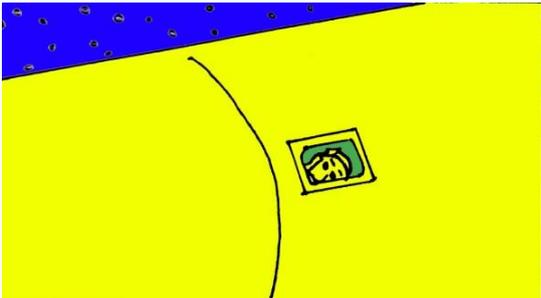
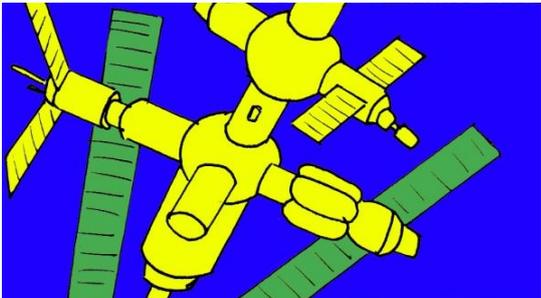
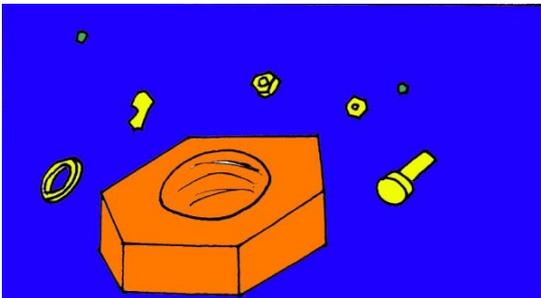
Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
6		<p>PLANO MEDIO -ÉL ve el reflejo de ELLA en el cristal. -La escucha, de espaldas a ella.</p>	<p>PLANO SECUENCIA, FIN</p>
7		<p>-ÉL se suelta el arnés y comienza a flotar.</p>	
8		<p>PLANO COMPUESTO -ÉL comienza a encender las pantallas, ELLA espera apoyada contra el mampáro.</p>	<p>Dos planos: 1 Sala de ordenadores 2 Ella junto a una compuerta (croma en el hueco de la puerta)</p>
9		<p>PLANO MEDIO -ÉL habla con el ordenador.</p>	
10		<p>PRIMER PLANO -ÉL mira el reloj.</p>	

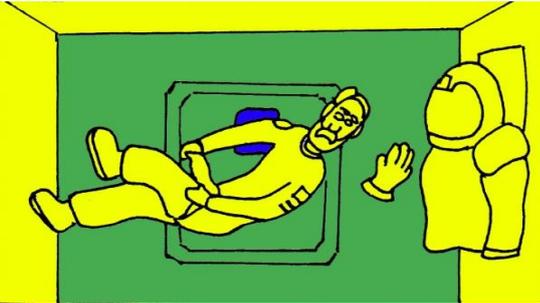
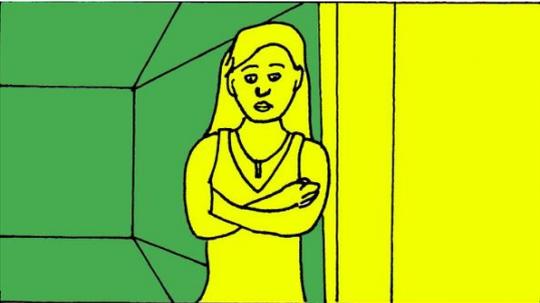
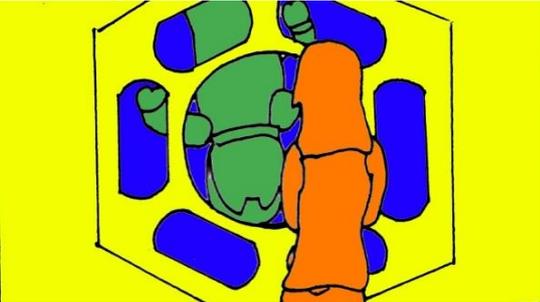
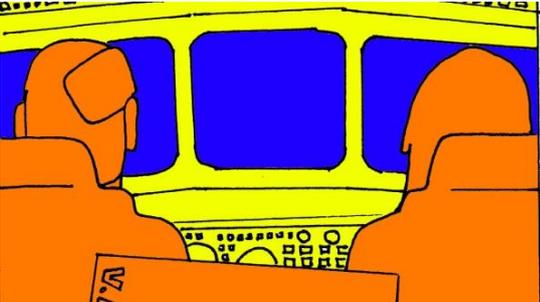
Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
11		PRIMER PLANO, CONTRAPICADO	
12		PRIMER PLANO, CONTRAPICADO -ÉL sale de la Sala de Control	
13		CONTRAPICADO -ÉL se impulsa hacia el Nudo, ELLA le sigue	
14		PLANO MEDIO -ÉL comienza a abrir la escotilla hacia el Pasillo de Mantenimiento	
15		PRIMER PLANO -ÉL está abriendo la escotilla, ELLA llega.	

