

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**REALIDAD VIRTUAL PARA LA MEJORA DE LAS EXPERIENCIAS
DE TURISMO, EDUCACIÓN Y DIFUSIÓN DE PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Marcos Augusto Burgos Saavedra

ASESOR:

Dr. Benjamín Castañeda Aphan

Lima, Mes, Año

Resumen

El Perú es un país con una gran riqueza en su patrimonio natural y cultural, pero que lastimosamente no es explotado al máximo por temas administrativos. Su debilidad en cuanto a precios competitivos, infraestructura portuaria y terrestre, seguridad, infraestructura para el transporte aéreo, sostenibilidad ambiental e infraestructura del servicio turístico lo alejan de la atención de una mayor cantidad de turistas en el ámbito internacional. Así mismo, el patrimonio cultural posee limitaciones propias como acceso restringido a lugares de geografía peligrosa o por restauración del patrimonio; complejos arqueológicos que no se encuentran de manera íntegra por su deterioro debido al paso del tiempo; y finalmente la visita turística puede acelerar el deterioro de los complejos arqueológicos.

La riqueza cultural que posee el Perú lo nutre de una historia que el peruano tiene como deber difundir. Primero debe ser transmitida a sus ciudadanos para mejorar la identidad nacional y segundo, se debe transmitir a la comunidad internacional con el fin de reafirmar la cultura peruana en el mundo.

Por otro lado, en el Perú se realiza proyectos de investigación en aras del cuidado del patrimonio cultural por diferentes grupos de investigación a nivel nacional. Estos proyectos de investigación poseen sus propias vías de difusión como revistas y conferencias, cuyo público objetivo son investigadores en todo el mundo. Pero, siendo el cuidado del patrimonio una importante tarea, la comunidad científica debe procurar que la información sea transmitida también a personas ajenas al mundo científico.

En la actualidad, la realidad virtual permite tener una primera impresión del patrimonio sin necesidad de hacer largos viajes convirtiéndose en una poderosa herramienta de marketing. Además, permite la entrada a lugares inaccesibles en el turismo convencional, la visualización de lugares turísticos restaurados y por último la capacidad de interactuar con el patrimonio sin el peligro de su deterioro o destrucción. Por otro lado, la realidad virtual es capaz de mejorar los métodos de aprendizaje gracias a la interacción de las personas dentro del entorno virtual con lo que observan. Esta mejora es beneficiosa en la difusión de la historia del patrimonio cultural y en la difusión de información de los proyectos de investigación realizados en el patrimonio.

Finalmente, gracias al potencial de la realidad virtual para brindar servicios turísticos, este trabajo de investigación diseña e implementa un tour virtual con el fin de mejorar el aspecto turístico y educativo que posee todo patrimonio cultural. Así mismo, busca difundir proyectos de investigación realizados en aras del cuidado del patrimonio.

Índice General

Introducción.....	1
Marco Problemático.....	2
1.1 Problemática.....	3
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Justificación.....	9
1.4 Propuesta.....	10
1.5 Objetivos.....	10
1.6 Caso de estudio.....	10
Fundamentos para el diseño.....	12
2.1 Introducción del capítulo.....	13
2.1.1 Museos virtuales.....	13
2.1.2 Flujo de trabajo para hacer un museo virtual.....	14
2.2 Obtención de los modelos tridimensionales.....	15
2.2.1 Procesamiento inicial.....	15
2.2.2 Post – procesamiento.....	19
2.3 Obtención de la información multimedia.....	21
2.3.1 Información multimedia.....	21
2.3.2 Obtención de información.....	22
2.4 Creación del entorno y programación.....	22
2.4.1 Motores de videojuegos.....	22
2.4.2 Ejemplos de motores de videojuegos.....	25
2.5 Tecnologías de la realidad virtual.....	26
2.5.1 Gafas de la realidad virtual.....	26
2.5.2 Celulares.....	27
2.6 Monitoreo de salud estructural.....	28
Diseño de la propuesta.....	29
3.1 Introducción del capítulo.....	30
3.2 Flujo de tiempo.....	30
3.3 Diseño de la metodología.....	30
3.4 Tecnología usada para la implementación de la tesis.....	32
3.4.1 Equipos.....	32
3.4.2 Software.....	34
3.5 Implementación de la metodología.....	35
3.5.1 Recopilación de información.....	35

3.5.2 Procesamiento	39
3.5.3 Creación de entorno virtual.....	42
3.5.4 Programación.....	42
3.5.5 Evaluación - primera encuesta	52
3.5.6 Evaluación - segunda encuesta.....	52
Resultados	53
4.1 Implementación del proyecto para el hito 1.....	54
4.1.1 Recopilación de información	54
4.1.2 Procesamiento	57
4.1.3 Creación del entorno virtual.....	58
4.1.4 Programación.....	61
4.1.5 Evaluación – primera encuesta	62
4.2 Implementación del proyecto para el hito 2.....	63
4.2.1 Recopilación de información	63
4.2.2 Procesamiento	64
4.2.3 Creación del entorno virtual.....	65
4.2.4 Programación.....	67
4.2.5 Evaluación – segunda encuesta.....	70
4.3 Producto final	70
4.3.1 Desarrollador	71
4.3.2 Usuario.....	74
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	78
Trabajos futuros.....	78
Bibliografía.....	79
Anexos	83

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Gráfico basado en la puntuación obtenida por Grecia y Perú en el “INFORME DE COMPETITIVIDAD DE VIAJES Y TURISMO 2017”	3
Figura 2. 1 Etapas de creación de un museo virtual. Adaptado de [20].	14
Figura 2. 2 Flujo de trabajo para crear museos virtuales	14
Figura 2. 3 Diagrama de flujo del proceso de modelado tridimensional.	15
Figura 2. 4 Modelo tridimensional de la iglesia San Juan Baptista en el Cusco	16
Figura 2. 5 Modelo en nube de puntos de la catedral de Notre Dame (París, Francia) [49].	16
Figura 2. 6 Modelo en mallas de la iglesia de Combapata (Cusco, Perú).....	17
Figura 2. 7 Dispositivos lidar de la empresa Leica.....	18
Figura 2. 8 Métodos de toma de fotografías para fotogrametría según Agisoft Photoscan [50].	18
Figura 2. 9 Procesamiento inicial basado en nube de puntos y Post - procesamiento	19
Figura 2. 10 Modelos sólidos tridimensionales creados a través del software Autocad	20
Figura 2. 11 La textura le agrega los colores que caracterizan el modelo tridimensional.	21
Figura 2. 12 Se puede observar un asset cuyo conjunto de elementos se pueden usar para llevar a cabo el programa.....	23
Figura 2. 13 Ejemplo de un modelo tridimensional sin renderizado y con renderizado	23
Figura 2. 14 Ejemplo de escenario gráfico	24
Figura 2. 15 Esta imagen representa el SteamVR Plugin.....	24
Figura 2. 16 Esta imagen muestra un prefab de punto de teletransportación.....	25
Figura 2. 17 Los 3 equipos más importantes de la industria de la realidad virtual..	27
Figura 2. 18 Los cascos para usar celulares como gafas de realidad virtual.....	27
Figura 2. 19 Se muestra el esquema de posición de los sensores para llevar a cabo el monitoreo estructural	28
Figura 3. 1 Se muestra el flujo de tiempo separado en dos hitos que consisten en la realización de encuestas. El primer hito permite reconocer puntos que se necesitan cambiar o agregar para mejorar la experiencia. El segundo hito permite evaluar la percepción del usuario con respecto al programa final.	30
Figura 3. 2 La metodología está separada en 5 etapas. Las etapas de recopilación de información y procesamiento cumplen con los puntos i) obtención de los modelos tridimensionales y ii) obtención de la data multimedia. Y las etapas de creación del entorno virtual y programación cumplen con el punto iii) creación del entorno y programación. Además se ha agregado la etapa de evaluación del programa que permite validar el concepto de la experiencia virtual.....	32
Figura 3. 3 Patrón a seguir para toma fotográfica de un objeto aislado y Dron Inspire 1.....	36

Figura 3. 4 Patrón a seguir para toma fotográfica de interiores, patrón a seguir para toma fotográfica de los objetos sueltos ubicados en el coro y cámara fotográfica Sony Nex-7 de 24 megapíxeles que permite fotos a pie.	36
Figura 3. 5 Uso del dron para fotos 360	38
Figura 3. 6 Se muestra el coro con las deficiencias propias de los modelos provenientes de la fotogrametría	40
Figura 3. 7 Post – procesamiento del modelo 3D del coro.	41
Figura 3. 8 Objeto encargado de interactuar con el usuario para brindarle información del patrimonio cultural	45
Figura 3. 9 Equipo HTC VIVE de realidad virtual.	47
Figura 3. 10 El control del HTC VIVE	48
Figura 3. 11 Las estaciones base del HTC VIVE	49
Figura 3. 12 Diagrama general que muestra la comunicación entre el usuario y la experiencia virtual.	51
Figura 4. 1 El modelo tridimensional del exterior de la iglesia	54
Figura 4. 2 Modelo tridimensional del coro de la iglesia.	55
Figura 4. 3 El modelo tridimensional del cristo de las siete puñaladas	56
Figura 4. 4 El modelo tridimensional del órgano de la iglesia	56
Figura 4. 5 El modelo tridimensional del coro después del post - procesamiento ..	57
Figura 4. 6 El modelo tridimensional del órgano está completo y además su base es un modelo tridimensional sin reducir calidad al modelo.....	57
Figura 4. 7 Mostrador tridimensional para presentar información en las diferentes escenas y puntos palpantes que indican los puntos exactos donde se encuentran los sensores en la iglesia y la baranda que complementa el modelo tridimensional del coro.....	58
Figura 4. 8 Información escrita con las instrucciones del manejo del programa y el panel con botones que permite trasladarse a cualquier escena.	58
Figura 4. 9 En esta escena se observa solo el modelo tridimensional de la estructura de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas sobre un espacio en blanco.	59
Figura 4. 10 Escena del coro de la iglesia.....	59
Figura 4. 11 Escena de los acelerómetros	60
Figura 4. 12 En la escena de la cabina del proyecto de investigación	60
Figura 4. 13 El traslado en la escena	61
Figura 4. 14 Obtener la información educativa.....	61
Figura 4. 15 Se presiona el touchpad del control del equipo de realidad virtual para que aparezca el arco brillante.....	62
Figura 4. 16 Foto 360 del entorno de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.	63
Figura 4. 17 Modelo tridimensional del equipo de adquisición de data sísmica Obsidian de la marca Kinematics.	64
Figura 4. 18 Se muestran los modelos tridimensionales del piso, las tres cruces y las paredes que se encuentran alrededor de la iglesia.	64
Figura 4. 19 Se muestran los modelos tridimensionales que dan la percepción de un santuario inca.....	64

Figura 4. 20 Modelo tridimensional del sensor que se utiliza en el proyecto “Monitoreo de salud estructural”.....	65
Figura 4. 21 Acciones que aprende el usuario	66
Figura 4. 22 Escena del exterior de la iglesia completada con el modelo del exterior, los modelos del entorno y la foto 360 de todo el entorno de la iglesia.....	66
Figura 4. 23 La escena del coro posee los puntos de información y los puntos de paso.....	67
Figura 4. 24 En esta escena se presentan los equipos del proyecto “Monitoreo de salud estructural” y una pantalla mostrando las gráficas relevantes del proyecto...	67
Figura 4. 25 La historia empieza (a) mostrando que en este territorio antes hubo un santuario inca. (c) Hacia adelante se habla sobre la iglesia y se brindan algunos datos sobre la renovación de la iglesia.	68
Figura 4. 26 El usuario interactúa con las esferas para obtener información sobre el lugar donde se encuentra.	69
Figura 4. 27 El usuario levanta con el control el acelerómetro con el fin de observar mejor sus características.	69
Figura 4. 28 Se muestra la organización de las partes que componen el tour virtual.	73
Figura 4. 29 La carpeta ejecutable contiene: a) carpeta de los archivos del programa, b) archivo de extensión exe y c) UnityPlayer.dll.....	75



Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Comparación en base a las ventajas y desventajas de los motores de videojuego Unity 3D y Unreal Engine.....	26
---	----



Introducción

En la presente tesis se logra diseñar una metodología que guía en la creación de tours virtuales basados en complejos arqueológicos con el fin de educar sobre su historia y difundir proyectos de investigación sobre su cuidado. La metodología planteada se materializa en la implementación de la metodología para crear el tour virtual de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, iglesia de suma importancia en la ruta del barroco andino ubicada en Cusco.

El capítulo 1 se enfoca en el marco problemático que desarrolla la idea de la importancia de mejorar el servicio turístico del Perú y los métodos para educar sobre la historia del patrimonio y difundir los proyectos de investigación. También se desarrolla los puntos a favor que posee la realidad virtual para aportar al turismo, educación y difusión de los proyectos de investigación de los complejos arqueológicos. Finalmente, se presenta la propuesta y objetivos que busca la tesis.

El capítulo 2 se enfoca en el fundamento para el desarrollo del diseño que desarrolla los diferentes conceptos para entender el diseño de la propuesta. Se enseña sobre el concepto de museos virtuales y se desarrolla las ideas del estado de arte actual para su implementación como la obtención de los modelos tridimensionales y de la información multimedia; y creación del entorno y programación. Finalmente se explica las tecnologías actuales de realidad virtual.

El capítulo 3 se enfoca en el diseño de la propuesta. Primero, se desarrolla el flujo de tiempo para llevar a cabo el proyecto. Segundo, se explica el diseño de la metodología que propone esta tesis para la creación de tours virtuales. Tercero, se presenta la tecnología usada para la realización de la tesis. Finalmente, se explica la implementación del tour virtual basado en la metodología diseñada en esta tesis.

El capítulo 4 se enfoca en los resultados conseguidos por la tesis. Los resultados fueron separados en dos paquetes tal y como se desarrollaron en el tiempo. Los resultados del hito 1 muestran todo lo creado inicialmente y que fue puesto a prueba en una encuesta, y cuya información fue la base de la implementación del diseño para el hito 2. Los resultados del hitos 2, cuya estructura es el producto final del tour virtual propuesto por la tesis.

Capítulo 1

Marco Problemático



1.1 Problemática

El turismo es una de las más importantes actividades económicas de nuestro País. Esta representa el 4% del PBI en el Perú y genera más de un millón de puestos de trabajo, según la cámara de comercio de Lima [1]. Aunque los aportes del sector turismo son importantes a nivel nacional, internacionalmente el Perú se encuentra en la posición 51 según el “INFORME DE COMPETITIVIDAD DE VIAJES Y TURISMO 2017” realizado por el World Economic Forum (Ginebra, Suiza) [2]. Según el mismo informe, Grecia ocupa la posición número 24. Si se compara al Perú con Grecia basándose en los temas que componen el informe se llegan a conclusiones que ayudan a entender el sector turístico de nuestro país. Primero, el Perú en temas de patrimonio natural y cultural (que incluye a los complejos arqueológicos) se encuentra en las posiciones 4 y 24 respectivamente, mientras que Grecia se encuentra en las posiciones 32 y 27 respectivamente. Queda claro que el Perú posee un gran atractivo a nivel internacional por sus recursos naturales y culturales. Sin embargo, no sólo Grecia tiene una mejor posición en el informe, sino que mientras Perú recibe 3.5 millones de turistas y percibe ingresos por 3 mil millones de dólares, Grecia recibe 23 millones de turistas y percibe ingresos por 15 mil millones de dólares. Según el informe, Grecia tiene mejores posiciones con respecto a Perú en temas relacionados a precios competitivos, infraestructura portuaria y terrestre, seguridad, infraestructura para el transporte aéreo, sostenibilidad ambiental e infraestructura del servicio turístico como se muestra en la Figura 1.1 .

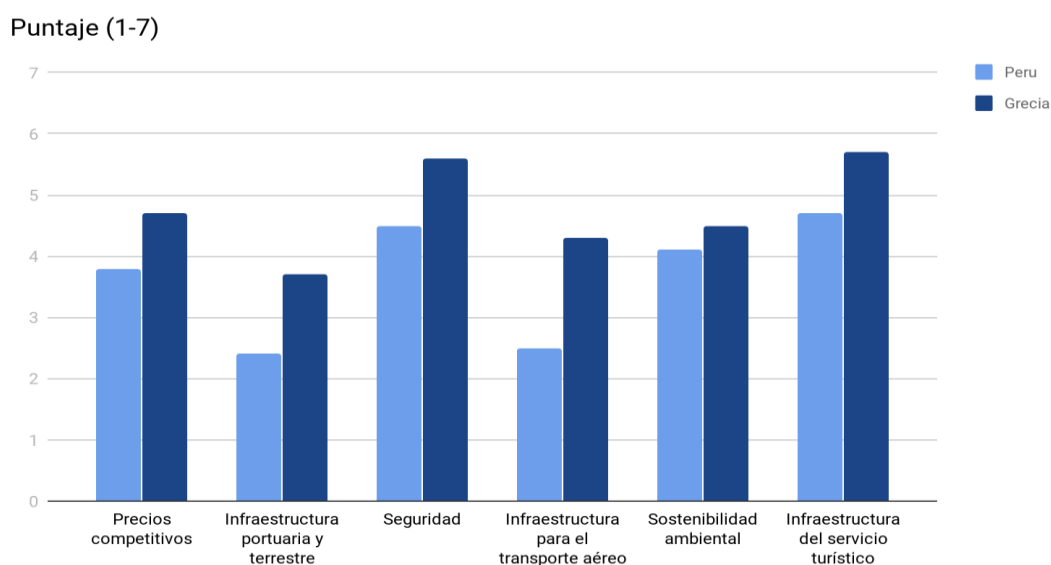


Figura 1. 1 Gráfico basado en la puntuación obtenida por Grecia y Perú en el “INFORME DE COMPETITIVIDAD DE VIAJES Y TURISMO 2017”. Grecia lleva ventaja en una serie de temas relacionados al servicio turístico. Un puntaje cercano a 7 es muestra de un buen desempeño en dicho tema.

El Perú no posee una mejor posición por temas externos a sus riquezas naturales y culturales. Sumado a los problemas ya mencionados, se debe tener en cuenta que el patrimonio cultural tiene sus propias limitaciones para poder ser utilizado como servicio turístico. Por un lado, existen patrimonios con acceso restringido ya sea por seguridad del turista, debido a lugares de geografía peligrosa, como sucede en ciertas áreas del Santuario Histórico de Machu Picchu, o por temas de restauración del patrimonio como sucede en el complejo arqueológico de la Huaca de la Luna y el Sol. Además, un conjunto de complejos arqueológicos no ha soportado el paso del tiempo y no se encuentran de manera íntegra para poder ser apreciados en toda su magnitud por el turista que recibe el servicio, como por ejemplo es el caso del complejo arqueológico de la Huaca de la Luna y el Sol. Por último, la visita de los turistas al patrimonio cultural puede tener un efecto negativo al acelerar el deterioro del complejo arqueológico. Por todos los puntos ya mencionados es importante encontrar la manera de crear servicios turísticos que ayuden a explotar nuestras riquezas naturales y culturales a pesar del atraso logístico del que sufre el Perú y a pesar de las limitaciones relacionados al patrimonio cultural.

La educación del patrimonio cultural es de suma importancia para las sociedades. De [3] y [4] se comprende que el patrimonio cultural contribuye a la vinculación de la comunidad con su pasado, presente y futuro. El patrimonio cultural se presenta como una herencia del pasado, que posee un significado en valores para todos los ciudadanos quienes deciden aceptarlo como una representación de su identidad como sociedad. Así la educación de este tema tiene como objetivo favorecer:

- La construcción de la identidad ciudadana basada en la voluntad de respeto y conservación del entorno y del pasado.
- El desarrollo de la capacidad para situar históricamente las evidencias del pasado y darles un significado social, político y cultural.
- El desarrollo de la capacidad de participar en la preservación, conservación y divulgación del patrimonio.

En el Perú la educación en temas de patrimonio cultural es abordada actualmente con distintas iniciativas. Principalmente, el Perú transmite el conocimiento de su patrimonio en los museos y lugares arqueológicos. También se educa a escolares, ya que es un tema que forma parte de los contenidos de educación cívica en la escuela. Otras propuestas por parte del Ministerio de Cultura la conforman dos

plataformas virtuales que son Museos en línea [5] y el kit educativo “nuestro patrimonio cultural” [6].

Debido a la importancia que posee el conocimiento del patrimonio cultural se torna necesario encontrar las maneras de difundirlo para que se logre profundizar la identidad como peruanos en el ámbito nacional y fortalecer nuestra imagen como sociedad milenaria en el ámbito internacional.

Hoy en día existen comunidades científicas cuya actividad está relacionada con la conservación, preservación y restauración del patrimonio cultural. Esta comunidad científica genera diferentes proyectos de investigación y busca la difusión de dichos proyectos con el fin de mantener a la misma comunidad científica atenta a lo que se hace en el mundo. De esta manera se busca siempre poder aportar nuevas metodologías, que en el paso del tiempo representan el estado del arte en temas de conservación, preservación y restauración del patrimonio cultural. Para la difusión de los proyectos de investigación la comunidad científica utiliza revistas indexadas como la revista cultural heritage [7], conferencias como las conferencias Structural Analysis Heritage Conference [8] y Digital Heritage [9], y páginas web como la que exhibe el grupo de investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú “Engineering and Heritage” [10]. Así mismo, los diferentes grupos científicos se encuentran constituidos por miembros de distintas carreras a quienes se hace necesario explicar conceptos y formas que pueden resultar ajenas a su campo de acción. También cuando se lleva a cabo un proyecto se torna necesario explicar las diferentes etapas no solo a los miembros actuales del grupo, sino también a los diferentes miembros que se van uniendo al proyecto en el tiempo. Debido a la importancia y complejidad que representa la difusión y explicación de dichos proyectos en el ámbito tanto internacional como grupal se torna necesario encontrar métodos que permitan lograr un aprendizaje rápido y de calidad.

