



CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, ____ 01 de abril de 2016 ____

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

_____Jonathan Stiven Suarez Argote_____, con C.C. No. _____1075265810_____,
 _____Oscar Alexander Valencia Vargas_____, con C.C. No. _____1075269989_____,
 _____, con C.C. No. _____,
 _____, con C.C. No. _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado _____Diseño de un modelo objetivo para evaluar la calidad de video 3D_____
análogo._____

presentado y aprobado en el año _____2016_____ como requisito para optar al título de

_____ Ingeniero electrónico _____;

autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

• Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Osvaldo A. Valencia V.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Jonathan Suarez

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						   
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño de un modelo objetivo para evaluar la calidad de video 3D Anaglifo

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Suarez Argote	Jonathan Stiven
Valencia Vargas	Oscar Alexander

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Obando Bravo	Martin Diomedes

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Electrónico

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Electrónica

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 4

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general X Grabados ___ Láminas ___
 Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o
 Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: **Adobe Reader PDF**

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>MOS</u>	<u>MOS</u>	6. <u>Video</u>	<u>Video</u>
2. <u>Calidad</u>	<u>Quality</u>	7. _____	_____
3. <u>Anaglifo</u>	<u>Anaglyph</u>	8. _____	_____
4. <u>Métrica</u>	<u>Metrics</u>	9. _____	_____
5. <u>Diseño</u>	<u>Design</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En este trabajo se propone el diseño de una evaluación objetiva de calidad de video para video 3D anáglifo, que se basa en los parámetros objetivos estandarizados para video 2D. Por lo tanto, se lleva a cabo una evaluación subjetiva de calidad de video siguiendo las recomendaciones estandarizadas en el UIT-T para verificar el modelo propuesto. Los resultados y la prueba del modelo permiten concluir que se consiguió una buena aproximación en comparación con los resultados de la evaluación subjetiva de calidad de video.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In this work is proposed the design of an objective video quality assessment for 3D Anaglyph video, which is based on the standardized objective metrics for 2D video. Therefore, is implementing a subjective assessment of video quality follows the standardized recommendations in the ITU-T to verify the proposed model. Results and test of the model permit conclude that it got a good approximation in comparison with the subjective assessment video quality results.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

Empty box for the description of the thesis or degree work.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Jesús David Quintero Polanco

Firma:


FIRMA DEL JURADO

Nombre Jurado: Julián Adolfo Ramírez

Firma:


FIRMA DEL JURADO

**DISEÑO DE UN MODELO OBJETIVO PARA EVALUAR LA CALIDAD
DE VIDEO 3D ANAGLIFO**

**JONATHAN STIVEN SUAREZ ARGOTE
OSCAR ALEXANDER VALENCIA VARGAS**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2016**

**DISEÑO DE UN MODELO OBJETIVO PARA EVALUAR LA CALIDAD
DE VIDEO 3D ANAGLIFO**

**JONATHAN STIVEN SUAREZ ARGOTE
OSCAR ALEXANDER VALENCIA VARGAS**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

**Director
Martín Diomedes Bravo Obando
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2016**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Neiva, Abril 1 de 2016

A todas aquellas personas que han hecho sacrificios inmensos en la vida para que logremos alcanzar nuestras metas. Gracias por la formación, la motivación, la preocupación y el apoyo que recibimos cuando las cosas se colocaban difíciles. A nuestros familiares y amigos por siempre nuestro corazón y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar a mi lado en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre Yolanda, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Mi padre Jesús por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Mi novia Nihole, por tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para tí, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de tí, gracias por estar siempre a mi lado.

Mi director de tesis, ing. Martin Diomedes Bravo por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

Jonathan Stiven Suarez Argote

En estas líneas expreso mi profundo agradecimiento y admiración a las personas que han creído en mí a lo largo de la vida. Agradezco profundamente a mis padres y a mis abuelos por su amor, por su apoyo, sus consejos, sus valores y por la motivación permanente, ellos han dado todo el esfuerzo y sacrificio para que yo este culminando este ciclo de mi vida; junto con mi familia son el pilar fundamental en todo lo que soy. Agradezco a mis profesores y a mi director de tesis Martín Diomedes Bravo por sus aportes, sabiduría y paciencia que me han brindado a lo largo de estos últimos años. Agradezco a mis amigos por el apoyo mutuo e incondicional y finalmente agradezco a mi compañero de tesis Jonathan Stiven Suarez por su tenacidad y disciplina para lograr culminar este proyecto.

Oscar Alexander Valencia Vargas

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1 TECNOLOGÍA 3D ANAGLIFO	20
4.1.1 Videos 3D anaglifos	20
4.1.2 Elementos de visualización	20
4.1.3 Software de reproducción: VLC media player	21
4.2 CODIFICACIÓN DE VIDEO	21
4.2.1 H265/ HEVC (Recommendation ITU-T H.265)	23
4.2.2 FFmpeg	24
4.2.3 CRF (Factor de Tasa Constante)	24
4.3 PRUEBAS SUBJETIVAS	25
4.3.1 MOS (Mean Opinion Score)	25
4.3.2 Métodos subjetivos para medir la calidad percibida de video	25
4.3.21. Métodos propuestos en ITU-R BT.500-11	25
4.3.22. Métodos propuestos en ITU-T P.910 ¹	27
4.3.3 Agudeza visual - Test Snellen	27
4.4 PRUEBAS OBJETIVAS	29
4.4.1 Métodos objetivos para medir la calidad percibida de video	29
4.4.11. Modelos paramétricos	29
4.4.12. Modelos basados en el análisis del contenido	30
4.4.2 Modelos existentes de estimación de calidad de video basados en el análisis del contenido	31
4.4.21. MSE (Error Medio Cuadrático) y PSNR (Relación Señal a Ruido Pico)	31
4.4.22. UIQI (Índice de Calidad de Imagen Universal) y SSIM (Índice de Similitud Estructural)	32
4.5 INTERVALOS DE CONFIANZA	33
5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	34
5.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUBJETIVA	34
5.1.1 Prueba Snellen	34
5.1.2 Condiciones de observación	36
5.1.3 Realización de la evaluación subjetiva	38
5.1.4 Aplicación Web	39
5.2 MODELO OBJETIVO	40
5.2.1 Medidas de calidad basadas en la detección del error	41
5.2.2 Técnicas de calidad basadas en la distorsión estructural	42

¹ITU-T Recommendation. "P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications". En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, Geneva* (2008).

5.3	TRATAMIENTO DE LAS SECUENCIAS DE VIDEO	44
5.4	ESTRUCTURA DEL MODELO	44
5.4.1	Fase I	45
5.4.2	Fase II	46
5.4.3	Fase III	47
5.4.4	Fase IV	48
6.	ANÁLISIS, RESULTADOS Y PRUEBAS DE VERIFICACIÓN	49
6.1	ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA SUBJETIVA	49
6.2	ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MODELO OBJETIVO	52
6.3	PRUEBAS DE VERIFICACIÓN	56
7.	CONCLUSIONES	60
8.	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA	62
	ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Categorías de valores para DSIS	Pág. 38
Tabla 2.	Relación entre los valores de PSNR y MOS	46
Tabla 3.	Relación entre los valores de SSIM/ UIQI y MOS	48
Tabla 4.	Intervalos de confianza	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación del funcionamiento de la tecnología 3D anaglifo	21
Figura 2. Diagrama conceptual de compresión IPB	22
Figura 3. Proceso de compresión Intra-Frame e Inter-Frame	22
Figura 4. Escala DSCQS	26
Figura 5. Prueba de Snellen	28
Figura 6. Esquema de modelos de FR, RR y NR	31
Figura 7. Distorsiones estructurales y no estructurales	32
Figura 8. Prueba Snellen	35
Figura 9. Escenario de evaluación para la prueba subjetiva	37
Figura 10. Estructura de presentación del material de prueba	38
Figura 11. Información general de los evaluadores	39
Figura 12. Inicio de la prueba 1 en la aplicación web	40
Figura 13. Escala de calificación DSIS en la aplicación web	40
Figura 14. Secuencias empleadas en el diseño del modelo	44
Figura 15. Información general ingresada por los espectadores	49
Figura 16. Calificación MOS efectuada por los espectadores	50
Figura 17. Medida MOS Prueba subjetiva	51
Figura 18. Medida MOS equivalente a la métrica PSNR	52
Figura 19. Medida MOS equivalente a la métrica SSIM	53
Figura 20. Medida MOS equivalente a la métrica UIQI	54
Figura 21. Comparación MOS Subjetivo - MOS Objetivo	55
Figura 22. MOS - Resultados de verificación para la prueba subjetiva	56
Figura 23. MOS - Verificación prueba subjetiva	57
Figura 24. MOS e intervalos de confianza del modelo propuesto	57
Figura 25. MOS - Verificación prueba objetiva	58
Figura 26. Comparación de las pruebas de verificación MOS Subjetivo - MOS Objetivo	59
Figura 27. Panel de administración	73
Figura 28. Cargar secuencias de video	73
Figura 29. Crear nueva sesión en la aplicación web	74
Figura 30. Habilitar sesión en la aplicación web	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Códigos diseñados para el modelo objetivo	Pág. 65
Anexo B: Interfaz gráfica del modelo objetivo MOCVA3D	72
Anexo C: Interfaz y manejo para administrar la aplicación web	73

GLOSARIO

Anaglifo: Imágenes en dos dimensiones capaces de provocar un efecto tridimensional a partir de la combinación de dos colores complementarios.

Base de datos: Conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada.

Codificación: Es la conversión de un sistema de datos a otro distinto. De ello se desprende que la información resultante es equivalente a la información de origen.

Contraste: Diferencia relativa en intensidad que existe entre un punto de una imagen y sus alrededores. Cuando el contraste es nulo, resulta imposible distinguir un objeto de su fondo. En cambio, a mayor contraste, mayor facilidad para la diferenciación.

Correlación estadística: Determina la relación o dependencia que existe entre las dos variables que intervienen en una distribución bidimensional. Es decir, determinar si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra. En caso de que suceda, diremos que las variables están correlacionadas o que hay correlación entre ellas.

CRF: Factor de Tasa Constante. Método que permite al codificador conseguir una determinada calidad de salida para todo el archivo cuando el tamaño del video es de menor importancia. Esto proporciona la máxima eficiencia de compresión con una sola pasada. Cada fotograma obtiene la tasa de bits que necesita para mantener el nivel de calidad requerido.

DSIS: Escala de degradación con doble estímulo. Método propuesto en la recomendación ITU-R BT.500-11 para la realización de la prueba subjetiva.

FFMPEG: Fast Forward Moving Pictures Expert Group. Es un proyecto de código libre licenciado bajo GNU GPL utilizado para codificar, decodificar, grabar, convertir y reproducir audio y video de manera local o a través de la red.

H.265: Es un estándar publicado por la ITU-T que define un formato de compresión de video. También llamado HEVC (Codificación de Video de Alta Eficiencia).

Inter-frame: Es una técnica que explota la correlación temporal entre frames consecutivos para poder codificar con el mínimo número de bits posibles. Para codificar, lo que se hace es predecir un frame a partir de frames anteriores y/o futuros, aplicando sobre éstos un movimiento dictado por unos vectores de movimiento.

Intra-frame: Hace referencia a la técnica de codificación que explota la redundancia espacial que existe en una imagen mediante un análisis frecuencial de la misma.

ITU: Union Internacional de Telecomunicaciones. Es el organismo encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

Luminancia: Densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada.

Luxómetro: Es un instrumento que mide la luminosidad de un ambiente. La unidad de medida es el lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos los cuales convertidos y mostrados en pantalla.

MOS: Puntaje de Opinión Media. Mide la calidad de video a través de una evaluación subjetiva que realiza un grupo amplio de personas que opinan acerca de su percepción.

MSE: Error Medio Cuadrático. Cuantifica el error entre la señal distorsionada y la señal original.

Píxel: Unidad básica de una imagen digitalizada en pantalla a base de puntos de color o en escala de grises.

Prueba Snellen: Diseñada para evaluar la agudeza visual.

PSNR: Relación Señal a Ruido Pico. Define la relación entre la máxima energía posible de una señal y el ruido que afecta a su representación fidedigna. Debido a que muchas señales tienen un gran rango dinámico, el PSNR se expresa generalmente en escala logarítmica, utilizando como unidad el decibelio.

RGB: Rojo, Verde, Azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios.

SSIM: Índice de Similitud Estructural. Es un método para predecir la calidad percibida de la televisión digital y cinematográficas imágenes, así como otros tipos de imágenes digitales y videos. Define la distorsión de la señal como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y estructuras.

SVH: Sistema visual humano.

Tasa de bits: Es el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. Así pues, es la velocidad de transferencia de datos.

UIQI: Índice de Calidad de Imagen Universal. Define la distorsión de la señal como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y distorsión de contraste.

VLC: Video Lan Client. Es un reproductor de audio y video capaz de reproducir muchos códecs y formatos de audio y video, además de capacidad de streaming. Es software libre, distribuido bajo la licencia GPL.

XAMPP: Sistema Operativo x, Apache, MySQL, PHP, Perl. Es un servidor independiente de plataforma, software libre, que consiste principalmente en el sistema de gestión de bases de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script: PHP y Perl.

RESUMEN

En este trabajo se propone el diseño de una evaluación objetiva de calidad de video para video 3D Anaglifo, que se basa en los parámetros objetivos estandarizados para video 2D. Por lo tanto, se lleva a cabo una evaluación subjetiva de calidad de video siguiendo las recomendaciones estandarizadas en el UIT-T para verificar el modelo propuesto. Los resultados y la prueba del modelo permiten concluir que se consiguió una buena aproximación en comparación con los resultados de la evaluación subjetiva de calidad de video.

PALABRAS CLAVE:

MOS, Video, Calidad, Anaglifo, Métricas, Diseño.

ABSTRACT

In this work is proposed the design of an objective video quality assessment for 3D Anaglyph video, which is based on the standardized objective metrics for 2D video. Therefore, is implementing a subjective assessment of video quality follows the standardized recommendations in the ITU-T to verify the proposed model. Results and test of the model permit conclude that it got a good approximation in comparison with the subjective assessment video quality results.

KEYWORDS:

MOS, Video, Quality, Anaglyph, Metrics, Design.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de adquisición, compresión, procesamiento, almacenamiento, transmisión y reproducción de la información generan varias clases de distorsión en la señal de video 3D anaglifo final. Las técnicas de compresión de video con pérdidas reducen la capacidad necesaria en el almacenamiento o transmisión de la información, a cambio generan una degradación de la calidad de video que debe ser detectada, evaluada y cuantificada con el fin de mantenerla, controlarla, o en lo posible mejorarla.

Por muchos años el modo más seguro para determinar la calidad de un video ha sido a través del uso de una evaluación subjetiva, en donde los usuarios finales son los que determinan que tan buena es la señal de video, es por ello que la puntuación media de opinión (MOS) ha sido reconocida como el método más fiable para evaluar la calidad².

No obstante, para obtener la medida MOS se llevan a cabo complejas pruebas en donde la principal desventaja es el tiempo invertido y los recursos necesarios para poder desarrollarlas.

Por estas razones el objetivo principal del proyecto es diseñar, implementar y evaluar una medida de calidad objetiva con un alto grado de correlación con la calidad subjetiva, que pueda ser empleada para establecer la calidad de video 3D anaglifo.

Algunas medidas de distorsión (error medio cuadrático, desviación típica o la relación señal a ruido) formuladas ya hace tiempo permiten cuantificar el error entre la señal distorsionada y la señal original para asumir un factor de calidad³.

En los últimos años se ha emprendido un gran esfuerzo para desarrollar métodos objetivos, que integren medidas de calidad perceptual teniendo en cuenta todas las características del sistema visual humano (SVH). En 1982, fue propuesta la primera medida cuantitativa de calidad para video por Lukas y Budrikis⁴. Posteriormente, en octubre de 1997 se creó el grupo de expertos en calidad de video (VQEG) con el principal objetivo de recoger las valoraciones subjetivas fiables para un conjunto bien definido de secuencias de prueba y estandarizar los nuevos métodos de evaluación objetivos en calidad de video⁵.

En resumen, hay diferentes enfoques para determinar la calidad de video debido a que no existe una métrica estándar universal, lo que anima a los autores a formular un

²Jose Joskowicz, Rafael Sotelo, and J Arado. "Comparison of parametric models for video quality estimation: Towards a general model". En: *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2012 IEEE International Symposium on*. IEEE. 2012, pp. 1–7.

³Zhou Wang, Hamid R Sheikh, and Alan C Bovik. "Objective video quality assessment". En: *The handbook of video databases: design and applications* (2003), pp. 1041–1078.

⁴Frank XJ Lukas and Zigmantas L Budrikis. "Picture quality prediction based on a visual model". En: *Communications, IEEE Transactions on* 30.7 (1982), pp. 1679–1692.

⁵Video Quality Experts Group et al. *VQEG*. 2006.

nuevo modelo de evaluación de calidad objetivo diseñado para videos 3D anaglifo.

Este proyecto contiene nueve capítulos, en los cuales se describe el proceso para el diseño, implementación y verificación del modelo objetivo.

Los primeros tres capítulos tratan los motivos fundamentales que llevaron a la creación del proyecto, el planteamiento del problema, justificación y los objetivos propuestos para su desarrollo.

En el cuarto capítulo se realiza una descripción de la tecnología 3D anaglifo, la teoría de codificación de video utilizada; también se hace una descripción completa de las pruebas subjetivas y objetivas existentes, y brevemente se describe en que consiste la teoría de los intervalos de confianza.

El quinto capítulo detalla la prueba subjetiva llevada a cabo, así como el nuevo modelo objetivo propuesto para evaluar la calidad de video 3D anaglifo y además se explica la estructura del algoritmo que compone el modelo.

En el sexto capítulo se detallan resultados y análisis de la prueba subjetiva y del modelo objetivo; de igual modo se efectúan pruebas de verificación y también se examinan sus resultados.