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
16		<p>PLANO GENERAL -ÉL se introduce por el conducto hacia la sala</p>	<p>PLANO SECUENCIA, INCIO La cámara lo sigue por el conducto</p>
17		<p>PLANO GENERAL -ÉL manipula las llaves y palancas, hasta quedarse inerte, la escarcha flotando por la sala</p>	<p>PLANO SECUENCIA, FIN</p>
18		<p>PLANO MEDIO -ELLA lo llama, desde el otro lado del conducto</p>	
19		<p>PLANO DETALLE -La mano de ÉL aparece, agarrándose para salir</p>	
20		<p>PLANO GENERAL -ÉL se introduce en uno de los nichos</p>	

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
21		<p>PLANO MEDIO</p> <ul style="list-style-type: none"> -ÉL se introduce en el saco e intenta dormir -ÉL ve a ELLA desnudarse -ELLA se introduce en el saco y lo besa -ÉL vuelve a estar solo 	
22		<p>PLANO DETALLE</p> <ul style="list-style-type: none"> -La mano de ÉL tiembla. -Deja de temblar. 	
23		<p>PLANO AMERICANO, PICADO</p> <ul style="list-style-type: none"> -ELLA lo mira a ÉL, y comienza a desnudarse. -ELLA vuelve a estar vestida, y se marcha. 	
24		<p>PLANO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> -ELLA mira por la escotilla. 	
25		<p>PLANO DETALLE</p> <ul style="list-style-type: none"> -La ventanilla de la escotilla empañada-congelada. Más allá, e Nodo 2. 	

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
26		<p>PLANO MEDIO</p> <p>-Aparece ÉL y se coloca a su lado. Comienza a darle explicaciones de lo sucedido. Finalmente, le pide que le siga y se marcha.</p>	
27		<p>PLANO COMPUESTO</p> <p>-ELLA mira los ordenadores.</p>	<p>Dos planos:</p> <p>1 Sala de ordenadores</p> <p>2 Ella inmediatamente detrás (croma detrás de ella)</p>
28		<p>PLANO DETALLE</p> <p>-Los ordenadores, parcialmente destruidos</p>	
29		<p>PLANO GENERAL</p> <p>-ÈL mira a través de una de las ventanas del Nexo.</p>	<p>PLANO SECUENCIA, INICIO</p>
30		<p>PRIMER PLANO</p> <p>-Cierra los ojos.</p>	<p>PLANO SECUENCIA, FIN</p>

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
31		<p>PLANO DETALLE</p> <p>-Los pies de ELLA caminan por la sala. Se detienen, se desprenden del calzado, y ascienden flotando.</p>	<p>Seguimos a los pies. Cuando se descalza, nos quedamos con el calzado, y los pies desaparecen por la parte superior de la pantalla.</p>
32		<p>PRIMER PLANO</p> <p>-Desde el exterior, lo observamos a ÉL, con los ojos cerrados</p>	<p>PLANO SECUENCIA, INICIO</p>
33		<p>PLANO GENERAL</p> <p>-El Nexo, desde el exterior.</p>	<p>PLANO SECUENCIA, CONT.</p>
34		<p>PLANO GENERAL</p> <p>-La estación espacial, plácidamente.</p>	<p>PLANO SECUENCIA, FIN</p>
35		<p>PLANO DETALLE</p> <p>-Los restos espaciales, flotando aparentemente despacio.</p>	