1.2 Estado del arte

La tendencia tecnológica de los últimos 20 años para difundir el patrimonio cultural es el concepto de museo virtual. El Perú no es ajeno a esta iniciativa y a través del Ministerio de cultura ha desarrollado “Museos en línea” [5] que consiste en tres tipos de experiencias de museos virtuales. “Explora Virtual” nos permite navegar tridimensionalmente en el museo virtual a través de una computadora. La segunda experiencia, “Recorrido 360”, nos permite ver museos mediante fotos en 360 grados. Y, por último, los “Museos QR” nos permiten visualizar piezas del museo mediante

realidad aumentada. También ha sido desarrollado el kit educativo “Nuestro Patrimonio Cultural” [6] que no solo presenta información actualizada sobre el patrimonio, sino que busca verificar y retroalimentar el aprendizaje a través de juegos en el programa. Por otro lado, internacionalmente podemos encontrar trabajos como el realizado por la empresa ArcTron (Alemania) [11] que desarrolla programas para presentar modelos en 3D de patrimonio cultural. Para la presentación de estos modelos utilizan plataformas multimediales como aplicaciones de realidad virtual para celulares y tablets. También realizan programas basados en tecnología de realidad aumentada y utilizan equipos de realidad virtual de última generación como los Oculus Rift (Oculus VR, California, Estados Unidos). En la comunidad científica podemos encontrar múltiples trabajos que se pueden catalogar como museos virtuales [12-18]. En [12] se presenta un museo virtual basado en el texto de un libro del Siglo XVII. Este recorrido permite sumergirse en el ambiente barroco que transmiten las palabras del libro utilizando las gafas de realidad virtual Oculus rift. El artículo [13] desarrolló un museo virtual que muestra en 3D piezas artísticas de imágenes dimensionales. El artículo [14] muestra un museo virtual basado en la información de la cultura roja soviética. Este museo se muestra mediante las gafas de realidad virtual HTC Vive. Es necesario precisar que la realidad virtual ayuda a la preservación del patrimonio cultural como lo desarrolla [15]. Este explica el conflicto que existe entre el turismo y la preservación del patrimonio, así como los puntos positivos de la realidad virtual como solución al problema. Un punto favorable a los museos virtuales es poder sumergirse en patrimonios culturales de difícil acceso como el desarrollado en [16]. Este ha virtualizado el naufragio de Mazotos, que se encuentra bajo el mar en Chipre, creando una experiencia inmersiva utilizando las gafas de realidad virtual HTC Vive (HTC, Taiwán, República de China). Otro punto favorable de la realidad virtual es que permite al usuario observar el patrimonio cultural sin el deterioro sufrido a través del tiempo como se desarrolla en [17]. Este artículo ha virtualizado la tumba de Bettini permitiendo inmergirse, mediante el uso de los Oculus Rift y el Microsoft Kinect (Microsoft, Washington, Estados Unidos), en este patrimonio que se muestra con las pinturas restauradas. El artículo [18] desarrolla una encuesta basada en el recorrido virtual de dos patrimonios de Chipre y llega a la conclusión que este tipo de tecnologías empodera al usuario con acciones como poder manipular objetos y poder visitar este patrimonio de manera remota. Para la creación de museos virtuales existen metodologías planteadas como lo muestran [19-22]. El trabajo [19] explica a grandes rasgos una metodología que consiste en el modelado en 3D, para luego texturizar y finalmente hacer uso de los equipos que permiten la presentación virtual de reliquias culturales. En [20] se

extiende mejor la metodología considerando la toma de datos, la creación del entorno virtual, la interacción del usuario dentro del museo virtual y la etapa de evaluación, que permite mejorar aspectos del programa. El artículo [21] nos muestra una posible metodología para la presentación mediante realidad virtual de un patrimonio arqueológico tanto en su estado actual como su posible forma en el pasado. De los tres trabajos mencionados anteriormente, el artículo [22] muestra la metodología más completa para la creación de exhibiciones digitales de arqueología. Esta etapa consiste en la recolección, digitalización e integración de la data de los modelos, de la información histórica y geográfica del lugar, que resulta en la creación de una aplicación multimedia. Por otro lado, tiene la etapa del diseño y desarrollo del hardware para la creación de un museo virtual estándar. Estas dos etapas se integran para resultar en una exhibición virtual del patrimonio cultural. Una de las etapas importantes en la creación de museos virtuales es la digitalización de los lugares arqueológicos [23-30]. El proyecto [23] digitaliza la ciudad Hue, Vietnam en tres etapas. En la primera etapa utiliza imágenes satelitales para digitalizar el territorio, ríos y montañas. En la segunda etapa se digitalizan los sitios arqueológicos complejos mediante fotogrametría y los sitios simples mediante Autocad. En la tercera etapa se dedica a crear un solo modelo integrado. Otro proyecto [24] analiza los puntos a favor en cuanto la digitalización del patrimonio cultural como los archivos digitales, la restauración virtual y la muestra virtual basado en los objetos digitalizados. En [25] se desarrolla una metodología para digitalizar un complejo arqueológico basado en la combinación de la fotogrametría y el escaneo láser. En cuanto al escaneo láser se digitaliza desde el lado terrestre. En cuanto a la fotogrametría se generan fotografías terrestres a pie y fotografías aéreas haciendo uso de un dron. El artículo [26] desarrolla una metodología para digitalización del naufragio de Mazotos bajo el agua, que es ejemplo de un lugar con difícil acceso. Esta digitalización es llevada a cabo mediante el uso de cámaras fotográficas especiales para la toma bajo el agua y de herramientas que permiten la obtención de nube de puntos mediante fotos y videos. En [27] se reconstruye digitalmente el complejo arqueológico Cacaxtla. El registro divide la toma de la estructura arqueológica y de las pinturas murales. Y la creación de los modelos virtuales empieza analizando la información obtenida para posteriormente restituir las partes faltantes. En [28] se digitalizaron piezas arqueológicas y en [29] se presentan la digitalización de lugares arqueológicos relacionados a la cultura romana. El artículo [30] nos muestra "sketchfab" (Sketchfab, París, Francia) como una herramienta que permite visualizar los diferentes modelos de realidad virtual. Una de las características que se le atribuyen a los museos virtuales es su capacidad para

favorecer al turismo y a la educación. El artículo [31] analiza el sector turismo y afirma que la realidad virtual promete ser una herramienta que mejora la planificación y gestión, el marketing, el entretenimiento, la educación, accesibilidad y la preservación del patrimonio de los lugares turísticos. El artículo [32] realizó una encuesta que muestra el poder del tour virtual para persuadir en la elección de un destino turístico. El resultado final muestra que el tour virtual convence en un 54% sobre la visita a un lugar turístico en comparación a volantes y páginas web con 23% de convencimiento cada uno. El artículo [33] desarrolla una encuesta para poder encontrar la mejor manera para crear la información y modo de interacción del usuario en un mundo virtual buscando atraer al usuario tanto a los museos en línea como a los reales. En [34] se ha implementado un estudio que mide la influencia de la experiencia virtual comparada a los volantes comunes. La conclusión alcanzada es que la experiencia virtual tiene una mayor influencia sobre las personas de características cognitivas visuales. Los efectos medidos se basan en la actitud publicitaria, actitud ante la marca e intento de compra. Otra aplicación [35] desarrolla el mundo virtual como una herramienta de enseñanza en las clases del sector turístico. La realidad virtual permite practicar al estudiante en un ambiente más real y al mismo tiempo reduce los costos de enseñanza. Una interesante iniciativa [36] consiste en desarrollar servicios turísticos basados en tecnología virtual. Este trabajo realizado en el servicio turístico de Taiwán concluye que las propuestas virtuales pueden ser una propuesta seria de negocios y de servicio turístico.

La realidad virtual abre la oportunidad a una reforma educativa [37] en temas como el concepto de la enseñanza, los métodos de enseñanza, el contenido a enseñar y cómo se mide lo enseñado. Por ejemplo [38] presenta muestras educativas basadas en realidad virtual, como la visualización del esqueleto humano, muestra del sistema solar o la visualización de construcciones arquitectónicas. Una propuesta educativa se basa en el estudio de la tecnología a usar. Así, el artículo [39] analiza diseños de enseñanza y concluye que los juegos presentan una mejor ganancia en el aprendizaje. Otros diseños estudiados son simulaciones y mundos virtuales. En [40] la encuesta realizada concluye que las páginas web de museos virtuales y los museos virtuales no presentan problemas serios. Agregando que los usuarios encuentran la interacción en el museo virtual mejor que la de la página web del museo. Finalmente, el artículo [41] analiza el aprendizaje del patrimonio cultural a través de su presentación virtual. Los temas tratados son la motivación de las personas por conocer el patrimonio cultural, desarrollo del modelado del contenido patrimonial específicamente para muestra virtual y el entendimiento de cómo se ve

cada cultura así misma. Concluye afirmando que estos tres temas empoderan la presentación virtual.

La realidad virtual enfocada a museos virtuales es producto de una evolución tecnológica. El artículo [42] propone consolas de videojuegos tridimensionales para la creación de museos virtuales. Las consolas de videojuegos poseen características superiores que una simple computadora, por lo cual nos permite explorar nuevas características para el tema de museos virtuales. Las últimas consolas de videojuegos son las basadas en la tecnología de realidad virtual. Ejemplos de estas consolas son el HTC Vive, el Oculus Rift, PlayStation VR (Sony Interactive Entertainment, Tokio, Japón) y las gafas Samsung Gear VR (Samsung Electronics, Seúl, Corea del Sur) (esta última utiliza el celular como unidad de procesamiento).

1.3 Justificación

Debido a que el Perú se encuentra en la necesidad de continuar creciendo turísticamente es necesario procurar el uso de tecnologías con beneficios directos a la difusión del patrimonio cultural siguiendo la tendencia internacional. Entonces la realidad virtual se presenta como una tecnología con características beneficiosas para el sector turístico como se explicó en el estado del arte. Esta permite conocer el patrimonio sin necesidad de hacer largos viajes. Y lejos de alejar el turismo real ha demostrado ser una herramienta de marketing superior a herramientas convencionales. Además, permite la entrada a lugares inaccesibles en el turismo convencional, la visualización de lugares turísticos restaurados y por último la capacidad de interactuar con el patrimonio sin el peligro de su deterioro o destrucción. Otra característica importante del Perú es su riqueza cultural. Como país tiene el deber de mejorar el aprendizaje de su patrimonio para que los peruanos se sientan identificados y participen en su cuidado y para que los turistas nos conozcan internacionalmente por nuestras características culturales. Entonces la realidad virtual se presenta como una tecnología capaz de mejorar los métodos de aprendizaje elevando la ganancia de lo aprendido especialmente cuando las personas interactúan dentro del entorno virtual. Esta misma característica se presenta como una mejora para la difusión de información como se necesita en los proyectos de investigación realizados en el patrimonio cultural. De esta manera la ganancia de aprendizaje aumentaría para entender mejor los múltiples proyectos existentes y mejorará el entendimiento de las distintas etapas de un proyecto para los distintos miembros de un grupo científico.

1.4 Propuesta

La presente tesis propone el desarrollo de una metodología para la creación de experiencias de turismo virtual con capacidad de exponer i) elementos visuales como objetos y complejos patrimoniales, ii) información educativa relacionada al patrimonio y por último iii) elementos relacionados a los proyectos de investigación realizados en el lugar.

Como caso de estudio se llevará a cabo la metodología en la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas permitiendo i) visitar tridimensionalmente el complejo virtual de la iglesia, tanto el coro como su estructura exterior, ii) enseñar información histórica sobre la iglesia y iii) presentar el proyecto de investigación de monitoreo de salud estructural realizado en la iglesia.

1.5 Objetivos

Objetivo general:

El objetivo general de la tesis es el diseño de una metodología y herramientas para la creación de experiencias virtuales. En particular, se aplicará esta metodología a la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, patrimonio cultural de la nación. Esta intervención se da como parte del proyecto “MONITOREO REMOTO DE LA SALUD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EMBLEMÁTICAS DE ADOBE: INTEGRACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA PARA UN DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL ADECUADO” financiado por CONCYTEC - Fondecyt N° 222-2015.

Objetivos secundarios:

- Creación del entorno virtual que integre modelos tridimensionales y data multimedia de la iglesia.
- Diseño e implementación de herramientas de programación que sirvan de base en la creación de experiencias virtuales.
- Validación de la experiencia percibida por el usuario a través de encuestas.

1.6 Caso de estudio

El caso de estudio es la iglesia cusqueña San Pedro Apóstol de Andahuaylillas del siglo XVII. Esta iglesia posee un gran atractivo turístico [43-44] y es parte de la ruta

del barroco andino que consiste en cuatro iglesias que exhiben en su interior una de las muestras del barroco andino más impresionantes y llamativas del Perú. Esta construcción es conocida como la “Capilla Sixtina de los Andes” por la belleza de sus pinturas murales. Además, posee dos órganos considerados los más antiguos de América Latina situados en la parte del coro. En la presente tesis se exhibirá la estructura exterior y el coro del interior de la iglesia. Es importante precisar que el acceso al coro de grandes grupos de turistas no está permitido debido a la fragilidad de su estructura. Así esta experiencia virtual permite exhibirlo a más personas y lo más importante, sin necesidad de poner en peligro la estructura real.

La “Capilla Sixtina de los Andes” posee una importante información histórica. Esta fue construida sobre un espacio ceremonial precolombino y se cree que antes de ser construida ya existía una capilla cuyo fin era aglomerar a los indígenas durante el virreinato de América con el fin de mantener un mejor control sobre ellos. Esta aglomeración se conoce como reducción de indios. Fue decorada por Don Luis de Riaño y ha recibido financiamiento para estabilizar la estructura y restaurar los interiores. Esta información es parte del material histórico con el que cuenta la iglesia y que es necesario enseñar en el museo virtual tanto al turista nacional como internacional.

Por otro lado, el grupo de investigación “Engineering and Heritage” de la Pontificia Universidad Católica del Perú ha realizado proyectos de investigación en la iglesia. Uno de estos proyectos es la implementación del sistema de monitoreo de salud estructural [10] cuyo fin es la evaluación continua del estado de la construcción histórica que permita tomar decisiones en aras de la protección de esta pieza arquitectónica cusqueña. Este proyecto es el que se difundirá en la experiencia virtual debido a su importancia en la conservación de esta pieza histórica.

Finalmente, este proyecto permitirá obtener modelos tridimensionales del estado actual de la iglesia y una base de datos de su información histórica que permita la conservación digital de una parte de la “Capilla Sixtina de los Andes”.

Capítulo 2

Fundamentos para el diseño



2.1 Introducción del capítulo

La presente tesis gira alrededor de las muestras museográficas del patrimonio cultural. Según el ministerio de cultura en [45] define el patrimonio cultural como “todos los bienes materiales e inmateriales que, por su valor histórico, arqueológico, artístico, arquitectónico, paleontológico, etnológico, documental, bibliográfico, científico o técnico tienen una importancia relevante para la identidad y permanencia de la nación a través del tiempo. Es por todo esto que dichos bienes requieren de una protección y defensa especiales, de manera que puedan ser disfrutados, valorados y aprovechados adecuadamente por todos los ciudadanos y transmitidos de la mejor manera posible a nuestras futuras generaciones”.

2.1.1 Museos virtuales

Como lo explica el documento [46] los museos virtuales son una colección de objetos digitales que se encuentran relacionados entre ellos por temas como historia o lugar geográfico. Estos museos, a diferencia de los museos tradicionales, no tienen un espacio físico en el mundo, sino que pueden ser vividos en diferentes lugares a la vez gracias a las tecnologías modernas de la comunicación como por ejemplo la internet. Esta propiedad permite expandir la conexión entre las personas y las muestras museográficas a través de un gran número de puntos de acceso que a su vez mejora la comunicación e interacción con los visitantes. Ejemplos de museos virtuales se tienen:

- Folleto virtual, información en una página web acerca de las características básicas de un museo.
- Museo virtual, también conocidos como “museos sin paredes”, busca la representación de los objetos de una muestra museográfica con el fin de brindar al usuario información valiosa sobre dichos objetos.
 - Contenido virtual del museo, donde se muestran la colección de los museos y permite su exploración online. Está netamente ligado a la explicación de los objetos.
 - Museo de aprendizaje virtual, página web que permite la exploración online pero ligado a diferentes formas de presentación de los objetos. Pueden tener presentaciones para niños, adultos, estudiantes, etc.

En la presente tesis se trabajará sobre los museos virtuales, buscando la representación tridimensional y su visualización e interacción mediante equipos de realidad virtual.

2.1.2 Flujo de trabajo para realizar un museo virtual

Han sido diseñados flujos de trabajo para implementar muestras museográficas virtuales. Por ejemplo, los proyectos [20] y [22] presentan dos flujos de trabajo que se muestran en Figura 2.1 y Figura 2.2 respectivamente.

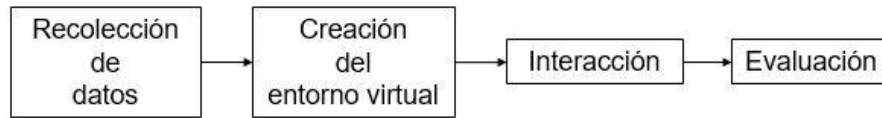


Figura 2. 1 Este flujo de trabajo muestra en grandes rasgos las etapas de creación de un museo virtual. Adaptado de [20].

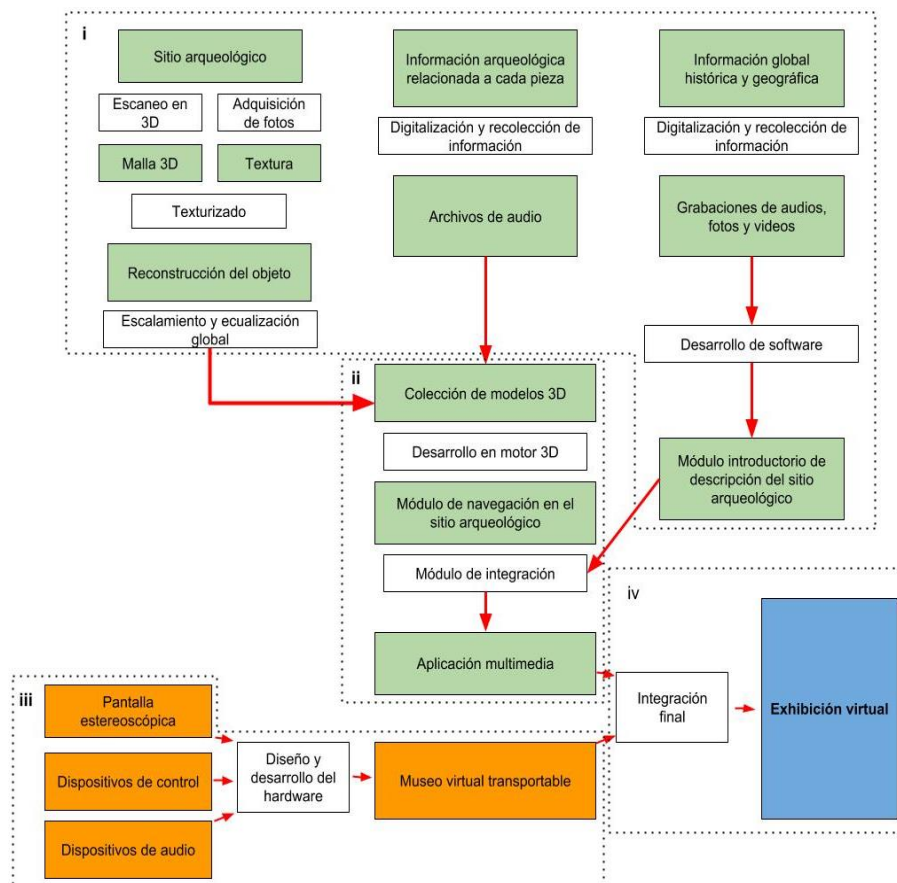


Figura 2. 2 Este flujo de trabajo muestra las acciones incluidas en: i) la recolección de datos tanto de los modelos tridimensionales como de la información multimedia, ii) la creación del entorno virtual, iii) elección e implementación de la tecnología para la visualización e interacción del museo virtual e iv) Integración de todo para obtener el paquete de la exhibición virtual. Adaptado de [22].

Resumiendo, ambos flujos de trabajo podemos reconocer tres etapas: i) Obtención de los modelos tridimensionales, ii) Obtención de la información multimedia, iii) Creación del entorno y programación.

2.2 Obtención de los modelos tridimensionales

2.2.1 Procesamiento inicial

El procesamiento inicial es la etapa en la cual se obtienen los primeros modelos tridimensionales de los objetos a digitalizar. En la Figura 2.3 se muestra el proceso para llevar a cabo el procesamiento inicial.

