
Características de los componentes gráficos 3d para una aplicación educativa del Señor de Sipán de la Cultura Moche en entornos virtuales y de realidad aumentada

Features of 3d graphic components for an educational application of the lord of Sipan from the Moche culture in virtual and augmented reality environments

Recibido: agosto 24 de 2015 | Revisado: setiembre 18 de 2015 | Aceptado: octubre 22 de 2015

NORMA LEÓN LESCANO¹
RAÚL VELAZCO CALZADO¹
SANDRA EYZAGUIRRE MAMANI¹

ABSTRACT

In the development of applications in virtual and augmented reality environments, objects, characters and settings are created according the reality they aim to represent, respecting its characteristics, while also optimizing usability and performance. The objective of this research is to describe the characteristics of 3D graphic components for an educational application based on the Lord of Sipan from the Moche culture to be used in virtual and augmented reality environments, while keeping acceptable graphics and performance quality. An optimization method of vertices and polygons that make up the components and 3D objects was used for the research. In order to generate avatars, photorealistic humanoid prototyping was used, and for texturing, the UV map was generated. Following the investigation, it was possible to create agile 3D components according to the characteristics, similarities and graphics performance required in order to be executed on virtual web and augmented reality environments.

Keywords: characteristics, culture, Moche, 3D objects, virtual environment, augmented reality

RESUMEN

En el desarrollo de aplicaciones en entornos virtual y de realidad aumentada, los objetos, personajes y escenarios se crean de acuerdo a la realidad a representar respetando sus características, a la vez que optimizando la usabilidad y el rendimiento. El objetivo de esta investigación es describir las características de los componentes gráficos 3D para un aplicativo educativo basado en el Señor de Sipán de la cultura Moche para su uso en entornos virtuales y de realidad aumentada, guardando coherencia con la calidad gráfica y performance. Para la investigación se utilizó un método de optimización de vértices y polígonos que forman parte de los componentes y objetos 3D. Para la generación de avatares se usó un prototipado de humanoide fotorealístico, y para la texturización, se generó el mapa UV. Finalizada la investigación, se consiguió crear componentes 3D ágiles de acuerdo a las características, semejanzas gráficas y performance requeridas a fin de poder ser ejecutado en entornos virtuales web y de realidad aumentada.

Palabras clave: características, cultura, Moche, objetos 3D, entorno virtual, realidad aumentada

¹ Laboratorio de Investigación Aplicada – Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres
Correo electrónico: nleon@usmp.pe

Introducción

La realidad virtual es un entorno artificial que se crea con software y se presenta al usuario de tal manera que el consumidor suspende la creencia y la acepta como un entorno real (Janani, Arthy, & Somasundaram, 2015).

Este entorno se sirve de gráficos 3D y de sonidos que envuelven las escenas mostradas y utiliza la visión de un observador (el usuario), quien se mueve dentro del mundo virtual utilizando dispositivos adecuados, tales como gafas o guantes electrónicos (Hilera, Otón, & Martínez, 1999).

La realidad aumentada facilita la integración de información digital al entorno al usuario en tiempo real, mediante el uso de una imagen u objeto, llamado marcador, el cual es reconocido por la cámara y permite que el aplicativo mezcle la nueva información con la existente. De este modo, se mejora la percepción e interacción del usuario con el mundo real a través de objetos virtuales en 3D que coexisten en el mismo espacio que el mundo real (Azuma, Bailiot, Behringer, Feiner, & MacIntyre, 2011).

La realidad aumentada puede usar dispositivos tales como móviles, lentes de realidad aumentada, aplicaciones de posicionamiento global (GPS) para determinar la ubicación del usuario y la brújula para detectar la orientación del dispositivo.

Ambas tecnologías se pueden aplicar a la educación, desarrollando un entorno imaginado para un juego o una historia interactiva.

Crear un entorno virtual o aumentado para representar una determinada cultura, monumento histórico o arqueológico para su uso como herramienta educativa implica el trabajo detallado y óptimo de los objetos 3D para no alejarse del modelo original.

Un objeto bien detallado exige alta capacidad de los recursos de hardware, tales como procesador, tarjeta gráfica y memoria, tanto para el desarrollador como para el usuario.