Nº PL	ENCUADRE	ACCIÓN	NOTAS
36		<p>PLANO GENERAL</p> <p>-ÉL se está poniendo el traje espacial en la Exclusa, cuando algo le interrumpe.</p>	
37		<p>PLANO MEDIO</p> <p>-ELLA le habla.</p> <p>-Se marcha.</p>	
38		<p>PLANO MEDIO</p> <p>-Se miran a través del ventana del Observatorio.</p> <p>-ELLA se queda, en la penumbra sola, sentada en el suelo y apoyada contra el ventanal.</p>	
39		<p>PLANO MEDIO</p> <p>-Observan la estación espacial perderse en la oscuridad, luego giran hacia el planeta. El ordenador de VAL está con ellos.</p>	

ANEXO III: El plan de rodaje de “Derrelicto”

"DERRELICTO" DE JULEN SEGURA

DÍA	DÍA PRIMERO, 29 de octubre de 2012								
ESCENARIO	OBSERVATORIO								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	ACCIÓN
La cinta de correr			ELLA, ÉL		1h	12:00-13:00			(pág. 2)
	1	Secuencia (general a medio)	ÉL	Oscura			Polea		Nos acercamos a él, que corre en la cinta.
	2	General	ELLA	Oscura				ELLA-1	Ella le está observando, le habla.
	3	General	ÉL, ELLA	Se enciende fluorescentes			Polea	ELLA-1	Él comienza a flotar. Enciende la luz.
Cuestiones sin respuesta			ELLA, ÉL		1h	13:00-14:00			(págs. 2-3)
	4	Medio	ELLA					ELLA-1	Ella le hace preguntas.
	5	Medio	ÉL				Polea		ÉL calla y se viste.
	6	Secuencia (general de ambos a medio de Ella)	ELLA, ÉL				Carro	ELLA-1	Él se marcha, Ella sigue preguntando.
Descanso					30min	14:00-14:30			
Ruidos extraños			ELLA, ÉL		1h30	14:30-16:00			(pág. 4)
	7	General	ELLA					ELLA-2	Ella se sienta junto al marco de la puerta.
	12	Medio	ELLA					ELLA-2	Ella está fumando sentada junto a la puerta.
	15	Secuencia (medio de Ella medio de ambos)	ELLA, ÉL					ELLA-2	Ella exhala humo, que toma formas extrañas. Se oye un ruido, ella se levanta, y Él se asoma por la puerta.
	16	Primer plano	ÉL						Él mira hacia abajo.
	17	Plano detalle					Ventilador		El humo, siéndole soplado.
	18	Primer plano	ÉL						Él mira hacia arriba.
	19	Plano detalle					Ventilador		El respiradero, soplando.
	20	Secuencia (medio de ambos a medio de Ella)	ELLA, ÉL					ELLA-2	Él se marcha, Ella mira hacia arriba.
21	General	ELLA						La seguimos a Ella, que va tras de Él.	
Sola			ELLA		30min	16:00-16:30			(pág. 15)
	72	Secuencia (general a medio)	ELLA	Oscura				ELLA-5	Nos acercamos a ella, que está sentada, dormida. Se despierta al oír un ruido.
	73	General	ÉL	Oscura			Polea		Él aparece por la puerta de la sala de control con uno de los ordenadores de VAL, y se marcha por el camarote.
	74	Medio	ELLA	Oscura				ELLA-5	Ella le observa, asombrada.
Varios					2h	X			
	X	X	X						Escenas compuestas