En los capítulos siete, ocho y nueve se especifican las conclusiones, recomendaciones y se exponen algunas ideas sobre trabajos futuros.

Posteriormente se incluyen cuatro anexos. En el primero se muestra una estimación de los costos del proyecto. El segundo incluye el manual de usuario del entorno gráfico diseñado para el modelo objetivo. El tercero recoge los resultados detallados de la prueba subjetiva y del modelo objetivo. El cuarto incorpora todos los códigos representativos del modelo diseñado.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante el procesamiento de video 3D, los sistemas pueden introducir ciertas distorsiones o artefactos en la señal de video, haciendo que la calidad del mismo disminuya respecto al original. Los algoritmos con mayor razón de compresión suelen tener pérdidas, lo que significa que la información reconstruida solo es una aproximación de la información original. Cuando el video 3D es percibido por los espectadores, la información no solo consiste en los píxeles representados, sino que la evaluación depende en gran medida del sistema visual humano (SVH) y de otros elementos como la experiencia del observador.⁶

Las evaluaciones subjetivas por lo general son los métodos de medida más confiables, debido a que en estas evaluaciones se recoge directamente la opinión de los espectadores, y se promedia entre un número apropiado de observaciones, obteniendo como métrica el promedio de opiniones (MOS). Existen recomendaciones que indican cómo realizar estas evaluaciones. Sin embargo, llevarlas a cabo es costoso y complejo ya que es necesario implementarlas en ambientes controlados, disponer de un número importante de evaluadores y tener secuencias de video 3D especialmente preparadas.

Es por ello que en los últimos años se han comenzado a desarrollar sistemas, algoritmos y modelos matemáticos que permitan estimar la calidad percibida por los usuarios. Un sistema ideal de estimación de calidad que cumpla con este objetivo debe dar como resultado una calificación idéntica a la que se obtiene en pruebas subjetivas promediando los resultados de un gran número de individuos⁷.

Actualmente no se han encontrado métodos objetivos de la medida perceptual de calidad de video 3D estandarizados, que apliquen a todos los casos y con buenos resultados aproximados a las medidas subjetivas, lo que es parte de la motivación para desarrollar la propuesta⁸.

Por lo tanto se pretende diseñar un modelo de evaluación objetiva que se pueda correlacionar con la calidad subjetiva en los videos 3D anaglifos para ahorrar costos y tiempo.

⁶A Foncubierta-Rodríguez and JR Cerquides-Bueno. “Análisis de calidad de vídeo H. 264 en streaming sobre HSUPA”. En: *Memorias del XII Congreso Iberoamericano de Internet, Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, Madrid, España*. 2009, pp. 401–407.

⁷José Joskowicz and Rafael Sotelo Bovino. “Modelo de estimación de calidad de video: video quality experts groups”. En: *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica* 10 (2012), pp. 7–17.

⁸José Joskowicz. “Estudio de la Medida de la Calidad Perceptual de Video”. En: (2008).

2. JUSTIFICACIÓN

La sensación de profundidad de los videos que puede percibir el espectador requiere la ayuda de experiencias previas o de objetos externos, como pueden ser las gafas anáglifo u otros sistemas modernos, que no produzcan cansancio visual. Las gafas anaglíficas están diseñadas de tal forma que los filtros de papel produzcan un efecto 3D a un muy bajo costo en comparación con otros tipos de gafas existentes.

Los videos 3D anáglifos no son muy utilizados en la actualidad; sin embargo, se pueden destacar varias características tales como poder reproducir estos videos en un ordenador común con cualquier programa reproductor multimedia convencional, o simplemente visualizarlos en cualquier televisor sin necesidad de utilizar hardware o software especializado.

Hasta hace poco se desarrolló y publico el códec HEVC/H.265, un compresor especializado en video 3D que puede reducir el tamaño de un archivo de vídeo o flujo de bits hasta en un 50 %, en comparación con el estándar AVC/H.264 o hasta en un 75 %, en comparación con el estándar MPEG-2. Como todo compresor, se presentan pérdidas de información y ahí es donde entra a jugar un papel importante las técnicas de evaluación perceptual de video⁹.

Las técnicas actuales que permiten la evaluación de la calidad objetiva en los videos 3D, no prevén la opinión del usuario sobre la calidad percibida con la precisión deseada. Por tal motivo, es conveniente fijar técnicas objetivas para medir los múltiples efectos aislados y combinados de factores como la compresión digital sobre la calidad percibida de dichos videos. Es importante verificar que estas técnicas arrojan resultados relevantes correlacionando las pruebas objetivas propuestas con los datos correspondientes de pruebas subjetivas.

⁹J-R Ohm et al. "Comparison of the coding efficiency of video coding standards?including high efficiency video coding (HEVC)". *En: Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on* 22.12 (2012), pp. 1669–1684.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de evaluación objetivo para videos 3D anaglifos tomando como referencia los parámetros de evaluación estandarizados en videos 2D.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un escenario de prueba óptimo para el desarrollo de una evaluación subjetiva controlada.
- Realizar la prueba subjetiva para evaluar la calidad de video percibida por los espectadores.
- Plantear, evaluar y verificar el modelo propuesto.
- Elaborar un documento final, producto de la investigación.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 TECNOLOGÍA 3D ANAGLIFO

La visión de las personas es por naturaleza de percepción tridimensional, es decir, pueden apreciar altura, anchura y profundidad. Esta percepción se debe fundamentalmente a la disposición binocular de los ojos, en donde cada ojo observa campos levemente diferentes; esta diferencia de campos se denomina disparidad, debido a ella es posible que los objetos sean interpretados por el cerebro y así percibir el estado espacial en el que se encuentra el objeto.

La agudeza estereoscópica se define como la capacidad de apreciar la profundidad dependiendo proporcionalmente de la distancia entre los ojos¹⁰.

4.1.1 Videos 3D anaglifos

Los videos anaglifos se presentan en dos dimensiones, los cuales son capaces de provocar un efecto en tres dimensiones cuando se observan con lentes especiales. El sistema de multiplexado de colores anaglifo ubica en un mismo cuadro los dos videos de dos capas de color, superpuestos pero desplazados levemente uno respecto al otro para generar el efecto de profundidad.

Es muy común utilizar el par rojo y cian ya que esta combinación tiene características simples de longitudes de onda paso bajo y paso alto. La reproducción de videos anaglifos puede llevarse a cabo mediante cualquier tecnología de pantalla¹¹.

4.1.2 Elementos de visualización

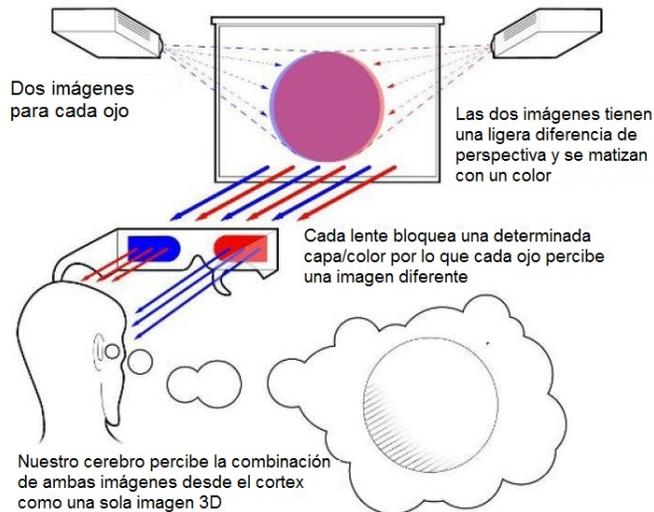
Cada video debe ser filtrado por lentes únicos considerados pasivos para que los ojos tengan esa diferencia de percepción del video, estos filtros son óptimos al usar colores complementarios cromáticamente opuestos en el video y en las gafas, es decir, el video presentado en rojo no es visto por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero si ve el otro video en azul o verde¹². Su funcionamiento se relaciona en la figura 1.

¹⁰María Cinta Puell Marín. "Óptica Fisiológica: el sistema óptico del ojo y la visión binocular". En: (2006).

¹¹V. J. Vanegas. "Análisis y Evaluación de las Técnicas Utilizadas para la Transmisión de Video en 3D". En: (2014).

¹²A Cangas. *EcuRed*.

Figura 1. Representación del funcionamiento de la tecnología 3D anaglifo



Fuente: Gobierno de España. *Ministerio de Industria, Energía y Turismo, tdt televisión digital terrestre, [En línea].* 2014.

4.1.3 Software de reproducción: VLC media player

VLC es un reproductor multimedia libre, de código abierto multiplataforma desarrollado por el proyecto VideoLAN y un framework que reproduce la mayoría de archivos multimedia, así como DVD, Audio CD, VCD y diversos protocolos de transmisión.

Reproduce la mayoría de códecs sin paquetes de códecs necesarios -H.265, MPEG-2, MPEG-4, H.264, MKV, WebM, WMV, MP3 y muchos más -. Es un programa multiplataforma¹³.

4.2 CODIFICACIÓN DE VIDEO

En la actualidad existen algoritmos de codificación y decodificación que reducen considerablemente el tamaño de los archivos de video, llamados comúnmente códecs.

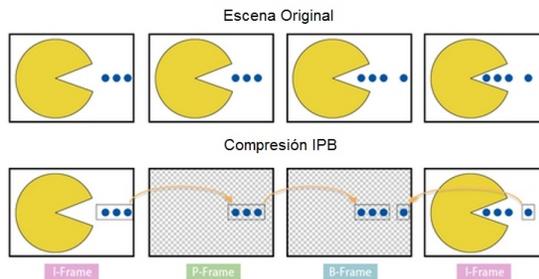
La compresión de video se enfoca en como tomar fotogramas adyacentes y reducir la cantidad de información necesaria para codificarlos. Lo primero es comprimir cada fotograma, a esto proceso se le define como compresión espacial o compresión **Intra-Frame**, y usa únicamente información contenida en el cuadro actual para

¹³VideoLan Streaming Solutions. *VLC media player.* 2006.

minimizar el tamaño del fotograma¹⁴.

La compresión temporal o compresión **Inter-Frame** incluye imágenes codificadas con intra-frame **I-frame**, además, contienen fotogramas con compresión predictiva **P-frames** y fotogramas con compresión predictiva bidireccional **B-frames**; como se observa en la figura 2.

Figura 2. Diagrama conceptual de compresión IPB

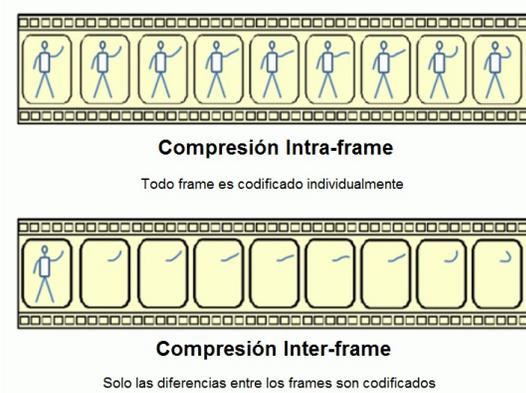


Fuente: Canon Professional. *EOS Movie Compression Options: All-I and IPB*. 2014.

Los P-frames dependen de imágenes que ya han sido transmitidas en la secuencia de video, y usan información de esos fotogramas para crear el fotograma actual. Los B-frames pueden utilizar información de imágenes anteriores y posteriores en la secuencia de video. Puede haber muchos P-frames y B-frames entre cada I-frame, y como la mayoría de las secuencias de video tienen imágenes similares por largos períodos de tiempo, es posible obtener una compresión más amplia con esta técnica.

En la figura 3 se aprecia el proceso de codificación para el intra-frame e inter-frame.

Figura 3. Proceso de compresión Intra-Frame e Inter-Frame



Fuente: Anthony Wynn-Ruffead. *Pressing Matters -Compression*. 2003.

El número consecutivo de imágenes inter-frame es referido como duración GOP (Grupo

¹⁴Ramon Molins. *FotoNostra*. 2002.

de Imágenes). La distancia entre I-frames es mayor mientras que el GOP sea mayor, por lo que los cuadros intermedios de los I-frames serán reconstruidos con interpretaciones del mismo ya sea con P-frames o B-frames.

El beneficio de utilizar sólo compresión intra-frame es que generalmente es mucho más “liviano” para procesar, dado que no requiere la utilización repetitiva de múltiples frames guardados en la memoria. También hay mucha menos latencia en el proceso de codificación, por lo que las imágenes comprimidas se crean mucho más rápido¹⁵.

4.2.1 H265/ HEVC (Recommendation ITU-T H.265)

HEVC (Codificación de Video de Alta Eficiencia) ó H265, es un estándar de compresión de video diseñado por el JCT-VC (Equipo de Colaboración Conjunta en Codificación de Video), el cual reunió a expertos de codificación en imagen y video de distintos lugares del mundo para producir este estándar. El códec es aprobado por dos organizaciones como lo son el MPEG (Grupo de Expertos en Imágenes) publicando el estándar como la norma ISO/IEC 23008-2 y la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) publicando el estándar como ITU-T H.265.

El códec H.265/HEVC¹⁶ fue diseñado con el propósito de ofrecer el doble de eficiencia de compresión que el estándar H.264/AVC. Aún así la eficiencia en la compresión del códec H.265 varia dependiendo del contenido y configuración del mismo. HEVC además de comprimir el video a la mitad de peso (o mitad de bitrate) en comparación con el H.264/AVC, entrega una mejora significativa en la calidad visual.

Características del codificador H.265/HEVC¹⁷

- Los estándares en compresión de video poseen una técnica donde bloques de píxeles son codificados haciendo referencia a otra área en el mismo cuadro (intra-prediction), o en otro cuadro (inter-prediction), dicha técnica es conocida como “motion compensated prediction”¹⁸.
- H.264/AVC comprime en macrobloques de hasta 16x16 píxeles, HEVC puede comprimir a un rango más amplio de hasta 64x64 píxeles.
- HEVC incluye un método sofisticado para mejorar la inter-predicción, dicho método fue llamado “Predicción de movimiento de vectores adaptativo”.
- El códec H265 reduce La tasa de bits hasta en un 50% obteniendo una calidad de video buena y estable en comparación con el códec H.264.
- Este codificador lleva integrado un filtro llamado “Sample Adaptive Offset” que reduce el ruido en los bordes de los bloques.

¹⁵Sam Blackman. “A primer on inter- vs. intra-frame video compression”. En: (2008).

¹⁶H ITU-T. “265: High efficiency video coding”. En: *ITU-T Recommendation H 265* (2013).

¹⁷Oscar F. “¿Qué es HEVC/ H.265?” En: (2015).

¹⁸Keith Wymbs. “El HEVC desmitificado”. En: (2013).

4.2.2 FFmpeg

Es un proyecto de código libre licenciado bajo GNU GPL utilizado para codificar, decodificar, grabar, convertir, reproducir audio y video de manera local o a través de la red. Es un software desarrollado bajo Linux y puede ser compilado en diferentes sistemas operativos¹⁹.

Maneja parámetros característicos de audio y video como imágenes por segundo, resolución, tasa de bits, relación de aspecto, compresión y número de canales de audio. Contiene elementos principales como la herramienta que permite procesar archivos multimedia y convertirlos en distintos formatos, los cuales se pueden reproducir a través de FFplay. Incluye un servidor de streaming (FFserver) y además un elemento (FFprobe) que obtiene información de los recursos multimedia para mostrarlos en pantalla.

Incorpora algunas bibliotecas como:

- Libavformat: Contiene los multiplexores-demultiplexores empleados para determinar el tipo de archivo e identificar sus códecs asociados.
- Libavcodec: Comprende todos los códecs de FFmpeg, para consultar información acerca del streaming, además para codificar y decodificar el archivo multimedia.
- Libavutil: Abarca todas las rutinas comunes en las diferentes partes del software.

FFmpeg provee un framework que determina el tipo de archivo, enumera los streaming multimedia que contiene, identifica los códecs necesarios para decodificar y opcionalmente guarda los streaming en un formato determinado.

4.2.3 CRF (Factor de Tasa Constante)

Este parámetro permite que el codificador consiga una determinada calidad de salida para todo el archivo cuando el tamaño del video es de menor importancia. Esto proporciona la máxima eficiencia de compresión con una sola pasada. Cada fotograma obtiene la tasa de bits que necesita para mantener el nivel de calidad requerido. La desventaja es que no se puede especificar el tamaño o tasa de bits del archivo de salida²⁰.

El CRF se puede configurar entre 0 y 51, donde los valores más bajos se traducirán en una mejor calidad (a expensas de mayores tamaños de archivo). Los valores que establecen una buena compresión en el codificador H265/HEVC están entre 23 y 32 cuyo valor recomendado para una buena relación tamaño-calidad es 28, el cual se puede utilizar como un punto de referencia²¹.

¹⁹Fabrice Bellard, M Niedermayer, et al. "Ffmpeg multimedia system". En: (2005).

²⁰Werner Robitza. "CRF Guide, CRF stands for Constant Rate Factor". En: (2015).

²¹"FFmpeg and H.265 Encoding Guide". En: (2015).

4.3 PRUEBAS SUBJETIVAS

4.3.1 MOS (Mean Opinion Score)

La forma más confiable para medir la calidad de un video es a través de la evaluación subjetiva realizada por un conjunto amplio de personas que opinan acerca de su percepción. Con estas opiniones se puede calcular la métrica MOS²² (Puntaje de Opinión Media) la cual es aceptada como medida de la calidad.

Esta evaluación subjetiva debe ser ejecutada en ambientes controlados, de tal forma que todos los asistentes a la evaluación observen los videos bajo las mismas condiciones; lo que conlleva a la necesidad de estandarizar la forma en que se realizan estas evaluaciones a través de recomendaciones que permitan luego comparar los resultados de una misma evaluación entre sí, y a su vez, comparar evaluaciones realizadas en diferentes lugares y por diferentes personas.