Los entornos virtuales son mejor soportados por la tecnología, los recursos exigidos son fácilmente adquiribles, aunque el costo no ha permitido masificar este tipo de soluciones. Los entornos aumentados aún tienen limitaciones tecnológicas. Ambos entornos obligan a optimizar los objetos, para mantener un buen rendimiento, interacción y percepción de calidad (Adisusilo, 2015).

Las representaciones en un entorno virtual o aumentado de objetos, personajes y escenarios educativos permiten a los usuarios aprender sobre ellos a medida que interactúan con los mismos, generando interés, apego y creatividad (Jaballah & Jemni, 2013). Esto obliga a incluir objetos y detalles pequeños que aumentan la densidad del entorno (Xu, Zhou, Zhang, Shui, & Wu, 2013), haciendo peligrar su velocidad de respuesta en la interacción y obligando a los desarrolladores a optimizar los objetos, personajes y escenarios a fin de garantizar al usuario la calidad gráfica y la interacción (Doellner, Hagedorn, & Klimke, 2013), dado que no todos esperan los mismos resultados o buscan lo mismo del aplicativo final (Freeman, 2004).

El objetivo de esta investigación es describir las características de los objetos, personajes y escenarios usados para crear un entorno virtual y aumentado de la Cultura Moche, en donde el usuario pueda interactuar de manera natural.

Teoría del dominio y trabajos previos

Parámetros de medición

Los trabajos de virtualización relacionados con temas arqueológicos culturales tienen un común denominador: la calidad y la performance de la aplicación, esto implica la optimización de los objetos 3D, personajes y medio ambiente; para lograr velocidad en la interacción.

El parámetro usado para medir la rapidez de estos objetos durante su ejecución son los frames por segundo (FPS), los cuales son un

número determinado de secuencias de una visualización ya sea de una película, animación o juego que ocurre cada segundo por lo que representa al número de veces que la imagen es actualizada en un segundo (Janseen, 2015). Esto representa una unidad que muestra la performance de un determinado aplicativo, dado que se utiliza como reconocimiento de las acciones de los objetos, personajes y escenarios. Sin embargo, algunas acciones simples pueden ser reconocidas casi instantáneamente en tan solo un frame y fragmentos de 7.5 frames (equivalente a 0,3 – 0.5 segundos de video) logrando un rendimiento similar al que se obtiene con toda la secuencia de un video (Schindle & Van, 2008). Esto aclara que dependiendo de las acciones, no siempre una cantidad mayor de FPS significa mayor calidad de imagen y resultado. La cantidad de vértices y polígonos de un objeto inciden al momento de ver la velocidad de los FPS y la dependencia del movimiento de una selección de objetivos (Adisusilo, 2015), en donde la performance baja significativamente a partir de los 15 FPS pero no hay diferencia a partir de 30 FPS o más (Janseen, 2015).

Vértice, es el nombre que recibe el punto que marca la unión entre los segmentos que originan un ángulo o donde se fusionan un mínimo de tres planos. Los vértices se utilizan para crear los bordes de un polígono y existen muchas maneras de medirlos. Por ejemplo, mediante un software, se coloca una línea de código y obtiene el total de vértices de un determinado modelo (Geographic Information Systems Stack, 2014). También es posible medir los vértices mediante el software de modelamiento 3D. Muchos programas como 3D MAX o Blender incorporan estas características para medir este parámetro.

Un polígono es una porción de plano limitado por líneas rectas. Los polígonos no pueden ser abiertos ni tampoco tener curvas. Los polígonos son tratados como triángulos y en las herramientas de conteo de polígonos lo adecuado es cambiar a contar triángulos (MediaWiki, 2015).

Los desarrolladores de entornos virtuales o aumentados se esfuerzan por mejorar los detalles visuales en ciertos objetos, el impacto en el rendimiento de FPS y calidad visual de este esfuerzo es objeto de debate entre los usuarios y desarrolladores.

Optimización de componentes 3D

Un método para la optimización de vértices y polígonos consiste en la reducción de los mismos, manteniendo las formas originales de los objetos 3D.

Para reducir los polígonos, se identifican dos vértices que no influyan en el concepto de la imagen y se elimina uno de ellos. Es recomendable eliminar el vértice del centro Figura 1. Un objeto de ocho vértices es convertido en otro de siete vértices, esta acción es llamada eliminación de centro.