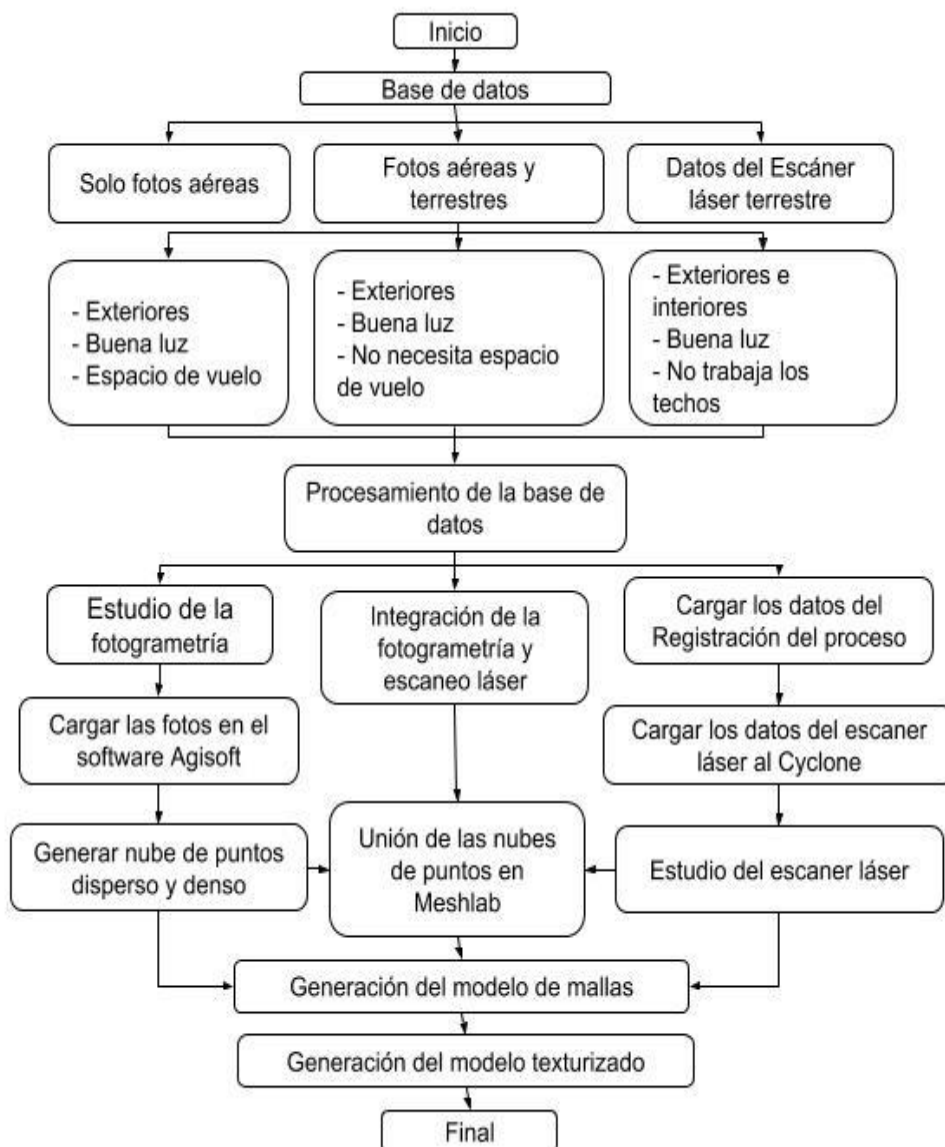


Figura 2. 3 Diagrama de flujo del proceso de modelado tridimensional. Adaptado de [25].

En aras del entendimiento de esta etapa se definen los siguientes conceptos (Revisar [47]):

a) Modelo tridimensional

Es una representación digital de la forma, dimensión y disposición espacial de elementos que recrean una entidad que puede ser real (como un lugar patrimonial) o imaginaria (como los modelos de un videojuego). Se pueden observar ejemplos de modelos tridimensionales en [48]. El modelo tridimensional posee un terminado superficial que es el recubrimiento con texturas que permite acercarse a un aspecto más real de dichos objetos (Ver Figura 2.4).



Figura 2. 4 Modelo tridimensional de la iglesia San Juan Baptista en el Cusco [48].

Los modelos tridimensionales se muestran a través de representaciones superficiales como el modelo en nube de puntos y el modelo en mallas como se muestra en [25].

i) Modelo en nube de puntos

Forma de representación tridimensional que se basa en un conjunto de puntos relacionados a coordenadas que permiten su ubicación en un espacio tridimensional y que agrupados forman un modelo tridimensional. Estos puntos se obtienen de la superficie de un objeto (ver Figura 2.5) y mientras mayor cantidad de puntos se usa para la representación el modelo alcanza mejor resolución.



Figura 2. 5 Modelo en nube de puntos de la catedral de Notre Dame (París, Francia) [49].

ii) Modelo en mallas

Forma de representación tridimensional basada en un conjunto de triángulos que se unen para formar una superficie tridimensional (ver Figura 2.6). Este tipo de modelo se obtiene tras el proceso de unión de los puntos del modelo de nube de puntos. Mientras más pequeños sean los triángulos usados para la representación, el modelo alcanza una mejor resolución.



Figura 2. 6 Modelo en mallas de la iglesia de Combapata (Cusco, Perú). (a) Representación de los triángulos que conforman el modelo tridimensional, (b) modelo en mallas texturizado.

b) Técnicas para modelado tridimensional [25]

i) Escaneo láser

Consiste en la medición de la distancia recorrida por un haz de luz que regresa al entrar en contacto con la superficie del objeto a digitalizar. Con la distancia recorrida se posiciona todos los puntos que en su conjunto representan el modelo tridimensional. Esta técnica permite una digitalización, en nube de puntos, rápida y precisa de estructuras. Sin embargo, no puede obtener datos fuera de su rango de visión, que debido al peso y tamaño de los equipos utilizados para la aplicación de la técnica no permiten por ejemplo obtener la geometría del techo de una estructura. El equipo LIDAR es un dispositivo que permite llevar a cabo la técnica de escaneo láser y que por su rango de alcance es usado para la obtención de estructuras grandes (ver Figura 2.7).

Cyclone (Leica Geosystems, Cantón de San Galo, Suiza) es un ejemplo de software para obtener modelos en nube de puntos basados en escaneo láser. Este software permite el manejo de los archivos obtenidos mediante la estación de escaneo de la marca Leica Geosystems para obtener como producto final un modelo tridimensional en nube de puntos.



Figura 2. 7 Dispositivos lidar de la empresa Leica. [49]

ii) Fotogrametría

Consiste en la obtención de medidas a partir de un conjunto de fotos tomadas a una entidad. Estas medidas son usadas para obtener información tridimensional que permite la creación del modelo tridimensional de cualquier objeto a digitalizar a partir de una muestra fotográfica. Esta técnica permite adquirir un modelo en nube de puntos de manera rápida y barata. Uno de los puntos a favor de esta técnica es que al solo utilizar una cámara se puede realizar no solamente fotogrametría terrestre, sino que puede tomarse fotos aéreas, con lo cual se permite mayor rango de visión para digitalizar estructuras de gran tamaño como un edificio. Tecnologías relacionadas a esta técnica de modelado son las cámaras fotográficas y drones.

Agisoft PhotoScan (Agisoft LLC, San Petersburgo, Rusia) es un ejemplo de software para obtener modelos tridimensionales. Tiene un flujo de trabajo que te permite lograr primero un modelo en nube de puntos y luego un modelo en mallas. Este programa nos presenta en su manual de uso [50] el proceso para una toma de fotos adecuadas para ser usadas en el proceso de las fotos. En la Figura 2.8 se observan 3 maneras de tomar fotografías.

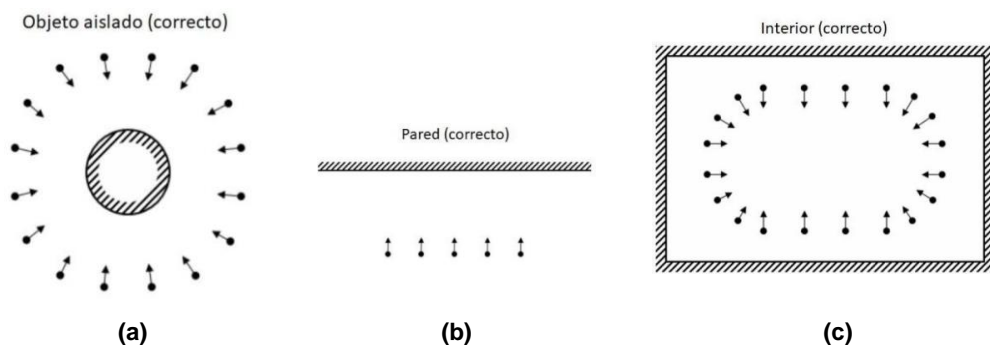


Figura 2. 8 Métodos de toma de fotografías para fotogrametría según Agisoft Photoscan [50]. (a) Fotogrametría externa aérea, (b) Fotogrametría externa terrestre, (c) Fotogrametría interna terrestre.

2.2.2 Post – procesamiento

En la mayoría de los casos el modelo tridimensional logrado en la etapa del procesamiento inicial posee reducidas características de belleza estética debido al ruido en los métodos de obtención del modelo, también gran tamaño de archivo digital debido a su gran número de puntos (nube de puntos) o triángulos (mallas). Estas dos características negativas son perjudiciales en una aplicación de visualización debido a su falta estética y requerimiento de gran poder de renderizado. Para solucionar estos problemas se hace necesario una etapa de post - procesamiento que permita obtener modelos tridimensionales con características que permitan cumplir su meta de representación de un objeto real como se muestra. En los trabajos [21, 23, 51] se presentan ejemplos del modelado que se realiza en esta etapa. La desventaja de esta etapa es la posible reducción del realismo por lo que un posible producto de esta etapa es la combinación del modelo inicial con características obtenidas en esta etapa. En la Figura 2.9 se muestra productos obtenidos tanto en el procesamiento inicial como en el post - procesamiento.

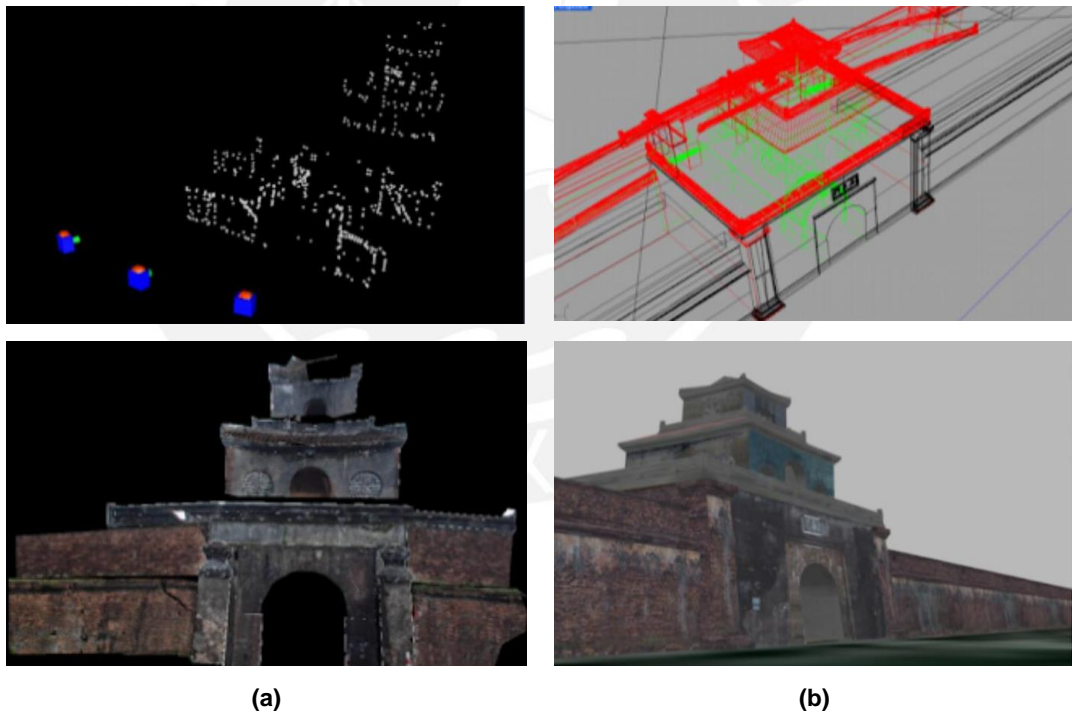


Figura 2. 9 (a) Procesamiento inicial basado en nube de puntos y (b) Post - procesamiento. (fotos de [23])

Geomagic design X (3D Systems, Carolina del sur, Estados Unidos) es un ejemplo de software que permite combinar el Diseño asistido por computadora (CAD) con el procesamiento de nube de puntos y edición de mallas logrando obtener modelos sólidos.

En aras del entendimiento de esta etapa se definen los siguientes elementos:

a) Modelo sólido [52]

Este tipo de modelo es un volumen que representa un objeto 3D y que su creación se basa en Figuras primitivas como conos, prismas rectangulares, cilindros y pirámides, o mediante la extrusión, el barrido, la revolución o la solevación de objetos 2D cerrados, como se muestra en la Figura 2.10.

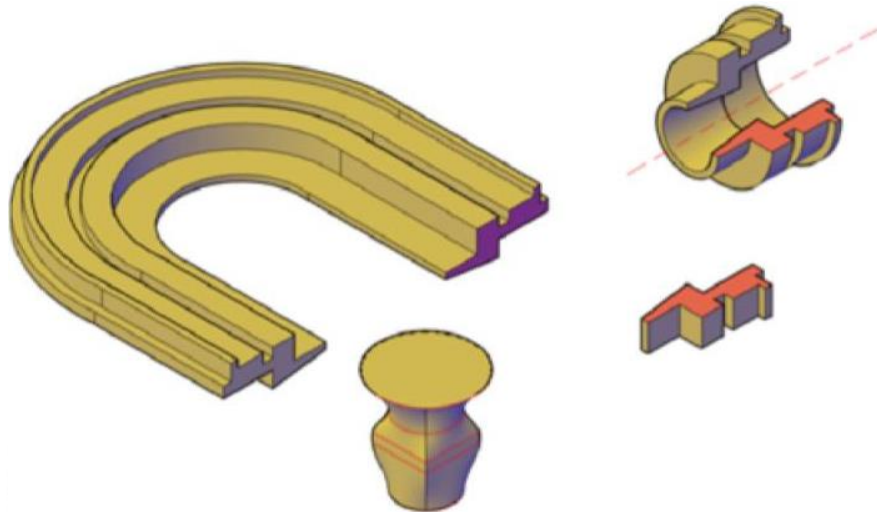


Figura 2. 10 Modelos sólidos tridimensionales creados a través del software Autocad (Autodesk, California, EE. UU).

b) Ortofoto

Foto que cuya característica es la disminución de efectos de perspectiva. Gracias a la disminución señalada este tipo de imágenes presentan la misma escala y se encuentra libre de errores y deformaciones. Se puede obtener este tipo de fotos mediante fotos ortogonales respecto al elemento del que se desea la imagen. También se puede sacar ortofotos a partir del modelo tridimensional que se tiene. Para esta última forma se coloca el modelo digital de manera ortogonal para posteriormente tomar la ortofoto de lo que se muestra en la pantalla.

c) Texturizado

Es la aplicación de una imagen a un modelo tridimensional con el fin de agregarle las características superficiales de color que este posee. Para esto los colores de la foto son usados para colorear cada parte que conforma el modelo tridimensional. Por

ejemplo, en un modelo de nube de puntos, se colorea cada punto con el color que corresponde. En el caso del modelo en mallas, se colorea cada triángulo con el color que le corresponde. En la Figura 2.11 se observa el efecto de la textura sobre un modelo tridimensional.

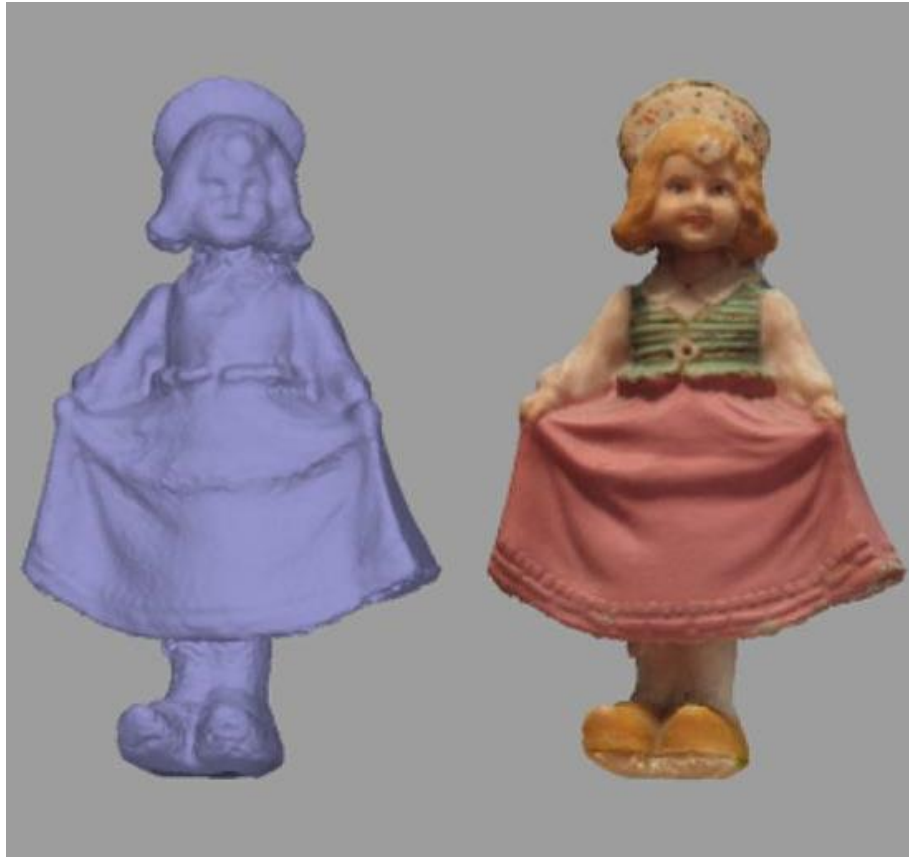


Figura 2. 11 La textura le agrega los colores que caracterizan el modelo tridimensional.

2.3 Obtención de la información multimedia

Esta etapa del proceso tiene como objetivo obtener la información necesaria para poder explicar el patrimonio cultural y darle un significado que será transmitido mediante la muestra museográfica que se va a implementar.

2.3.1 Información multimedia

Es la información que se representa a través de múltiples medios que pueden ser:

- Videos
- Audio
- Imágenes
- Texto
- Contenido interactivo (como página web)

2.3.2 Obtención de información

Para obtener información que enriquezca una muestra museográfica se puede hacer uso de los siguientes medios:

- Videos, estos permiten conocer sobre la historia de lugares patrimoniales mientras nos muestran un video sobre dichos lugares. Un ejemplo de esto puede ser la información que se obtiene en este video [53].
- Textos, estos permiten obtener información netamente escrita sobre el patrimonio cultural que se desea obtener. Ejemplo de este tipo de fuente información son libros y artículos. El documento de [43] ilustra un documento que presenta información relevante sobre la iglesia de Andahuaylillas.
- Página web, estos permiten obtener información que se puede encontrar en el internet. Ejemplo de esto es la página del Barroco Andino [44].
- Información de primera mano, este tipo de información es la que se obtiene de guías turísticos o de personas relacionadas directamente con el patrimonio cultural.

2.4 Creación del entorno y programación

El objetivo de esta etapa es la creación del entorno que es la organización de todos los modelos tridimensionales e información multimedia obtenida. También en esta parte se implementa el método de interacción que tendrá el usuario para poder visualizar la muestra museográfica como también la forma en que obtendrá la información multimedia. Una herramienta poderosa para la visualización y creación de muestras museográficas son los motores de videojuegos.

2.4.1 Motores de videojuegos

Esta herramienta de computadora permite la creación de videojuegos. Dos de las características más importantes de un motor de videojuegos relacionadas a este proyecto de museo virtual son la capacidad de renderizado en tiempo real y un entorno gráfico para crear nuestros entornos de forma visual.

En aras del entendimiento de los motores de videojuegos se desarrolla los siguientes elementos que ofrece [54]:

a) Assets

Este es el conjunto de elementos que pueden ser usados en un juego. Los elementos que lo conforman pueden ser Modelos 3D, materiales, personajes, texturas, animaciones, scripts, sonidos (ver Figura 2.12).

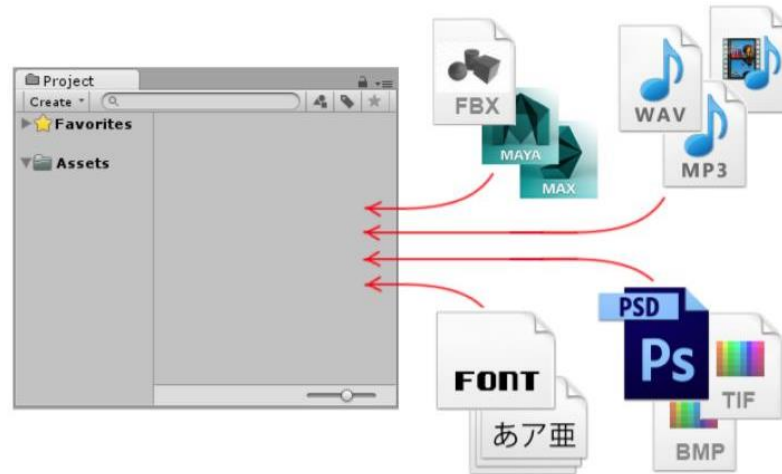


Figura 2. 12 Se puede observar un asset cuyo conjunto de elementos se pueden usar para llevar a cabo el programa. En este ejemplo tenemos modelos tridimensionales (FBX, MAYA, MAX), archivos de audio (WAV, MP3) [54].

b) Renderizado

Capacidad para mostrar una imagen 2D con las características necesarias que permitan “percibir” dicha imagen como una imagen tridimensional. Esta imagen es la representación del entorno creado por el usuario según la perspectiva y características de los materiales de los objetos. Los motores de videojuegos deben tener la capacidad de crear estas imágenes de renderizado a partir de la información tridimensional que define el entorno virtual creado. Todo esto debe ser realizado en tiempo real por un motor de videojuegos (ver Figura 2.13).



