

DISEÑO DE PROTOCOLO PARA DIGITALIZACIÓN DE PATRIMONIO CULTURAL SALVADOREÑO, IMPLEMENTANDO REALIDAD VIRTUAL, FOTOGRAMETRÍA Y PROCESOS DE MANUFACTURA ADITIVA

Yancy Steffany Ventura Aguilar

Ingeniero en Sistemas Computacionales, docente titular Facultad de Ingenierías,

Universidad Evangélica de El Salvador. El Salvador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5039-5720>

yancy.ventura@uees.edu.sv

Recibido 25/05/22 / Aceptado 12/10/22

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un protocolo para la digitalización de objetos de patrimonio cultural, utilizando técnicas de realidad aumentada, fotogrametría e impresión 3D, que permita la estandarización en el flujo de trabajo. La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto fue la búsqueda de información bibliográfica, mostrándonos el camino para el desarrollo del proyecto, permitiendo conocer las diferentes técnicas utilizadas para la digitalización de imágenes. Durante la búsqueda de información se entrevistó a un especialista con experiencia en la gestión de piezas catalogadas como patrimonio cultural, recomendando el manejo de criterios para la selección de las piezas a digitalizar, la importancia de la protección de las piezas arqueológicas, además, los altos costos que genera por el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de estos tipos de proyectos. En cuanto a los resultados obtenidos, se creó un protocolo especializado que oriente a la digitalización de patrimonio cultural, permitiendo obtener réplicas a escalas de cada pieza, logrando además visualizarlas en un entorno virtual, lo que permitió la interacción de las piezas al público en general, con un total de 184 vistas durante el periodo de ejecución del proyecto, todo esto con el propósito de que las piezas originales sean resguardadas. En conclusión, este proyecto facilitó la creación del protocolo de digitalización de imágenes del patrimonio cultural salvadoreño, que fomentando el uso de nuevas tecnologías en este campo de estudio y que permitiendo estandarizar para la libre exposición a todas las personas sin correr riesgos de daño.

Palabras clave: Digitalización, Patrimonio Cultural, Realidad Virtual, Fotogrametría, El Salvador.

PROTOCOL DESIGN FOR DIGITIZATION OF SALVADORAN CULTURAL HERITAGE, IMPLEMENTING VIRTUAL REALITY, PHOTOGRAMMETRY AND ADDITIVE MANUFACTURING PROCESSES

Abstract

The present research aims to develop a protocol for the digitization of cultural heritage objects using augmented reality techniques, photogrammetry and 3D printing, which allows standardization in the workflow. The methodology used for the development of this project was the search for bibliographic information, showing us the way to develop the project, allowing us to know the different techniques used for digitizing images. During the search for information, a specialist with experience in the management of pieces of cultural heritage was interviewed, mainly recommending the handling of criteria for the selection of the pieces to be digitized, the importance of the protection of archaeological pieces, in addition, the high costs generated by the use of new technologies in the development of these types of projects. Regarding the results obtained, a specialized protocol has been created to guide the digitization of Salvadoran cultural heritage, allowing to obtain replicas at scale of each piece of cultural heritage, also managing to visualize it in a virtual environment, which allowed the interaction of the pieces at the same time. general public with a total of 184 views during the execution period of the developed project, all this with the purpose that the original pieces are safeguarded. In conclusion. This project facilitated the creation of the protocol for the digitization of cultural heritage images, promoting the use of new technologies that allow digitization to be standardized and thus promote free exposure to all people.

Keywords: Digitization, Cultural Heritage, Virtual Reality, Photogrammetry, El Salvador.

Introducción

Este es un análisis de la técnica para digitalizar un objeto, considerando que cada técnica requiere un equipo, recursos y un flujo de trabajo específico con distintos costos de implementación y resultado diferente, como: contacto y óptico.

En primer lugar, se encuentra el proceso óptico, que consiste en la Técnica Óptica o Fotogrametría, cuyo objetivo es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a partir de medidas con intersección de dos o más fotografías o de una fotografía, y el modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado, el cual ha de ser realizado anteriormente por intersección de dos o más fotografías (Qing, 2006).