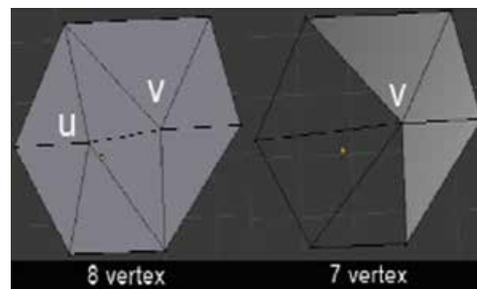


Figura 1: Eliminación del centro de una cara triangular.
Fuente: (Adisusilo, 2015)

Para caras rectangulares, se elimina uno de los ejes U o V reduciendo el número de vértices como se aprecia en la Figura 2.

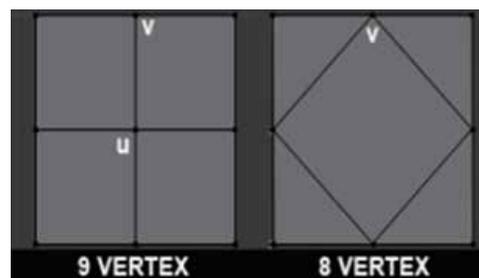


Figura 2: Eliminación del eje U de una cara rectangular.
Fuente: (Adisusilo, 2015)

Método

Se analizó las características de los objetos, personajes y escenarios de la Cultura Moche, utilizando el contador de vértices y polígonos; la percepción visual y la interacción a la que van a ser sujetos cada objeto.

La Tabla 1 muestra el conteo de polígonos de los objetos creados para ser usados en entornos virtuales y aumentados.

Tabla 1

Conteo de los vértices y polígonos de los objetos 3D preliminares

Objeto 3D	Vértices	Polígonos
Señor de Sipán y traje de cotas doradas	12908	25510
Pechera	485	326
Nariguera	783	1562
Corona semicircular y casco	969	1232
Orejera	68016	131488
Collar	19790	38400
Escenario	34969	56364

Objetos de la vestimenta del Señor de Sipán

Se ha usado objetos del atuendo del Señor de Sipán para los modelos 3D a crear. En la Figura 4 se muestran los objetos que acompañan al personaje del Señor de Sipán (izquierda) y su representación 3D (derecha).

Uno de los objetos de mayor complejidad en optimizar en la vestimenta del Señor de Sipán, fue la orejera moche. Los moches crearon sus ornamentos pieza por pieza. Esta contiene muchos subobjetos como detalles, que, al crearlos en 3D e intentar preservar la relación íntima de forma con el objeto real significó muchos vértices y polígonos que tuvieron que

ser optimizados, como se puede observar en la Figura 3.

La optimización de este componente del atavío del Señor de Sipán se realizó después del análisis de percepción visual del usuario. Este objeto es pequeño en relación al objeto principal y va a ser utilizado en su real tamaño tanto en entorno virtual como en el entorno aumentado; por tanto, se optimizaron los polígonos sin perder la percepción visual hacia el usuario.



Figura 3. Orejera moche

Orejera Moche	
Corona semicircular y casco Moche	
Nariguera Moche	
Collar Moche	
Pechera Moche	

Figura 4
Objetos reales y virtuales de la vestimenta del Señor de Sipán.

Características físicas de los personajes Moche

Para recrear los personajes usados en entornos de realidad aumentada y virtual se analizaron las características faciales de las representaciones realizadas en la literatura por el arqueólogo Walter Alva y se creó un avatar. Podemos observar rasgos físicos característicos de los habitantes de la Cultura Moche en la Figura 5, a su vez se muestra la creación del avatar 3D generado en base al personaje en mención (Alva, 1996)



Figura 5. Personaje Moche

Fuente: Museo Tumbas Reales de SIPAN, 2015

Observando y tomando en cuenta las características físicas del personaje moche, se generó el cuerpo en la herramienta de protipado de humanoide fotorealístico, en donde se crea un personaje base tomando como referencia la bibliografía e imágenes registradas por los arqueólogos e historiadores. En la Figura 6 podemos observar en (a) el procedimiento para elaborar el avatar a partir de un personaje base, en este caso fue el Señor de Sipán, es aquí donde se crean las facciones propias del avatar (Alva, 2010).