Figura 2. 13 Ejemplo de un modelo tridimensional sin renderizado (izquierda) y con renderizado (derecha). [55]

c) Escenario gráfico

El escenario gráfico es aquel entorno tridimensional en donde se realiza la combinación visual de los objetos digitalizados. Es en el escenario gráfico donde se implementa la muestra museográfica de forma visual (ver Figura 2.14).

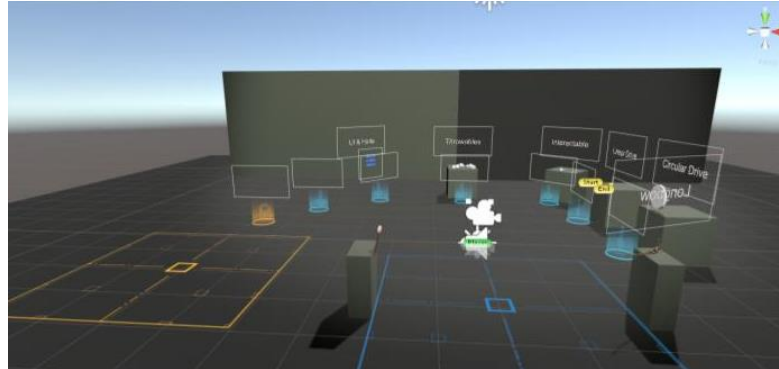


Figura 2. 14 Ejemplo de escenario gráfico donde se puede observar la construcción tridimensional usando diferentes elementos como modelos tridimensionales, elementos de interacción (cuadrados y puntos de luz de colores azul y naranja), la cámara del juego y textos.

d) Plugin

Los plugin son código creado fuera del entorno del motor de videojuegos. Estos permiten agregar un paquete con códigos útiles en el programa. Por ejemplo, en este caso tenemos el SteamVR Plugin que permite agregar características relacionadas al uso del equipo HTC vive en el motor de videojuegos Unity 3D (ver Figura 2.15).

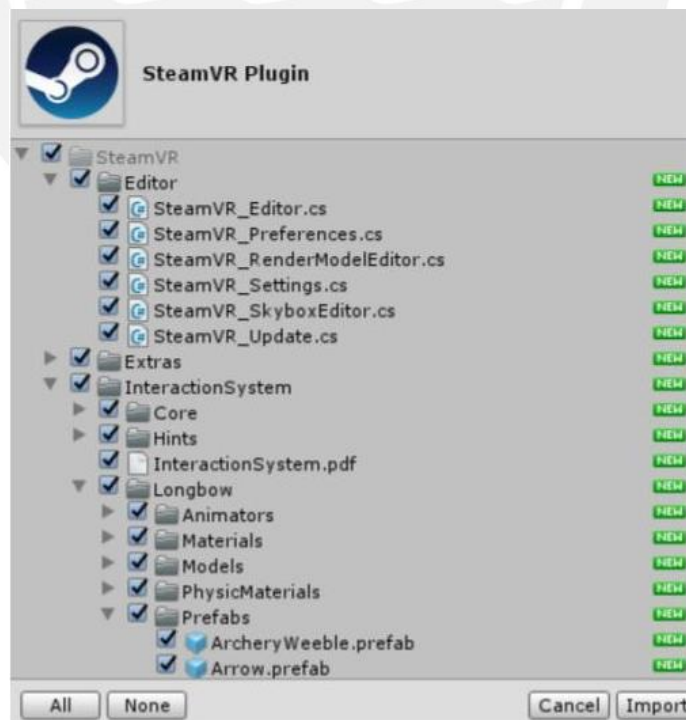


Figura 2. 15 Esta imagen representa el SteamVR Plugin que tiene elementos como prefabs y scripts que se usan para programar y poder usar el equipo HTC Vive.

e) Script

Son los elementos de programación a nivel de código escrito. Por ejemplo, en el Unity 3D los scripts se programan en los lenguajes C# o JavaScript. Estos scripts permiten crear los eventos que rigen las acciones tanto de las escenas como de los elementos que se encuentran dentro de las mismas.

f) Prefab

Es un componente que permite guardar un elemento con propiedades definidas para ser usado en múltiples ocasiones sin necesidad de editar los objetos que tienen las mismas características (ver Figura 2.16). Con este elemento se puede facilitar la programación al realizar programas con forma igual o parecida.

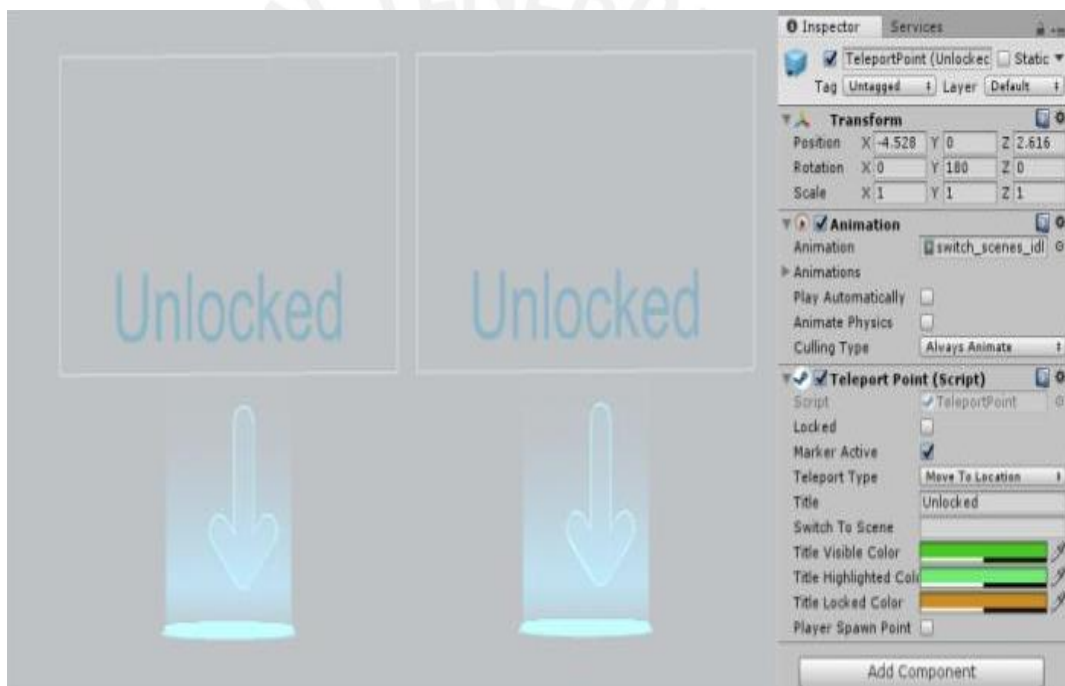


Figura 2. 16 Esta imagen muestra un prefab de punto de teletransportación que se puede colocar de forma múltiple en la escena con las mismas características como se muestra en el lado izquierdo. Este componente contiene un conjunto de características programadas previamente como se observa en el dibujo del lado derecho que permite que todos los objetos colocados tengan las mismas propiedades en el programa.

2.4.2 Ejemplos de motores de videojuegos

Dos de los motores de videojuegos más usados en la industria son Unity 3D (Unity Technologies SF, San Francisco, Estados Unidos) y Unreal Engine (Epic Games, Inc., Maryland, Estados Unidos). En la Tabla 2.1 se muestra las ventajas y desventajas de cada motor de videojuego.

Unity 3D	Unreal Engine
Ventajas	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> Alta cantidad de documentación disponible (manuales y tutoriales) y una comunidad muy activa. El aprendizaje es muy fácil debido a la estructura de su editor y a su sencillo lenguaje de programación. Ofrece una vasta librería de personajes, scripts, música y proyectos completos en la tienda oficial. Ofrece un conjunto de plugins para facilitar la integración de características en nuestra experiencia virtual. En cuanto al equipo HTC VIVE, permite una programación más específica usando los datos de cada sensor y actuador de sus controles y gafa. 	<ul style="list-style-type: none"> Ofrece de forma gratuita su código abierto con el fin que usuarios puedan realizar mejoras. Ofrece calidad y potencia, Ofrece una vasta librería de documentación, tutoriales y una comunidad muy activa. La programación se basa en nodos y componentes, facilitando el trabajo a los no programadores.
Desventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Mala gestión de la memoria. La creación de terrenos no es optimizada por lo que queda algo limitada. Diversos bugs aparecen en cada actualización requiriendo volver atrás o esperar a que salga un parche de solución. 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad de la curva de aprendizaje debido a que la programación se basa en C++ convirtiéndose en una primera barrera para los no instruidos. Conceptos complejos de aprender. La programación del equipo HTC VIVE ya está predefinida.

Tabla 2. 1 Comparación en base a las ventajas y desventajas de los motores de videojuego Unity 3D y Unreal Engine (Adaptado de [56]).

2.5 Tecnologías de la realidad virtual

En los trabajos [14, 16, 17] se muestra el uso de equipos de realidad virtual de última generación para la interacción con museos virtuales.

2.5.1 Gafas de la realidad virtual

Las gafas de realidad virtual son equipos que permiten la visualización de un entorno virtual a través de unos lentes de visión estereoscópica. Hoy en día esta tecnología viene equipada con más características:

- Sistema de posicionamiento que reconoce la posición del equipo en un punto específico del mundo real.

- Controles que te permiten interactuar con el mundo virtual.

Las gafas de realidad virtual más vendidas en el mercado se muestran en la Figura 2.17.

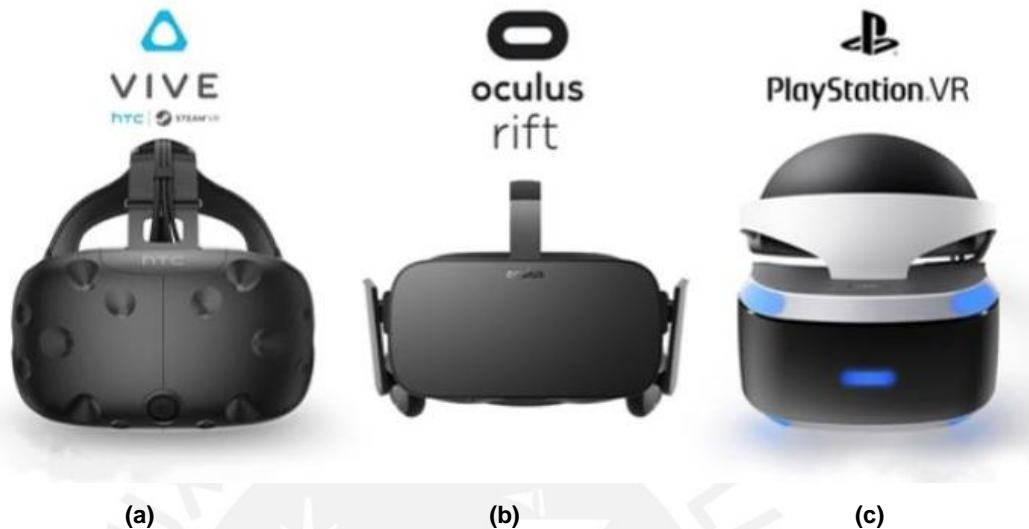


Figura 2. 17 Los 3 equipos más importantes de la industria de la realidad virtual: (a) HTC Vive (High Tech Computer (HTC) Corporation, Taiwán, República de China), (b) Oculus rift (Facebook, California, Estados Unidos), (c) Playstation VR (Sony Interactive Entertainment, California, Estados Unidos).

2.5.2 Teléfonos

El avance de la tecnología celular ha logrado tener la potencia necesaria para poder desarrollar programas de realidad virtual. En la Figura 2.18 se muestran los cascos más conocidos para el uso de celulares como gafas de realidad virtual.



Figura 2. 18 Los cascos para usar celulares como gafas de realidad virtual: (a) Gear VR (Samsung Electronics, Seúl, Corea del Sur) y (b) Google cardboard (Google LLC, California, Estados Unidos).

Son todas las etapas mencionadas anteriormente las partes del diseño que componen el proceso de implementación de un producto de museo virtual.

2.6 Monitoreo de salud estructural [57]

Una de las características importantes de un patrimonio cultural y que esta tesis busca presentar mediante la realidad virtual son los proyectos de investigación que se llevan a cabo en aras de la preservación del patrimonio. En esta tesis el proyecto de investigación es el monitoreo de salud estructural, proceso que verifica el comportamiento de una estructura para estudiar los parámetros físicos que permitan reconocer sus patrones de comportamiento. El objetivo es diagnosticar la condición actual de la estructura que puede ser afectada por factores externos. Además, permite la predicción de las consecuencias de ciertos eventos sobre la estructura. Para este fin se usa un equipo de adquisición de información (DAQ) que toma una señal del exterior mediante sensores para ser guardada y/o enviada en forma digital (ver Figura 2.19). Ejemplo de monitoreo de salud estructural es el proyecto descrito en [57]. Este proyecto desarrollado por el grupo de investigación “Engineering and Heritage” se lleva a cabo en la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas y tiene como meta reconocer el estado en tiempo real de su estructura para posteriormente protegerla de cualquier daño que pueda sufrir.

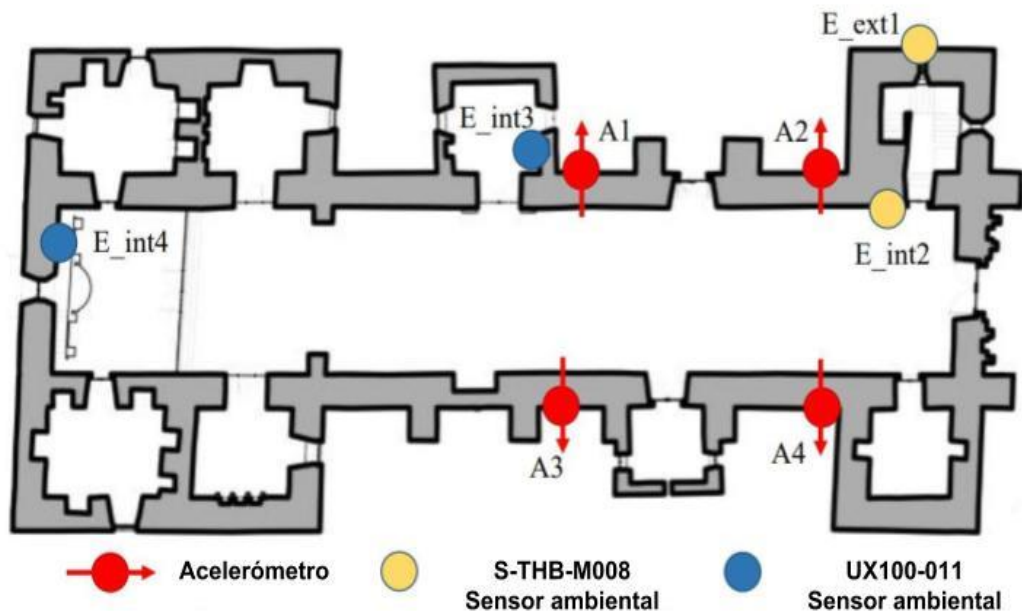


Figura 2. 19 Se muestra el esquema de posición de los sensores para llevar a cabo el monitoreo estructural del proyecto realizado en la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas. Los sensores son de aceleración, temperatura y humedad.

Capítulo 3

Diseño de la propuesta



3.1 Introducción del capítulo

La presente tesis ha sido desarrollada con el soporte del grupo de investigación Engineering and Heritage de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Así mismo ha sido financiada por FONDECYT-CONCYTEC como parte del proyecto: “Monitoreo remoto de la salud estructural de edificaciones emblemáticas de adobe: integración de conocimiento y tecnología para un diagnóstico estructural adecuado”.

La experiencia de realidad virtual está basada en la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, y consiste en 4 partes. La primera está dedicada a enseñar el conjunto de acciones que el usuario puede realizar con ayuda de los controles de la consola de realidad virtual. La segunda está dedicada a la visualización de la parte externa de la iglesia. La tercera etapa está dedicada a la visualización del coro de la iglesia. Finalmente, la cuarta etapa está dedicada a la presentación del proyecto de monitoreo de salud estructural desarrollado en la iglesia.

3.2 Flujo de tiempo

El proyecto en general ha sido diseñado para cumplir dos hitos delimitados por dos encuestas. En la figura 3.1 se muestra el flujo de tiempo del proyecto.

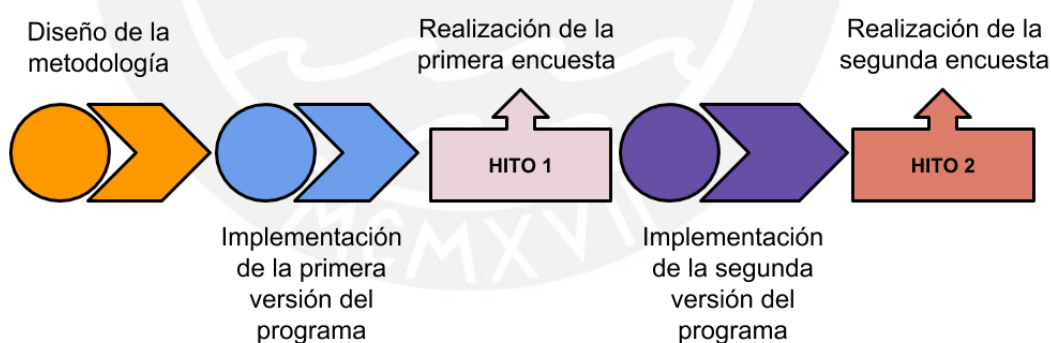


Figura 3. 1 Se muestra el flujo de tiempo separado en dos hitos que consisten en la realización de encuestas. El primer hito permite reconocer puntos que se necesitan cambiar o agregar para mejorar la experiencia. El segundo hito permite evaluar la percepción del usuario con respecto al programa final.

3.3 Diseño de la metodología

Como se mencionó en el Capítulo 2, el estado del arte actual contempla 3 etapas para la creación de un tour virtual: i) obtención de los modelos tridimensionales, ii) obtención de la información multimedia, iii) creación del entorno y programación.

Basado en lo descrito anteriormente la presente tesis propone una metodología con las siguientes etapas.

i) Recopilación de información

En esta etapa se recopila la información necesaria del mundo real para crear el tour virtual, por lo tanto es un trabajo de campo. La información recopilada abarca los modelos tridimensionales de la fotogrametría, información fotográfica del entorno, la información histórica y la información del proyecto de investigación.

ii) Procesamiento

En esta etapa se mejora, ordena y complementa la información recopilada del trabajo de campo. Las actividades que abarca consisten en la mejora de los modelos tridimensionales de la fotogrametría, creación de modelos tridimensionales para completar los entornos y finalmente la organización de la información recopilada. El trabajo realizado es un trabajo de gabinete.

iii) Creación del entorno virtual

En esta etapa se implementan las escenas usando toda la información creada en las etapas anteriores. Se crean escenas para cada uno de los temas que se quieren transmitir al usuario. Por ejemplo en el tour virtual de la presente tesis se crearon escenas para explicar sobre el exterior de la iglesia, sobre el coro de la iglesia y finalmente para explicar el proyecto de investigación “monitoreo de salud estructural”. El trabajo realizado es un trabajo de gabinete.

iv) Programación

En esta etapa se hace uso de los recursos que brinda la tecnología de realidad virtual para la interacción entre el usuario y el mundo virtual. Se programan interacciones tales como obtener información, caminar por la escena, trasladarse en la escena, trasladarse entre escenas, mover objetos, aprender sobre el uso de los controles y recibir un recorrido histórico tridimensional. El trabajo realizado es un trabajo de gabinete.

v) Evaluación

En esta etapa se obtiene el punto de vista de un grupo de usuarios que representan al tipo de usuarios que harán uso del programa. Se invita a un grupo de personas para que experimenten la experiencia del tour virtual y después llenen una encuesta.

La información recopilada se usa para mejorar la experiencia. El trabajo realizado es un trabajo de gabinete.

Finalmente tomando en consideración las etapas mencionadas se plantea la metodología que se muestra en la Figura 3.2.

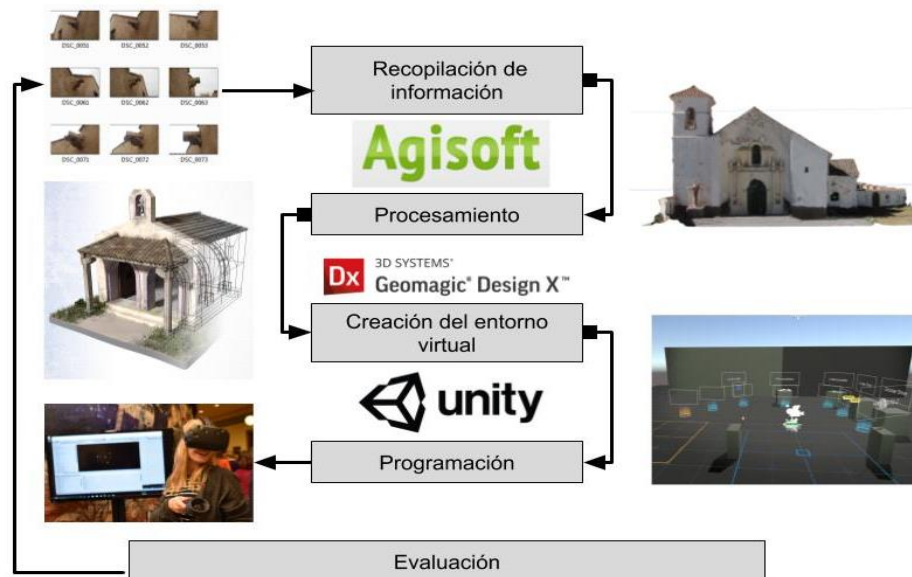


Figura 3. 2 La metodología está separada en 5 etapas. Las etapas de recopilación de información y procesamiento cumplen con los puntos i) obtención de los modelos tridimensionales y ii) obtención de la data multimedia. Y las etapas de creación del entorno virtual y programación cumplen con el punto iii) creación del entorno y programación. Además se ha agregado la etapa de evaluación del programa que permite validar el concepto de la experiencia virtual.