Por otra parte, no se puede dejar de lado la importancia del patrimonio cultural como parte del objeto de estudio en la Conferencia Mundial de la UNESCO, realizada en México en 1982, establece que: «El Patrimonio Cultural de un pueblo comprende las obras de sus artistas, arquitectos, músicos, escritores y sabios, así como las creaciones anónimas, surgidas del alma popular, y el conjunto de valores que dan sentido a la vida, es decir, las obras materiales y no materiales que expresan la creatividad de ese pueblo; la lengua, los ritos, las creencias, los lugares y monumentos históricos, la literatura, las obras de arte y los archivos y bibliotecas» (UNESCO,1982).

En el caso de algunos sitios arqueológicos como las ruinas son de difícil acceso y, por el deterioro que implica la interacción con visitantes, algunas de ellas tienen acceso restringido. Con el protocolo diseñado en esta propuesta se pueden difundir los hallazgos y motivar a las futuras generaciones a mantener un interés por el patrimonio cultural que se está perdiendo. Por esta razón, es de suma urgencia el desarrollo de un protocolo estandarizado que facilite la creación de piezas de patrimonio cultural que puedan ser mostradas al público para su socialización, y de esta forma incidir en el crecimiento del interés cultural de las futuras generaciones. El desarrollo de este proyecto facilitó la creación de un protocolo de digitalización que oriente a la creación de réplicas a escalas de cada pieza de patrimonio cultural, utilizando técnicas de realidad aumentada, logrando además visualizarla en un entorno virtual, todo esto con el propósito de que las piezas originales sean resguardadas y socializar las réplicas.

Metodología

Esta investigación fue fundamentada en los recursos electrónicos que se tienen disponibles en UEES, más el paquete de programas CAD Autodesk que tiene licencias gratuitas para instituciones académicas.

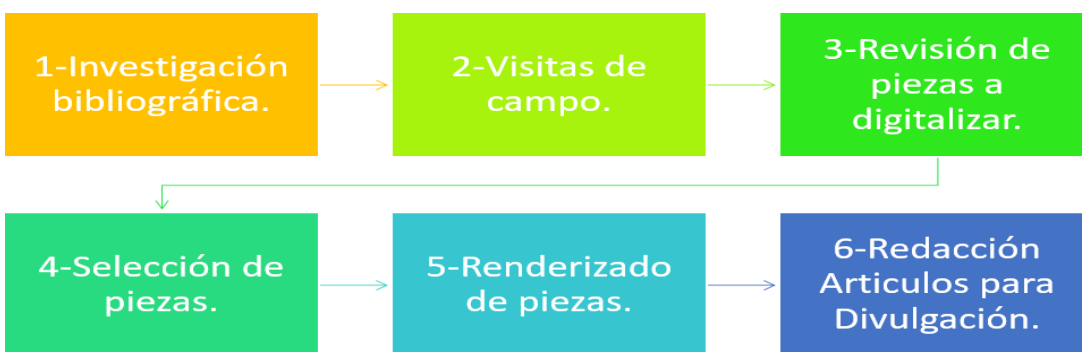


Figura 1. Metodología para el desarrollo del proyecto. – Fuente. Elaboración propia

1. **Investigación bibliográfica:** Una vez aprobada la propuesta de investigación, se inició la recopilación de datos, basados en los recursos electrónicos con que se cuenta en la biblioteca de la Universidad Evangélica de El Salvador.
2. **Visitas de campo:** Referente al proceso de las visitas técnicas, se representó el inconveniente de el cierre de los parques arqueológicos durante buena parte del año 2020, esto obligó a trabajar con el Sitio Arqueológico Casa Blanca, ubicado en la zona arqueológica de Chalchuapa, en el municipio homónimo, en Santa Ana, zona occidental de El Salvador:

En las visitas de campo desarrolladas en los parques arqueológicos salvadoreños y el museo MUNA se recolectaron múltiples bases de datos fotográficas que permitieron desarrollar los procesos de digitalización de cada una de las imágenes, procesadas por medio del programa ReCap Photo 360. A continuación, se describen las actividades que se desarrollaron durante la investigación:

3. **Revisión de piezas a digitalizar:** Las visitas de campo permitieron las experimentaciones con distintas condiciones lumínicas y de volumen que ayudaron a la selección de las piezas en las cuales se centró esta investigación.
4. **Selección de piezas:** El equipo de investigación se reunió en distintas ocasiones para seleccionar las piezas que se digitalizaron basados en los siguientes indicadores: volumen, superficie y relevancia de las piezas en el patrimonio salvadoreño.
5. **Renderizado de piezas:** El renderizado de piezas consistió en la generación de los volúmenes tridimensionales en formato virtual, este proceso requirió seis visitas de campo exclusivamente en el Sitio Arqueológico Casa Blanca para captura de imágenes que facilitaron la creación de las piezas virtuales. Los pasos que se siguieron por cada renderizado se mencionan a continuación:
 - a. Configuración de coordenadas
 - b. Toma de fotografías
 - c. Selección de fotografías
 - d. Corrección de imágenes
 - e. Generación de nube de puntos
 - f. Limpieza de volumen
6. **Redacción artículo:** Luego de seleccionar las piezas (3) a digitalizar se realizará un artículo para divulgación del estado del arte del proceso de digitalización. Además, se estableció un plan de socialización de los resultados en la Web. Cuando las piezas sean digitalizadas, se publicarán en el sitio web: www.sketchfab.com

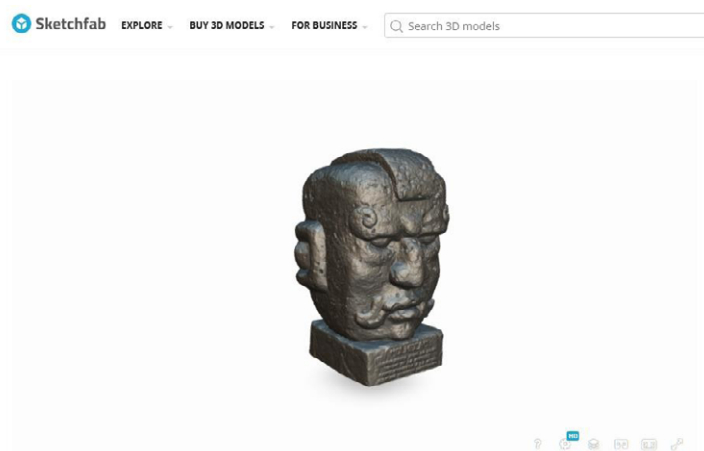
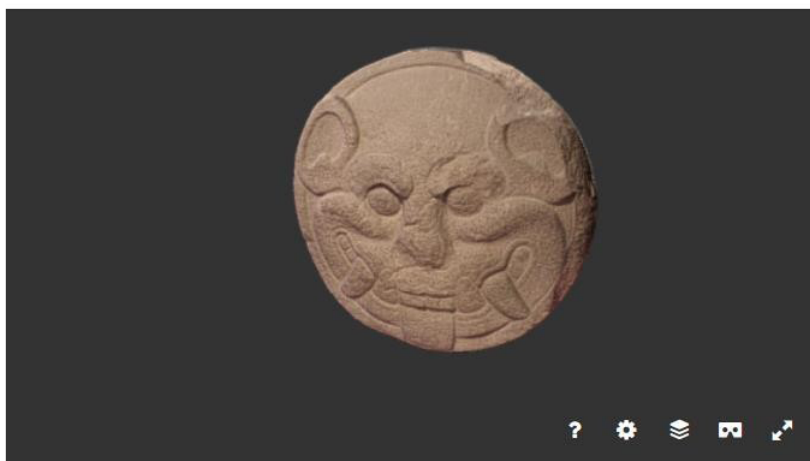


Figura 2. Imagen preparada para visualización (Pieza 1). Fuente propia. <https://sketchfab.com/3d-models/decameron1-16bfc9853606496182c0c6ea9d852aff>



DISCO JAGUAR DE CARA SUCIA

3D Model

Figura 3. Imagen preparada para visualización. (Pieza 2) Fuente propia. <https://sketchfab.com/3d-models/disco-jaguar-de-cara-sucia-4ec30044d17248f69bfad4c95508dd40>



Decameron 2
3D Model

Figura 4. Imagen preparada para visualización. (Pieza 3) Fuente propia. <https://sketchfab.com/3d-models/decameron-2-3bea39d128d041a588e79aa84e6e55aa>

Para la elaboración de la Fase 1 se realizó una investigación teórica, en la cual se consultaron las fuentes de literatura indexada para la obtención de información, se abordarán tanto los temas relacionados con el patrimonio cultural de El Salvador, como los temas pertinentes de la digitalización del entorno en el cual se desarrolló la investigación para entender la importancia de la preservación del patrimonio cultural salvadoreño y cómo esto trae beneficios a la sociedad.