Finalizada esta parte, en (b) utilizando una herramienta de modelamiento, se modifican los sólidos 3D que posee dicho personaje, esto como propósito de buscar una optimización futura explicada más adelante. En (c) se genera el mapa UV el cual será la textura que envolverá al personaje dándole las características de piel y realce de rasgos físicos.

Finalmente, en (d) se coloca el mapa UV al personaje y luego este es exportado a una plataforma 3D para realizar el experimento.

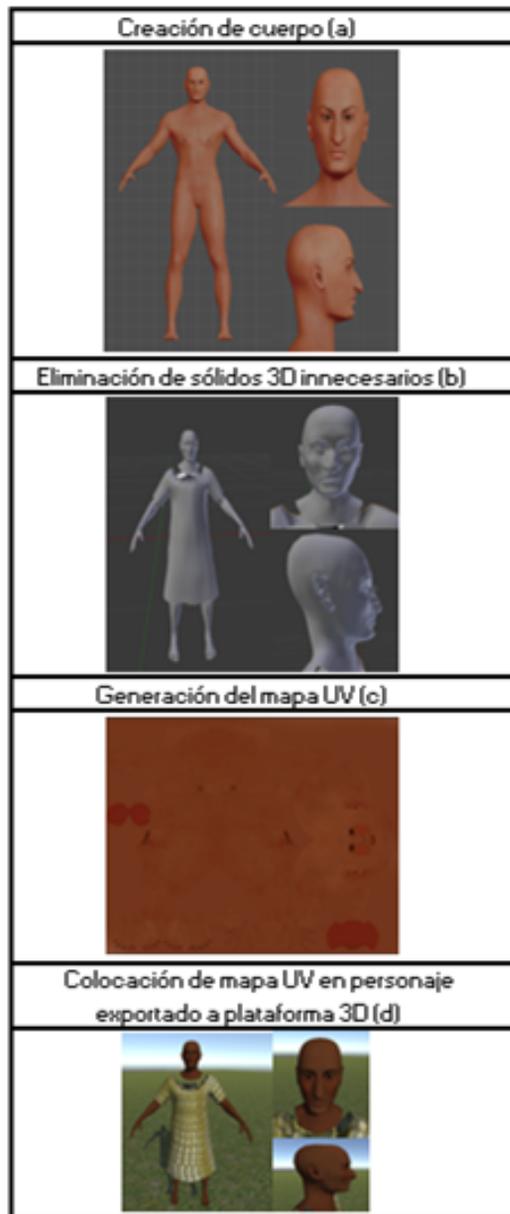


Figura 6. Procedimiento para crear un personaje 3D

Escenario de la Cultura Moche

Se ha elaborado un escenario 3D, solo para ser representado en entorno virtual. Este escenario representa el Templo del Señor de Sipán, mostrado en la Figura 7, donde se muestra en la parte superior la reconstrucción realizada por el equipo del Dr. Walter Alva, y en la parte inferior la construcción 3D básica realizada como parte de la construcción de un escenario virtual que será usado con fines de enseñanza de la Cultura Moche (Universidad Alas Peruanas, 2012).

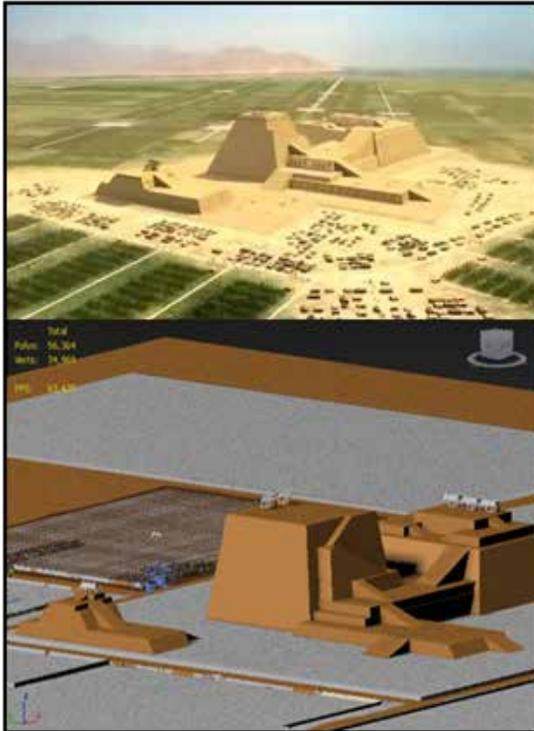


Figura 7. Escenario que representa el Templo el Señor de Sipán.