3.4 Tecnología usada para la implementación de la tesis

3.4.1 Equipos

a) Cámara

- i) Nombre del equipo: Nex-7
- ii) Fabricante: Sony (Tokio, Japón)
- iii) Píxeles del sensor: 24 Megapíxeles
- iv) Uso: obtener fotos del coro de la iglesia.

b) Dron

- i) Nombre del equipo: INSPIRE 1 PRO
- ii) Fabricante: DJI (Shenzhen, China)
- iii) Aeronave:

- Modelo: T600
 - Máxima altitud sobre el nivel del mar: 4500 metros
 - Temperatura de operación: -10° to 40° C
 - Tiempo máximo de vuelo: 15 minutos
- iv) Cámara:
- Nombre del equipo: Zenmuse X5
 - Píxeles del sensor: 16 Megapíxeles
- v) Uso: obtener las fotos aéreas del exterior de la iglesia y la foto 360.

c) Workstation 1

- i) Tarjeta de video: NVIDIA quadro K2200
- ii) CPU: Intel xeon E5-1650 3.6 GHz
- iii) RAM: 64GB
- iv) Uso: Etapa de procesamiento de los modelos tridimensionales.

d) Equipo de realidad virtual

- i) Nombre del equipo: HTC VIVE
- ii) Fabricantes: HTC (Taiwán, República de China) y Valve (Washington, Estados Unidos)
- iii) Pantalla: OLED
- iv) Resolución: 2.160 x 1.200 px
- v) Área de seguimiento: 4,5 m x 4,5 m
- vi) Mandos para juegos: Mandos HTC Vive
- vii) Sensores: Acelerómetro, giroscopio, doble sistema de posición láser (36 sensores gafas, 24 sensores cada mando)
- viii) Tipo de conexión: cableada mediante dos interfaces; HDMI para transmitir el video tridimensional y USB para transmitir las señales de control.
- ix) Uso: Realizar la experiencia virtual.

e) Workstation 2

- i) Marca: HP (Palo Alto, California, Estados Unidos)
- ii) Modelo: HP envy desktop
- iii) Tarjeta de video: GeFORCE GTX 970 – 1 GB RAM
- iv) CPU: Intel Core i5-6400 2.7 GHz
- v) RAM: 8GB
- vi) Uso: Realización de las etapas de creación del entorno virtual, programación y evaluación.

3.4.2 Software

a) Agisoft photoscan (Agisoft LLC, San Petersburgo, Rusia)

- i) Descripción: Agisoft PhotoScan es un software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para su uso en aplicaciones de SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.
- ii) Uso: Procesamiento de las fotos tomadas en el campo de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas con el fin de obtener los primeros modelos tridimensionales que serán mejorados para la experiencia virtual.

b) Geomagic design X (3D Systems, Carolina del sur, Estados Unidos)

- i) Descripción: Geomagic Design X es un software que permite convertir modelos 3D de nube de puntos en modelos CAD de alta calidad. Combina la extracción automática y guiada de modelo sólido, edición de mallas y procesamiento de nubes de puntos.
- ii) Uso: Procesamiento de los primeros modelos tridimensionales obtenidos mediante fotogrametría con el fin de mejorar la calidad de los mismos. Así mismo, crear modelos tridimensionales adicionales que complementen la información visual del tour virtual.

c) Unity 3D (Unity Technologies SF, San Francisco, Estados Unidos)

- i) Descripción: Es un motor de videojuegos creado para producir juegos y simulaciones para computadoras, consolas de videojuegos y teléfonos móviles. Este motor tiene soporte para aplicaciones en 3D y 2D. Así mismo tiene soporte para la creación de aplicaciones de realidad virtual.
- ii) Uso: Creación del entorno virtual y programación del tour virtual.
- iii) Motivos de elección: Este motor de videojuegos permite programar los periféricos haciendo uso de sus programas base, permitiendo la creación de código propio. A diferencia de Unreal Engine se puede entrar al código base y utilizar partes de estos en codificación propia creando, como se busca en esta tesis, código base para la creación de nuestro tour virtual.

d) Image Composite Editor (Microsoft, Nuevo México, Estados Unidos)

- i) Descripción: Programa que une un conjunto de fotografías superpuestas para crear una imagen panorámica. Este software es capaz de crear fotos panorámicas de alta

resolución y guardarlas en formato JPEG, TIFF y formato para el software Photoshop PSD/PSB.

ii) Uso: Procesamiento de las fotos tomadas por el dron con el fin de obtener la foto 360 del entorno de la iglesia.

3.5 Implementación de la metodología

3.5.1 Recopilación de información

La etapa de recopilación de información se enfoca en la obtención de los modelos tridimensionales básicos, información fotográfica del entorno, la obtención de la información relevante del patrimonio cultural y finalmente la obtención de la información del proyecto de investigación realizado en la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

a) Modelos tridimensionales básicos

Para generar los modelos tridimensionales se utilizó el software de fotogrametría Agisoft Photoscan. La metodología aplicada en esta tesis es la propuesta en la guía del mismo software y que se divide en i) la toma fotográfica, y ii) aplicación del software (para mayor información [50]).

i) Toma fotográfica

Para la toma fotográfica se siguieron las recomendaciones del software Agisoft Photoscan que se encuentran en [50]. Son dos las recomendaciones más importantes: i) seguir el patrón de toma de fotos según el tipo de escenario a digitalizar, ii) tomar en cuenta los elementos que pueden afectar las fotos.

Los patrones elegidos para la digitalización se presentan líneas abajo en la explicación de cada uno de los objetos digitalizados.

Los elementos que pueden afectar las fotos son: i) la resolución de la cámara, por lo tanto se debe tomar fotografías con una cámara digital de alta resolución. La guía de usuario recomienda 5 MP a más. ii) Evitar configurar los lentes como gran angular y ojo de pez. Lo recomendado es que el lente sea fijo, evitando utilizar el zoom en las fotos. iii) Evitar introducir ruidos en la foto. Tomar fotos con la máxima resolución que posea la cámara. El ISO debe estar en el mínimo valor. Evitar las fotos difuminadas, cuidando que el valor de la apertura de la cámara sea la máxima. Finalmente, evitar que la luz penetre en la cámara lo suficiente para que aparezca un halo de luz en las fotos en vez de los objetos a digitalizar.

- Exterior de la iglesia

Se realizó la toma fotográfica del lugar siguiendo el patrón para objetos aislados recomendado por la guía del software Agisoft photoscan [50]. El exterior de la iglesia es considerado un objeto aislado ya que prácticamente es un objeto que se encuentra en una parte central. Este objeto aislado tiene un tamaño considerable, razón por la cual se hace uso del dron Inspire 1 para poder obtener fotografías desde todos los ángulos de la estructura de la iglesia a una altura de 40 m aproximadamente. Además se tomaron fotos terrestres con la cámara Sony NEX – 7 siguiendo el mismo patrón a toda la parte inferior del lado externo de la iglesia.

En la figura 3.3 se muestra el patrón de fotos para la toma fotográfica aérea y terrestre y el equipo utilizado para la toma fotográfica aérea.



Figura 3. 3 (a) Patrón a seguir para toma fotográfica de un objeto aislado como es el caso de la parte externa de la iglesia (imagen modificada [50]). (b) Dron Inspire 1 que permite la toma fotográfica aérea de objetos de gran tamaño y viene equipado con la cámara fotográfica Zenmuse X5 de 16 megapíxeles.

- Coro

Se realizó la toma fotográfica siguiendo el patrón para interiores para generar la estructura interna del coro. Así mismo se siguió el patrón para objetos aislados para generar los objetos dentro del coro. Ambos patrones se encuentran en la guía del software Agisoft photoscan [50]. Tanto el interior y los objetos tienen un tamaño que facilita la toma fotográfica solo con la cámara Sony NEX-7. En la figura 3.4 se muestran los patrones de fotos y el equipo utilizado para la toma fotográfica.

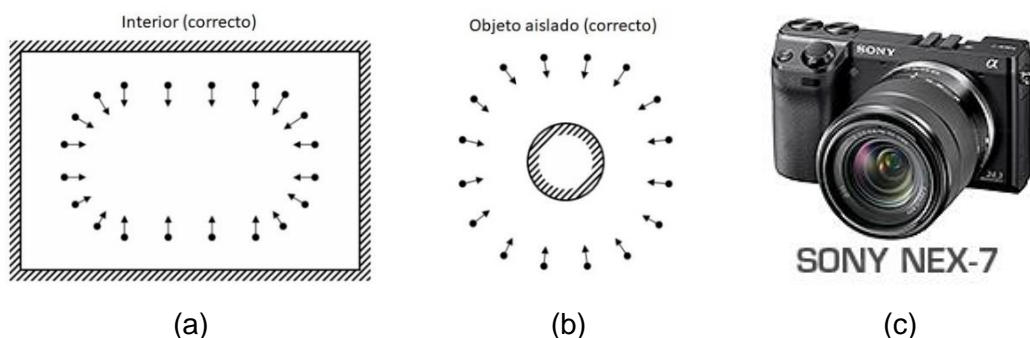


Figura 3. 4 (a) Patrón a seguir para toma fotográfica de interiores como es el caso del coro de la iglesia. (b) Patrón a seguir para toma fotográfica de los objetos sueltos ubicados en el coro (a y b adaptados de [50]). (c) Cámara fotográfica Sony Nex-7 de 24 megapíxeles que permite fotos a pie.

ii) Aplicación del software

El software tiene dos momentos de aplicación, el primero es en el campo que se usa con la calidad de construcción en baja con el fin de percatarse que las fotos tomadas son suficientes. La segunda aplicación es en el laboratorio donde se usa el software con la calidad de construcción de media a alta con el fin de obtener los modelos tridimensionales de la etapa de pre – procesamiento.

El flujo de acciones para obtener los modelos tridimensionales usando el software Agisoft Photoscan utilizada en esta tesis consiste en:

- Seleccionar y cargar fotos

Se deben seleccionar todas las fotos que siguen el parámetro de toma fotográfica explicado en el punto i) toma fotográfica.

- Alinear fotos

Esta acción consiste en el procesamiento de todas las fotos con el fin de que el software encuentre todos los puntos concordantes entre fotos que permitan construir el modelo mediante una nube de puntos esparcida.

- Construcción de nube de puntos densa

El software se basa en la estimación de la posición de las fotos para obtener mayor información de cada una de ellas. Toda la información es agrupada y se crea el modelo tridimensional de nube densa.

- Construcción de la malla

El software utiliza la información de la nube de puntos densa para reconstruir un modelo poligonal de mallas.

- Construcción de la textura del modelo

El software utiliza la información de las cámaras para obtener los colores de cada parte que compone el modelo poligonal de mallas.

Si se desea profundizar sobre el flujo de acciones del software Agisoft photoscan revisar la guía del punto [50].

b) Información relevante del patrimonio cultural

Para obtener información confiable sobre la historia de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas se gestionó una reunión con el guía turístico del lugar, el señor Celestino Ivan Cusihuallpa Gonzales. El guía fue contactado con la ayuda del párroco central de la iglesia, el padre Carlos Silva de la congregación de los jesuitas. Así

mismo se enriqueció la información con libros y documentos afines al tema. Se realizó la búsqueda de información dentro de estos 3 grupos: i) la historia del lugar antes de la construcción de la iglesia, ii) la historia y características de la iglesia y iii) restauración de la iglesia en la época actual.

c) Información del proyecto de investigación

Para obtener información confiable sobre el proyecto de investigación realizado en la iglesia se gestionó una reunión con el jefe del proyecto de Monitoreo de Salud estructural, el doctor en ingeniería civil Giacomo Zonno. Así mismo se enriqueció la información con los artículos de investigación presentados a la comunidad científica. Se realizó la búsqueda de información dentro de estos tres grupos: i) definición del proyecto y objetivos principales, ii) descripción de los equipos utilizados y iii) descripción de las gráficas obtenidas por la instrumentación de la iglesia.

d) Foto 360

Para obtener información del entorno de la parte externa de la iglesia se realiza una toma fotográfica 360. Para obtener la fotografía existen dos momentos: i) toma fotográfica y ii) aplicación del software.

i) Toma fotográfica

Se desea recopilar información del entorno, por lo tanto se decide tomar las fotos a 40 m de altura para que solo aparezca la información de las montañas. Esta acción se realiza utilizando el dron Inspire 1 para tomar las fotos a esa altura. La metodología seguida para la toma fotográfica se muestra en Figura 3.5. Manualmente se guía la cámara del dron para que tome fotografías aproximadamente cada 40 grados. Esta acción debe realizarse cada 45 grados de rotación del dron.



Figura 3. 5 (a) el dron se gira cada 45 grados en su eje z y en cada rotación (b) se toma fotografías rotando la cámara cada 40 grados en su eje x.

ii) Aplicación del software

Se utiliza el software Image Composite Editor para unir todas las fotos tomadas con el dron. El procedimiento que se sigue usando las herramientas del software es: i) importar las fotografías, ii) encontrar las partes superpuestas en las fotos para unir las, iii) Cortar y rellenar los huecos, que en este caso se dan porque el dron no es capaz de tomar todo el cielo, y finalmente iv) exportar la fotografías 360.

3.5.2 Procesamiento

La etapa de procesamiento se enfoca en solucionar las deficiencias que tiene el modelo tridimensional obtenido mediante la técnica de fotogrametría. También se crean modelos tridimensionales con el fin de complementar los modelos obtenidos en la etapa de recopilación de información. Finalmente, en esta etapa se procesa toda la información obtenida para generar la data multimedia tanto escrita como oral que se desea presentar.

a) Mejora de los modelos tridimensionales obtenidos con la fotogrametría

Los modelos tridimensionales provenientes de la técnica de la fotogrametría poseen deficiencias como: i) objetos separados aparecen como uno solo en el modelo de la fotogrametría por ende si se quieren separar destruirán las partes donde se encuentran unidos, ii) algunos modelos de la fotogrametría aparecen parcialmente incompletos, iii) otros modelos de la fotogrametría aparecen completamente destruidos como se muestra en la figura 3.6. Las deficiencias mostradas se mejoran con ayuda del software Geomagic Design X usando como metodología:

i) Toma de ortofotos

Usando como base el modelo poligonal en maya con textura obtenido en la etapa previa se recopilan ortofotos del modelo. Estas ortofotos fueron tomadas manualmente, es decir no se usaron algoritmos por no ser el fin de esta tesis. Primero, se definen todas las partes del modelo que presenten menos daño por las deficiencias descritas anteriormente. Segundo, se estimaron las posiciones adecuadas para que el objeto tridimensional se posicione ortogonalmente a la cámara que toma la fotografía. Un ejemplo de ortofoto es la Figura 3.7_(a).

ii) Creación de estructura simple

Usando el software Geomagic Desing X se crea un modelo tridimensional que se asemeje a la estructura real del modelo a mejorar. Esta estructura debe ser creada como un modelo poligonal de maya simple para que pueda ser exportado como .obj o .fbx. Un ejemplo de un modelo simple es la Figura 3.7_ (b).

iii) Texturización del modelo simple

Usando el software Geomagic Design x se utilizan las ortofotos obtenidas al inicio de la etapa para texturizar las caras del modelo simple generado. Primero, las partes faltantes, debido a que no se han obtenido ortofotos de todo el objeto por las falencias antes habladas, son replicadas con ayuda de las que si se tienen. De esta manera se crean fotos de texturas completas. Segundo, con las fotos de texturas completas se texturizan todas las partes que componen la estructura poligonal en maya simple creado anteriormente. Un ejemplo de esta etapa es la Figura 3.7_(c).



Figura 3.6 Se muestra el coro con las deficiencias propias de los modelos provenientes de la fotogrametría. Primero, i) en esta parte se localiza un órgano del coro que apareció unida a la estructura total. Al ser removida para presentarse como objeto único destruyó esa parte de la estructura. Segundo, ii) se observa uno de los órganos del coro parcialmente destruido debido a la dificultad para tomar las fotografías de esa parte. Tercero, iii) se observa esta parte de la estructura totalmente destruida, pero en realidad en este lugar se localiza la baranda del coro.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.7 (a) Se obtienen ortofotos del modelo tridimensional del coro retirando todos los objetos que no son parte de la estructura como órganos y estatua. (b) Se crea una estructura simple con la forma del coro. (c) Se texturiza las paredes del modelo simple con las ortofotos obtenidas en la etapa (a).

b) Procesamiento de la información multimedia

Se analiza la forma en que se desea brindar la información al usuario sea esta oral, escrita o historia tridimensional. Luego se analiza la información obtenida en la etapa previa y se ordena de acuerdo a la forma de comunicación. Finalmente se crea la data multimedia dependiendo de las siguientes tres formas de comunicación:

- Escrita

Se crean imágenes con dibujos y escritos sobre la información que se desea transmitir de manera escrita.

- Oral

Se generan paquetes de audios en formato .mp3 con la información que se desea transmitir oralmente.

- Historia tridimensional

En la etapa de procesamiento solo se diseña la historia tridimensional que se desea transmitir y se crean todos los elementos necesarios para transmitir la historia.

c) Creación de modelos tridimensionales

Para complementar los modelos tridimensionales se crean modelos tridimensionales usando el software Geomagic Design X. La creación de estos modelos tiene dos etapas: i) modelamiento y ii) texturización.

i) Modelamiento

Se utilizan formas primitivas como cubos, esferas y cilindros para generar las formas de los diferentes modelos. Ejemplo de estos modelos son el entorno de la iglesia, las barandas del coro, los puntos palpitantes de la escena del proyecto de investigación.

ii) Texturización

Una vez obtenidos los modelos tridimensionales se les agrega los colores del modelo mediante la herramienta de texturización del Geomagic Design X.

3.5.3 Creación de entorno virtual

En esta etapa se crea las escenas por cada una de las partes que conforman la experiencia virtual. Para la realización de esta etapa se hace uso del software Unity 3D que permite la creación de escenas virtuales mediante la integración de los modelos tridimensionales obtenidos de las etapas de recopilación de información y procesamiento.

3.5.4 Programación

El programa de la experiencia virtual busca que el usuario pueda interactuar con el mundo creado por computadora utilizando las características que brinda la tecnología de realidad virtual. El programa permite al usuario realizar las siguientes acciones:

- Caminar dentro del mundo virtual, mientras camina en el mundo real.

- Trasladarse a diferentes puntos dentro de la misma escena.
- Agarrar y mover objetos virtuales.
- Obtener información histórica del patrimonio.
- Trasladarse a diferentes escenas.
- Aprender el uso del tour virtual mediante un tutorial interactivo.
- Aprender sobre el patrimonio mediante un modo de historia tridimensional.

Para comprender la metodología seguida para la programación de las acciones anteriores se explica en las siguientes líneas todo lo concerniente a la programación del equipo HTC VIVE haciendo uso del motor de videojuegos UNITY 3D:

a) Elementos de la programación en la plataforma UNITY 3D

La programación se desarrolla haciendo uso de dos elementos: scripts y prefabs.

i) Scripts

Los scripts son los archivos de texto donde se escriben las líneas de código para programar acciones específicas que podrán realizar los objetos que contengan dicho script como elemento. Los scripts están programados con el lenguaje de programación C#.

- Organización del script

La organización de un script tiene las siguientes partes:

//1. Librerías

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
```

//2. Inicio de una clase, es decir del conjunto de tareas a realizar por el componente

```
public class Programa : MonoBehaviour
{
    //3. Inicialización de variables
    int variable_1 = 1;
    int variable_2 = 2;

    void Awake ()
    {
```

//4. Las líneas de código se ejecutan una sola vez al iniciar la rutina aunque el objeto que contenga el script no tenga el script habilitado.

```
}
```

```
void Start ()
```

```
{
```

//5. Las líneas de código se ejecutan una sola vez solo si el objeto que contenga el script tenga el script habilitado.

```
}
```

```
void Update ()
```

```
{
```

//6. Las líneas de código se ejecutan en intervalos distintos dependiendo de la carga computacional del computador, por lo tanto se utiliza solo para movimientos sin física, timers simples y lectura de entradas.

```
}
```

```
void FixedUpdate ()
```

```
{
```

//7. Las líneas de código se ejecutan con intervalos definidos sin importan la carga computacional del computador, por lo tanto se utiliza para movimientos con física que necesiten alta precisión.

```
}
```

```
}
```

```
void funcion()
```

```
{
```

//8. Las líneas de código se ejecutan cada vez que son llamados dentro de la clase.