Dentro de la investigación teórica se desarrollaron dos temáticas importantes: el patrimonio cultural salvadoreño y la digitalización 3D. En la Fase I, las investigaciones de campo tuvieron un mínimo alcance; buscando la oportunidad de seleccionar y digitalizar tres distintas piezas dentro de un museo salvadoreño, por cada pieza se entregó un informe que incluye la descripción del flujo de trabajo utilizado para cada digitalización, una base de datos (imágenes recopiladas) y una reproducción 3D a escala de cada pieza digitalizada.

La primera fase del proyecto: Diseño de protocolo para digitalización de patrimonio cultural implementando realidad virtual, fotogrametría y procesos de manufactura aditiva, dejó los cimientos para retomar una segunda fase donde se pueda buscar aliados con mayor impacto.

En cuanto a la digitalización de la Universidad Evangélica de El Salvador, a través de la

Facultad de Ingenierías, se apostó por incursionar en el campo de las nuevas tecnologías. La digitalización del patrimonio cultural debe aprovechar las tendencias de tecnología a nivel mundial, con esto la Universidad Evangélica de El Salvador está a la vanguardia de las investigaciones en el rubro de aplicación de las tecnologías 3D y todo lo relacionado con la digitalización del patrimonio cultural en la región.

En la segunda fase de la investigación es de vital importancia ejecutar una amplia investigación de campo. En El Salvador, se cuenta con varios museos, ruinas y otras locaciones físicas, de las cuales se puede obtener información sobre el estado actual del patrimonio cultural y, sobre todo, tener el acercamiento a las diversas piezas arqueológicas que forman parte del patrimonio cultural.

Resultados

Con la creación del protocolo de digitalización se obtuvo como resultado la fabricación de tres piezas que forman parte del patrimonio cultural salvadoreño, facilitando la impresión de las piezas, de esta forma los usuarios tienen acceso ilimitado para interactuar con ellas, fomentando su valor cultural, identidad y conocimiento a las futuras generaciones.

Para obtener el resultado buscado se debe seguir el siguiente proceso:



Figura 5: Flujo de trabajo referente a fotogrametría. Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de flujo de trabajo de impresión 3D

«G-Code es un lenguaje por el cual se le dice a una máquina computarizada cómo hacer algo. Este «cómo» se define por instrucciones de a dónde moverse, cómo de rápido moverse, y qué camino seguir. El G-Code puede ser generado con diferente software como Skeinforge, Cura, Slic3r. Uno de los más usados es Slic3r. Es una herramienta necesaria para convertir un modelo 3D en unas instrucciones de impresión (G-Code) para la impresora. Corta el modelo en rebanadas horizontales (capas), genera las trayectorias para rellenarlas y calcula la cantidad de material a extruir» (ERASMUS3D, 2017).

Las nuevas tecnologías de visualización son de importancia primordial en la difusión del conocimiento. A pesar del potencial de visuali-

zación, los académicos perciben la producción de imágenes digitales como una meta intermedia, el mayor desafío radica en crear nuevas herramientas que usan modelos 3D para ayudar a la investigación (Shan, 2020).

Los investigadores pueden usar modelos digitales 3D para mapear, anotar, indexar, recuperar, visualizar y comparar el conocimiento obtenido de los estudios y análisis de piezas del patrimonio cultural salvadoreño.

El flujo de trabajo se divide en dos partes principales: captura y procesamiento. La captura consiste en tomar fotografías de un objeto que lo cubre todo. El procesamiento se trata de generar la malla y datos de textura de las fotos (Li, 2017).

Concepto del modelado: Se realizó una selección de las piezas a digitalizar tomando en cuenta los criterios más importantes: volumen superficie y pertinencia.

Creación de modelado CAD: Una vez se contaba con la pieza a digitalizar, se debe documentar con la toma de fotografías; posterior a esta actividad, se seleccionan las fotografías con mejor calidad de imagen, depurando la base de datos de las imágenes, una vez depurado se depositaron en el programa ReCap Photo.