Experimentos y resultados

Se trabajó un personaje moche que representa al Señor de Sipán, así como los ornamentos que poseía. Tales adornos fueron: orejera, casco, collar, nariguera, pechera y traje.

Cabe resaltar que dichos ornamentos fueron elaborados por los moches unidad por unidad, con mucho detalle, de la misma manera, el equipo de diseño se encargó de duplicar cada objeto cuidando sus características físicas originales, logrando recrear en 3D objetos con alta calidad gráfica.

Por tal motivo, para ser integrados en un ambiente virtual o aumentado, se realizó la medida los FPS de los objetos 3D en el entorno, utilizando de referencia la cantidad de vértices y polígonos como parámetros de medición.

Tanto en el entorno de realidad aumentada como en el entorno virtual, se utilizaron los FPS promedio para medir la performance del avatar moche creado.

El FPS se define matemáticamente por:

$$FPS = 1 / \text{frametime}$$

Donde frametime depende del número de vértices y polígonos de un determinado objeto 3D. En caso estos valores sean altos, se obtendrá un frametime más alto y por lo tanto, menos FPS.

Proceso para la optimización de elementos del vestuario

Cada elemento creado en 3D fue optimizado reduciendo el número de polígonos y vértices generados por cada elemento 3D. En la Figura 8 se observa en (a) el objeto que representa al collar del Señor de Sipán, se puede ver en (b) las caras de una de las joyas y ver la cantidad de vértices conectados a través de las líneas blancas del dibujo. En (c) se muestra el mismo objeto 3D con la optimización, observando una ligera pérdida de la calidad gráfica de la misma y en (d) se puede observar la misma joya con muchos menos vértices que en (b). En la Figura 9 se puede apreciar el proceso de optimización de un objeto moche y los vértices de cada componente que posee.

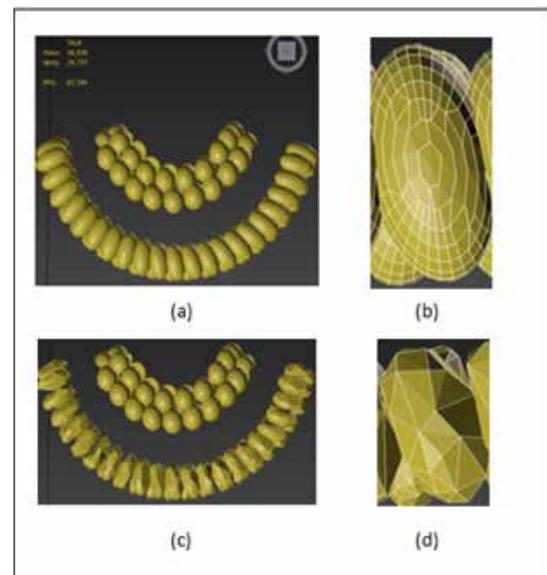


Figura 8. Proceso de optimización de objetos Moche

Optimización de componentes gráficos 3D

Con los objetos 3D modelados se realizó una medición utilizando el software de modelamiento 3D. Teniendo en cuenta que los parámetros que afectan directamente a los FPS son la cantidad de vértices y polígonos, se tomó a los mismos como parámetros de medición. Se considera la medida de vértices de los objetos para medir la calidad 3D de los mismos.

Los objetos desarrollados en herramientas 3D inicialmente tienen más del doble de la medida óptima para que pueda desenvolverse en un entorno virtual y cuatro veces el número óptimo para ser considerados en entornos aumentados (Adisusilo, 2015), por lo que cada elemento debe ser optimizado sin perder calidad visual o validez gráfica ante el usuario.