```
}
```

- Uso del script

El script es una propiedad que posee un objeto si y solo si el objeto posea el script como componente. Por ejemplo, si el script realiza la acción de rotar, todo elemento dentro del mundo virtual que contenga dicho script rotará. El script se agrega a un objeto como se muestra en la Figura 3.8.

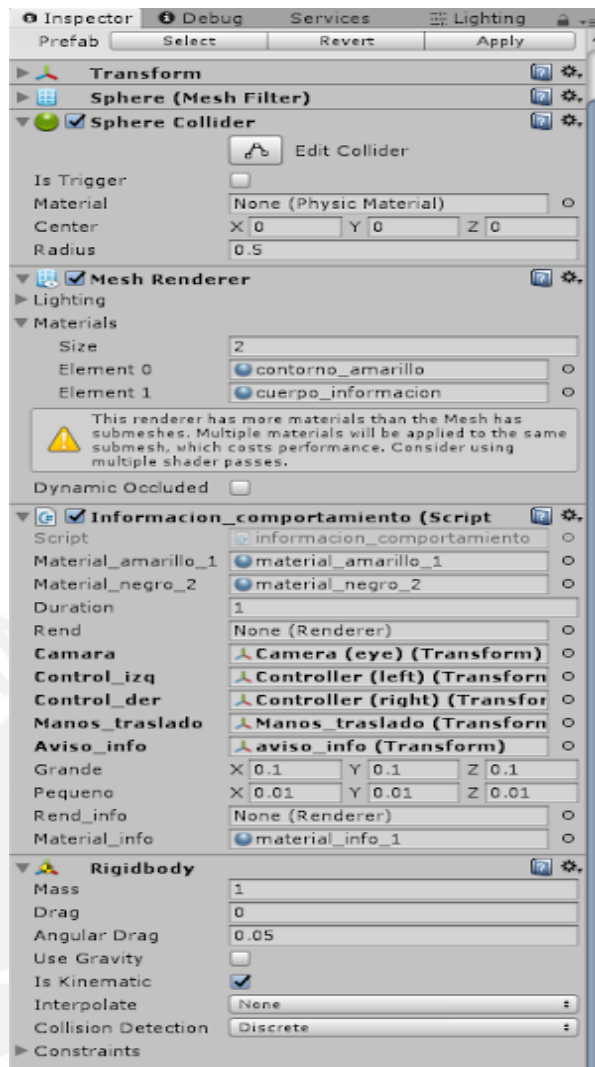


Figura 3. 8 Se muestra el inspector del objeto encargado de interactuar con el usuario para brindarle información del patrimonio cultural. Para que este objeto realice dichas acciones se le agrega el script llamado "Informacion_comportamiento". Se visualiza en este script los diferentes componentes que necesita para funcionar. Por ejemplo se tiene el material_info, que es la imagen con la información que se desea brindar. Además se observa los objetos que necesita para funcionar como la cámara (camera_eye), el control izquierdo (Controller_left), el control derecho (Controller_right), las manos de traslado (Manos_traslado) y el panel que tiene la info (Aviso_info).

ii) Prefabs

Los prefabs son un tipo de elemento que permite programar objetos con características definidas que pueden ser reusadas múltiples veces en la experiencia virtual.

- Creación del prefab

La creación de un prefab consiste en tres fases: i) creación del objeto, ii) agregado de propiedades y elementos, y finalmente iii) empaquetado del prefab.

i) Creación del objeto

El objeto creado en la jerarquía de la escena es aquel que va a poseer todas las propiedades y elementos, convirtiéndose en un objeto con características y elementos que se pueda replicar. Por ejemplo, para el caso del elemento que brinda la información del patrimonio cultural se crea un objeto de forma esférica.

ii) Agregado de propiedades y elementos

Una vez creado el objeto se debe empezar a agregar cada una de las características que debe poseer para cumplir su tarea. Por ejemplo, para el caso del elemento que brinda la información del patrimonio cultural se agrega un script que le permite a este objeto realizar tareas como: reconocer el control del HTC vive cada vez que este se acerca, colocar una imagen en el panel de información que se encuentra en el control del HTC VIVE, disminuir y aumentar de tamaño dependiendo de la distancia a la que se encuentra el usuario y finalmente, hacer que el botón del “Application Menu” del control del HTC VIVE parpadeé cuando se reconoce a este cerca de la esfera.

iii) Empaquetado del elemento

Una vez que el objeto creado tenga todas las propiedades necesarias se empaqueta este nuevo elemento creando de esta manera el prefab. Esta acción consiste en arrastrar el elemento hacia la zona del “Assets”.

- Uso del prefab

El uso de un prefab consiste generalmente en dos fases: i) agregar prefab en la jerarquía y ii) completar datos de sus propiedades.

i) Agregar prefab en la jerarquía

Consiste en colocar el prefab en la escena del juego, para esto se debe agregar el prefab en la jerarquía de la escena. Agregar el prefab consiste en arrastrar el prefab desde “Assets” a “Hierarchy”.

ii) Completar datos de sus propiedades

Cuando se agrega un prefab a “Hierarchy” este prefab entra con todos los datos de sus propiedades en cero. En esta fase el programador que use esta

metodología tendrá que completar los datos requeridos según las propiedades.

b) Elementos para programar el equipo de realidad virtual

El equipo utilizado para que el usuario interactúe con el mundo virtual es el HTC VIVE por ende para el desarrollo de los scripts y prefabs se toma en cuenta los elementos para el uso del equipo. Los dos elementos a tomar en cuenta son: i) Plugin “Steam VR” y ii) Conjunto de entradas y salidas.

i) Plugin “Steam VR”

El primer elemento es el pluggin “SteamVR”, que consiste en herramientas de programación que la empresa desarrolladora del equipo HTC VIVE ha lanzado. El fin de dichas herramientas es que los desarrolladores alrededor del mundo puedan programar para su plataforma. El pluggin y el equipo se muestran en la Figura 3.9.



Figura 3. 9 (a) Equipo HTC VIVE de realidad virtual cuyos componentes son un casco con vista estereoscópica que permite visualizar la realidad virtual; dos controles integrados con un botón trigger, un touchpad y un botón auxiliar que permiten la interacción entre el usuario y el mundo virtual; posicionamiento en un área delimitada tanto de los controles como del casco con lo cual puedes moverte en el mundo real y sentirlo en el mundo virtual gracias a su posicionamiento basado en luz infrarroja. (b) El plugin Steam VR posee un conjunto de herramientas para facilitar la programación del HTC VIVE en el motor de videojuegos Unity 3D.

En el plugin “Steam VR” existen un grupo de prefabs que permiten implementar lo siguiente:

- Los modelos tridimensionales del casco y mandos para que aparezcan en el mundo virtual.
- Programa de seguimiento tanto del casco como de los mandos para que se muevan dentro del mundo virtual.
- Programa para que los mandos puedan sincronizarse con un piso especial que permite trasladarse en la escena.

- Programa que permite interactuar con puntos específicos del mundo virtual.
- Programa que permite delimitar el espacio virtual para caminar basándose en las medidas del espacio de juego del mundo real.

ii) Conjunto de entradas y salidas

El segundo elemento son el conjunto de entradas y salidas que poseen tanto los controles como la gafa. Estos permiten al usuario relacionarse con el mundo virtual.

- Entradas

El control del HTC VIVE cuenta con 5 botones como se detalla en la Figura 3.10, además posee acelerómetros internos que permite obtener tanto velocidad lineal como velocidad de rotación.

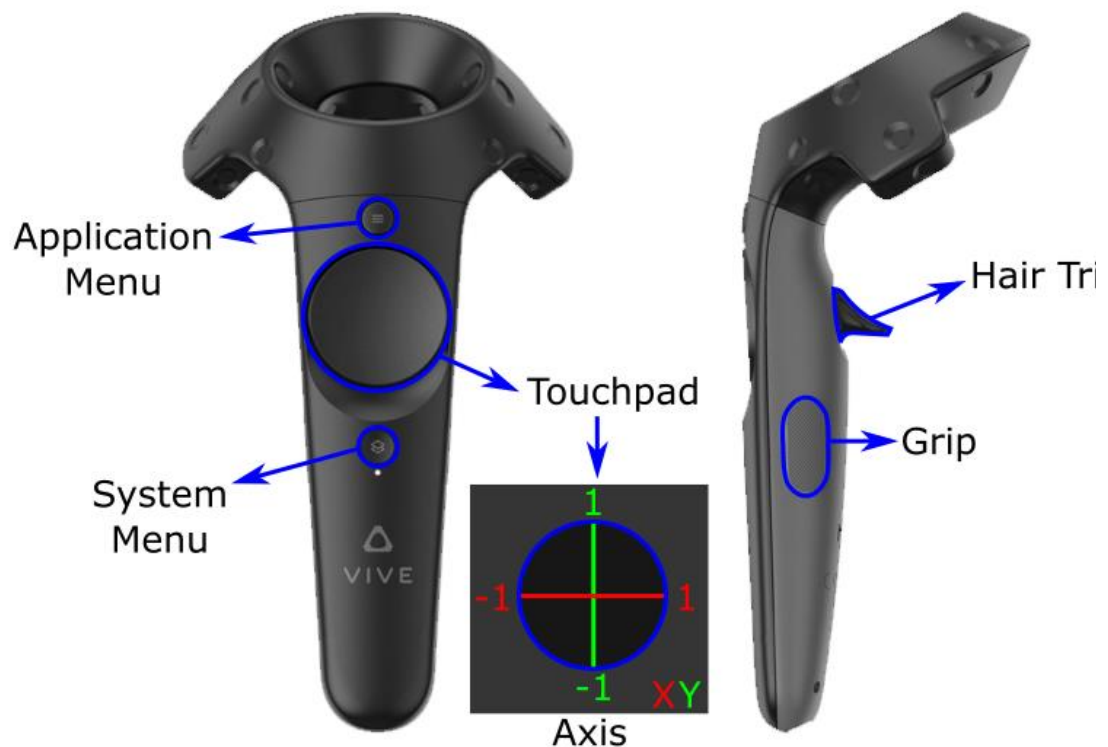


Figura 3. 10 El control del HTC VIVE cuenta con 5 botones: (a) Application Menu, (b) System Menu, (c) Hair Trigger, (d) Grip y finalmente (e) el Touchpad que funciona como botón y panel táctil.

Además, los controles y las gafas poseen sensores de led infrarrojo. Estos detectan la luz infrarroja que generan las estaciones base como se muestra en la Figura 3.11. Gracias a ello se puede conocer la posición tanto de los controles como de las gafas en tiempo real.

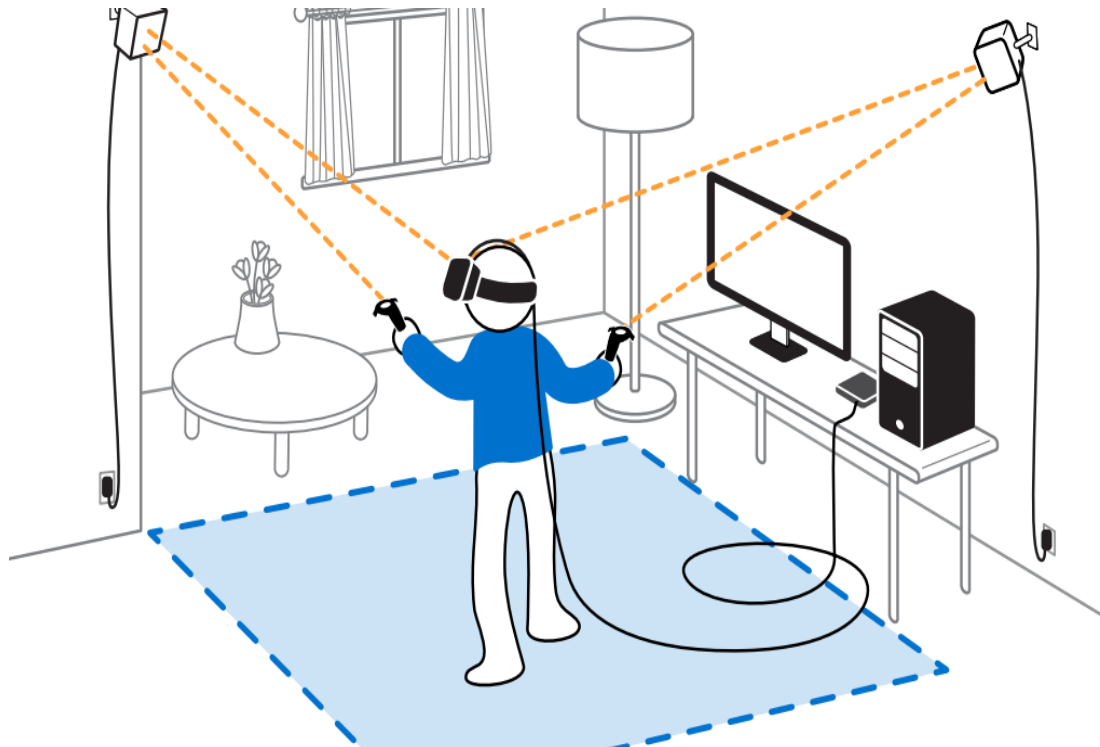


Figura 3. 11 Las estaciones base generan rayos infrarrojos que son detectados por los controles y las gafas del HTC VIVE con lo cual se conoce la posición de dichos equipos dentro del mundo virtual en tiempo real.

- Salidas

- Controles

Los controles poseen un actuador piezoeléctrico lineal que les permite vibrar.

- Gafa

La gafa permite visualizar al usuario todo lo que pasa en el mundo virtual tal y como si estuviera dentro.

- Código esencial para uso de entradas y salidas

Debido a que los controles y gafa permiten la interacción del usuario con el mundo virtual se han programado para que cada uno realice acciones propias. El código esencial es el siguiente:

i) Líneas de código para obtener las entradas del control del HTC VIVE

```
// Touchpad
```

```
// Obtener el vector de dos dimensiones del panel táctil
```

```
if (Controller.GetAxis() != Vector2.zero)
```

```
{
```

```
    Debug.Log(Controller.GetAxis());
```

```
}
```

```

// Obtener información si el touchpad es presionado (GetPressDown), se mantiene
presionado (GetPress) o se suelta (GetPressUp)
if (Controller.GetPress(SteamVR_Controller.ButtonMask.Touchpad))
{
    Debug.Log(" Touchpad se mantiene presionado");
}
// Application Menu
//Obtener información si el ApplicationMenu es presionado (GetPressDown), se
mantiene presionado (GetPress) o se suelta (GetPressUp)
if (Controller.GetPress(SteamVR_Controller.ButtonMask.ApplicationMenu))
{
    Debug.Log(" Touchpad Press");
}
// Hair Trigger
//Obtener información si el Hair Trigger es presionado (GetHairTriggerDown), se
mantiene presionado (GetHairTrigger) o se suelta (GetHairTriggerUp).
if (Controller.GetHairTriggerDown())
{
    Debug.Log(" Trigger Press");
}
// Grip
// Obtener información si el Grip es presionado (GetPressDown), se mantiene
presionado (GetPress) o se suelta (GetPressUp)
if (Controller.GetPressUp(SteamVR_Controller.ButtonMask.Grip))
{
    Debug.Log(" Grip Press");
}

```

ii) Referencia de las entidades a usar en la programación, en este caso “trackedObj” y “Controller”.

```

// 1
private SteamVR_TrackedObject trackedObj;
// 2
private SteamVR_Controller.Device Controller
{
    get { return SteamVR_Controller.Input((int)trackedObj.index); }
}

```

(1) Línea de código para Declarar la entidad que referencia el control del HTC VIVE.

(2) Línea de código para declarar la entidad que permite acceder al control del HTC VIVE, es decir que permite obtener las señales de entrada de los botones.

iii) Líneas de código a ejecutar cada vez que el programa inicia.