Reparación de STL (CAD): El proceso de limpieza del volumen tridimensional permitió eliminar las imperfecciones que se quieren descartar, para tener un adecuado proceso de impresión 3D.

Impresión 3D: Una vez se obtiene este formato STL procedemos a definir los parámetros de la impresión 3D (temperatura, volumen, material, resolución, grosor de pared y tiempo de fabricación).

La impresión 3D es un grupo de tecnologías que fabrican piezas a partir de la adición de material, es por ello que se conoce como manufactura aditiva (MA), en lugar de mecanizado por pérdida de material, y permite obtener un objeto en tres dimensiones previamente parametrizado a través de su diseño por ordenador (CAD). Este tipo de tecnología ha experimentado un crecimiento vertiginoso en los últimos años, no solo a nivel evolutivo en el perfeccionamiento de la técnica, sino a número de adeptos que apuestan por el uso de sus productos, a nivel industrial y de forma particular (Christoph, 2016).

Una vez configurada la (impresión 3D) puede ser exportada en un código G que define los movimientos del impreso 3D para la fabricación de la pieza.

Limpieza: Una vez impresa la pieza se debe retirar el material de soporte que es utilizado para la creación de figuras complejas.



Original

Fuente propia.



Digitalizada

Fuente propia.

Piezas trabajadas aplicando el protocolo de digitalización de patrimonio cultural salvadoreño

Pieza Seleccionada	Ubicación Geográfica	Numero de Fotografías	Volumen aproximado	Tiempo de procesamiento	Resultado
	Acajutla, Sonsonate - El Salvador	Fotografías tomadas 201 Fotografías Seleccionadas 48 https://drive.google.com/drive/folders/1TOfqdEXSp-DTzbcxPFIg-gCtwDgHfLGdF?usp=s-haring	2 METROS CÚBICOS	Toma de fotografías 4hrs Selección y corrección 4hrs Limpieza de volumen 2hrs	 https://skfb.ly/6UMPE
	Acajutla, Sonsonate -El Salvador	Fotografías tomadas 152 Fotografías seleccionadas 58	1 METRO CÚBICO	Toma de fotografías 2hrs Selección y corrección 2hrs Limpieza de volumen 2hrs	 https://skfb.ly/6WWZI
	Museo Nacional de Antropología - MUNA.	Fotografías tomadas 180 Fotografías seleccionadas 70	85 CM DE DIÁMETRO Y 30 CM	Toma de fotografías 2hrs Selección y corrección 2hrs Limpieza de volumen 2hrs	 https://bit.ly/3oEa3e5

Fuente propia.

Aspectos técnicos

El primer paso de la planificación es la selección de la pieza a digitalizar. Una vez se inicie el proceso de toma de fotografías, se deberán utilizar los criterios de configuración de **cámara mínimo**: Canon T6, recomendado Canon 90D, **Lente**: canon desmontable de 35-50mm con F1.8 - 6, **Memoria SD**: recomendada clase 10 o superior.

- No es necesario configurar la salida de la cámara en formato RAW, ya que se ha comprobado que un formato JPG de alta calidad nos proporciona unos resultados visiblemente adecuados.
- Utilizar preferiblemente un objetivo de distancia focal fija (35 o 50 mm), en caso de recurrir a un objetivo zoom.
- Mantener la misma distancia focal en todas las fotos.
- Utilizar, en la medida de lo posible, el modo manual de la cámara, así como el enfoque.
- Evitar las fotos con zonas desenfocadas; producirán error al modelarlas. Para evitarlo, aseguraremos una buena profundidad de campo cerrando el diafragma ($f/16 - f/22$).
- Evitar que la foto salga movida.
- Usar una velocidad ISO baja, evitará el grano, y, por tanto, zonas de difícil restitución.

Para el procesamiento de la imagen es requerido una computadora que cuente con estas mínimas características 32 GB de RAM, un Procesador I5 de octava generación o superior

y una tarjeta gráfica dedicada de 8GB, esta deberá tener instalada los diferentes softwares que permitan el modelado de imágenes actualizado.

Técnica por contacto; cada vez más en desuso, se palpa la pieza u objeto con un elemento conectado a un control numérico que escriben las coordenadas XYZ en el espacio, siguiendo los parámetros marcados por el operador en el software. Se pueden montar palpadores en el cabezal de máquinas tridimensionales o máquinas de control numérico computarizado (CNC) (ASTM, 2018).