En la Figura 8, se observa en los dibujos del lado izquierdo la creación de los objetos 3D iniciales y el conteo de vértices y polígonos respectivos, mientras que en el lado derecho se optimizaron los mismos siguiendo el proceso de optimización del vestuario y se volvió a realizar una medición de los parámetros anteriormente mencionados. En el caso de la orejera moche la reducción puede observarse que fue muy drástica, esto debido a que el diseño original contenía mucho detalle que al ser colocado en el personaje no era necesario conservar, además este objeto exige una copia para la funcionalidad, lo que duplicaba el problema. Debido a la dimensión del objeto respecto al objeto principal (Señor de Sipán) y sumado a que son dos objetos de este tipo aseguraba una pérdida de performance muy elevada comparada a la visualización que tendrá el usuario para estos objetos.

El personaje 3D también fue optimizado de manera inicial, se le quitó todo el cuerpo que está debajo de la ropa y solo se dejó los huesos, los cuales aseguran las acciones a realizar.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de la optimización de objetos moche, se muestra los vértices y polígonos de objetos moche optimizados y no optimizados y el porcentaje de mejora respecto al modelo.

Una vez realizada la optimización se verifica la calidad de cada componente en cada dispositivo o en cada infraestructura a usar, para esta investigación se usó un equipo core I7 con 8 Gb RAM, con tarjeta de video Nvidia GeForce 210 4Gb para el entorno virtual y para el entorno aumentado se usó un equipo Android Samsung Mini S4 GT-I9195.

Tabla 2

Vértices y polígonos de objetos Moche optimizados y no optimizados

Objeto 3D			
Señor de Sipán y traje			
	Inicial	Optimizado	Porcentaje de mejora
Vértices	12908	5052	15550%
Polígonos	25510	9838	15930%
Pechera			
Vértices	485	160	20313%
Polígonos	326	146	12328%
Nariguera			
Vértices	783	525	4914%
Polígonos	1562	6	2593333%
Corona semicircular y casco			
Vértices	969	431	12482%
Polígonos	1232	592	10810%
Orejera			
Vértices	68016	34	19994706%
Polígonos	131488	36	36514444%
Collar			
Vértices	19790	12447	5899%
Polígonos	38400	12591	20498%

Parámetro de optimización	Modelo 3D inicial	Modelo 3D optimizado
Señor de Sipán y traje de cotas doradas		
Vértices	12908	5052
Polígonos	25510	9838
Pechera moche		
Vértices	485	160
Polígonos	326	146
Nariguera		
Vértices	783	525
Polígonos	1562	6
Corona semicircular y casco Moche		
Vértices	969	431
Polígonos	1232	592
Orejera Moche		
Vértices	68016	34
Polígonos	131488	36
Collar Moche		
Vértices	19790	12447
Polígonos	38400	12591

Figura 9 Optimizando el personaje Señor de Sipán

Medir la rapidez del personaje y los objetos moche

Con los modelos 3D optimizados, se procedió a medir los FPS tanto en un ordenador personal como en un dispositivo móvil utilizando realidad aumentada, se midieron tanto los FPS de los modelos no optimizados los cuales tienen los vértices y polígonos de acuerdo a la Tabla 1 y los modelos optimizados de acuer-

do a la figura 9. Al realizar el experimento con el avatar sin escenario, tanto para un ordenador personal como para un dispositivo móvil utilizando realidad aumentada, el resultado mostró para el ordenador personal un rendimiento de 7.65 FPS para el avatar del Señor de Sipán no optimizado y 59.36 FPS para el avatar optimizado respectivamente, ver Tabla 3. Considerando que 7.65 FPS representa 130.7 ms y 59.36 FPS representa 16.8 ms, existe una diferencia de 113.9 ms de intervalo de tiempo para cada frame mostrado, lo cual representa un fuerte impacto en la performance final a la visualización.

Tabla 3

Comparación del modelo 3D del personaje Señor de Sipán en un ordenador y un dispositivo móvil sin utilizar escenario

Dispositivo	Modelo	No optimizado (FPS Prom.)	Optimizado (FPS Prom.)
Ordenador personal	Intel Core I7-4770	7.649828	59.36324
	3.4Ghz, RAM 8Gb, T.Video Nvidia GeForce 210 4Gb		
Dispositivo móvil	Samsung Mini S4 GT-I9195	< 3	24.87851

En la Figura 10, se puede observar gráficamente los experimentos realizados para cada tipo de dispositivo a fin de comparar la calidad gráfica de los modelos finales. Se muestra la comparación de los modelos para una computadora personal en donde se tiene en cuenta los frames por segundo, el promedio general para cada acción, el promedio con el uso de un marcador para la prueba utilizando realidad aumentada.