4.3.2 Métodos subjetivos para medir la calidad percibida de video

Los métodos subjetivos son los más confiables, sin embargo son difíciles de implementar. Se requiere bastante tiempo para preparar las condiciones bajo las que se realiza la prueba, involucra a un conjunto de personas “no expertas” que dispongan de la voluntad y el tiempo para realizar las evaluaciones; además son necesarios períodos de procesamiento antes y después de realizar la prueba.

Diversos métodos subjetivos de evaluación de la calidad de video son reconocidos, y están estandarizados en las recomendaciones ITU-R BT.500-11²³, especialmente desarrollada para aplicaciones de televisión donde se detallan los métodos DSIS, DSCQS, SSCQE y SDSCE, e ITU-T P.910²⁴ para aplicaciones multimedia la cual propone los métodos ACR, DCR y PR. Todos ellos se describen a continuación.

4.3.2.1. Métodos propuestos en ITU-R BT.500-11

DSIS (Escala de degradación con doble estímulo)

Este método consiste en comparar dos secuencias de videos, uno dado por la señal degradada y el otro por la señal original. Proporciona una evaluación precisa de la transparencia o fidelidad del sistema que procesa las secuencias, puesto que el observador compara directamente la secuencia original con la degradada. Además evalúa métricas de tipo FR (Referencia Completa), en las que se dispone de la señal original para realizar la predicción; las señales pueden ser videos o imágenes. En el

²²ITU Union. “ITU-T Recommendation P.800.1: Mean Opinion Score (MOS) terminology”. En: *International Telecommunication Union, Tech. Rep* (2006).

²³ITU-R BT Recommendation. “500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11”. En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, ITU Telecom* (2002).

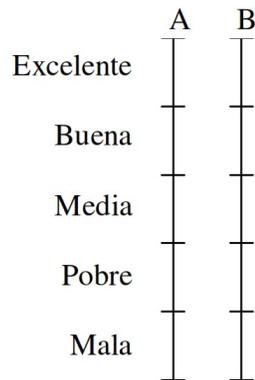
²⁴ITUT Recommendation. “P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications”. En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, Geneva* (2008).

desarrollo de este método se deben tener en cuenta las condiciones de visualización, iluminación del ambiente, ubicación de las personas con respecto al monitor o televisor, entre otras; las cuales están controladas y detalladas en la recomendación.

DSCQS (Escala de calidad continua de doble estímulo)

En este método se requiere que los participantes evalúen la calidad de ambas señales. Es decir, se debe calificar tanto la señal de referencia (señal “A”) como la señal degradada (señal “B”). La calificación se efectúa en base a una escala continua indicada en la figura 4:

Figura 4. Escala DSCQS



Fuente: ITU-R BT Recommendation. “500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11”.
En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, ITU Telecom* (2002).

La escala continua mide diferencias más precisas entre la señal original y degradada, además permite categorizar a la segunda señal con mejor calidad que la primera, lo cual es útil en el caso de utilizar este método para evaluar algoritmos que intenten mejorar la calidad.

SSCQE (Evaluación de calidad continua de estímulo único)

En este método se muestra una única secuencia de video a ser evaluada, no obstante este puede o no tener degradaciones. A diferencia de los otros métodos, se presenta una evaluación continua de la calidad del video y no sólo una calificación general.

Para ello se maneja un cursor móvil, conectado a una computadora, que permite registrar en forma continua las calificaciones. Se utiliza la misma escala presentada en el método DSCQS. Dado que se toman muestras de la evaluación en forma continua, se puede determinar a cada instante del video su correspondiente calificación, lo que permite tener en forma mucho más detallada el efecto perceptual de cada una de las degradaciones.

SDSCE (Método de doble estímulo simultáneo para evaluación continua)

Los métodos anteriormente presentados tienen algunas carencias para medir la calidad del video. El período para observar las secuencias con los métodos anteriores está

limitado generalmente a diez segundos, lo que no es suficiente para que el observador tenga un juicio representativo.

Con este método el grupo de personas observa dos secuencias al mismo tiempo: una es la señal original y la otra es la señal degradada a evaluar. Ambas son presentadas dentro de un mismo monitor, o en dos monitores alineados. Se solicita a los sujetos que comprueben las diferencias entre las dos secuencias y juzguen la fidelidad de la señal a calificar moviendo el cursor del dispositivo manual.

Cuando la fidelidad es perfecta, el cursor debe estar en la parte superior de la escala (codificada con el valor 100), cuando es nula, el cursor debe estar en la parte inferior de la escala (codificada con el valor 0).

4.3.22. Métodos propuestos en ITU-T P.910²⁵

ACR (Índices por categorías absolutas)

En este método las secuencias de prueba son presentadas una por vez y calificadas independientemente en una escala de categorías. El método requiere que después de cada presentación los sujetos deben evaluar la calidad de la secuencia mostrada. El tiempo de votación debe ser igual o inferior a diez segundos, dependiendo del mecanismo utilizado. El tiempo de presentación se puede reducir o aumentar de acuerdo con el contenido del material de prueba.

DCR (Índices por categorías de degradación)

El método DCR implica la presentación de las secuencias de prueba por pares: el primer estímulo presentado en cada par es siempre la señal original, mientras que el segundo estímulo es la señal degradada. Se pueden presentar las señales original y degradada en forma serial, una a continuación de la otra, o en forma conjunta, en el mismo monitor. El tiempo de votación debe ser igual o inferior a diez segundos, dependiendo del mecanismo de votación utilizado. El tiempo de presentación se puede reducir o aumentar de acuerdo con el contenido del material de prueba.

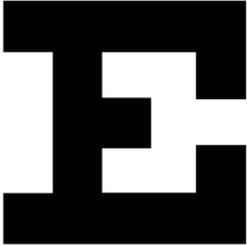
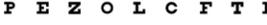
4.3.3 Agudeza visual - Test Snellen

La agudeza visual es la principal característica evaluada para determinar que tan bien ve una persona. En la actualidad, una de las pruebas más utilizadas para medir la agudeza es el test de Snellen²⁶ que se ilustra en la figura 5:

²⁵Recommendation, "P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications".

²⁶Alejandro León Álvarez and Jorge Mario Estrada. "Prueba piloto para determinar la reproducibilidad de la carta de Snellen al evaluar la agudeza visual en sujetos jóvenes". En: *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular* 7.1 (2009), pp. 13-24.

Figura 5. Prueba de Snellen

	1	20/200
	2	20/100
	3	20/70
	4	20/50
	5	20/40
 	6	20/30
	7	20/25
 	8	20/20
	9	
	10	
	11	

Fuente: Wikipedia. Dahl Jeff. *File:Snellen chart.svg*. [Online; accessed 14-Febrero-2016]. 2008.

Con esta prueba es posible estudiar la capacidad que tiene el ojo humano de diferenciar objetos a distancias considerables. La agudeza visual alcanza varias decenas de metros en las personas con una vista sana, pero esta capacidad se puede ver disminuida por alteraciones oculares como la miopía (visión borrosa para los objetos lejanos) o la hipermetropía (visión borrosa para los objetos cercanos) en las que el ojo tiene dañado su mecanismo de refracción y enfoca de una manera errónea.

4.4 PRUEBAS OBJETIVAS

Los métodos objetivos se han desarrollado con el fin de reemplazar la evaluación subjetiva que estima la calidad de video percibida por los usuarios. Estos métodos se basan en analizar el contenido y las características del material a evaluar mediante algoritmos y fórmulas matemáticas, para lograr como resultado una estimación de la calidad equivalente a la que evalúa el observador, siendo esta el mayor desafío.

En general, los métodos objetivos para medir la calidad de video pueden categorizarse según el análisis de los parámetros de codificación y transmisión o el análisis del video en especial.

4.4.1 Métodos objetivos para medir la calidad percibida de video

Hasta la fecha no hay métodos que permitan cuantificar de manera objetiva la calidad percibida del video que aplique para cualquier caso, en donde se incluyan diferentes codificadores, formatos de pantalla, tasas de bits, imágenes por segundo, ambientes de transmisión, etc. No obstante, existen diversas propuestas de métodos o modelos de medida, adaptados únicamente a ciertas condiciones.

Varios de estos modelos han sido estandarizados por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Además, muchos otros modelos han sido expuestos en distintas publicaciones y congresos²⁷.

4.4.11. Modelos paramétricos

Los modelos paramétricos predicen la calidad de vídeo percibida basado en un conjunto reducido de parámetros (relación de aspecto, tasa de bits, imágenes por segundo, porcentaje de pérdida de paquetes), relacionados con el proceso de codificación, el contenido de vídeo o la información de la red. Los parámetros son determinados con anterioridad o enviados a través del transmisor²⁸.

La estimación de la calidad de video percibida en función de diferentes parámetros

²⁷Kai Zeng, Abdul Rehman, Jiheng Wang, and Zhou Wang. “From H. 264 to HEVC: Coding gain predicted by objective video quality assessment models”. En: *International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, (Feb 2013). 2013.

²⁸Joskowicz, Sotelo, and Arado, “Comparison of parametric models for video quality estimation: Towards a general model”.

se obtiene muy rápidamente como resultado de una fórmula matemática directa. Los modelos paramétricos son fáciles de aplicar ya que no hay necesidad de acceso completo a la fuente de video original. Pueden aplicarse al diseño, las evaluaciones o la monitorización en tiempo real de la red.

4.4.12. Modelos basados en el análisis del contenido

Estos modelos basan su funcionamiento especialmente, en el análisis detallado del contenido del video. Los modelos a su vez se clasifican de acuerdo a la disponibilidad total, parcial o nula de la señal del video original.

Métodos con disponibilidad total de la señal original (FR - Referencia completa)

Básicamente, la señal de video original se contrasta con la señal de video degradado cuadro por cuadro. Estos métodos pueden ser utilizados para clasificar en forma objetiva un codificador, un sistema de transmisión, el efecto que puede producir un ancho de banda pequeño o para medir factores que degraden las señales mediante ambientes controlados.

Sin embargo, su principal desventaja es la imposibilidad de trabajar en aplicaciones de tiempo real ya que no es posible contar con las señales originales.

Métodos con disponibilidad parcial de la señal original (RR - Referencia reducida)

A través del canal de transmisión se envían junto con el video codificado ciertos parámetros que caracterizan a la señal de video original. Se selecciona un ancho de banda específico para el envío de este tipo de información adicional.

Así el tamaño del archivo será un poco más grande, a cambio de tener una referencia en el receptor para poder medir la calidad percibida.

Métodos sin disponibilidad de la señal original - NR (Sin referencia)

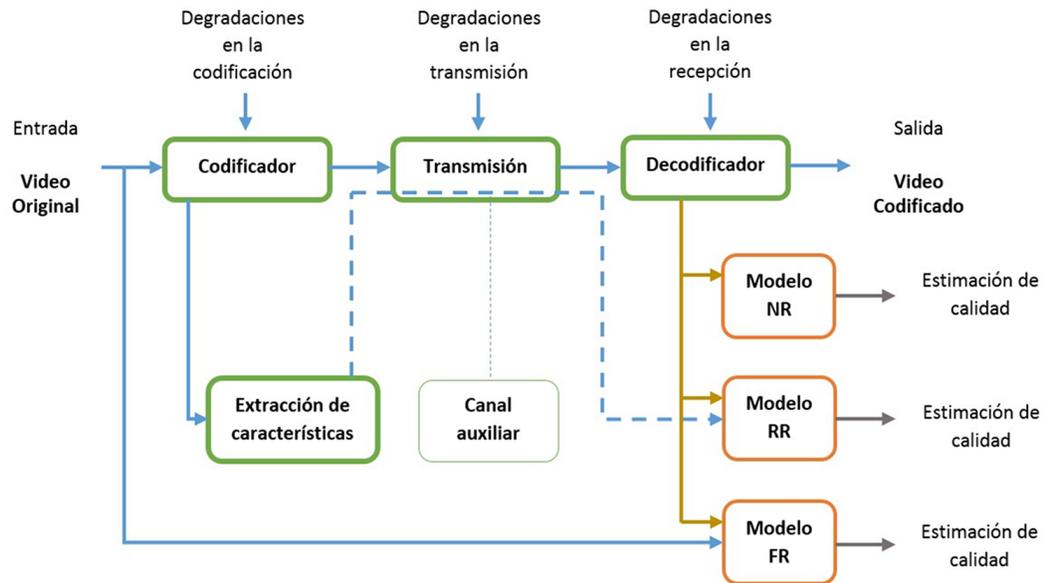
Estos métodos estiman la calidad de video percibida basándose exclusivamente en el análisis de la señal que llega al receptor, luego de la codificación y la transmisión. Son los más complejos al momento de implementar, pero su ventaja radica en que no se requiere de otra información diferente a la del propio video recibido y degradado.

De cierta manera es análogo a la evaluación subjetiva que realizan las personas, ya que al momento de calificar un servicio de video el cliente no cuenta con la señal original, ni con información adicional para juzgar la calidad de una señal de video, solo se basa en experiencias anteriores y en las expectativas que tenga respecto al sistema.

El sistema de cualquiera de los tres métodos descritos anteriormente se referencia en la figura 6:

El modelo FR toma como entrada el video original y el video degradado para estimar la calidad de este último. El modelo RR solo necesita del video degradado y algunas características de la señal original enviadas a través del canal transmisor para estimar la calidad. El modelo NR utiliza únicamente el video degradado para estimar su calidad.

Figura 6. Esquema de modelos de FR, RR y NR



Fuente: José Joskowicz and Rafael Sotelo Bovino. “Modelo de estimación de calidad de video: video quality experts groups”. *En: Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica* 10 (2012), pp. 7–17.

4.4.2 Modelos existentes de estimación de calidad de video basados en el análisis del contenido

Muchos modelos han sido desarrollados para diferentes aplicaciones específicas (SDTV, HDTV, Multimedia) y publicados en organismos internacionales dedicados exclusivamente a la estandarización de métricas de calidad de video.

4.4.2.1. MSE (Error Medio Cuadrático) y PSNR (Relación Señal a Ruido Pico)

Estas medidas objetivas de la calidad del video requieren de la secuencia original para poder ser calculadas y están basadas en obtener las diferencias, píxel a píxel, entre el video original que se encuentran previo a la compresión y el video degradado que se obtienen luego del proceso de reconstrucción.

Las medidas más simples de este tipo son el MSE (Error medio cuadrático), RMSE (Raíz cuadrada del error medio cuadrático) y el PSNR (Relación señal a ruido de pico).

Es necesario determinar la relación de aspecto, el rango dinámico que pueden tomar los valores por cada píxel y es fundamental que los videos original y degradado estén alineadas espacial y temporalmente.

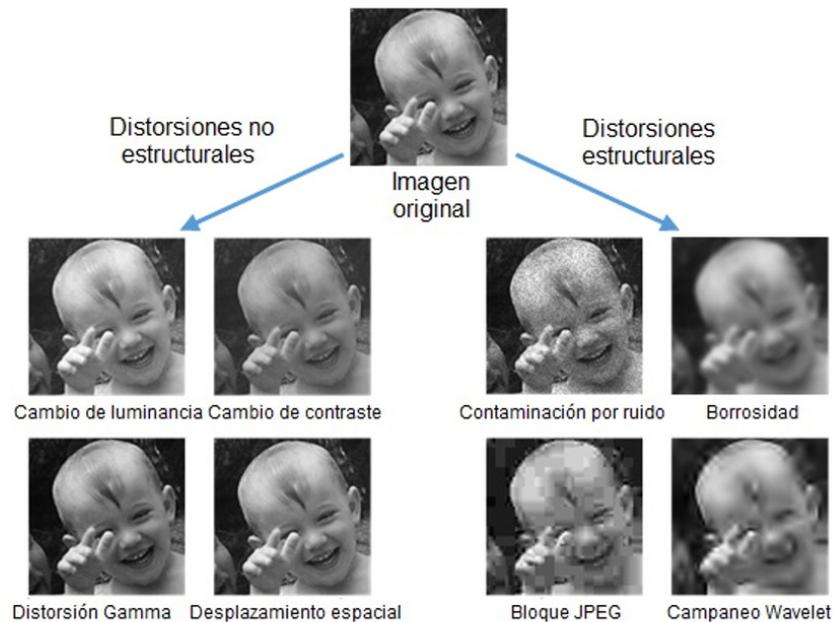
4.4.22. UIQI (Índice de Calidad de Imagen Universal) y SSIM (Índice de Similitud Estructural)

El índice de calidad de imagen universal define la distorsión del video como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y distorsión de contraste.

En lo que constituye al índice de similitud estructural, este es una versión mejorada del UIQI, el cual tiene una perspectiva diferente; en este modelo, la similitud entre el video original y degradado depende de la similitud entre sus luminancias, contrastes y estructuras.

El modelo presenta la definición de cada una de estas funciones, en donde la función de comparación de luminancia debe tener en cuenta la ley de Weber-Fechner²⁹ y la función de similitud general debe ser simétrica, acotada y tomar un valor máximo igual a la unidad cuando los videos a comparar son los mismos. En figura 7 se observan las características mencionadas.

Figura 7. Distorsiones estructurales y no estructurales



Fuente: Zhou Wang and Alan C Bovik. "Mean squared error: love it or leave it? A new look at signal fidelity measures". *En: Signal Processing Magazine, IEEE* 26.1 (2009), pp. 98–117.

²⁹Stefan Winkler. *Digital video quality: vision models and metrics*. John Wiley & Sons, 2005, pp. 20–22.

4.5 INTERVALOS DE CONFIANZA

Calcular un intervalo de confianza para la estimación de parámetros permite expresar qué valores se pueden esperar. El intervalo calculado depende de tres factores: el primero es la estimación de la muestra (porcentaje, media, desviación); el segundo es el tamaño de la muestra, en donde entre más datos, más pequeña es la diferencia entre el valor estimado y el valor desconocido. Un tercer factor es la probabilidad o nivel de confianza con la que el método brinde una respuesta correcta; los niveles más habituales para determinar el intervalo de confianza son el 95 y 99 por ciento³⁰.