```
void Awake()  
{  
    //1  
    trackedObj = GetComponent<SteamVR_TrackedObject>();  
}
```

(1) La entidad trackedObj obtiene la referencia del control del HTC VIVE al que se encuentra vinculado.

c) Diagrama de flujo

i) Diagrama general

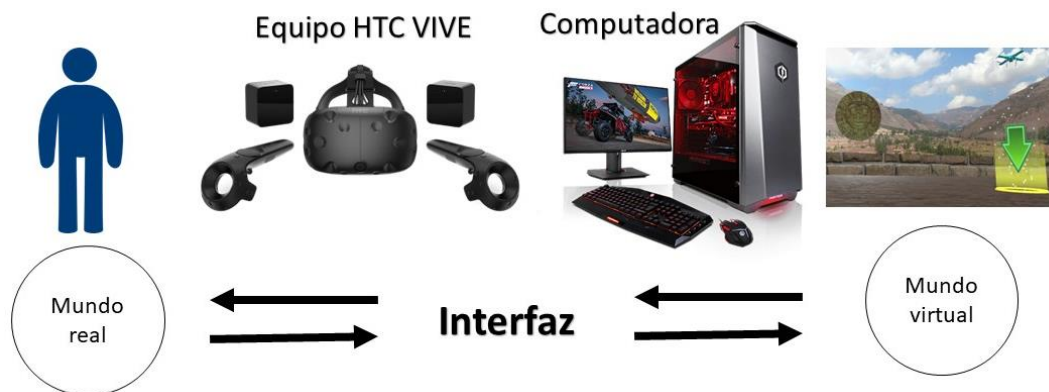


Figura 3. 12 Diagrama general que muestra la comunicación entre el usuario y la experiencia virtual.

ii) Diagramas específicos

Los diagramas que describen los códigos de las acciones programadas se presentan en anexos\Diagramas de flujo. Los diagramas mencionados son:

- Caminar dentro del mundo virtual, mientras camina en el mundo real
- Trasladarse a diferentes puntos dentro de la misma escena
- Agarrar y mover objetos virtuales

- Obtención de información
- Trasladarse a diferentes escenas
- Aprender el uso del tour virtual mediante un tutorial interactivo
- Aprender sobre el patrimonio mediante un modo de historia tridimensional

3.5.5 Evaluación - primera encuesta

La primera encuesta tiene como objetivo obtener el punto de vista de los usuarios con respecto al tour virtual desarrollado. La información de esta evaluación es usada para mejorar el concepto del programa para la segunda etapa del proyecto. El usuario realiza la experiencia virtual y después realiza la encuesta. En esta evaluación se recoge información sobre: i) punto de vista del usuario sobre la calidad de gráficos, información ofrecida e interactividad de cada una de las escenas presentadas, ii) comentarios libres sobre cómo mejorar cada escena. Para la primera encuesta fueron encuestados 9 estudiantes pertenecientes al pre-grado y pos-grado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

3.5.6 Evaluación - segunda encuesta

La segunda encuesta recoge el punto de vista de un grupo de usuarios representativos del tipo de personas a quienes va dirigido el tour virtual. El usuario realiza la experiencia virtual y después realiza la encuesta. En esta evaluación se recoge información sobre: i) características generales del usuario ii) punto de vista del usuario sobre facilidad de uso del programa, iii) punto de vista del usuario sobre la calidad de gráficos, información ofrecida e interactividad de cada una de las escenas presentadas y finalmente iv) preguntas sobre la información educativa presentada en el tour virtual. Para la segunda encuesta fueron encuestados 50 estudiantes pertenecientes al pre-grado y pos-grado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Capítulo 4

Resultados



4.1 Implementación del proyecto para el hito 1

Los resultados obtenidos para el hito 1 fueron la metodología planteada, los modelos tridimensionales, la data multimedia, los entornos virtuales, la programación y finalmente las respuestas de la primera encuesta. El diseño e implementación de la metodología se describe en el capítulo 3, ya que de esta manera se explicó el diseño de la propuesta. Los demás resultados se describen en este capítulo. Los resultados de este hito son la base para mejorar la propuesta final que se presenta en el hito 2.

4.1.1 Recopilación de información

Aplicando la técnica de fotogrametría se obtuvieron los modelos tridimensionales de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas que se describen líneas abajo.

a) Exterior de la iglesia

Con la cámara del dron Inspire 1 se realizó fotografías aéreas, y con la cámara NEX-7 se realizó fotografías terrestres tomando un total de 164 fotos. Finalmente, estas fotos fueron la base para realizar la técnica de fotogrametría, cuyo resultado es un modelo tridimensional con resolución de 1 419 501 triángulos. El modelo del exterior de la iglesia se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4. 1 El modelo tridimensional del exterior de la iglesia representa la estructura de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

b) Coro de la iglesia

i) Modelo del lugar

Con ayuda de la cámara NEX-7 se realizó fotografías terrestres dentro del coro de la iglesia tomando un total de 105 fotografías. Finalmente, estas fotografías fueron la base para implementar la técnica de fotogrametría, cuyo resultado es un modelo tridimensional con resolución de 1 644 888 triángulos. El modelo del coro se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4. 2 Modelo tridimensional del coro de la iglesia.

ii) Modelo del cristo de las siete puñaladas

Con ayuda de la cámara NEX-7 se realizó fotografías de la estatua del cristo de las siete puñaladas tomando un total de 24 fotografías. Finalmente, estas fotografías fueron la base para implementar la técnica de fotogrametría, cuyo resultado es un modelo con resolución de 356 559 triángulos. El modelo tridimensional se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4. 3 El modelo tridimensional del cristo de las siete puñaladas tiene un acabado que permite usarlo directamente en el entorno virtual.

iii) Modelo del órgano

Con ayuda de la cámara NEX-7 se realizó fotografías del órgano, ubicado en el coro, tomando un total de 17 fotografías. Finalmente, estas fotografías fueron la base para implementar la técnica de fotogrametría, cuyo resultado es un modelo con resolución de 826 176 triángulos. El modelo tridimensional se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4. 4 El modelo tridimensional del órgano de la iglesia solo posee el lado derecho del modelo debido a que fue imposible obtener fotos adecuadas del lado izquierdo debido a que estaba al borde del final del balcón del coro.

4.1.2 Procesamiento

a) Mejora de los modelos tridimensionales

i) Estructura del coro

Se siguió la metodología presentada en el capítulo 3 para mejorar la calidad del modelo tridimensional de la estructura del coro. Finalmente se obtuvo un modelo de 20 triángulos de resolución. El modelo tridimensional se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4. 5 El modelo tridimensional del coro ya no presenta huecos en la estructura, no tiene unidos los objetos tridimensionales aledaños y además su base es un modelo tridimensional simple sin reducir la calidad del modelo.

ii) Órgano ubicado en el coro

Se siguió la metodología presentada en el capítulo 3 para mejorar la calidad del modelo tridimensional del órgano del coro. Finalmente se obtuvo un modelo con resolución de 44 triángulos. El modelo tridimensional se muestra en la Figura 4.6.



Figura 4. 6 El modelo tridimensional del órgano está completo y además su base es un modelo tridimensional sin reducir calidad al modelo.

b) Creación de modelos tridimensionales

Para poder representar las escenas se crearon objetos tridimensionales que completan los modelos ya sea porque existen en la vida real o como complementos para la escena. Los modelos creados para el hito 1 son los presentados en la Figura 4.7.

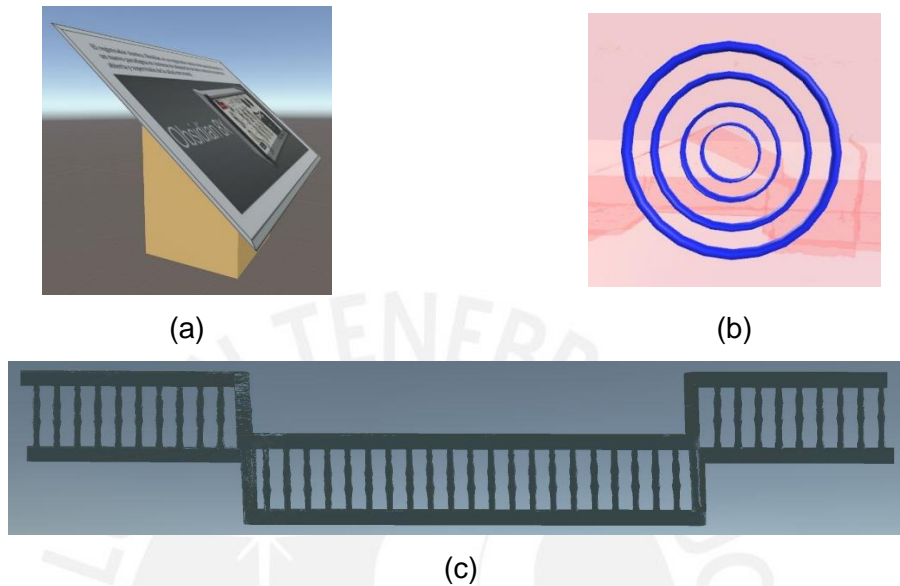


Figura 4. 7 (a) Mostrador tridimensional para presentar información en las diferentes escenas. (b) Puntos palpantes que indican los puntos exactos donde se encuentran los sensores en la iglesia. (c) Baranda que complementa el modelo tridimensional del coro.

4.1.3 Creación del entorno virtual

a) Escena del menú principal

Esta escena posee información escrita para facilitar el uso del programa. Además posee un panel que permite trasladarse a las diferentes escenas. Esta escena fue diseñada con los aspectos descritos buscando ser el punto inicial de aprendizaje del usuario. Ambas características se muestran en la Figura 4.8.

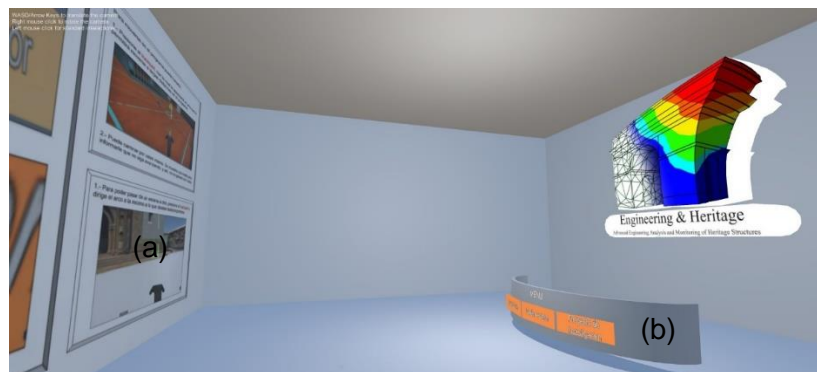


Figura 4. 8 (a) Información escrita con las instrucciones del manejo del programa. (b) Panel con botones que permite trasladarse a cualquier escena.

b) Escena del exterior de la iglesia

Esta escena solamente muestra la estructura de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas como se muestra en la Figura 4.9. Además contiene un mostrador con información relevante de la iglesia. Esta escena fue diseñada con el fin de mostrar la parte externa de la iglesia y dar información relevante.



Figura 4. 9 En esta escena se observa solo el modelo tridimensional de la estructura de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas sobre un espacio en blanco.

c) Escena del coro de la iglesia

Esta escena muestra el coro de la iglesia con su estatua del cristo de las siete puñaladas y su órgano musical. Esta escena posee una imagen del primer piso de la iglesia tratando de crear una percepción del entorno del coro. Finalmente se colocaron mostradores con información. Esta escena fue diseñada con el fin de mostrar el coro de la iglesia y dar información relevante. En la Figura 4.10 se muestran distintas imágenes de la escena del coro.



Figura 4. 10 En esta escena se muestra el coro de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas con sus modelos de la estatua del cristo de las siete puñaladas, los órganos de la iglesia, la foto que representa el primer piso y finalmente el mostrador con información relevante del coro.

d) Escena de los acelerómetros

Esta escena muestra información sobre el proyecto de investigación “Monitoreo de salud estructural” llevada a cabo en la iglesia por el grupo de investigación Engineering and Heritage. En esta escena se colocó el modelo de la estructura de la iglesia con una textura transparente rojiza que permite visualizar desde cualquier posición los puntos palpitantes que representan los acelerómetros que recogen la información del proyecto. Esta escena fue diseñada con el fin de difundir el proyecto de investigación. En la Figura 4.11 se muestran imágenes de la escena.

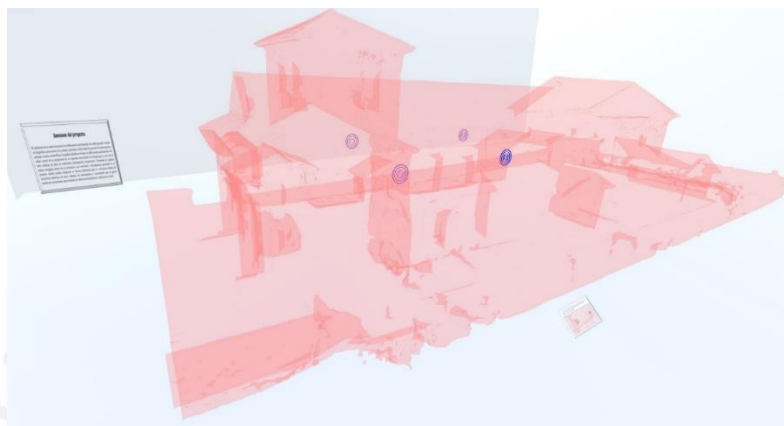


Figura 4. 11 En la escena de los acelerómetros se visualiza la estructura de la iglesia con textura rojiza transparente que permite visualizar los puntos palpitanes desde cualquier lugar.

e) Escena de la cabina del proyecto de investigación

Esta escena muestra las gráficas del proyecto de investigación “Monitoreo de salud estructural” que se encuentra en la página oficial del grupo Engineering and Heritage. Esta escena posee una explicación mediante información escrita de lo que muestra cada gráfica que se encuentra en la página web. Además muestra la página web del grupo en tiempo real. Esta escena fue diseñada con el fin de que el usuario interactúe con las gráficas del proyecto. En la Figura 4.12 se muestran imágenes de la escena.

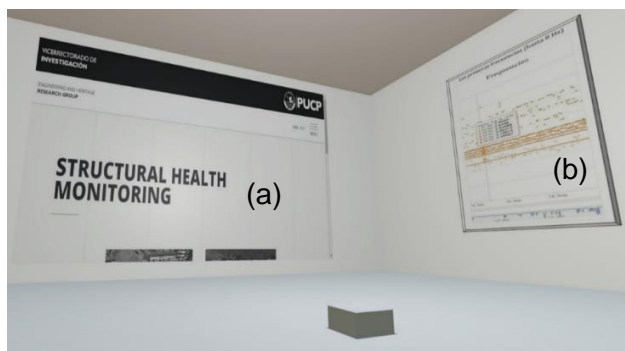


Figura 4. 12 En la escena de la cabina del proyecto de investigación se visualiza (a) la página web que muestra las gráficas con la información recopilada por el proyecto “Monitoreo de salud estructural”. (b) Información escrita del significado de cada gráfico encontrado en la página web del grupo de investigación.

4.1.4 Programación

a) Traslado en escena

El usuario puede movilizarse en un área de 4.5 mt x 4.5 mt, pero las escenas poseen lugares de mayor tamaño. Por ende esta función permite utilizar el control del equipo para trasladarse a distintas partes de la escena como en la Figura 4.13.



Figura 4. 13 El traslado en la escena se logra presionando el touchpad del control del HTC VIVE y dirigiendo el arco brillante hacia el punto al que se desea trasladarse.

b) Obtención de información

Se han programado botones virtuales que permiten obtener información educativa. El usuario interactúa con los botones virtuales a través del mando del equipo de realidad virtual para obtener la información. La dinámica se muestra en la Figura 4.14.



Figura 4. 14 Para obtener la información educativa, primero el usuario acerca el mando hacia el botón virtual y presiona el botón trigger. Después de haber presionado el botón trigger sobre el botón virtual aparece el cuadro de información.

c) Traslado entre escenas

Para que el usuario pueda trasladarse entre las distintas escenas del tour virtual se han programado puntos brillantes. La dinámica de estos puntos de traslado se explica en la Figura 4.15.

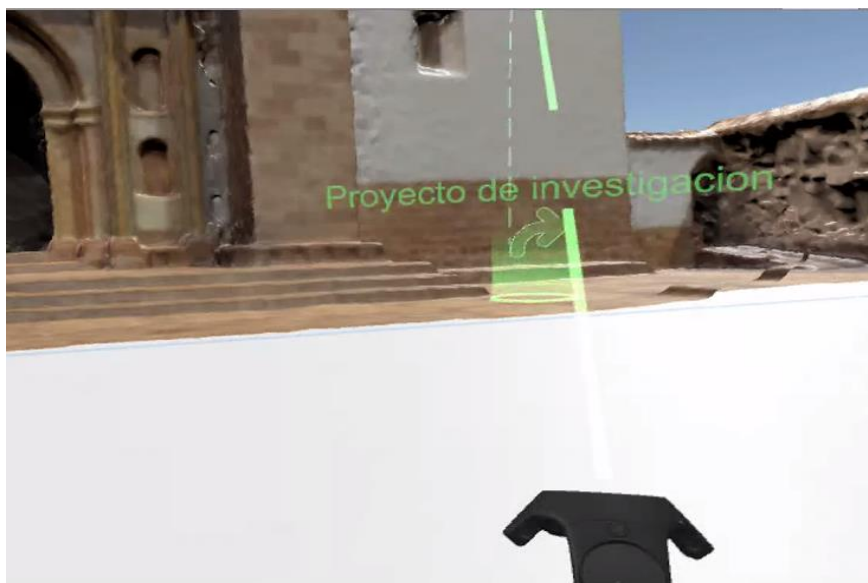


Figura 4. 15 Se presiona el touchpad del control del equipo de realidad virtual para que aparezca el arco brillante, y este a su vez se direcciona hacia uno de los puntos brillantes de traslado. Una vez se suelte el touchpad el usuario se dirigirá a la escena elegida.

4.1.5 Evaluación – primera encuesta

La primera encuesta realizada a 9 estudiantes tanto de pregrado como de posgrado permitió conocer el punto de vista del usuario respecto al tour.

Acerca del programa en general, el usuario precisa que puede facilitarle el uso del tour: i) la creación de un tutorial que enseñe las acciones que se puede realizar y la ii) implementación de una voz que lo guíe en el desarrollo de la historia.

Acerca de la escena del menú principal, el usuario considera que mejoraría la experiencia: i) que las opciones que brinda el tour se enseñarán mediante una simulación y ii) mejorar la nitidez de la información que se brinda.

Acerca de la escena del coro de Andahuaylillas, el usuario considera que mejoraría la escena: i) implementar una música andina y ii) mejorar la profundidad de la imagen del primer piso.

Acerca de la escena del exterior de la iglesia, el usuario considera que mejoraría la escena: i) incluir ambientación del entorno y ii) que la información salga del control para movilizarse mientras se lee.

Acerca de la escena de acelerómetros del proyecto de Andahuaylillas, el usuario considera que mejoraría la escena: i) describir de forma sonora el proyecto, ii) organizar mejor la información presentada y iii) ejemplificar los gráficos.

Acerca de la escena de la cabina del proyecto de Andahuaylillas, el usuario considera que se debe mejorar la presentación y manejo de la página web.

Con el fin de revisar la encuesta completa diríjase a anexos/Encuestas.

4.2 Implementación del proyecto para el hito 2

Con ayuda de las respuestas de la encuesta del hito 1 se plantearon los siguientes objetivos con el fin de mejorar la experiencia del tour virtual:

- Agregar un tutorial dinámico.
- Agregar una guía que acompañe al usuario a recorrer la escena.
- Mejorar la interacción entre el usuario y la experiencia virtual.
- Mejorar el entorno de la escena del exterior de la iglesia.
- Agregar modelos tridimensionales de los equipos que se utilizan en el proyecto de investigación.
- Resumir y presentar mejor la información que se quiere dar a conocer.
- Agregar música relacionada al patrimonio cultural.

4.2.1 Recopilación de información

a) Foto 360

Para mejorar el entorno de la escena del exterior de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas se realiza un viaje al Cusco. En el viaje se utiliza el Dron Inspire 1 para obtener una foto 360 del entorno de la iglesia. En la Figura 4.16 se muestra la foto 360 obtenida.



Figura 4. 16 Foto 360 del entorno de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

b) Fotogrametría

Además con el fin de mejorar la explicación del proyecto “Monitoreo de salud estructural” se realiza la técnica de fotogrametría para obtener el modelo tridimensional del equipo de adquisición de data sísmica Obsidian. En la Figura 4.17 se muestra el modelo tridimensional del equipo Obsidian.



Figura 4. 17 Modelo tridimensional del equipo de adquisición de data sísmica Obsidian de la marca Kinemetrics.

4.2.2 Procesamiento

Para mejorar la escena del exterior se crearon los modelos de la Figura 4.18.



Figura 4. 18 Se muestran los modelos tridimensionales del piso, las tres cruces y las paredes que se encuentran alrededor de la iglesia.

Además modelos que ayudan a contar la historia de la iglesia como en la Figura 4.19.



Figura 4. 19 Se muestran los modelos tridimensionales que dan la percepción de un santuario inca.

Por último se crea el modelo de los acelerómetros que se muestra en la Figura 4.20 para ayudar en el entendimiento del proyecto del “Monitoreo de salud estructural”.



Figura 4. 20 Modelo tridimensional del sensor que se utiliza en el proyecto “Monitoreo de salud estructural”.

4.2.3 Creación del entorno virtual

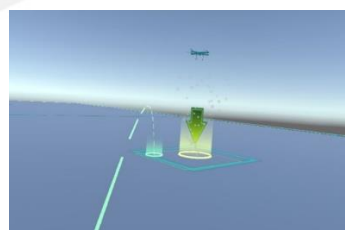
En las escenas para el segundo hito se quitan los botones virtuales y los mostradores de información. Se han agregado en general esferas para la obtención de información y se ha agregado un modelo tridimensional de un dron como guía turístico.

a) Escena del tutorial

Esta escena brinda al usuario la información que necesita para entender el programa del tour virtual. En esta escena se enseña a caminar por el espacio físico, a trasladarse en la escena, a interactuar con los objetos del lugar y finalmente a trasladarse entre escenas. En la Figura 4.21 se muestran las 4 cosas que enseña el tutorial.



(a)



(b)



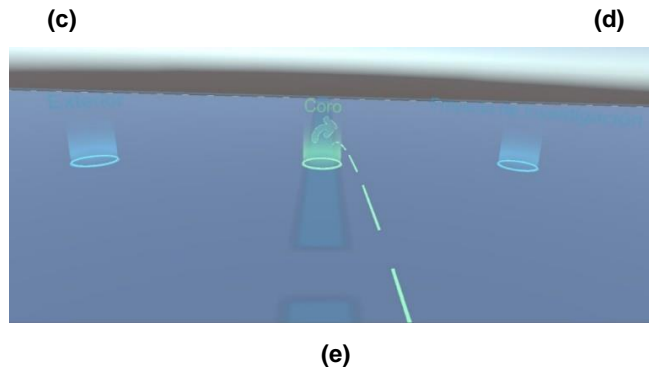


Figura 4. 21 (a) Enseña que el usuario puede caminar en el espacio físico y que este caminar se refleja en el mundo virtual, así como explicarle el uso de una malla virtual para delimitar su área física de movimiento. (b) Enseña que el usuario puede trasladarse a lugares que no le permite su área física. (c) Enseña que el usuario puede coger objetos que se encuentran a su alrededor. (d) Enseña que el usuario puede obtener información sobre la iglesia de las esferas que se encuentran en las escenas. (e) Enseña que el usuario puede trasladarse entre escenas.

b) Escena del exterior

Esta escena ha sido completada con los últimos componentes obtenidos en las etapas anteriores. Esta escena muestra la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas con objetos a su alrededor como el piso, las cruces y las paredes. Además se utilizó una foto 360 para terminar de brindar la información visual sobre el entorno del lugar. Una imagen de la escena se muestra en la Figura 4.22.



Figura 4. 22 Escena del exterior de la iglesia completada con el modelo del exterior, los modelos del entorno y la foto 360 de todo el entorno de la iglesia.

c) Escena del coro

En la escena del coro se han agregado los puntos de información de forma esférica y los puntos de paso como se muestra en la Figura 4.23.

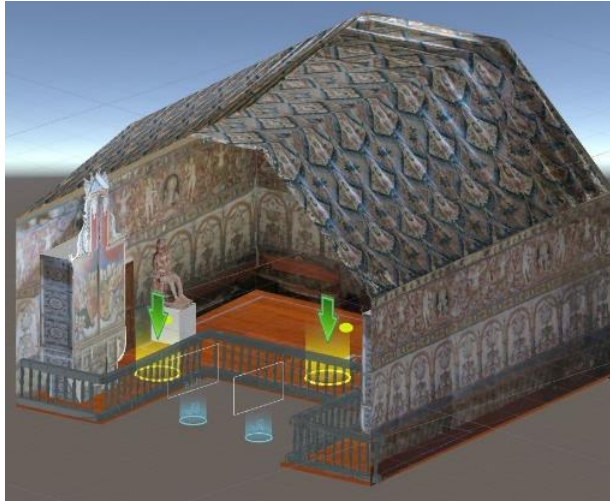


Figura 4. 23 La escena del coro posee los puntos de información y los puntos de paso.

d) Escena del proyecto de investigación

La escena sobre el proyecto “Monitoreo de salud estructural” consiste en una sola escena y se ha quitado la página web. Se han agregado los modelos tridimensionales de los equipos utilizados en el proyecto. También se ha agregado una pantalla que muestra la información de las gráficas relevantes que se encuentran en la página oficial del grupo de investigación Engineering and Heritage. En la Figura 4.24 se muestra la escena del proyecto de investigación.

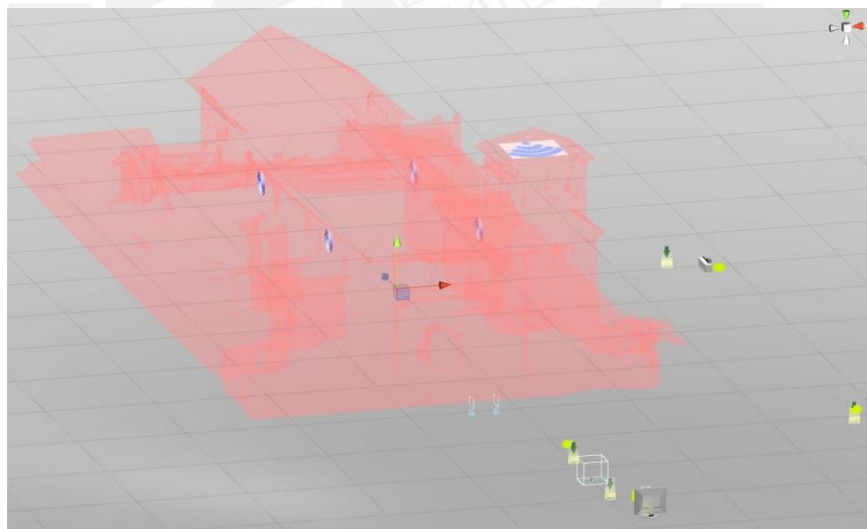


Figura 4. 24 En esta escena se presentan los equipos del proyecto “Monitoreo de salud estructural” y una pantalla mostrando las gráficas relevantes del proyecto.

4.2.4 Programación

Con el fin de que el usuario interactúe con el entorno virtual se han agregado las siguientes acciones que el usuario puede realizar:

a) Tutorial interactivo del uso del programa

Tal como se describe en la figura 49 el usuario va aprendiendo sobre 5 acciones que puede realizar en el tour virtual. Las acciones se enseñan de manera secuencial para lo cual se ha programado que el usuario tenga que lograr el objetivo de una acción antes de pasar a la siguiente acción. Las 5 acciones se muestran en la Figura 4.21.

b) Modo historia