Después de comparar los parámetros, se decide por aquellos que aseguren calidad gráfica y de rendimiento; la misma acción se rea-



Figura 10. Comparación de performance de los modelos en un ordenador personal sin considerar escenario



Figura 11. Comparación de performance de los modelos en un dispositivo móvil utilizando realidad aumentada. Parte superior: modelo no optimizado, Parte inferior: modelo optimizado.

liza para los dispositivos móviles. Los resultados los podemos observar en la Figura 11.

Para los dispositivos móviles se debe tener en cuenta el especial cuidado que el usuario le da al hecho del consumo de sus recursos, una solución que signifique el consumo de espacio excesivo y pérdida de rendimiento difícilmente será usada.

Para la obtención de los FPS, Promedio General de Frames de la Figura 10, Promedio con Marcador y Promedio sin Marcador de la Figura 11 se utilizaron cuatro algoritmos.

A continuación se detalla cada uno de los algoritmos y algunos resultados de los experimentos realizados.

Frames por segundo (FPS)

Se obtiene de dividir uno entre el intervalo de tiempo obtenido por cada frame en la ejecución del personaje. Por ejemplo, en la Figura 10 observamos, para el modelo no optimizado 7.542527 FPS lo cual significa $1 / 7.542527 =$ cantidad de tiempo transcurrido necesario para mostrar 1 frame utilizando este modelo 3D. Para este ejemplo es de 0.132581 segundos por frame.

Siguiendo el mismo ejemplo, en la misma Figura 10 para el modelo optimizado, tenemos 55.35644 FPS lo cual implica que este modelo 3D requiere de solo $1 / 55.35644$ para mostrar un frame. En este caso el tiempo es de 0.018 segundos por frame.

Promedio general de frames

Este valor se obtiene de sumar los FPS y dividirlos entre el total de intervalos de tiempo transcurridos desde la ejecución del experimento. Conforme el tiempo transcurre se irá aumentando el total de intervalos y también el total de FPS por cada uno, logrando así un valor estable para el experimento.

Para el experimento, en la Figura 10 el modelo no optimizado obtuvo 7.6498 FPS el cual fue mostrado al pasar 5 segundos desde el inicio siendo acumulado varios FPS desde los valores de 7.5 a 7.8 según la ejecución este valor dividido entre el total de intervalos de tiempo utilizados para la prueba.

Promedio con marcador

Esta prueba se aplicó al experimento utilizando realidad aumentada. Se hace un llamado a una función al código fuente de la plataforma a utilizar en este experimento, devolviendo esta función un parámetro que indique si existe detección de marcador de realidad aumentada o no.

En caso se detectase marcador, se realiza la misma secuencia que el ejemplo del promedio general de frames a fin de mostrar el valor deseado.

En el experimento de la Figura 11 para el modelo no optimizado se obtuvo 10.83994 de Frames de promedio con el marcador de realidad aumentada. Esto se debe a que una vez que se tiene el personaje 3D utilizando la realidad aumentada en el dispositivo móvil se sigue enfocando el marcador por lo que el algoritmo interpreta que debe seguir haciendo la detección del marcador a pesar de ya contar con un modelo 3D generado y afecta directamente en la performance final.

Promedio sin marcador

Esta prueba se aplica utilizando realidad aumentada haciendo el mismo llamado a la

plataforma para conocer si se está detectando el marcador.

A diferencia del cálculo anterior, aquí importa que no se esté detectando marcador alguno ya que una vez que se ha hecho la detección del mismo y se tiene el personaje generado en nuestro dispositivo móvil, no es necesario continuar detectando el marcador. Sin embargo, sí es importante no perder el enfoque del dispositivo móvil hacia el marcador para evitar perder nuestro modelo 3D en nuestro celular.

Discusión

Existe una fuerte diferencia para el experimento aplicado a Realidad Aumentada entre el promedio con marcador para el modelo no óptimo y óptimo (10.84 y 36.66 de FPS promedio respectivamente); sin embargo, esta es mínima para el modelo sin marcador para el mismo caso anterior (65.33 y 65.20 FPS promedio respectivamente). Esto demuestra que una vez detectado un marcador utilizando realidad aumentada, lo mejor que se puede hacer para garantizar una buena performance del modelo generado 3D es alejarse lo suficiente del marcador a fin de que el dispositivo móvil se mantenga detectando el marcador y no pierda el enlace con el modelo 3D que aumenta una realidad.