Cada una de las medidas MOS tendrá un intervalo de confianza que se obtiene a partir de la desviación estándar y el tamaño de cada muestra. Según la recomendación ITU-R BT.500-11³¹, se utiliza un intervalo de confianza del 95%, que viene dado por:

$$[MOS - \delta_{kr}, MOS + \delta_{kr}]$$

$$\delta_{jr} = 1,96 \cdot \frac{\delta_{kr}}{\sqrt{N}}$$

La desviación estándar de cada presentación, S_{kr} viene dada por:

$$S_{kr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(MOS - u_{ikr})^2}{N - 1}}$$

Donde N es el número de espectadores y u_{ikr} es la nota del observador i para la secuencia k en la repetición r .

Estos cálculos asumen una distribución normal de la población.

³⁰FJ Barón López and F Téllez Montiel. “Apuntes de bioestadística”. En: *Apuntes de Bioestadística* (2000).

³¹Recommendation, “500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11”.

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

Este capítulo describe la forma en que se realizó la evaluación subjetiva, así como el análisis y proceso de adaptación de las métricas objetivas estandarizadas en videos 2D. Por último se explica fase por fase el procedimiento para lograr el diseño del modelo objetivo para calidad de video 3D anaglifo.

5.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUBJETIVA

En este primer apartado se realizará una descripción de la prueba subjetiva realizada durante la ejecución del proyecto. El objetivo del experimento es la valoración subjetiva de la calidad de un número determinado de secuencias de video.

La manera más segura y fiable de determinar la calidad de las secuencias de video es mediante la evaluación subjetiva, ya que las personas son los receptores finales.

Antes de comenzar la evaluación se tuvo en cuenta recomendaciones como la realización de una prueba Snellen³², adaptar el escenario a ciertos requerimientos y además se hizo el diseño de una aplicación web para que el usuario pudiese brindar su opinión directamente desde un dispositivo móvil.

5.1.1 Prueba Snellen

Antes de iniciar con la prueba subjetiva, se pidió a los espectadores que se sometieran a una prueba Snellen para determinar su agudeza visual normal (o corregida) tal como se sugiere en la recomendación ITUT 500-11³³.

Se imprimió el panel de Snellen en una página de formato estándar A4 y se solicitó a los espectadores colocarse a 2,8 metros frente a ella. Para la correcta realización de la prueba se pidió empezar con un ojo a la vez; primero con el ojo derecho, cubriendo el izquierdo sin presionarlo, seguidamente para examinar el ojo izquierdo se pidió hacer lo contrario.

Si el test de Snellen es aplicado sobre la pantalla del monitor, es necesario seguir los siguientes pasos para calcular a qué distancia debe posicionarse el evaluador del panel:

Primero será necesario medir la altura de la letra E (primera línea, 20/200) en milímetros, después se debe dividir el valor de la medida anterior por 88 y luego multiplicarla por 6.

³²Álvarez and Estrada, "Prueba piloto para determinar la reproducibilidad de la carta de Snellen al evaluar la agudeza visual en sujetos jóvenes".

³³Recommendation, "500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11".

Figura 8. Prueba Snellen



Fuente: Autores.

El resultado muestra la distancia, en metros, a la cual deberá colocarse el espectador frente al panel.

La persona evaluada lee las letras que están contenidas en la hoja, desde la más grande a la más pequeña. Para que el examen sea más fácil, una segunda persona indicará las letras que el evaluador debe leer en las diferentes líneas de la hoja.

Si la persona que realiza la prueba de agudeza visual puede leer la línea correspondiente a 20/20, su visión es óptima.

Luego de verificar que todos los participantes en esta prueba tenían una visión óptima, estos ingresaron a la sala diseñada para las sesiones de la evaluación subjetiva.

Antes de iniciar la evaluación subjetiva sobre la calidad de video 3D anaglifo se familiarizó detenidamente a los evaluadores con el método de evaluación aplicado, el factor de calidad y los tipos de degradaciones que probablemente se reproducirían, la escala de apreciaciones, las secuencias de video utilizadas y la temporización.

5.1.2 Condiciones de observación

En las condiciones de observación se siguió la recomendación ITU-T P.910³⁴. Para el desarrollo de la evaluación se empleó un monitor Panasonic de 50" con una resolución de 1920x1080 píxeles. La distancia de observación fue de cinco veces la altura de la pantalla del televisor.

Para conseguir una iluminación de fondo menor de 20 lux; se apagaron todas las fuentes de luz y se cubrieron todas las ventanas de la sala de pruebas con bolsas de plástico negras.

Cada sesión de pruebas se preparó para no exceder una duración de quince minutos aproximadamente. Se tiene en cuenta que durante la realización de las pruebas se incluyeron dos reiteraciones (repeticiones de condiciones idénticas) para calcular la fiabilidad individual de cada evaluador.

A continuación se detalla la prueba:

- 24 pares de secuencias.
- 2 pares de secuencia de repeticiones.
- Cada secuencia duró 10 segundos.
- 64 pares de secuencias gris.
- Secuencia gris de 5 segundos.

Por lo tanto, la duración de la prueba se estimó en:

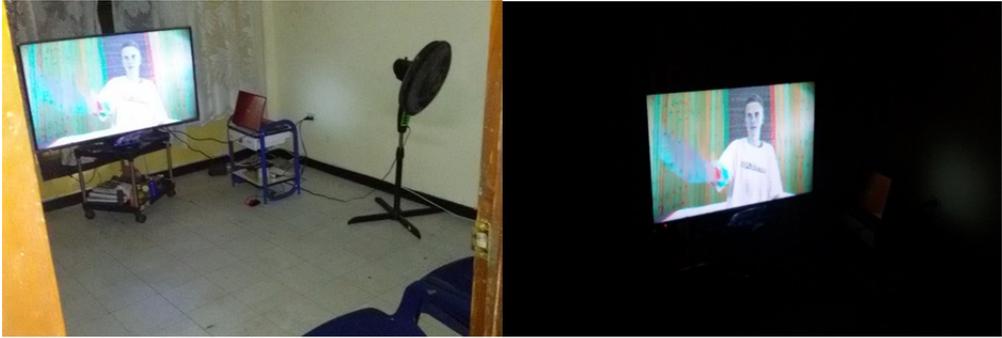
Duración de la prueba = 2 pares de secuencia de repeticiones · (24 pares de secuencias · 10 seg. duración) + 64 pares de secuencias gris · 5 seg. gris = 800 seg.

Con una duración media de secuencia de diez segundos, se obtiene una duración de prueba de trece minutos y treinta segundos. A ello hay que sumar el tiempo empleado en las pruebas visuales explicadas anteriormente.

Se puede observar dicho escenario en las siguientes imágenes con luz, donde se identifican los elementos utilizados y sin luz para contemplar la habitación mostrada a los espectadores.

³⁴Recommendation, "P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications".

Figura 9. Escenario de evaluación para la prueba subjetiva



(a)



(b)



(c)

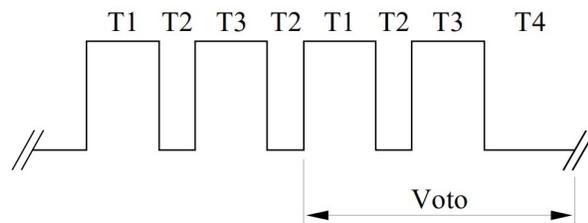
Escenario de la prueba subjetiva: (a) Vista desde afuera del escenario, (b) Vista desde el televisor, (c) Vista desde los espectadores. Fuente: Autores.

5.1.3 Realización de la evaluación subjetiva

Se eligió para la ejecución de esta evaluación el método DSIS (Escala de degradación con doble estímulo), debido a que es el único que permite calificar el nivel de degradación entre el video original y el degradado. Al principio de cada sesión se explicó a los 21 observadores sobre el tipo de evaluación, la escala de apreciación, la secuencia y la temporización.

Cabe resaltar que el número de observadores mínimo para realizar la evaluación subjetiva es quince según recomendaciones internacionales. Se dejó claro que la peor calidad observada no necesariamente corresponde a la nota subjetiva más baja y que su apreciación fuese basada en la impresión global que perciben de los videos. Se pidió a los espectadores que observen los videos durante los periodos T1 y T3, en el periodo T2 se establecio mostrar una imagen gris de poca duración, por último la votación se debe realizar únicamente durante T4, como se observa en la figura 10:

Figura 10. Estructura de presentación del material de prueba



- Periodos de presentación.
T1 = 10 seg Video de referencia
T2 = 3 seg Gris mediano
T3 = 10 seg Video a evaluar
T4 = 10 seg Gris mediano
Fuente: Autores

El método DSIS tiene una categoría de valores para interpretación MOS donde los espectadores escogen una de entre cinco opciones, tal como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Categorías de valores para DSIS

La degradación es imperceptible	5
La degradación es imperceptible, pero no molesta	4
La degradación es ligeramente molesta	3
La degradación es molesta	2
La degradación es muy molesta	1

Fuente: ITU-R BT Recommendation. "500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11". *En: Standardization Sector of International Telecommunication Union, ITU Telecom (2002).*

Según la recomendación, las categorías de valores deben presentarse al espectador en un papel impreso; más sin embargo se optó por diseñar una aplicación web para dicho propósito. En total se utilizaron tres videos, unos con alta movilidad y otros con baja movilidad, con el objetivo de crear una métrica que funcione con distintos tipos de movimiento. A cada video se le aplicó cuatro degradaciones, hubo un total de tres sesiones y para cada una de ellas los espectadores calificaron cuatro medidas MOS.

5.1.4 Aplicación Web

Se utilizó la herramienta XAMPP³⁵ la cual permite visualizar una página web de forma local y un editor de HTML - PHP para diseñar la aplicación. Se optó por crear un panel de administración, el cual tiene como función cargar los videos de la prueba, crear, habilitar y administrar sesiones para luego exportar hacia una base de datos las calificaciones obtenidas de los espectadores. La interfaz y manejo del panel de administración se encuentra en el anexo C.

La aplicación recoge datos personales tales como la edad, género y estudios realizados o en curso, con el propósito de obtener más información de las personas evaluadas. La interfaz grafica se puede apreciar en la figura 11:

Figura 11. Información general de los evaluadores

(a) Edad

(b) Género

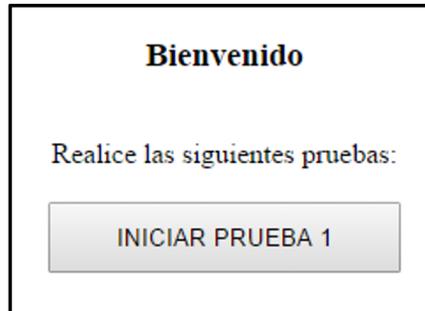
(c) Nivel académico

Fuente: Autores.

³⁵Apache Friends. "XAMPP Apache+ MySQL+ PHP+ Perl". En: línea]. Disponible: <https://www.apachefriends.org/es/index.html>. [Último acceso: marzo 2015] (2014).

Cuando cada espectador ingresó los datos anteriormente mencionados, la aplicación les dio la bienvenida y seguidamente la opción de iniciar la prueba 1.

Figura 12. Inicio de la prueba 1 en la aplicación web



Fuente: Autores.

Después que los observadores iniciaron con la prueba 1, se les mostró los videos original y degradado. Se solicitó evaluar los videos usando la escala de calificación del método DSIS. Se puede apreciar la escala en la figura 13:

Figura 13. Escala de calificación DSIS en la aplicación web



Fuente: Autores.

Así sucesivamente se continuó con la evaluación subjetiva hasta terminar las sesiones de prueba establecidas. Todos los datos y calificaciones efectuadas se guardaron en una base de datos tal como se muestra en las figuras 15 y 16 del anexo C. Posteriormente fueron exportadas a un formato .xlsx para su correcto análisis.

5.2 MODELO OBJETIVO

En esta sección se detallará el modelo de evaluación objetivo diseñado para video 3D anaglifo, se describirán las técnicas en las que se basa, se especificará su estructura, diseño e implementación. Para ello se opta por la combinación de medidas basadas en detección del error y técnicas basadas en distorsión estructural.

Se escogen estos dos tipos de medida porque ambas aportan a la percepción de calidad objetiva desde diferentes perspectivas. El sistema visual humano está adaptado para extraer información estructural y detectar cambios en las señales, razón por la cual es necesario presentar una medida objetiva de pérdida de información estructural. Por otro lado, una aproximación basada en detección de error también es importante, ya que estima los errores percibidos que presenta la señal degradada comparada con la señal original.

5.2.1 Medidas de calidad basadas en la detección del error

Un video puede modelarse como suma de una señal de error y una señal perfecta, así, la pérdida de calidad está directamente relacionada con la potencia de esta señal de error. De manera que si se cuantifica el error entre las señales original y degradada, este valor puede ser categorizado como una forma natural de evaluar la calidad. Altos valores de error corresponden a una mala calidad de la imagen.

Para el modelo propuesto se tienen en cuenta las medidas que corresponden al error cuadrático medio y a la relación señal a ruido, las cuales se precisan a continuación:

MSE (Error cuadrático medio)

$$MSE = \frac{1}{MNT} \sum_{i=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^T [x(m, n, t) - y(m, n, , t)]^2 \quad (1)$$

36

Donde la imagen tiene $M \times N$ píxeles y T cuadros; x , y corresponde a los píxeles de la señal original y la señal degradada respectivamente.

PSNR (Relación señal a ruido de pico)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{L^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

37

Donde L es el rango dinámico que pueden tomar los valores que representan a las señales original o degradada. Como el modelo presenta señales de 8 bits por píxel, L toma el valor de 255.

³⁶Ahmet M Eskicioglu and Paul S Fisher. “Image quality measures and their performance”. En: *Communications, IEEE Transactions on* 43.12 (1995), pp. 2959–2965.

³⁷Zhizhong Zhe and Hong Ren Wu. “A new way of pooling: starting from an image quality measure”. En: *Signal Processing, 2004. Proceedings. ICSP'04. 2004 7th International Conference on*. Vol. 2. IEEE. 2004, pp. 1080–1083.

5.2.2 Técnicas de calidad basadas en la distorsión estructural

Los cambios estructurales en la señal desenfocada y comprimida son relevantes. Para el modelo propuesto se tienen en cuenta los métodos de comparación estructural que pueden relacionar la similitud o diferencia que existe entre las señales directamente, los cuales se precisan a continuación.

UIQI (Índice de calidad de imagen universal)

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\mu_x \mu_y}{(\mu_x^2 + \mu_y^2)} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)} \quad (3)$$

38

Medias

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (4)$$

Desviaciones estándar

$$\sigma_x = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)^{1/2} \quad \sigma_y = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

Covarianza

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(x_i - \mu_y) \quad (6)$$

Donde x , y corresponde a los píxeles de las señales original y degradada respectivamente. El índice Q mide cualquier distorsión combinando tres factores: pérdida de correlación, distorsión de media y distorsión de contraste.

La primera componente del índice Q determina un coeficiente que mide el grado de correlación entre la señal original y la señal degradada, la segunda y tercera componente mide la similitud entre los valores medios y los contrastes de las dos señales.

La calidad se evalúa de manera local, utilizando una ventana deslizante de tamaño igual a 8x8 píxeles, la cual empieza desde la esquina superior izquierda y se va moviendo

³⁸Zhou Wang and Alan C Bovik. "A universal image quality index". *En: Signal Processing Letters, IEEE* 9.3 (2002), pp. 81-84.

píxel por píxel horizontal y verticalmente a través de toda la señal hasta que alcanza la esquina inferior derecha.

Luego de obtener el índice Q para cada ventana, se promedian estos valores para obtener un único valor de calidad.

SSIM (Índice de similitud estructural)

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (7)$$

39

Funciones de comparación

$$SSIM = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (9)$$

Constantes

$$C_1 = (K_1L)^2 \quad C_2 = (K_2L)^2 \quad C_3 = C_2/2 \quad (10)$$

Donde x, y corresponde a los píxeles de las señales original y degradada respectivamente. Las funciones l, c y s definen las medidas de luminancia, contraste y comparación estructural.

Las medias, desviaciones estándar y covarianza se determinan de la misma manera que en el índice Q .

Las constantes se determinan a partir del rango dinámico y de otras dos que se fijan experimentalmente como $K_1 = K_2 = 0,001$. Estas constates tienen efecto cuando la suma de las medias o la suma de las varianzas son prácticamente nulas.

El algoritmo SSIM utiliza una ventana deslizante de tamaño igual a 8x8 píxeles, en donde localmente se calcula el índice de calidad $SSIM$.

La ventana se desplaza píxel a píxel desde la parte superior izquierda hasta la parte inferior derecha de la imagen. Esto resulta en un mapa de índices SSIM de la señal, los cuales se promedian para dar un único valor de calidad.

³⁹Zhou Wang and Alan C Bovik. "Modern image quality assessment". En: *Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing* 2.1 (2006), pp. 1-156.

Figura 14. Secuencias empleadas en el diseño del modelo



Fuente: (a) y (b). Tom Gifford. *3DN3D*. (c). Greenzero. *PANGEA The Neverending World*

5.3 TRATAMIENTO DE LAS SECUENCIAS DE VIDEO

Se utilizó el estándar de codificación H.265/ HEVC para las secuencias empleadas en el modelo. Se dispuso de doce secuencias de video codificadas a diferentes parámetros para obtener una calidad distinta en cada una de ellas, a partir de tres secuencias fuente de video 3D anaglifo de resolución full HD para un total de quince secuencias.

Cada una de las secuencias tiene un tiempo de duración de diez segundos. Aunque el propósito es obtener una medida con resultados muy precisos sobre la calidad de video, también es necesario reducir la carga computacional a través del uso de la herramienta de software libre FFmpeg.

5.4 ESTRUCTURA DEL MODELO

El modelo propuesto está basado principalmente en las técnicas explicadas en los apartados 5.2.1 y 5.2.2 de este capítulo, sin embargo, estas técnicas solo están descritas para estudiar la calidad de una pequeña parte de un fotograma, que junto a los demás fotogramas constituyen el conjunto que define a la secuencia de video.