DÍA	DÍA SEGUNDO, 31 de octubre de 2012								
ESCENARIO	CABINA DEL TRANSBORDADOR								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
Final			ELLA, ÉL		1h	12:00-13:00			(pág. 16)
	75	Medio	ELLA, ÉL	Oscura				ELLA-5	Ambos observan a través de los cristales.
ESCENARIO	EXCLUSA								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
El traje			ELLA, ÉL		1h	13:00-14:00			(pág. 14)
	69	General	ÉL				Escalera		Él se está poniendo el traje.
	70	Medio	ELLA					ELLA-5	Ella habla con él, y luego se marcha.
	71	Medio	ÉL				Escalera		Él sigue poniéndose el traje.
Descanso					30min	14:00-14:30			
ESCENARIO	NODO								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
Intentando entrar			ELLA, ÉL		1h	14:30-15:30			(págs. 5-6)
	23	Secuencia (general de ella, primer plano de él y medio de ella)	ELLA, ÉL					ELLA-2	Ella entra, Él está intentando abrir una compuerta.
	24	Secuencia (medio a general)	ÉL						Él abre la puerta, se introduce y se desliza por el túnel.
	25	Medio	ELLA					ELLA-2	Ella le observa desde el Nodo.
	33	Plano medio	ELLA					ELLA-2	Ella le grita a través del túnel.
Varios			ELLA, ÉL		1h	15:30-16:30			
Varios					2h	X			
	X	X	X						Escenas compuestas
	1	General	X						Atravesamos el nodo hacia el camarote.
	1	General	X	Oscura					El nodo está vacío.

DÍA	DÍA TERCERO, 02 de noviembre de 2012								
ESCENARIO	NEXO								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
Buscando			ELLA		1h	12:00-13:00			(pág. 1)
	1	Primer plano	ELLA					ELLA-1	Ella mira a través de la compuerta.
Explicaciones			ELLA, ÉL		1h	13:00-14:00			(págs 6-7)
	46	Medio	ELLA, ÉL				Polea	ELLA-3	Ella está mirando a través de la compuerta. Él llega y comienza a explicarle lo sucedido. Le pide que le siga, y se marchan.
Descanso					30min	14:00-14:30			
Llega la lluvia			ELLA, ÉL		2h	14:30-16:30			(págs. 13-14)
	60	Secuencia (general a primer plano)	ÉL				Polea		Él mira a través de una de las ventanas. Cierra los ojos.
	61	Plano detalle	ELLA				Polea	ELLA-4	Los pies de Ella caminan por el módulo, se paran, se desprenden del calzado, y flotan.
	62	Secuencia (primer plano general)	ÉL						Desde el otro lado del cristal, le vemos a Él.
	63	Primer plano	ÉL				Escalera		Él abre los ojos.
	64	Plano detalle							El agua congelada rebota contra el cristal, hasta que cesa.
	65	Primer plano	ÉL				Escalera		Baja la mirada
	66	Medio	ELLA, ÉL				Polea	ELLA-4	Ella está abrazada a Él, flotando.
	67	Plano detalle	ÉL				Escalera		La mano de Él se suelta del asidero.
	68	General	ELLA, ÉL				Polea	ELLA-4	Ambos flotan lentamente, abrazados.
Varios					2h	X			
	X	X	X						Escenas compuestas
	1	General	X						Atravesamos el nexo hacia el nodo.
	1	General	X	Oscura					El nexo está vacío.