Podemos observar una calidad gráfica muy similar para el experimento aplicado a computadoras personales de la Figura 10, sin embargo la diferencia de performance es bastante alta del modelo no óptimo y óptimo, (7.64 y 59.36 FPS promedio respectivamente) incluso casi ni se aprecian las orejeras que en efecto fueron inicialmente los modelos 3D con mayor cantidad de vértices y polígonos construidos y donde tuvo mayor impacto la optimización.

Conclusiones

Se logró crear componentes ágiles para los objetos 3D de la cultura Moche con las características, semejanzas requeridas y con la ca-

pacidad de ejecutarse en entornos virtuales web y de realidad aumentada de manera óptima y guardando la coherencia gráfica.

El parámetro de medición de frames por segundo fue útil para comparar los FPS entre el personaje no optimizado y el personaje optimizado.

Con una buena optimización es posible reducir al mínimo un objeto 3D cuyo peso inicial es alto, dependiendo de la visualización que tendrá respecto al modelo final.

La optimización de los objetos 3D utilizados para la vestimenta del personaje del Señor de Sipán tiene incidencia en los parámetros de vértices y polígonos por lo que reduciendo estos se reduce ligeramente la calidad gráfica y se aumenta de forma significativa la performance de las aplicaciones que utilizan tecnologías de modelamiento e interacción 3D.

Referencias

- Adisusilo, A. K. (2015). Reduction, Optimize 3D Graphic for Culture Game by Using Polygon. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 72(1), 9-17.
- Alva, W. (2010). *Sipán*. Lima: El Comercio S.A.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S. J., & MacIntyre, B. (2011). Recent Advances in Augmented Reality. *Computers Graphics and Applications, IEEE*, 21(6), 34-47.
- Doellner, J., Hagedorn, B., & Klimke, J. (2013). Server-Based rendering of large 3D scenes for mobile devices using g-buffer cube maps. . In *COM.Geo '11 Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications*.
- Freeman, D. (2004). Creating emotion in games: the craft and art of Emotioneering. *Computers in Entertainment (CIE) - Theoretical and Practical Computer Applications in Entertainment*.
- Geographic Information Systems Stack. (2014, Agosto 9). *How to extract the number of vertices in each polygon?* Retrieved Agosto 10, 2015, from <http://gis.stackexchange.com/questions/84796>
- Hilera, J., Otón, S., & Martínez, J. (1999). *Aplicación de la Realidad Virtual en la enseñanza a través de Internet*. Madrid: Universidad de Alcalá .
- Jaballah, K., & Jemni, M. (2013). A Review on 3D Signing Avatars: Benefits, Uses and Challenges. *International Journal of Multimedia Data Engineering & Management*.
- Janani, B., Arthy, R., & Somasundaram, M. (2015, October 16). *Virtual World Technology for Healthcare : A survey*. Retrieved from <http://www.researchgate.net/publication>
- Janseen, C. (2015). *Frames Per Second (FPS)*. Retrieved Agosto 6, 2015, from <http://www.techopedia.com/definition/7297/frames-per-second-fps>
- MediaWiki. (2015, Mayo 21). *Polygon Count*. Retrieved Septiembre 10, 2015, from http://wiki.polycount.com/wiki/Polygon_Count
- Museo Tumbas Reales de SIPAN. (2015, Septiembre 9). *Museo Tumbas Reales de SIPAN*. Retrieved Julio 8, 2015, from http://www.museotumbasrealessipan.pe/inf_entrenimiento.html
- Schindle, K., & Van, L. (2008). *Action Snippets: How many frames does human action recognition require?* Presented at IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Universidad Alas Peruanas. (2012). *Sipán 25 años del descubrimiento y 10 años del museo*. Lima, Perú: Autor.
- Xu, C., Zhou, M., Zhang, D., Shui, W., & Wu, Z. (2013). *Guidance rays: 3D object selection based on multi-ray in dense scenario*. Proceedings of the 12th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, New York, USA.