A lo largo de esta sección se establecen todos los detalles anteriormente mencionados; y se plantea el uso de tablas que permitan fijar la correlación entre la medida objetiva final y MOS.

El estándar RGB que representa la imagen anaglifo está dado por la ecuación 11.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_2 \\ G_2 \\ B_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Donde R_1 , G_1 , B_1 y R_2 , G_2 , B_2 representan el RGB de las imágenes del ojo izquierdo y derecho. Las fuentes de video consultadas nos entregan el video ya procesado en modo anaglifo.

Implícitamente, al momento de extraer los fotogramas de la secuencia de video utilizando el software FFmpeg; el espacio de color (YCbCr) de este se transforma al estándar RGB para cada uno de los fotogramas.

La ecuación 12 describe la conversión de color YCbCr a RGB para la resolución de alta definición de acuerdo a la recomendación ITU-R BT.709-6⁴⁰.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 & 0.000 & 1.793 \\ 1.164 & -0.213 & -0.533 \\ 1.164 & 2.112 & 0.000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} (Y - 16) \\ (Cb - 128) \\ (Cr - 128) \end{bmatrix} \quad (12)$$

Luego de obtener los fotogramas sobre los cuales se van a realizar las medidas, se establecen cuatro fases para determinar la medida de calidad.

5.4.1 Fase I

Se determina el valor de la relación señal a ruido pico para el conjunto de fotogramas que constituyen el video original y degradado con el fin de establecer un valor de la calidad.

Como ya se tiene la medida del error cuadrático medio para un par de fotogramas (original- degradado) en un plano (R o G o B), solo es necesario realizar el mismo cálculo para los demás pares de fotogramas y luego promediarlos. Luego hacemos lo mismo para los otros dos planos.

$$MSE_v = \frac{1}{3F} \left(\sum_{j=1}^F MSE_R(j) + \sum_{j=1}^F MSE_G(j) + \sum_{j=1}^F MSE_B(j) \right) \quad (13)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{L^2}{MSE_v} \right) \quad (14)$$

Donde F es el número de frames y $MSE_R(j)$, $MSE_G(j)$, $MSE_B(j)$ es el valor del error cuadrático calculado para el frame j -ésimo en el plano R, G, B.

Finalmente se expone la Tabla 2 que relaciona el PSNR con el MOS⁴¹.

⁴⁰ITU-R BT709. 6:” Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. 2015.

⁴¹Augusto V Neto et al. “Enhancing smart grid with session-oriented communication system to truly support reliability and robustness”. En: (2012).

Tabla 2. Relación entre los valores de PSNR y MOS

PSNR (dB)	MOS
>37	5
31 - 37	4
25 - 31	3
20 - 25	2
<20	1

5.4.2 Fase II

Se calculó el índice de calidad de imagen universal para el conjunto de fotogramas que constituyen el video original y degradado.

En primer lugar se elige el tamaño de la ventana deslizante como 8x8 píxeles, luego se determina el número de ventanas de muestreo (T) por fotograma. Por lo tanto, se calcula el índice de calidad universal para cada uno de los bloques, tal como se describe en el apartado 5.2.2.

$$UIQI = \frac{4\mu_x\mu_y\sigma_{xy}}{(\mu_x^2 + \mu_y^2)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)} \quad (15)$$

Donde μ_x, σ_x , corresponden a la media y a la varianza del fotograma original; μ_y, σ_y , corresponden a la media y a la varianza del fotograma degradado y σ_{xy} es la covarianza entre los dos fotogramas.

El índice $UIQI$ se aplica a las componentes R, G y B independientemente, después son combinados en una medida local.

$$UIQI(i, j) = V_R \cdot Q_R(i, j) + V_G \cdot Q_G(i, j) + V_B \cdot Q_B(i, j) \quad (16)$$

Donde $V_R = V_G = V_B = 1/3$ son los factores de ponderación. Seguidamente se combinan todos los índices de los bloques de un fotograma:

$$Q_i = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T UIQI(i, j) \quad (17)$$

Donde Q_i equivale a la medida del índice de calidad del fotograma i -ésimo en el conjunto de fotogramas que representan la secuencia de video, y T representa el valor de ponderación dado a la ventana deslizante j -ésima en el fotograma i -ésimo.

Finalmente, el índice de calidad universal final está dado por la ecuación 18, en donde F es el número de fotogramas.

$$Q_{UIQI} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F Q_i \quad (18)$$

5.4.3 Fase III

El índice de similitud estructural para el conjunto de fotogramas que constituyen el video original y degradado, también es hallado.

En primer lugar se elige el tamaño de la ventana deslizante como 8x8 píxeles, luego se determina el número de ventanas de muestreo T por fotograma. Por lo tanto, se calcula el índice de similitud estructural para cada uno de los bloques, tal como se describe en el apartado 5.2.2.

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (19)$$

Siendo $C_1 = (K_1L)^2$ y $C_2 = (K_2L)^2$, donde $L=255$ y $K_1=K_2=0,001$. Además, μ_x, σ_x , corresponden a la media y a la varianza del fotograma original; μ_y, σ_y , corresponden a la media y a la varianza del fotograma degradado y σ_{xy} es la covarianza entre los dos fotogramas.

El índice $SSIM$ se aplica a las componentes R, G y B independientemente, después son combinados en una medida local.

$$SSIM(i, j) = W_R \cdot SSIM_R(i, j) + W_G \cdot SSIM_G(i, j) + W_B \cdot SSIM_B(i, j) \quad (20)$$

Donde $W_R = W_G = W_B = 1/3$ son los factores de ponderación. Seguidamente se combinan todos los índices de los bloques de un fotograma:

$$Q_i = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T SSIM(i, j) \quad (21)$$

Donde Q_i equivale a la medida del índice de similitud estructural del fotograma i -ésimo en el conjunto de fotogramas que representan la secuencia de video, y T representa el valor de ponderación dado a la ventana deslizante j -ésima en el fotograma i -ésimo.

El índice de similitud estructural final está dado por la ecuación descrita abajo, en donde F es el número de fotogramas.

$$Q_{SSIM} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F Q_i \quad (22)$$

Finalmente se propone la Tabla 3 que relaciona el Q_{UIQI} y el Q_{SSIM} con el MOS.

Tabla 3. Relación entre los valores de SSIM/ UIQI y MOS

SSIM/UIQI	MOS
>0,970	5
0,920 - 0,969	4
0,850 - 0,919	3
0,700 - 0,849	2
<0,699	1

Fuente: Autores.

5.4.4 Fase IV

Luego de obtener los valores de calidad para las diferentes técnicas propuestas, estos se convierten a una escala MOS utilizando la Tabla 2 y la Tabla 3. En esta fase se promedian los valores MOS equivalentes a cada una de las métricas para dar un resultado final de calidad objetiva; el cual se utilizará para comparar los resultados de la prueba subjetiva. Este valor objetivo de calidad de video 3D anaglifo final se indica en la ecuación 23.

$$MOS_{objetivo} = \frac{MOS_{PSNR} + MOS_{Q_{UIQI}} + MOS_{Q_{SSIM}}}{3} \quad (23)$$

6. ANÁLISIS, RESULTADOS Y PRUEBAS DE VERIFICACIÓN

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos para determinar si se cumplen los objetivos marcados y evaluar la eficacia del modelo propuesto.

Para comprobar si los resultados de los algoritmos se ajustan a la opinión subjetiva, fue necesario realizar una prueba experimental con un grupo de evaluadores en la que se obtuvo la calidad de un conjunto de secuencias de video. Estas secuencias no sólo se han empleado para ajustar los parámetros de la medida propuesta, sino que también han servido para la posterior evaluación de algoritmos.

6.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA SUBJETIVA

En este apartado se examinó los resultados obtenidos de la prueba subjetiva, así como los efectos que causa variar el parámetro de degradación CRF en la medida MOS para cada una de las secuencias. En primer lugar, todos los datos de información y calificación MOS tomados en la prueba subjetiva por medio de la aplicación web se enviaron a una base de datos tal como se muestra en la figura 15 y figura 16 respectivamente.

Figura 15. Información general ingresada por los espectadores

←T→		id	sex	age	education
<input type="checkbox"/>		0	M	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		1	M	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		2	F	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		3	M	22	Universitaria
<input type="checkbox"/>		4	M	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		5	M	21	Universitaria
<input type="checkbox"/>		6	M	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		7	M	22	Universitaria
<input type="checkbox"/>		8	M	24	Universitaria
<input type="checkbox"/>		9	M	22	Universitaria
<input type="checkbox"/>		10	F	23	Universitaria
<input type="checkbox"/>		11	F	22	Universitaria
<input type="checkbox"/>		12	M	15	Secundaria
<input type="checkbox"/>		13	M	35	Universitaria
<input type="checkbox"/>		14	F	18	Secundaria
<input type="checkbox"/>		15	F	34	Postgrado
<input type="checkbox"/>		16	F	15	Secundaria
<input type="checkbox"/>		17	M	19	Universitaria
<input type="checkbox"/>		18	F	22	Universitaria
<input type="checkbox"/>		19	M	29	Universitaria
<input type="checkbox"/>		20	F	20	Universitaria

Fuente: Autores.

Figura 16. Calificación MOS efectuada por los espectadores

←T→	video_idvideo	user_id	session_idsession	MOS
<input type="checkbox"/>	701	0	56	5
<input type="checkbox"/>	701	1	56	4
<input type="checkbox"/>	701	2	56	4
<input type="checkbox"/>	701	3	56	5
<input type="checkbox"/>	701	4	56	5
<input type="checkbox"/>	701	5	56	4
<input type="checkbox"/>	701	6	56	5
<input type="checkbox"/>	701	7	56	4
<input type="checkbox"/>	701	8	56	3
<input type="checkbox"/>	701	9	56	4
<input type="checkbox"/>	701	10	56	5
<input type="checkbox"/>	701	11	56	5
<input type="checkbox"/>	701	12	56	5
<input type="checkbox"/>	701	13	56	5
<input type="checkbox"/>	701	14	56	4
<input type="checkbox"/>	701	15	56	5
<input type="checkbox"/>	701	16	56	5
<input type="checkbox"/>	701	17	56	5
<input type="checkbox"/>	701	18	56	4
<input type="checkbox"/>	701	19	56	5
<input type="checkbox"/>	701	20	56	5
<input type="checkbox"/>	701	100	56	1

Fuente: Autores.

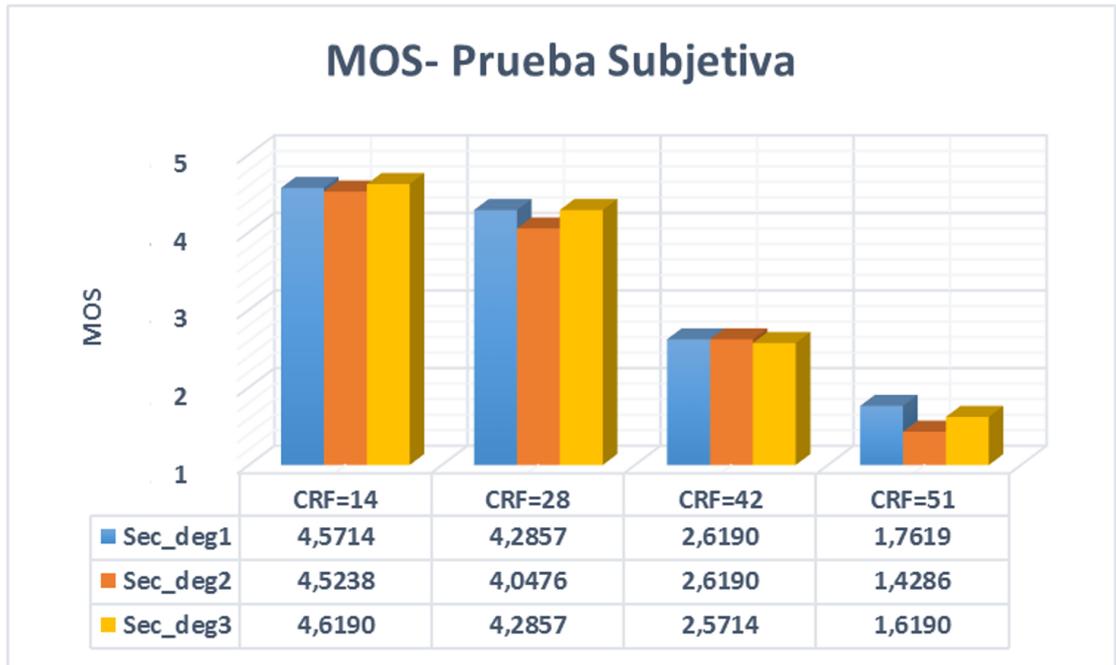
Donde:

- video idvideo: Corresponde al id asignado a cada una de las secuencias degradadas.
- user id: Numero de espectadores participantes
- session idsession: Id de la sesión creada.
- MOS: Calificación de cada espectador respecto a las secuencias de prueba.

Cabe resaltar que las figuras anteriormente mencionadas solo muestran una fracción de los datos obtenidos.

Luego de tener una medida MOS promedio para cada tipo de degradación y para cada secuencia, se procedió a graficar los resultados tal como se observa en la figura 17:

Figura 17. Medida MOS Prueba subjetiva



Fuente: Autores.

A partir de los resultados obtenidos en esta figura podemos determinar que:

- Las calificaciones que tuvieron el más alto puntaje de los espectadores fueron para el CRF 14 de cada uno de los videos ya que corresponden al parámetro que permite tener la mayor calidad posible al momento de codificación. De igual manera se puede observar que las peores calificaciones fueron para el CRF 51 debido a que este parámetro degrada el video a tal punto que es casi imperceptible.
- Los observadores calificaron de forma similar para cada tipo de degradación sin importar las características de reproducción del video.
- La recomendación de la ITU-T P.800⁴² propone codificar en H265 con un factor de tasa constante de 28 ya que mantiene la calidad del video original y disminuye el peso del archivo. Esto lo podemos verificar observando la gráfica, donde para un CRF 28 las calificaciones fueron bastante similares a las del CRF 14 la cual es cierto que mejora mucho más la calidad pero aumenta el tamaño del video.
- En general se puede apreciar que a medida que aumenta el parámetro de degradación CRF, la calidad percibida por el espectador disminuye.

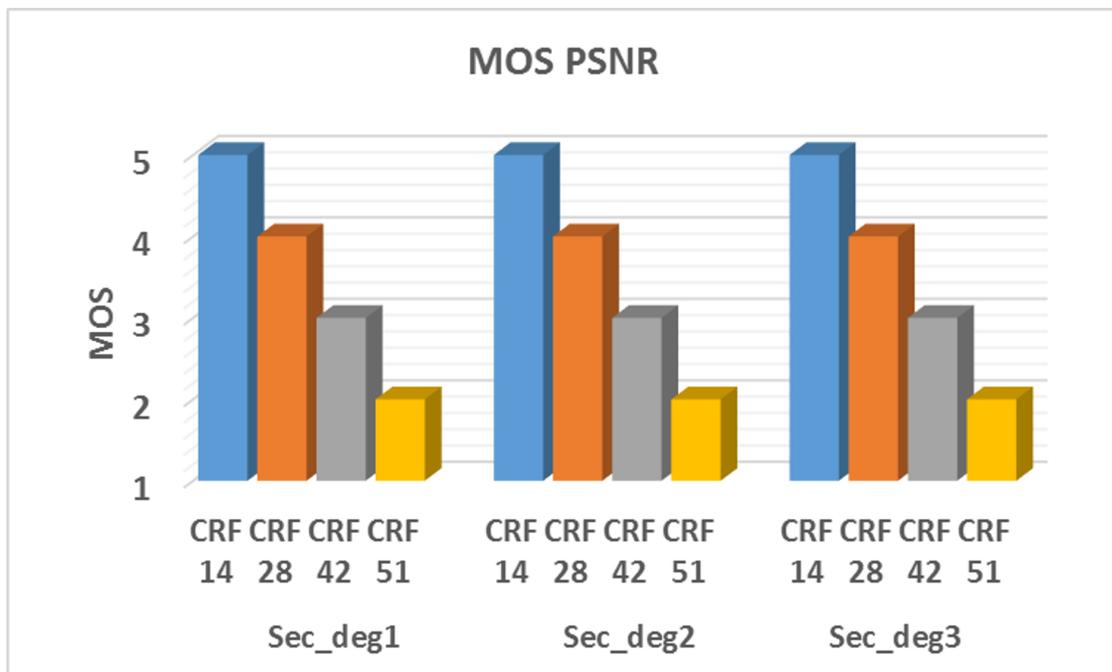
⁴²Union, "ITU-T Recommendation P.800.1: Mean Opinion Score (MOS) terminology".

6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MODELO OBJETIVO

En esta apartado se analizan los resultados obtenidos del modelo objetivo diseñado, el cual esta constituido por las metricas PSNR, SSIM y UIQI adaptadas para evaluar la calidad de los videos 3D anaglifos.

La metrica PSNR tiene en cuenta la importancia de los colores (rojo y cian) que sobresalen en este tipo de videos. El valor final que arroja la métrica se convierte a la escala MOS para analizar y comprobar los resultados haciendo uso de la Tabla 2. Los resultados se detallan en la figura 18.

Figura 18. Medida MOS equivalente a la métrica PSNR



Fuente: Autores.

La calificación MOS correspondiente al PSNR es elevada cuando en la codificación se utiliza un CRF pequeño; en la medida en que este último parámetro aumente se disminuirá la calidad del video y la primera métrica lo hará notar a través de su calificación MOS.

Para este caso el video codificado con CRF 14 la métrica lo califica con cinco, es decir el video es de excelente calidad. Sin embargo para un CRF 51 el video tendrá una calificación de dos que representa una calidad pobre.