DÍA	DÍA CUARTO, 05 de noviembre de 2012								
ESCENARIO	CAMAROTE								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
En la cama			ELLA, ÉL		1h45	12:00-13:45			(pág. 6)
	35	General	ÉL				Polea		ÉL se está introduciendo en uno de los nichos.
	36	Medio	ÉL						Él se introduce en el saco, se tapa e intenta dormir.
	37	Plano detalle	ÉL						La mano de Él tiembla.
	38	Medio	ÉL						Él oye un ruido, abre los ojos.
	39	Plano americano picado	ELLA					ELLA-2	Ella se está desnudando.
	40	Mmedio contrapicado	ELLA, ÉL					ELLA-2	Ella se está desnudando, Él la mira.
	41	Medio	ELLA, ÉL					ELLA-2	Ella se introduce en el saco con Él, comienza besarle el cuello.
	42	Plano detalle	ÉL						La mano de Él ha dejado de temblar.
	43	Primer plano	ÉL						Él tiene los ojos cerrados, plácido. Se extraña, y lo abre.
	44	Medio	ÉL						Él está sólo en el nicho. Mira hacia abajo.
	45	General picado	ELLA					ELLA-2	Ella está vestida y se marcha.
Descanso					30min	13:45-14:15			
Sobre VAL			ELLA, ÉL		1h45	14:15-16:00			(págs. 8-12)
	47	General	ELLA, ÉL					ELLA-3	ÉL está rebuscando entre los papeles, Ella le mira.
	48	Medio	ÉL						Desiste en su búsqueda. Mira hacia un lado, y se impulsa hacia allí.
	49	Medio	ÉL						Llega hasta una pizarra, y comienza a dibujar.
	50	Medio	ELLA, ÉL					ELLA-3	Ella se acerca para mirar.
	51	Detalle	ÉL						La pizarra sobre la que dibuja.
	52	Primer plano	ELLA					ELLA-3	Ella escucha, y hace preguntas.
	53	Primer plano	ÉL						ÉL le habla sobre VAL.
	54	General							Él se da la vuelta y discuten.
	55	Medio	ELLA					ELLA-3	Ella habla.
	56	Medio	ÉL						Él habla.
	57	Primer plano	ELLA					ELLA-3	Ella habla. El indicador de VAL tras ella fluctúa.
	58	Primer plano	ÉL						Él se fina en el indicador de VAL.
	59	Plano detalle							El indicador de VAL fluctúa.
Varios			ELLA, ÉL		1h	16:00-17:00			
	22	General	ELLA					ELLA-2	La seguimos a Ella, que va tras Él.
Varios					2h	X			
	X	X	X						Escenas compuestas
	1	General	X						Atravesamos el camarote hacia el observatorio.
	1	General	X	Oscura					El camarote está vacío.

DÍA	DÍA QUINTO, 09 de noviembre de 2012								
ESCENARIO	SALA DE CONTROL								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
Cuadrícula 159			ÉL		1h30	12:00-13:30			(pág. 4)
	8	Medio desde detrás	ÉL	Mucha luz			Banco		Él habla con el ordenador.
	9	Primer plano	ÉL	Mucha luz			Banco		Él mira el reloj.
	10	Plano detalle		Mucha luz					El reloj, en cuenta atrás.
	11	Primer plano contrapicado	ÉL	Mucha luz			Banco		Él mira hacia la puerta.
	13	Plano detalle		Mucha luz					Imágenes de satélite en la pantalla.
	14	Primer plano	ÉL	Mucha luz			Banco		Él reacciona ante las imágenes.
Varios			ÉL		30min	13:30-14:00			
	X	General	ÉL	Mucha luz					Él, manejando los ordenadores.
Descanso					30min	14:00-14:30			
Varios					2h	X			Escenas compuestas
	X	X	X	Mucha luz					Escenas compuestas
	X	Plano detalle	X	Mucha luz					Ordenadores de VAL
ESCENARIO	PASILLO DE MANTENIMIENTO								
LOCALIZACIÓN	Estudio Undues de Lerda								
SECUENCIA	PLANO	TIPO PLANO	PERSONAJES	ILUMINACIÓN	TIEMPO	HORA	MAQUINARIA	VESTUARIO	NOTAS
Mantenimiento cero			ELLA, ÉL		2h	14:30-16:30			(pág. 5)
	26	General	ÉL	Luz roja			Carro		Él recorre el túnel.
	27	Medio	ÉL	Luz roja					Él busca a su alrededor. Hace frío.
	28	Plano detalle	ÉL	Luz roja					Sus manos accionan botones y palancas, con urgencia.
	29	Primer plano	ÉL	Luz roja					Él está sufriendo, quedándose sin aire.
	30	Plano detalle	ÉL	Luz roja					Sus manos comienzan a fallar.
	31	Primer plano	ÉL	Luz roja					Comienza a desmayarse.
	32	Escorzo de general de Él	Ella, plano de Él	ÉL			Polea		Él flota inmóvil.
	34	Plano detalle	ÉL						La mano de él se agarra sale del túnel.
Varios			ÉL		1h	16:30-17:30			
Varios					2h	X			
	X	X	X						Escenas compuestas
	1	General	X						Atravesamos el nodo hacia el camarote.
	1	General	X	Oscura					El nodo está vacío.