Discusión del resultado obtenido

El desarrollo de este protocolo ha permitido tener una forma de cómo poder gestionar el flujo de trabajo requerido para la digitalización de volúmenes tridimensionales del patrimonio cultural salvadoreño, dando a conocer una serie de conceptos, como formatos, técnicas y recursos tecnológicos mínimos necesarios para la obtención de réplicas de piezas que permiten el resguardo de las piezas originales. Las réplicas servirán para socializar el valor y la identidad cultural.

Existen algunos proyectos que han ofrecido un proceso de cómo trabajar modelado de imágenes en diferentes áreas, entre las cuales se pueden mencionar el de Charvillat, publicado en 2010, donde describe la importancia del procesamiento y análisis de datos del patrimonio cultural y donde Charvillat sugiere que es necesario un esfuerzo multidisciplinario, que reúna a ingenieros, informáticos, expertos en restauración, arqueólogos, historiadores y curadores

de arte, para la creación de métodos que permitan modelar la degradación del color de pinturas y las metodologías para su restauración virtual o física a lo que le llama «Técnica estándar», pero dicha investigación no se enfoca en poder estandarizar un flujo de trabajo que facilite la guía necesaria para el proceso de digitalización de piezas de patrimonio cultural.

Remondino en su publicación *Image-based modeling for object and human reconstruction* en el 2006, nos dice que los inicios de un modelado 3D tienen mucha complejidad, debido a que es asistido por computadora (CAD), donde la forma se define según una acción de dibujo del usuario, aproximándose a formas complejas. Este enfoque se puede utilizar tanto para elementos irreales como para objetos reales. En el último caso, el objeto debe ser inspeccionado, primero para generar un dibujo coherente con el material real, tomando en cuenta la utilización de equipo técnico que le asista al escaneo del objeto para generar un volumen tridimensional. Esta técnica es muy utilizada para la generación de mapas y búsqueda de objetos bajo la tierra. Sin embargo, Remondino no ofrece un manual guía para dichos procedimientos, pero sí describe una técnica.

Pugliese en su publicación titulada *Low Cost 3D Surveying Methodologies* en el 2018, establece cómo poder trabajar con un proyecto de digitalización de imágenes con programas de código abierto o libre distribución, trabajando con la técnica de fotogrametría, ofreciendo los programas que cumplan con las características adecuadas para la creación del protocolo de digitalización recomendando ReCap Photo de Autodesk. Y describe un flujo de trabajo que facilita la digitalización de imágenes.

Cada una de las publicaciones, permitieron el desarrollo de la investigación: *Diseño de Protocolo para Digitalización de Patrimonio Cultural Implementando Realidad Virtual, Fotogrametría y Procesos de Manufactura Aditiva*, que fomentó la preservación del patrimonio cultural, así como la socialización de la identidad cultural a las futuras generaciones. Es por esta razón, que como equipo de investigación se optó por la realización de un protocolo que, además de dar a conocer las técnicas y la utilización de equipos tecnológicos, nos permita seguir ordenadamente los pasos que oriente en la generación de réplicas virtuales de cada objeto, considerando el equipo mínimo a utilizar, así como el software necesario, entre otros recurso tecnológicos.

Conclusiones

- Con la creación del protocolo de digitalización de imágenes del patrimonio cultural se fomenta el uso de las nuevas tecnologías que permita estandarizar la digitalización y, de esta forma, fomentar la libre exposición a todas las personas.
- El protocolo de digitalización permite la preparación de réplicas de piezas culturales para que las personas interactúen con ellas, sin la preocupación de daños o desgastes.
- Se identificaron técnicas similares a las propuestas en el protocolo diseñado en esta investigación, pero no se encontró ningún flujo de trabajo que permita la digitalización de patrimonio cultural salvadoreño.

- Esta investigación permitió la demostración del flujo de trabajo propuesto, mediante la fotogrametría y documentación de cada paso para la digitalización que fue socializado en el repositorio sketchfab.

Recomendaciones

Se recomienda a quien esté interesado en utilizar el protocolo que debe contar con el equipo adecuado para la captura de imágenes y facilitar el procesamiento de modelado y limpieza. Ya que durante la etapa de captura de imagen el equipo de investigación contaba solamente con una cámara profesional de ángulo fijo y se dificultó la toma de ángulos aéreos.