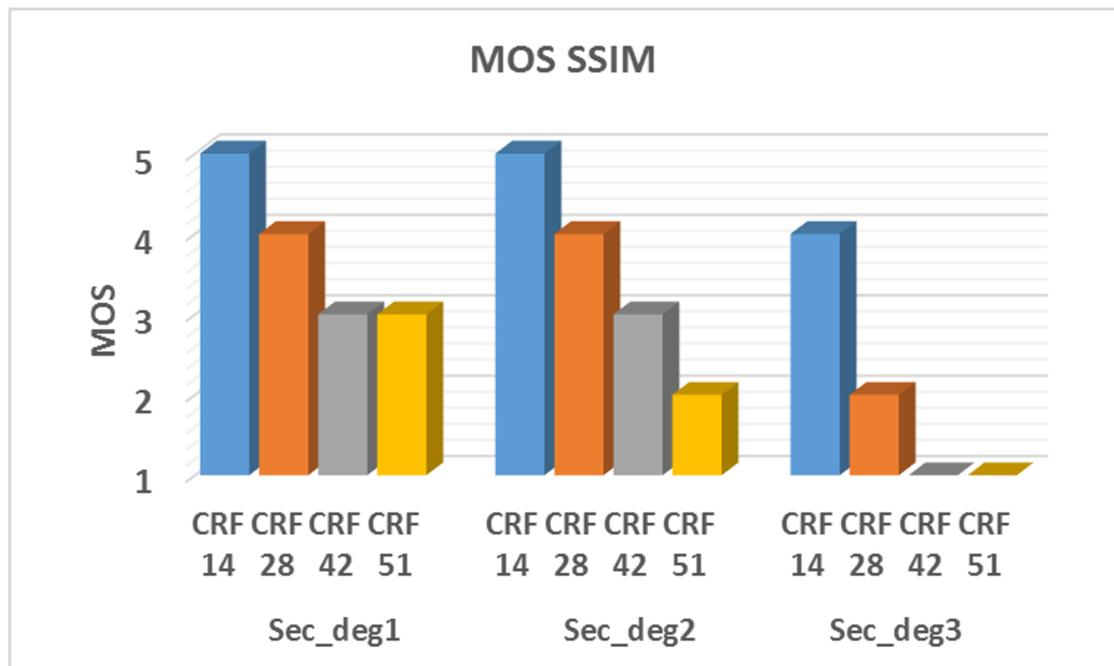
Como se puede apreciar la calificación MOS del PSNR para los diferentes videos es la misma para cada tipo de distorsión, brindando resultados muy similares a los incluidos en la prueba subjetiva.

La métrica SSIM define las medidas de luminancia, contraste y comparación estructural, y al igual que la primera, se mantiene la importancia de los colores.

La medida de esta métrica se convierte a la escala MOS haciendo uso de la Tabla 3 para poder compararla con lo que opinan los espectadores. La tabla 3 fue asumida y explicada en el apartado 5.4.3.

Los resultados se ilustran en la figura 19.

Figura 19. Medida MOS equivalente a la métrica SSIM



Fuente: Autores.

Se puede inferir que a diferencia del PSNR, esta métrica presenta variación en lo que se refiere a las calificaciones MOS de la secuencia degradada Sec_deg3, el cual tiene una movilidad alta en comparación con los demás videos.

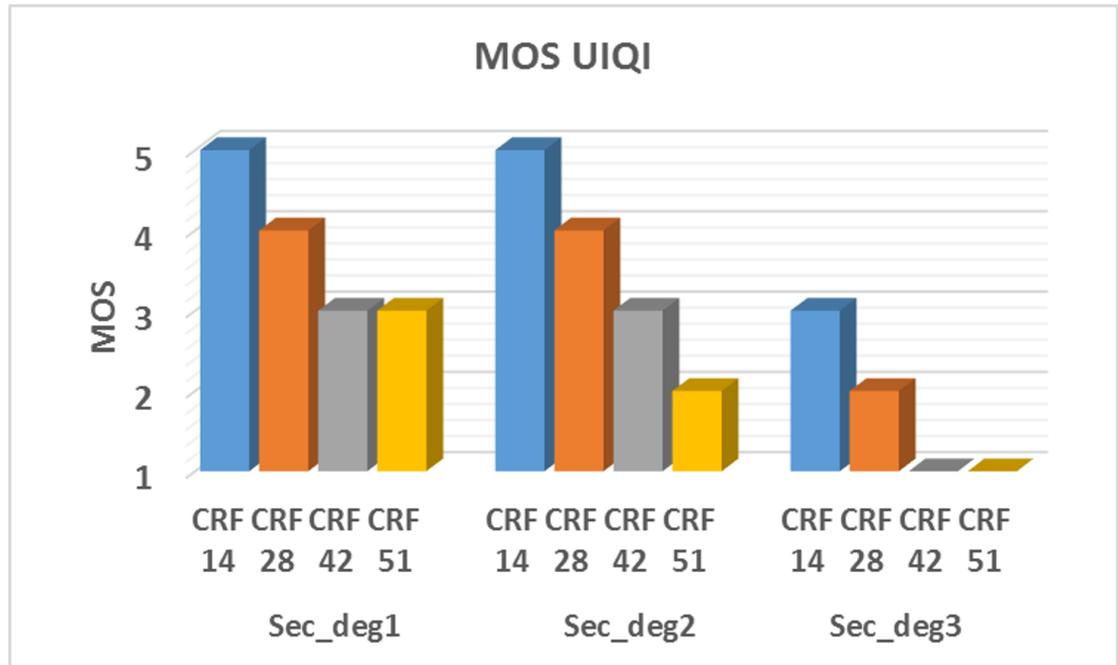
La métrica diseñada hace que al correlacionar la secuencia de video original y la secuencia degradada en base a la luminosidad, el contraste y la información estructural se puedan apreciar distorsiones que el espectador no percibe, dando una calificación mucho más objetiva del video.

La métrica UIQI también define las medidas de luminancia y contraste pero se enfoca en medir principalmente la pérdida de correlación en lugar de las similitudes estructurales entre las secuencias de video original y degradada.

La tabla 3 relaciona los valores de esta métrica con el MOS.

Los resultados se presentan en la figura 20.

Figura 20. Medida MOS equivalente a la métrica UIQI



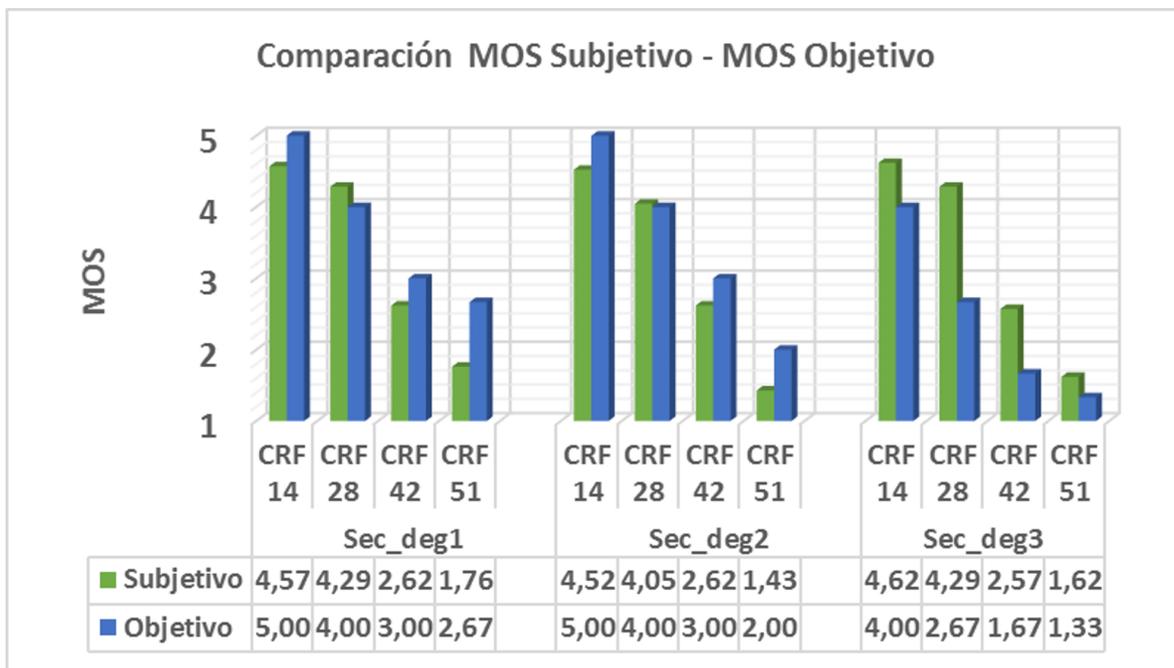
Fuente: Autores.

Al igual que el SSIM la métrica objetiva UIQI presenta variaciones en la secuencia degradada Sec_deg3 debido a la alta movilidad que este presenta, también se debe a la correlación que hace la métrica para detectar cambios y pérdidas de información.

Luego de conseguir todas las medidas MOS obtenidas en cada métrica objetiva diseñada, se calcula una única medida hallando la media aritmética de las tres, la cual es denominada MOS objetivo.

Posteriormente, los resultados de relación entre el MOS objetivo diseñado y el MOS subjetivo realizado se presentan en la figura 21.

Figura 21. Comparación MOS Subjetivo - MOS Objetivo



Fuente: Autores.

De la gráfica se puede concluir:

- La medida MOS que representa al modelo objetivo diseñado tiene un grado de relación alto con respecto a la calificación MOS representativa de lo que opinan los espectadores. En la gráfica se observa que las tendencias son similares para cada tipo de distorsión dependiendo de la secuencia analizada.
- El modelo objetivo presenta un análisis estricto en la secuencia de video Sec_deg3 debido a que su contenido de movilidad es alto, y en comparación con la evaluación del espectador, este modelo si percibe las diferencias estructurales pasadas por alto.
- Las mejores calificaciones fueron para el CRF 14 en todos los videos tanto para la prueba subjetiva como el modelo objetivo. De igual manera la peor calificación para todos los videos la obtuvo el parámetro de degradación CRF 51.
- El parámetro de degradación recomendado para la codificación en HEVC/H265 es CRF 28, en la gráfica no es el mejor pero es de calidad buena y constante, aparte de que comprime muy bien el tamaño del archivo.

Finalmente, calcular el intervalo de confianza con el fin de hallar la probabilidad de acierto que tiene el modelo objetivo, al momento de calificar cualquier tipo de distorsión presente es fundamental y sus resultados se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Intervalos de confianza

CRF	Media	Intervalo de confianza
14	4,65	0,65
28	3,65	0,65
42	2,65	0,65
51	2,00	1,13

Fuente: Autores.

Para el caso del CRF 14, la media aritmética de las medidas que arroja el modelo objetivo junto con el intervalo de confianza ($4,65 \pm 0,65$) indican que la métrica presenta una medida MOS entre 4 y 5 para esta distorsión. Con respecto al CRF 51, el intervalo de confianza es muy grande debido a que las características de los videos degradados presentan grandes diferencias.

6.3 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN

Se hizo una verificación de la métrica objetiva diseñada para comprobar la eficiencia de la misma. Se buscó dos videos 3D anaglifo nuevos y se convocó a trece personas para la realización de la prueba subjetiva.

Una vez terminada dicha prueba, se procedió a calcular la medida MOS y su respectivo intervalo de confianza. Los resultados se muestran en la figura 22.

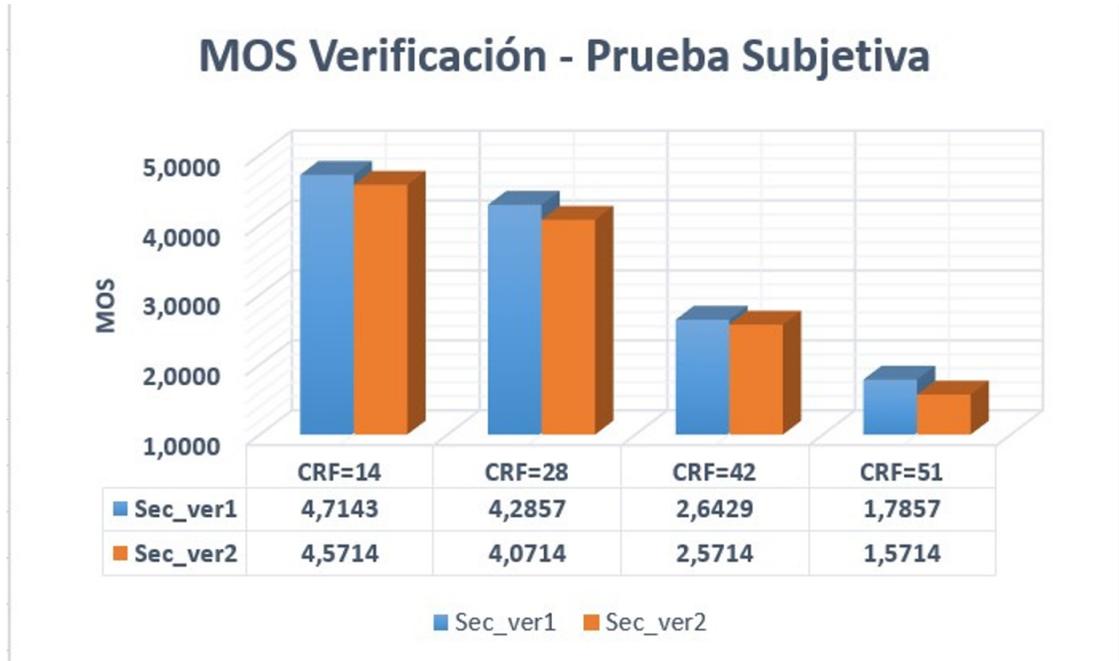
Figura 22. MOS - Resultados de verificación para la prueba subjetiva

Observador	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	MOS	δ_{95}	Intervalo C. 95%
sec_ver1	Crf 14	5	4	5	5	5	4	5	5	3	5	5	5	5	4,7143	0,3202	[4,71-0,32 , 4,71+0,32]
	Crf 28	4	4	5	4	3	4	5	4	3	4	5	5	5	4,2857	0,3804	[4,28-0,38 , 4,28+0,38]
	Crf 42	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2,6429	0,2605	[2,64-0,26 , 2,64+0,26]
	Crf 51	2	2	2	3	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1,7857	0,3033	[1,78-0,30 , 1,78+0,30]
sec_ver2	Crf 14	5	5	5	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4,5714	0,2690	[4,57-0,27 , 4,57+0,27]
	Crf 28	3	4	5	4	5	3	3	4	4	4	4	5	5	4,0714	0,3824	[4,07-0,38 , 4,07+0,38]
	Crf 42	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2,5714	0,2690	[2,57-0,27 , 2,57+0,27]
	Crf 51	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1,5714	0,2690	[1,57-0,27 , 1,57+0,27]

Fuente: Autores.

Estos resultados se detallan en la figura 23 con el fin de presentar un análisis más gráfico.

Figura 23. MOS - Verificación prueba subjetiva



Fuente: Autores.

Se observa que para las dos secuencias los espectadores calificaron muy similar aunque los videos fuesen de distinta velocidad de reproducción; como se evidenció en las primeras tres secuencias utilizadas.

Posteriormente se analizó los resultados obtenidos del modelo objetivo aplicado a los videos utilizados en la verificación. Estos datos son expuestos en la figura 24.

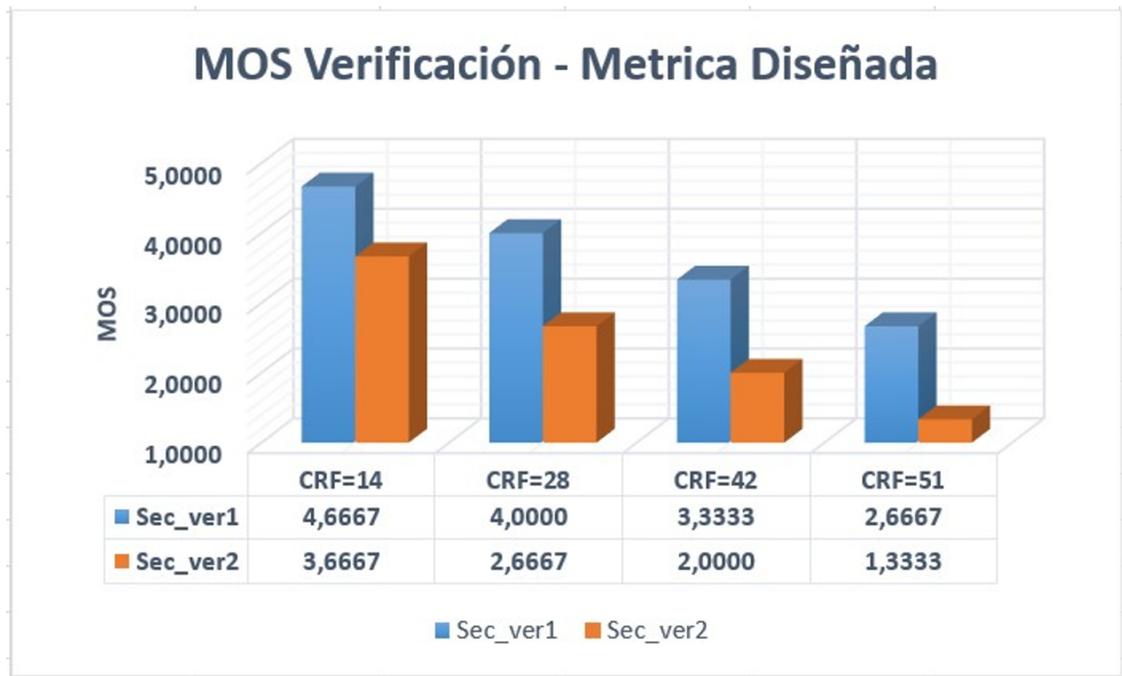
Figura 24. MOS e intervalos de confianza del modelo propuesto

	CRF	MOS Propuesto	Desv. Estandar	δ_{95}	Intervalo c. 95%
sec_ver1	14	4,666667	0,57735	0,65332	[4,67-0,65 , 4,67+0,65]
	28	4,000000	0,00000	0,00000	[4-0 , 4+0]
	42	3,333333	0,57735	0,65332	[3,33-0,65 , 3,33+0,65]
	51	2,666667	0,57735	0,65332	[2,67-0,65 , 2,67+0,65]
sec_ver2	14	3,666667	0,57735	0,65332	[3,67-0,65 , 3,67+0,65]
	28	2,666667	1,15470	1,30664	[2,67-1,31 , 2,67+1,31]
	42	2,000000	0,00000	0,00000	[2-0 , 2+0]
	51	1,333333	0,57735	0,65332	[1,33-0,65 , 1,33+0,65]

Fuente: Autores.

Los anteriores resultados se detallan en la figura 25 con el fin de presentar un análisis más grafico.

Figura 25. MOS - Verificación prueba objetiva



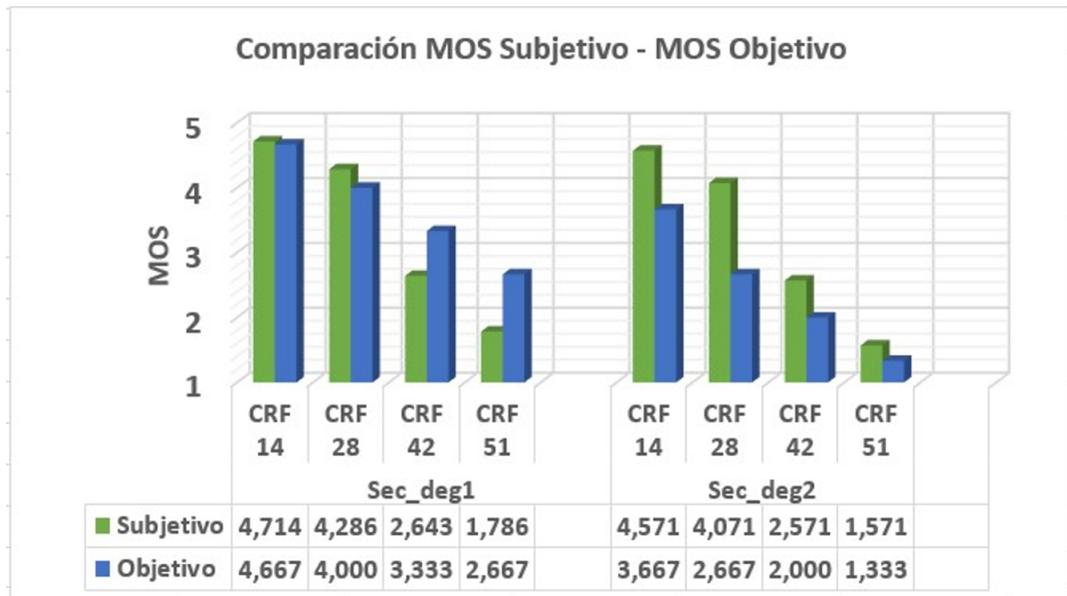
Fuente: Autores.

Como en los videos anteriores se observa que la métrica diseñada tiende a calificar de forma estable dependiendo el tipo de movilidad de la secuencia.

Se puede apreciar que la secuencia de verificación Sec_ver1, la cual tiene una movilidad lenta, tuvo una calificación mucho más alta que la secuencia de verificación Sec_ver2 con movilidad rápida; esta tendencia se explicó en secciones anteriores.

Una vez teniendo estos datos se procedió a comparar y verificar los resultados de la métrica diseñada y la prueba subjetiva que se muestran en la figura 26.

Figura 26. Comparación de las pruebas de verificación MOS Subjetivo - MOS Objetivo



Fuente: Autores.

Tanto la medida MOS de la métrica objetiva diseñada como la medida MOS de la evaluación subjetiva tuvo la misma tendencia que los resultados de los tres videos utilizados durante la realización del proyecto; de aquí se concluye que para videos con baja movilidad, el modelo objetivo diseñado tiene un alto índice de correlación con el MOS subjetivo exceptuando el caso donde la degradación es demasiado grande.

Para videos con alta movilidad, el modelo objetivo diseñado presenta una medida más estricta que el MOS subjetivo debido a que detecta tales degradaciones que el usuario no puede percibir.

La calificación MOS del modelo diseñado tiende a estar por debajo de la opinión media en la prueba subjetiva, no obstante no es mucha la diferencia.

7. CONCLUSIONES

Se presentó una contribución a los modelos de estimación de la calidad de video proponiendo el diseño de un modelo objetivo para videos 3D anaglifos. Este propósito se alcanzó realizando una considerable investigación de las métricas usadas para videos 2D, se identificaron sus características y se adaptaron al modelo propuesto. Por otra parte se realizó una prueba de evaluación subjetiva cuyos resultados fueron utilizados para comparar y verificar el modelo diseñado.

Se analizó las características de los actuales sistemas de codificación, haciendo énfasis en los aspectos que están relacionados con la calidad de video final obtenida. En particular, se examinó el efecto de la variación del factor de tasa constante (CRF) sobre los videos 3D anaglifos utilizados. Las mejores calificaciones obtenidas corresponden al CRF 14 de cada video debido a que este parámetro ingresa más información a los videos al momento de comprimir, dando como resultado una calidad mayor; sin embargo este parámetro es prescindible si lo que se busca es disminuir el tamaño del archivo ya que aumenta considerablemente su peso a cambio de una mejor calidad.

Se consiguió que el modelo tuviese baja carga computacional con resultados razonables, tal que la correlación con la medida MOS subjetiva fuese más del 80%; propósito fundamental del proyecto ya que los modelos objetivos estandarizados proporcionan un índice de correlación por debajo del 60%.

Se calculó el intervalo de confianza con el fin de hallar la probabilidad de acierto que tiene el modelo objetivo al momento de calificar cualquier tipo de distorsión. Con un nivel de confianza del 95% se determinó que los videos con alto índice de movimiento presentan intervalos de confianza amplios; ocurre lo contrario cuando el video es de movilidad baja.

Se creó un entorno gráfico (detallado en el Anexo B) el cual proporciona una herramienta muy valiosa para la fácil y rápida evaluación de la calidad perceptual de los videos 3D anaglifos.

Además se ha desarrollado una aplicación web, con el objetivo de generar una base de datos que incluye pruebas subjetivas de múltiples videos 3D anaglifos; la cual podrá ser utilizada en un futuro para posteriores investigaciones, análisis de técnicas y algoritmos de evaluación de calidad.

8. RECOMENDACIONES

- Un factor importante a tener en cuenta, es el tiempo de ejecución. Se pretende conseguir unos resultados más precisos, pero también es deseable mantener una carga computacional no muy elevada. Para nuestro caso, se tuvo problemas al tratar de analizar una cantidad elevada de fotogramas y por tanto el ordenador dejaba de funcionar, como solución a esto se optó en subdividir las secuencias a un máximo de 10 fotogramas. En efecto, sistemas de evaluación de calidad perceptual con bajo uso de recursos serían muy útiles en centros de producción de TV, sobre todo actualmente con la incorporación de la televisión digital.
- Es muy deseable desarrollar técnicas de medida objetivas que puedan evaluar la calidad sin disponer de la secuencia original. No obstante el desarrollo de estos algoritmos es mucho más complejo. En este sentido queda mucho trabajo por hacer, que se debe basar en un análisis profundo de los sistemas de percepción visual humanos.
- Buscar fuentes de videos confiables y de alta calidad para el desarrollo idóneo del modelo diseñado y la prueba subjetiva

Buscar fuentes de videos confiables y de alta calidad para el desarrollo confiable del modelo diseñado y la prueba subjetiva.
- Utilizar los estándares internacionales como guía para la correcta realización de la evaluación de calidad de video.
- Automatizar al máximo el proceso de la prueba subjetiva con el fin de ahorrar costos, tiempo y recursos.
- Por último se puede tener en cuenta la opción de incluir el sonido a la hora de evaluar la calidad de las secuencias audiovisuales. Existen estudios los cuales indican que la calidad de una secuencia tal como la perciben las personas se modifica por la presencia de una señal sonora.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, Alejandro León and Jorge Mario ESTRADA. “Prueba piloto para determinar la reproducibilidad de la carta de Snellen al evaluar la agudeza visual en sujetos jóvenes”. En: *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular* 7.1 (2009), pp. 13–24 (cit. on pp. 27, 34).
- BARÓN LÓPEZ, FJ and F TÉLLEZ MONTIEL. “Apuntes de bioestadística”. En: *Apuntes de Bioestadística* (2000) (cit. on p. 33).
- BELLARD, Fabrice, M NIEDERMAYER, et al. “Ffmpeg multimedia system”. En: (2005). Disponible en Internet: <https://www.ffmpeg.org/> (cit. on p. 24).
- BLACKMAN, Sam. “A primer on inter- vs. intra-frame video compression”. En: (2008). Disponible en Internet: <http://www.elementaltechnologies.com/newsroom/blog/primer-inter-vs-intra-frame-video-compression> (cit. on p. 23).
- BT709, ITUR. 6:” *Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange*. 2015 (cit. on p. 45).
- CANGAS, A. *EcuRed*. Disponible en Internet: http://www.ecured.cu/Gafas_anaglifo (cit. on p. 20).
- DAHL Jeff, Wikipedia. *File:Snellen chart.svg*. [Online; accessed 14-Febrero-2016]. 2008. Disponible en Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Snellen_chart#/media/File:Snellen_chart.svg (cit. on p. 28).
- ESKICIOGLU, Ahmet M and Paul S FISHER. “Image quality measures and their performance”. En: *Communications, IEEE Transactions on* 43.12 (1995), pp. 2959–2965 (cit. on p. 41).
- ESPAÑA, Gobierno de. *Ministerio de Industria, Energía y Turismo, tdt televisión digital terrestre, [En línea]*. 2014. Disponible en Internet: <http://www.televisiondigital.gob.es/tecnologias/3D/Paginas/anaglifos.aspx> (cit. on p. 21).
- F, Oscar. “¿Qué es HEVC/ H.265?” En: (2015). Disponible en Internet: <http://www.videodepot.com.mx/staff/que-es-hevc-h-265/> (cit. on p. 23).
- “FFmpeg and H.265 Encoding Guide”. En: (2015). Disponible en Internet: <https://trac.ffmpeg.org/wiki/Encode/H.265> (cit. on p. 24).
- FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, A and JR CERQUIDES-BUENO. “Análisis de calidad de vídeo H. 264 en streaming sobre HSUPA”. En: *Memorias del XII Congreso Iberoamericano de Internet, Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, Madrid, España*. 2009, pp. 401–407 (cit. on p. 17).
- FRIENDS, Apache. “XAMPP Apache+ MySQL+ PHP+ Perl”. En: *línea*. Disponible: <https://www.apachefriends.org/es/index.html>. [Último acceso: marzo 2015] (2014) (cit. on p. 39).

- GIFFORD, Tom. *3DN3D*. Disponible en Internet: <http://3dn3d.com> (cit. on p. 44).
- GREENZERO. *PANGEA The Neverending World*. Disponible en Internet: <http://www.aenima.hu/pangea/dl.html> (cit. on p. 44).
- GROUP, Video Quality Experts et al. *VQEG*. 2006 (cit. on p. 15).
- ITU-T, H. “265: High efficiency video coding”. En: *ITU-T Recommendation H 265* (2013) (cit. on p. 23).
- JOSKOWICZ, José. “Estudio de la Medida de la Calidad Perceptual de Video”. En: (2008) (cit. on p. 17).
- JOSKOWICZ, José and Rafael Sotelo BOVINO. “Modelo de estimación de calidad de video: video quality experts groups”. En: *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica* 10 (2012), pp. 7–17 (cit. on pp. 17, 31).
- JOSKOWICZ, Jose, Rafael SOTELO, and J ARADO. “Comparison of parametric models for video quality estimation: Towards a general model”. En: *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2012 IEEE International Symposium on*. IEEE. 2012, pp. 1–7 (cit. on pp. 15, 29).
- LUKAS, Frank XJ and Zigmantas L BUDRIKIS. “Picture quality prediction based on a visual model”. En: *Communications, IEEE Transactions on* 30.7 (1982), pp. 1679–1692 (cit. on p. 15).
- MOLINS, Ramon. *FotoNostra*. 2002. Disponible en Internet: <http://www.fotonostra.com/digital/compressionvideo.htm> (cit. on p. 22).
- NETO, Augusto V et al. “Enhancing smart grid with session-oriented communication system to truly support reliability and robustness”. En: (2012) (cit. on p. 45).
- OHM, J-R et al. “Comparison of the coding efficiency of video coding standards?including high efficiency video coding (HEVC)”. En: *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on* 22.12 (2012), pp. 1669–1684 (cit. on p. 18).
- PROFESSIONAL, Canon. *EOS Movie Compression Options: All-I and IPB*. 2014. Disponible en Internet: http://www.canon.com.hk/cpx/en/technical/va_EOS_Movie_Compression_Options_All_I_and_IPB.html (cit. on p. 22).
- PUELL MARÍN, María Cinta. “Óptica Fisiológica: el sistema óptico del ojo y la visión binocular”. En: (2006). Disponible en Internet: <http://eprints.ucm.es/14823/> (cit. on p. 20).
- RECOMMENDATION, ITU-R BT. “500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. 500-11”. En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, ITU Telecom* (2002) (cit. on pp. 25, 26, 33, 34, 38).
- RECOMMENDATION, ITUT. “P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications”. En: *Standardization Sector of International Telecommunication Union, Geneva* (2008) (cit. on pp. 25, 27, 36).

- ROBITZA, Werner. “CRF Guide, CRF stands for Constant Rate Factor”. En: (2015). Disponible en Internet: <http://slhck.info/articles/crf> (cit. on p. 24).
- SOLUTIONS, VideoLan Streaming. *VLC media player*. 2006. Disponible en Internet: <http://www.videolan.org/vlc/> (cit. on p. 21).
- UNION, ITU. “ITU-T Recommendation P.800.1: Mean Opinion Score (MOS) terminology”. En: *International Telecommunication Union, Tech. Rep* (2006) (cit. on pp. 25, 51).
- VANEGAS, V. J. “Análisis y Evaluación de las Técnicas Utilizadas para la Transmisión de Video en 3D”. En: (2014). Disponible en Internet: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12179/fichero/Proyecto%252FPFC.pdf> (cit. on p. 20).
- WANG, Zhou and Alan C BOVIK. “A universal image quality index”. En: *Signal Processing Letters, IEEE* 9.3 (2002), pp. 81–84 (cit. on p. 42).
- “Mean squared error: love it or leave it? A new look at signal fidelity measures”. En: *Signal Processing Magazine, IEEE* 26.1 (2009), pp. 98–117 (cit. on p. 32).
- “Modern image quality assessment”. En: *Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing* 2.1 (2006), pp. 1–156 (cit. on p. 43).
- WANG, Zhou, Hamid R SHEIKH, and Alan C BOVIK. “Objective video quality assessment”. En: *The handbook of video databases: design and applications* (2003), pp. 1041–1078 (cit. on p. 15).
- WINKLER, Stefan. *Digital video quality: vision models and metrics*. John Wiley & Sons, 2005, pp. 20–22 (cit. on p. 32).
- WYMBS, Keith. “El HEVC desmitificado”. En: (2013). Disponible en Internet: <http://www.tvyvideo.com/201307155194/articulos/tecnologia/el-hevc-desmitificado/all-pages.html> (cit. on p. 23).
- WYNN-RUFFEAD, Anthony. *Pressing Matters -Compression*. 2003. Disponible en Internet: <http://www.trustedreviews.com/opinions/the-codec-primer-part-one> (cit. on p. 22).
- ZENG, Kai et al. “From H. 264 to HEVC: Coding gain predicted by objective video quality assessment models”. En: *International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, (Feb 2013). 2013 (cit. on p. 29).
- ZHE, Zhizhong and Hong Ren WU. “A new way of pooling: starting from an image quality measure”. En: *Signal Processing, 2004. Proceedings. ICSP'04. 2004 7th International Conference on*. Vol. 2. IEEE. 2004, pp. 1080–1083 (cit. on p. 41).

ANEXO A: CÓDIGOS DISEÑADOS PARA EL MODELO OBJETIVO

Este apéndice incluye la descripción del código fuente utilizado en esta tesis para el diseño del modelo objetivo que evalúa la calidad de video 3D anaglifo.