- **Cámara:** el protocolo necesita de una cámara como primer componente. Es posible utilizar una cámara de Smartphone, pero la calidad de las imágenes tiene una calidad menor. Se recomienda la utilización de una cámara tipo DSLR Full Frame - modelo de cámara para mínimo; Canon t6, recomendado Canonn 90d.
- **Memoria SD:** es indispensable que la memoria sea clase 10 o superior. Es importante formatear las memorias antes de iniciar un nuevo proyecto de fotogrametría; se recomienda tener disponibilidad de 3 memorias con una capacidad mínima de 8gb.
- **Colorchecker:** este elemento permite la calibración de la cámara a las condiciones lumínicas de la escena fotográfica, esto permite una adecuada percepción de los colores.
- **Lente:** lente canon desmontable de 35-50mm con f1.8 - 6, esto dependerá de cada pieza, pero un uso general de este lente presenta poca distorsión.
- **Filtro polarizado uv:** este filtro permite una mejor claridad del objeto fotografiado y contrarresta reflejos que permiten un objeto renderizado con mayor detalle.
- **Computador:** En el caso del computador, es necesario que cuente con 32 gb de RAM, un Procesador i5 de octava generación o superior y una tarjeta gráfica dedicada de 8gb.
- Además, el uso de la nueva tecnología implica escalabilidad tanto para software y hardware es por esta razón que se recomienda en la adquisición de equipos seguir las indicaciones del proveedor para garantizar el éxito de los futuros proyectos.
- A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Evangélica de El Salvador, se recomienda una alianza estratégica con el Ministerio de Cultura de El Salvador, para contar con acceso a aquellos lugares que forman parte del patrimonio cultural.
- A autoridades para proyectos futuros, se recomienda no recortar presupuesto previamente aprobados, ya que restan la calidad de resultados de la investigación.
- A los investigadores, se recomienda realizar una segunda fase de la investigación, donde se pueda ejecutar el protocolo de digitalización en un proyecto de inclusión social a personas con discapacidad visual, y se puedan diseñar e imprimir volúmenes de piezas más grandes, que en la actualidad son difíciles de transportar por su peso y dimensiones, pero que con el uso de la tecnología propuesta en el protocolo diseñado fácilmente se pueden trabajar.

Referencias

- ASTM. (2018). D1600 – 18; Standard Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics. ASTM International, Disponible: <https://www.astm.org/>.
- Charvillat, V., Tonazzini, A., Van Gool, L. et al. (2010) Image and Video Processing for Cultural Heritage. J Image Video Proc 2009, 163064. Disponible: <https://doi.org/10.1155/2009/163064>
- Christoph, R. (2016). Manufactura Aditiva. Realidad y reflexión. Disponible: <https://www.lamjol.info/index.php/RyR/article/view/3552>
- Erasmus3d+, (2017). Guía Técnica De Impresión 3D. IO1 –Metodología para definir ejercicios de Impresión 3D adecuados para educación transversal. V1. Disponible: <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-ES-RES.pdf>
- Li, Y. (2017). Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. International Journal of Production Research, Vol. 55 Issue 23, p6957-6970.
- Pugliese M.C., Bartolomei C. (2018). Low Cost 3D Surveying Methodologies: Colors and Dimensional Accuracy in the Case Study of the Island of Procida, Italy. In: Ioannides M. (eds) Digital Cultural Heritage. Lecture Notes in Computer Science, vol 10605. Springer, Cham. Disponible: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-75826-8_2
- Qing, Z. (2006). Photogrammetry education for multidisciplinary geomatics in China. Geo-spatial Information Science. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1007/BF02826740>
- Remondino, Fabio & Pianesi, Fabio. (2006). Image-based modeling for object and human reconstruction. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/35195267_Imagebased_modeling_for_object_and_human_reconstruction.
- ASTM. (2015). Additive Manufacturing – General Principles. ASTM International - Standards Worldwide.
- Shan, J. (2020). Toward a unified theoretical framework for photogrammetry. Geo-spatial Information Science. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1007/BF02826740>
- UNESCO. (1982). Los Pueblos y su cultura. Disponible: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000074720_spa