• Código de la Relación Señal a Ruido Pico 3D Anaglifo

```
% Métrica que calcula el error cuadrático medio entre las
% secuencias original y degradada.
function mse = MSE_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

% Lee las dimensiones de los fotogramas de cualquier secuencia.
[filas columnas ~] = size(sec_orig);

% Calcula el error cuadrático medio en cada uno de los planos
% (R,G,B) para cada píxel.
mseRsec = (double(sec_orig(:, :, 1)) - double(sec_deg(:, :, 1))) .^ 2;
mseGsec = (double(sec_orig(:, :, 2)) - double(sec_deg(:, :, 2))) .^ 2;
mseBsec = (double(sec_orig(:, :, 3)) - double(sec_deg(:, :, 3))) .^ 2;

% Promedia el error cuadrático medio de toda la secuencia en cada
% uno de los planos.
mseR = sum(sum(mseRsec)) / (filas * columnas);
mseG = sum(sum(mseGsec)) / (filas * columnas);
mseB = sum(sum(mseBsec)) / (filas * columnas);

% Promedia el error cuadrático medio de los tres planos.
mse = (mseR + mseG + mseB)/3;

end

% Métrica que calcula la relación señal a ruido pico entre las
% secuencias original y degradada.
function PSNR = PSNR_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

%Hace uso de la función MSE_3D_Anaglifo para calcular el error
% cuadrático medio de las secuencias.
mse=MSE_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg);

% Calcula la relación señal a ruido pico (en decibeles) de las
% secuencias
PSNR = 10 * log10( 255^2 / mse);

end
```

• Código de conversión: PSNR a MOS

```
% Convierte los valores de la métrica PSNR_3D_Anaglifo a una
% medida MOS
function MOS=mos_psnr(PSNR_3D_Anaglifo)

if PSNR_3D_Anaglifo >= 37
    MOS=5;      % Categoría MOS = 'Excelente'
elseif PSNR_3D_Anaglifo>=31 & PSNR_3D_Anaglifo<36.99
    MOS=4;      % Categoría MOS = 'Bueno'
elseif PSNR_3D_Anaglifo>=25 & PSNR_3D_Anaglifo<30.99
    MOS=3;      % Categoría MOS = 'Aceptable'
elseif PSNR_3D_Anaglifo>=20 & PSNR_3D_Anaglifo<24.99
    MOS=2;      % Categoría MOS = 'Pobre'
else
    MOS=1;      % Categoría MOS = 'Malo'
end

end
```

• Código del Índice de Similitud Estructural 3D Anaglifo

```
% Métrica que calcula el Índice de Similitud Estructural entre las
% secuencias original y degradada.
function SSIM = SSIM_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

% Donde:
% sec_orig: Secuencia original a ser comparada
% sec_deg: Secuencia degradada a ser comparada

% Se calcula el factor de ponderación aplicado a cada uno de los planos
%(R,G,B) de las secuencias del video original y degradado

sec_orig = 0.33333 * (sec_orig(:, :, 1) + sec_orig(:, :, 2) + sec_orig(:, :, 3));
sec_deg = 0.33333 * (sec_deg(:, :, 1) + sec_deg(:, :, 2) + sec_deg(:, :, 3)) ;

K=[0.001 0.001];
ventana=ones(8);
L=255;

%-----
%
%                               VALORES DE ENTRADA

% K: constante en la formula del ssim. Valores por defecto
%     K = [0.001 0.003]
```

```

% ventana: ventana deslizante. Valor por defecto 8 dado por
% Gauss.
% L: Rango dinámico de las secuencias. RGB, L = 255

[H W] = size(ventana);
C1 = (K(1)*L)^2;
C2 = (K(2)*L)^2;
ventana = ventana/sum(sum(ventana));
sec_orig = double(sec_orig);
sec_deg = double(sec_deg);

%A partir de este punto se explica paso a paso como se definió la ecuación
%general de la métrica de calidad SSIM

mapa_ssim = filter2(window, sec_orig, 'valid'); % gx
w1 = filter2(window, sec_deg, 'valid'); % gy
w2 = mapa_ssim.*w1; % gx*gy
w2 = 2*w2+C1; % 2*(gx*gy)+C1 = num1
w1 = (w1-mapa_ssim).^2+w2; % (gy-gx)^2+num1 = den1
mapa_ssim = filter2(window, sec_orig.*sec_deg, 'valid'); % g(x*y)
mapa_ssim = (2*mapa_ssim+(C1+C2))-w2; % 2*g(x*y)+(C1+C2)-num1 = num2
mapa_ssim = mapa_ssim.*w2; % num
sec_orig = sec_orig.^2; % x^2
sec_deg = sec_deg.^2; % y^2
sec_orig = sec_orig+sec_deg; % x^2+y^2

if (C1 > 0 && C2 > 0)
    w2 = filter2(window, sec_orig, 'valid'); % g(x^2+y^2)
    w2 = w2-w1+(C1+C2); % den2
    w2 = w2.*w1; % den
    mapa_ssim = mapa_ssim./w2; % num/den = ssim
else
    w3 = filter2(window, sec_orig, 'valid'); % g(x^2+y^2)
    w3 = w3-w1+(C1+C2); % den2
    w4 = ones(size(w1));
    indice = (w1.*w3 > 0);
    w4(indice) = (mapa_ssim(indice))./(w1(indice).*w3(indice));
    indice = (w1 ~= 0) & (w3 == 0);
    w4(indice) = w2(indice)./w1(indice);
    mapa_ssim = w4;
end

SSIM = mean2(mapa_ssim);

return

```

• Código de conversión: SSIM a MOS

```
% Convierte los valores de la métrica SSIM_3D_Anaglifo a una
% medida MOS
function MOS=mos_ssim(SSIM_3D_Anaglifo)

if SSIM_3D_Anaglifo >= 0.97
    MOS=5;          % Categoría MOS = 'Excelente'
elseif SSIM_3D_Anaglifo>=0.92 & SSIM_3D_Anaglifo<0.969
    MOS=4;          % Categoría MOS = 'Bueno'
elseif SSIM_3D_Anaglifo>=0.850 & SSIM_3D_Anaglifo<0.919
    MOS=3;          % Categoría MOS = 'Aceptable'
elseif SSIM_3D_Anaglifo>=0.7 & SSIM_3D_Anaglifo<0.849
    MOS=2;          % Categoría MOS = 'Pobre'
else
    MOS=1;          % Categoría MOS = 'Malo'
end

end
```

• Código del Índice de Calidad de Imagen Universal 3D Anaglifo

```
% Métrica que calcula el Índice de Calidad de Imagen Universal entre las
% secuencias original y degradada.
function UIQI = UIQI_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

%Factor de ponderación aplicado a cada uno de los planos (R,G,B) de la
%secuencia de video original
sec_orig = 0.33333 * (sec_orig(:, :, 1) + sec_orig(:, :, 2) + sec_orig(:, :, 3));

%Factor de ponderación aplicado a cada uno de los planos (R,G,B) de la
%secuencia de video degradada
sec_deg = 0.33333 * (sec_deg(:, :, 1) + sec_deg(:, :, 2) + sec_deg(:, :, 3));

ventana =8;          %Tamaño de la ventana
N = ventana.^2;
sum2_filter = ones(ventana); %Ventana local deslizante 8x8

sec1 = double(sec_orig); %Convierte la matriz sec1 a doble precisión
sec2 = double(sec_deg); %Convierte la matriz sec2 a doble precisión

%A partir de este punto se explica paso a paso como se definió la ecuación
%general de la métrica de calidad UIQI.
sec1_sq = sec1.*sec1;
sec2_sq = sec2.*sec2;
```

```

sec12    = sec1.*sec2;

sec1_sum    = imfilter( sec1, sum2_filter, 'replicate', 'same', 'corr');
sec2_sum    = imfilter( sec2, sum2_filter, 'replicate', 'same', 'corr');
sec1_sq_sum = imfilter( sec1_sq, sum2_filter, 'replicate', 'same', 'corr');
sec2_sq_sum = imfilter( sec2_sq, sum2_filter, 'replicate', 'same', 'corr');
sec12_sum   = imfilter( sec12, sum2_filter, 'replicate', 'same', 'corr');

sec12_sum_mul    = sec1_sum.*sec2_sum;
sec12_sq_sum_mul = sec1_sum.*sec1_sum + sec2_sum.*sec2_sum;
numerador        = 4*(N*sec12_sum - sec12_sum_mul).*sec12_sum_mul;
denominador1     = N*(sec1_sq_sum + sec2_sq_sum) - sec12_sq_sum_mul;
denominador      = denominador1.*sec12_sq_sum_mul;

mapa_calidad     = ones(size(denominador));
indice           = (sec12_sq_sum_mul ~= 0)&(denominador1 == 0);
mapa_calidad(indice) = 2*sec12_sum_mul(indice)./sec12_sq_sum_mul(indice);
indice           = (denominador ~= 0);
mapa_calidad(indice) = numerador(indice)./denominador(indice);

UIQI = mean2(mapa_calidad);

```

• Código de conversión: UIQI a MOS

```

% Convierte los valores de la métrica UIQI-3D-Anaglifo a una
% medida MOS

```

```

function MOS=mouiqi(UIQI-3D-Anaglifo)

if UIQI-3D-Anaglifo >= 0.97
    MOS=5;      % Categoría MOS = 'Excelente'
elseif UIQI-3D-Anaglifo>=0.92 & UIQI-3D-Anaglifo<0.969
    MOS=4;      % Categoría MOS = 'Bueno'
elseif UIQI-3D-Anaglifo>=0.850 & UIQI-3D-Anaglifo<0.919
    MOS=3;      % Categoría MOS = 'Aceptable'
elseif UIQI-3D-Anaglifo>=0.7 & UIQI-3D-Anaglifo<0.849
    MOS=2;      % Categoría MOS = 'Pobre'
else
    MOS=1;      % Categoría MOS = 'Malo'
end

end

```

• Código del modelo da calidad objetivo 3D Anaglifo

```
% Lee los fotogramas de la secuencia original en el directorio
% especificado, los ubica en una estructura y luego los convierte
% en una matriz.
cd('C:\Users\ASUS\Desktop\PSNR\CODIGO FINAL\Imagenes Video Original');
archivo = [dir('*.png'); dir('*.jpg')];
estructura_orig = cell(1,numel(archivo));
for i = 1:numel(archivo)
    estructura_orig{i} = imread(archivo(i).name);
end
sec_orig = cell2mat(estructura_orig);

% Lee los fotogramas de la secuencia degradada en el directorio
% especificado, los ubica en una estructura y luego los convierte
% en una matriz.
cd('C:\Users\ASUS\Desktop\PSNR\CODIGO FINAL\Imagenes Video Degradado');
archivo = [dir('*.png'); dir('*.jpg')];
estructura_deg = cell(1,numel(archivo));
for i = 1:numel(archivo)
    estructura_deg{i} = imread(archivo(i).name);
end
sec_deg = cell2mat(estructura_deg);

% MODELO DE CALIDAD OBJETIVA PARA VIDEOS 3D ANAGLIFO (MOCVA3D)

% -> METRICA DEL MSE 3D ANAGLIFO
MSE_3D_Anaglifo = MSE_3D_Anaglifo(sec_orig,sec_deg)

% -> METRICA DEL PSNR 3D ANAGLIFO
PSNR_3D_Anaglifo = PSNR_3D_Anaglifo(sec_orig,sec_deg)

% -> METRICA DEL SSIM 3D ANAGLIFO
SSIM_3D_Anaglifo = SSIM_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

% -> METRICA DEL UIQI 3D ANAGLIFO
UIQI_3D_Anaglifo = UIQI_3D_Anaglifo(sec_orig, sec_deg)

% CÁLCULO MOS DE CADA METRICA OBJETIVA

%   MOS PSNR_3D_Anaglifo
MOS_PSNR_3D = mos_psnr(PSNR_3D_Anaglifo)

%   MOS SSIM_3D_Anaglifo
MOS_SSIM_3D = mos_ssim(SSIM_3D_Anaglifo)
```

```

%   MOS UIQI_3D.Anaglifo
MOS_UIQI_3D = mos_uiqi(UIQI_3D.Anaglifo)

% ->MOS DEL MODELO MOCVA3D
MOS_MOCVA3D = mos_mocva3d(MOS_PSNR_3D,MOS_SSIM_3D,MOS_UIQI_3D)

```

• Código de conversión: MOCVA a MOS

```

function MOS_MOCVA3D=mos_mocva3d(MOS_PSNR_3D,MOS_SSIM_3D,MOS_UQI_3D)

% Toma los valores de los MOS PSNR, SSIM, UQI y posteriormente se promedia,
% dando como resultado una única medida MOS objetiva. Posteriormente se
% hace el respectivo cambio de valores numerico a alfanumericos.

MOCVA3D=( (MOS_PSNR_3D+MOS_SSIM_3D+MOS_UQI_3D)/3);

if MOCVA3D >= 4.5
    MOS_MOCVA3D='Excelente';
elseif MOCVA3D>=3.5 & MOCVA3D<4.49
    MOS_MOCVA3D='Bueno';
elseif MOCVA3D>=2.5 & MOCVA3D<3.49
    MOS_MOCVA3D='Aceptable';
elseif MOCVA3D>=1.5 & MOCVA3D<2.49
    MOS_MOCVA3D='Pobre';
else
    MOS_MOCVA3D='Malo';
end
end

```

ANEXO B: INTERFAZ GRÁFICA DEL MODELO OBJETIVO MOCVA3D

Se diseñó un entorno gráfico del modelo objetivo para evaluar la calidad en videos 3D anaglifo con el fin de facilitar su ejecución. Este entorno será descrito a continuación.

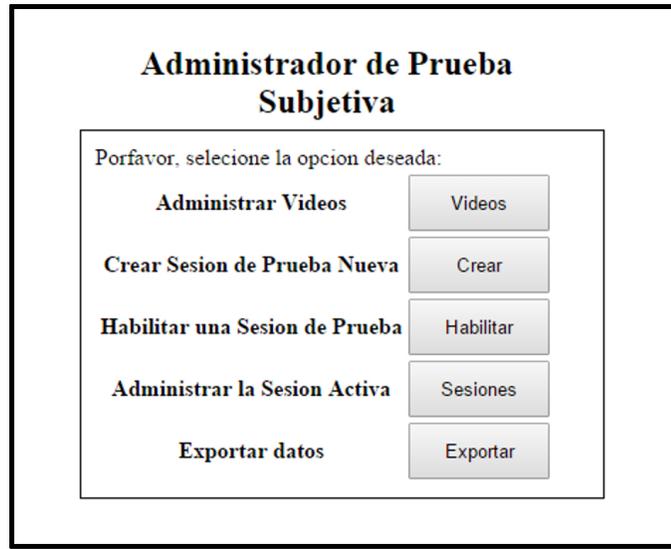
The image shows a graphical user interface titled "Métrica Objetiva Calidad de Video 3D Anaglifo 'MOCVA3D'". The interface is enclosed in a red border and contains the following elements:

- Two buttons at the top: "Cargar Video Original" and "Cargar Video Degradado", each with a corresponding empty text input field below it.
- A row of three input fields: "PSNR 3D Anaglifo", "MOS PSNR", and an empty field.
- A second row of three input fields: "SSIM 3D Anaglifo", "MOS SSIM", and an empty field.
- A third row of three input fields: "UIQI 3D Anaglifo", "MOS UIQI", and an empty field.
- A single input field labeled "MOS MOCVA 3D" below the previous row.
- A "Salir" button in the bottom right corner.

ANEXO C: INTERFAZ Y MANEJO PARA ADMINISTRAR LA APLICACION WEB

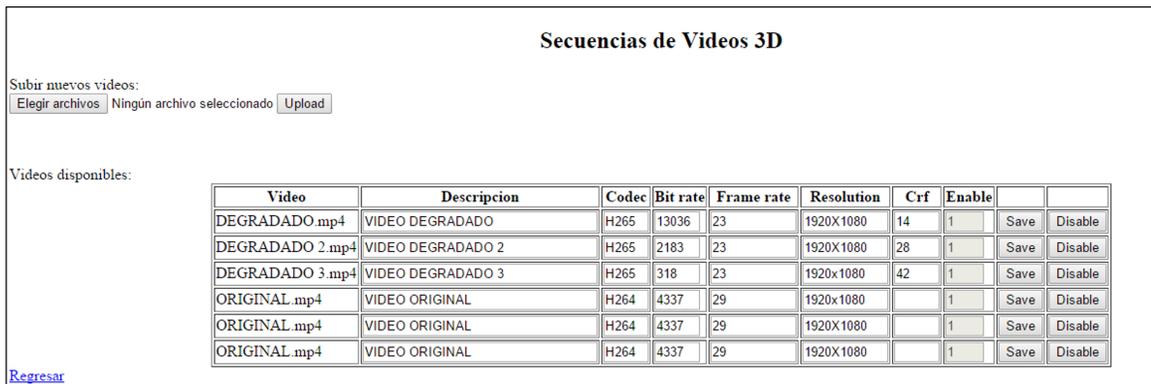
En la siguiente figura se muestra el panel de administración el cual carga lo videos de la prueba, crea, habilita y administra sesiones.

Figura 27. Panel de administración



La función esencial de la sección “Administrar videos ”es cargar los videos original y degradado en la base de datos. Se puede habilitar y deshabilitar los videos dependiendo de cuantos se quieren para la prueba. Para la realización de este proyecto se usaron tres videos originales y tres degradados; tal como se muestra en la figura28.

Figura 28. Cargar secuencias de video



La sección “Crear sesión nueva”sirve para seleccionar los videos cargados disponibles y crear una sesión de prueba con los mismos. A estas sesiones se les puede agregar la fecha exacta de realización de la prueba, como la descripción de la misma. La interfaz

grafica se puede observar en la siguiente figura.

Figura 29. Crear nueva sesión en la aplicación web

Nueva Sesion de Prueba Subjetiva

Ingrese Fecha y Hora de la Sesion:

Descripcion

Seleccione el video a mostrar durante la sesion:

012345

	Nombre	Descripcion	Codec	Bit rate	Frame rate	Resolucion	Crf
<input checked="" type="checkbox"/>	DEGRADADO.mp4	VIDEO DEGRADADO	H265	13036	23	1920X1080	14
<input checked="" type="checkbox"/>	DEGRADADO 2.mp4	VIDEO DEGRADADO 2	H265	2183	23	1920X1080	28
<input checked="" type="checkbox"/>	DEGRADADO 3.mp4	VIDEO DEGRADADO 3	H265	318	23	1920x1080	42
<input checked="" type="checkbox"/>	ORIGINAL.mp4	VIDEO ORIGINAL	H264	4337	29	1920x1080	
<input checked="" type="checkbox"/>	ORIGINAL.mp4	VIDEO ORIGINAL	H264	4337	29	1920X1080	
<input checked="" type="checkbox"/>	ORIGINAL.mp4	VIDEO ORIGINAL	H264	4337	29	1920X1080	

Has seleccionado 6 Videos

[Regresar](#) Aceptar

La sesión creada se debe habilitar, para esto se creó la sección “Habilitar una sesión de prueba” en la cual se despliega una lista de sesiones creadas, para posteriormente seleccionar la que se quiera habilitar.

Además se puede asignar el número de participantes en la ejecución de la sesión seleccionada.

Figura 30. Habilitar sesión en la aplicación web

Habilitar Sesion para Prueba Subjetiva

Seleccione la sesion a habilitar:

Participantes por sesion:

[Regresar](#)

Después de estar habilitada la sesión de prueba, la aplicación web ya estará disponible para ser visualizada en computadores conectados de forma local y en dispositivos móviles dirigidos a la misma ip del computador ejecutando XAMPP.