Se ha agregado un tutorial dinámico y un dron que sirve de guía turístico para que el usuario pueda seguir la historia de la iglesia de manera tridimensional. Esta manera de presentar la información de la iglesia resulta beneficioso debido a que la información no solo se da de forma escrita y oral sino también visual. En la Figura 4.25 se muestra el modo historia de la escena del exterior de la iglesia.



(a)



(b)

Figura 4. 25 La historia empieza (a) mostrando que en este territorio antes hubo un santuario inca. (c) Hacia adelante se habla sobre la iglesia y se brindan algunos datos sobre la renovación de la iglesia.

c) Obtener información en puntos específicos

Para obtener la información educativa sobre la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas y el proyecto “Monitoreo de salud estructural” el usuario interactúa con esferas que se encuentran alrededor de la iglesia. La Figura 4.26 muestra al usuario interactuando con las esferas de información.



Figura 4. 26 El usuario interactúa con las esferas para obtener información sobre el lugar donde se encuentra.

d) Manipular objetos

El usuario es capaz de manipular los equipos del proyecto “Monitoreo de salud estructural” cuando se ha acabado el modo historia. La Figura 4.27 muestra al usuario manipulando el acelerómetro.

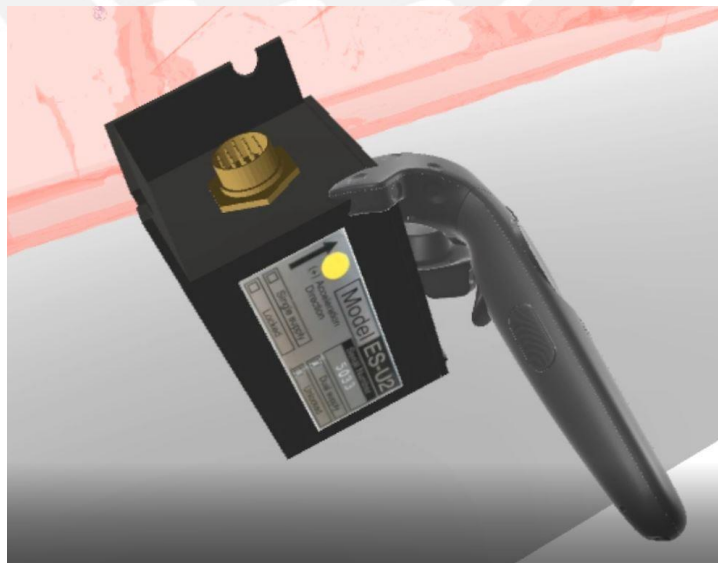


Figura 4. 27 El usuario levanta con el control el acelerómetro con el fin de observar mejor sus características.

4.2.5 Evaluación – segunda encuesta

La segunda encuesta busca recoger el punto de vista del usuario con respecto al programa final que se presenta en esta tesis. Se ha encuestado un total de 50 personas entre pregrado y posgrado. Es bueno precisar que de la muestra 1 de cada 2 personas han probado la realidad virtual.

Acerca de la escena del tutorial, el 96% de usuarios considera que les ha ayudado a manejar el tour virtual.

Acerca de la escena del exterior de la iglesia, un comentario nos precisa que el tema audiovisual y escrito le permitió conocer sobre la iglesia. Por otro lado otro comentario nos refiere que le gustaría se mejore más la calidad de imágenes, por ejemplo que el cielo sea más real.

Acerca de la escena del coro de la iglesia, un comentario nos precisa que Información es clara, relevante y puntual, además que la música de fondo armoniza con el entorno. Por otro lado, otro comentario nos refiere que no es posible reconocer el órgano musical.

Acerca de la escena del proyecto de investigación, un comentario nos precisa que la información estuvo bien detallada y ayuda a comprender los cuidados que debe tenerse para proteger el patrimonio cultural. Por otro lado, otro comentario nos refiere que sería mejor ver animaciones sobre la funcionalidad de los componentes usados en el proyecto de investigación.

El 78% en promedio de los encuestados han sido capaces de contestar correctamente preguntas tanto de la iglesia como del proyecto de investigación.

La estadística nos dice que 4 de cada 5 encuestados consideran fácil el uso del programa.

Finalmente el tour virtual ha logrado que el 82% de los encuestados quieran conocer la iglesia físicamente.

4.3 Producto final

El producto final de esta tesis se divide en dos partes. La primera está enfocada a los futuros desarrolladores de experiencias de turismo virtual que desean seguir esta metodología. Este primer producto tiene como fin que los futuros desarrolladores tengan que programar nada o un monto mínimo para poder crear la experiencia. La segunda está enfocada en el usuario final, es decir quien vivirá el tour virtual. Esta segunda parte tiene como fin que el usuario que posee los equipos necesarios solo tenga que instalar el programa para experimentarlo.

4.3.1 Desarrollador

La parte del producto final enfocado a los desarrolladores consiste en un paquete con prefabs y scripts que el usuario puede reutilizar.

a) Equipos

Para poder seguir la metodología se necesita dos Workstation (como en el caso del desarrollo de la presente tesis) o una sola Workstation que cumpla las siguientes recomendaciones:

- **Workstation 1**

- i) Tarjeta de video: NVIDIA quadro K2200
- ii) CPU: Intel xeon E5-1650 3.6 GHz
- iii) RAM: 64GB
- iv) Uso: Etapa de procesamiento de los modelos tridimensionales.

- **Workstation 2**

- i) Marca: HP (Palo Alto, California, Estados Unidos)
- ii) Modelo: HP envy desktop
- iii) Tarjeta de video: GeFORCE GTX 970 – 1 GB RAM
- iv) CPU: Intel Core i5-6400 2.7 GHz
- v) RAM: 8GB
- vi) Uso: Realización de las etapas de creación del entorno virtual, programación y evaluación.

b) Herramientas de programación y escena

- i) Prefabs:

- Usuario

Este prefab cuenta con todo lo necesario para que el programador no se tenga que preocupar por la programación de los controles y las gafas. Con este prefab el usuario será capaz de ver los controles y las gafas en el

mundo virtual, caminar, trasladarse usando el control. Además contiene los scripts para poder interactuar, por ejemplo agarrar objetos.

- Objetos

- Guía_objeto

Este prefab permite al usuario utilizar cualquier modelo tridimensional como guía en el modo de historia tridimensional acompañando al usuario en su recorrido.

- Instructor

- Puntos de paso modo historia (“Puntos”)

Permite al programador definir un flujo en el modo historia.

- Acciones en el modo historia (“Acciones”)

Permite programar acciones en el modo historia. Por ejemplo, en el modo historia del exterior de la iglesia, antes de que aparezca la iglesia se muestra un santuario inca.

- Puntos de información (“Información”)

Permite al programador colocar informaciones alrededor de la experiencia virtual.

- Puntos de traslado entre escenas (“Traslado”)

Permite al programador colocar las conexiones para que el usuario pueda trasladarse entre escenas.

La Figura 4.28 muestra la organización propuesta por la tesis de todos los elementos que conforman una escena.

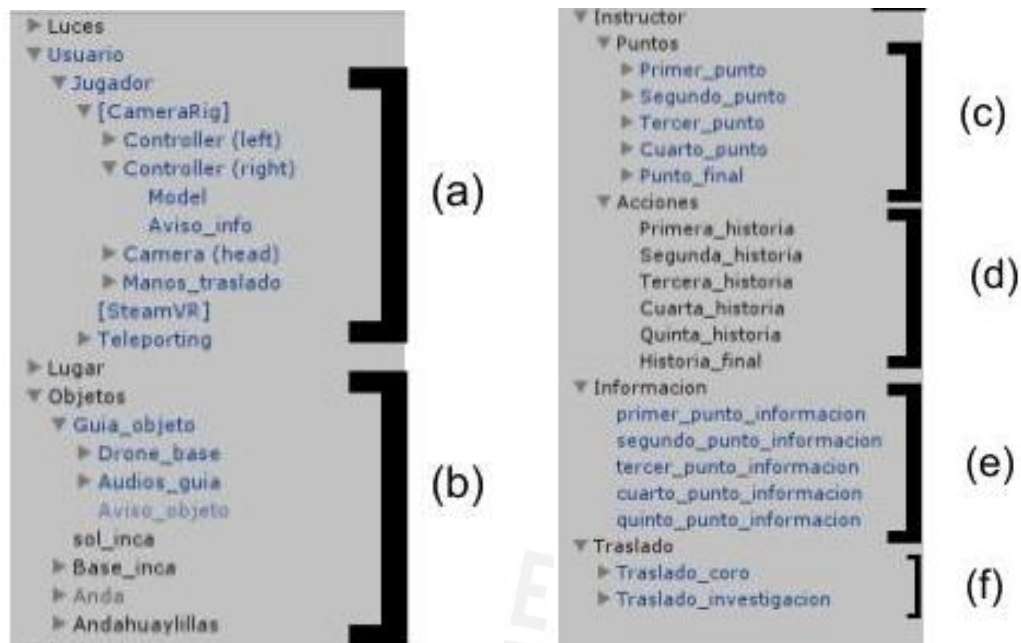


Figura 4. 28 Se muestra la organización de las partes que componen el tour virtual. (a) El prefab “usuario” contiene los códigos de control de los mandos, de las gafas y lo concerniente a la acción de traslado. (b) El grupo “Objetos” contiene al prefab “guía” que contiene audio y aviso, además contiene todos los modelos tridimensionales. En el grupo “Instructor” se tiene (c) el conjunto de prefabs “punto de paso” y (d) los componentes con los scripts del modo historia; ambos para acompañar al usuario en la historia de la iglesia. (e) El grupo “Información” contiene los prefabs “Punto de información” con las esferas de información. Finalmente, (f) el grupo “Traslado” contiene los prefabs “Punto de traslado” que permite al usuario navegar entre escenas del tour virtual.

ii) Scripts

Se han creado scripts para facilitar la programación del modo historia del tour virtual. Los tres tipos de scripts creados son:

- Primera historia

Este script inicializa el modo historia en cada escena.

- Historia media

Este script se repite dependiendo de cuantas etapas tiene el modo historia.

- Historia final

Este script finaliza el modo historia en cada escena.

iii) Escena

La escena del tutorial interactivo ha sido implementada con el fin de que el usuario aprenda todas las acciones que es capaz de realizar en el tour virtual. Este tutorial interactivo es una escena completa que se puede reusar en cualquier tour virtual

creado y con facilidad para arreglar el entorno. Las etapas que se enseñan en este tutorial se muestran en la Figura 4.21.

c) Uso

Para que un programador pueda crear una experiencia virtual con estas herramientas de programación tiene que seguir como mínimo los siguientes pasos:

1. El usuario debe agregar todo el paquete en la parte de “Assets” del motor videojuegos unity.
2. Arrastrar los prefabs hacia la parte de “Hierarchy”.
3. Completar los datos de las propiedades de cada elemento proveniente de los prefabs.

4.3.2 Usuario

a) Definición del producto final

Es un software standalone, es decir que puede instalarse y utilizarse en una computadora sin necesidad de internet. Además el software viene completo en un paquete que contiene los archivos necesarios para poner a correr el programa.

i) Componentes del ejecutable

La experiencia final es empaquetada en una carpeta que contiene tres elementos: a) UnityPlayer.dll, b) carpeta de los archivos del programa y c) archivo de extensión exe. Dichos elementos se muestran en la Figura 4.29.

a) UnityPlayer.dll

Este archivo contiene el código necesario del motor de videojuegos unity 3D para que sean ejecutados por el compilador sin necesidad de tener instalado el unity 3D en el sistema operativo windows.

b) Carpeta de los archivos del programa

Contiene toda la información del programa, creado con el fin de ejecutar la experiencia virtual.

c) Archivo de extensión exe

Este archivo es aquel que el usuario tiene que ejecutar interactuando sobre su icono. Es el único archivo con el cual el usuario tendrá que interactuar.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
SanPedroApóstolDeAndahuaylillas_Data	6/01/2019 11:22	Carpeta de archivos	
SanPedroApóstolDeAndahuaylillas	12/03/2018 11:34	Aplicación	636 KB
UnityPlayer.dll	12/03/2018 11:41	Extensión de la apl...	21,783 KB

Figura 4. 29 La carpeta ejecutable contiene: a) carpeta de los archivos del programa, b) archivo de extensión exe y c) UnityPlayer.dll.

ii) Ejemplo de programa final: Tour virtual de la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas

El tour virtual desarrollado en esta tesis tuvo como fin poner a prueba la implementación de la metodología que se propone. El tour virtual se basa en la iglesia cusqueña San Pedro de Andahuaylillas. Este programa consta de 4 escenas: i) tutorial interactivo, ii) exterior de la iglesia, iii) coro de la iglesia y iv) proyecto de investigación de monitoreo de salud estructural. Con todas las características mencionadas a lo largo del desarrollo del documento de tesis la carpeta creada tiene un tamaño de 0.97 GB. Este tamaño es solo referencial, ya que el tamaño dependerá de cuantas escenas y modelos tridimensionales se agreguen a la experiencia virtual de otro patrimonio cultural.

b) Equipo

Las características mínimas que debe poseer una computadora para ejecutar el programa son:

- i) Tarjeta de video: NVIDIA GeForce GTX 970
- ii) Procesador: Intel Core i5-4590 2.7 GHz
- iii) RAM: 8 GB
- iv) Salida de video: HDMI 1.4, DisplayPort 1.2
- v) Puertos USB: 1 x USB 2.0
- vi) Sistema operativo: Windows 7, 8.1, 10

c) Como instalar el ejecutable

Para que el usuario pueda hacer uso del tour virtual tendrá que hacer lo siguiente:

1. Tener instalado el software que maneja el equipo del HTC VIVE y el equipo conectado.

2. Colocar en una carpeta de la computadora la carpeta que contiene los tres archivos del ejecutable.
3. Presionar dos veces seguidas el click izquierdo sobre el icono con extensión exe.

Una vez seguidos estos pasos el usuario debe colocarse las gafas y tomar los controles para vivir la experiencia virtual.



Conclusiones

Esta tesis ha logrado con éxito proponer una metodología de creación de tours virtuales que define explícitamente cada una de las etapas que debe poseer una experiencia virtual relacionada al patrimonio cultural.

Se ha logrado presentar tres aspectos relacionados al patrimonio cultural mediante la creación de un tour virtual. Primero, respecto al aspecto turístico esta tesis permite al usuario visualizar tridimensionalmente los elementos que componen el patrimonio cultural llamada iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas permitiendo realizar una visita turística virtual tratando de acercarse lo mejor a la realidad. Estos elementos son la estructura de la iglesia, el coro, estatua y órgano musical. Segundo, el aspecto educativo, que a través de su método principal de historia tridimensional, busca que el usuario interiorice la información histórica del patrimonio con mayor rapidez. Esto se debe a que el usuario no solo encuentra información escrita y oral, sino también a su alrededor la escena va cambiando mientras se cuenta la historia del lugar. Tercero, el aspecto de difusión de los proyectos de investigación, que a través de los medios de comunicación tridimensionales presentados en esta tesis permita a más personas entender sobre los esfuerzos realizados por la comunidad científica en aras del cuidado del patrimonio.

El resultado de la encuesta se separa en 6 puntos. Primero, el usuario gusta de la capacidad de contar historias tridimensionalmente, aumentando el porcentaje positivo sobre la percepción de la información brindada entre la primera y segunda experiencia. Segundo, el usuario quiere tener la mayor cantidad de información visual sobre el lugar histórico. Es así que por ejemplo en la escena del exterior la percepción sobre calidad de gráficos ha mejorado al colocar la foto 360. Tercero, el tutorial inicial ha permitido realizar la experiencia virtual sin ayuda externa, mejorando la percepción del usuario sobre la facilidad del programa. Cuarto, se ha obtenido una estadística de que 5 de cada 10 personas han utilizado la realidad virtual alguna vez en su vida. Quinto, ante preguntas respecto al contenido educativo compartido en el tour virtual se obtiene la estadística que en promedio 7 de cada 10 personas contestan correctamente. Sexto, uno de los objetivos más importantes que se desean conseguir con el tour virtual es animar a las personas a visitar en el mundo real los lugares turísticos replicados en el tour virtual. La encuesta muestra una estadística que a 8 de cada 10 personas el tour virtual los ha animado a querer conocer el patrimonio cultural de la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

Recomendaciones

Basado en las encuestas que se llevaron a cabo en la presente tesis se recomienda lo siguiente:

- Es importante mejorar no solo el objeto que se quiere mostrar en sí, sino toda la información del entorno. Según los encuestados es el entorno lo que brinda mayor sensación de encontrarse en el lugar.
- Generar una correcta guía turística en el modo historia ayuda a que el usuario no se pierda en la escena virtual y no se confunda por el flujo de información presentado.

Trabajos futuros

El fin principal de este proyecto es poder crear tours virtuales de distintos patrimonios culturales del país con el fin de educar. Siguiendo este fin el tour virtual será replicado gracias al proyecto CAP 2018. Ahora se creará un tour virtual de la iglesia Huaro ubicada Cusco y que es parte también de la ruta del barroco andino.

También se diseñará e implementará el tour virtual utilizando el motor de videojuego Unreal Engine para poder realizar una comparación entre ambos motores de videojuegos.

Bibliografía

- [1] Cámara de Comercio de Lima, «Cámara de Comercio de Lima, La fuerza de los empresarios,» 27 9 2017. [En línea]. Available: <https://www.camaralima.org.pe/principal/noticias/noticia/el-turismo-aporta-el-4-del-pbi-peruano-y-genera-mas-de-un-millon-de-puestos-de-trabajo/907>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [2] The World Economic Forum, «The Travel & Tourism Competitiveness Report 2017,» World Economic Forum, Ginebra, 2017.
- [3] S. Mendes, «Valores, patrimonio edificado y ciberespacio,» *Museum International*, 2002.
- [4] N. González, «El valor educativo y el uso didáctico del patrimonio cultural,» *Educación primaria. Orientaciones y recursos (6-12 años)*, pp. 207-262, 2007.
- [5] Ministerio de Cultura del Perú, «Museos en Línea,» [En línea]. Available: <http://museos.cultura.pe/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [6] Ministerio de Cultura del Perú, «Ministerio de Cultura,» [En línea]. Available: <http://www.cultura.gob.pe/es/defensapatrimonio/kiteducativonpc>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [7] P. Tomasin, «ELSEVIER,» [En línea]. Available: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cultural-heritage/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [8] Structural Analysis of Historical Constructions, «11th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions,» ZP Technology, [En línea]. Available: <http://sahc2018.com/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [9] DigitalHERITAGE 2018 Organizing Committee, «Digital HERITAGE 2018,» [En línea]. Available: <http://www.digitalheritage2018.org/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [10] Engineering & Heritage, «ENGINEERING AND HERITAGE RESEARCH GROUP,» [En línea]. Available: http://www.pucp.edu.pe/engineeringandheritage/structural_monitoring.html. [Último acceso: 2 5 2018].
- [11] ArcTron 3D GmbH, «ArcTron 3D Expertise in three dimensions,» [En línea]. Available: <http://www.arctron.de/en/startseite/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [12] Davardoust, S., Osello, A. y Tamborrino, R., «'Translation' and Fruition of an Ancient Book Through Virtual Reality in the Case of Lost Cultural Heritage,» *Euro-Mediterranean Conference*, pp. 727-736, 2016.
- [13] Huang, Y. y Han, S., «An Immersive Virtual Reality Museum via Second Life,» *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 579-584, 2014.
- [14] Donghui, C., Guanfa, L., Wensheng, Z., Qiyuan, L., Shuping, B. y Xiaokang, L., «Virtual reality technology applied in digitalization of cultural heritage,» *Cluster Computing*, pp. 1-12, 2017.
- [15] C. Lu, «Analysis and application of virtual reality technology in protection of cultural heritage,» *Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2008. CAID/CD 2008. 9th International Conference*, pp. 1274-1277, 2008.

- [16] Liarokapis, F., Kouřil, P., Agrafiotis, P., Demesticha, S., Chmelík, J. y Skarlatos, D., «3D modelling and mapping for virtual exploration of underwater archaeology assets,» *ISPRS—International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, nº 2, pp. 425-31, 2017.
- [17] Fernandez, B., Morabito, D. y Remondino, F., «Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions,» *Journal of cultural heritage*, vol. 23, pp. 40-48, 2017.
- [18] Loizides, F., El Kater, A., Terlikas, C., Lanitis, A. y Michael, D., «Presenting cypriot cultural heritage in virtual reality: A user evaluation.,» *Euro-Mediterranean Conference.*, pp. 572-579, 2014.
- [19] Li, Z., Li, H., Li, Y. y Li, Z., Li, H., & Li, Y. , «The technology of stereo photography and virtual reality in research of virtual museum.,» *International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment* , pp. 1358-1365, 2006.
- [20] Terlikkas, C. y Poullis, C., «Towards a more effective way of presenting Virtual Reality museums exhibits.,» *Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 2014 International Conference*, vol. 3, pp. 237-241, 2014.
- [21] Rua, H. y Alvito, P., «Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage—the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria,» *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, nº 12, pp. 3296-3308, 2011.
- [22] Bruno, F., Bruno, S., De Sensi, G., Luchi, M., Mancuso, S. y Muzzupappa, M., «3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition.,» *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, nº 1, pp. 42-49, 2010.
- [23] Pugnaroni, F., Issini, G. y Minh, N., «3D city model of the ancient Hue, Vietnam; reconstruction of the city environment for the cultural heritage identity conservation.,» *International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp. 13-23, 2007.
- [24] Li, R., Luo, T. y Zha, H., «3D digitization and its applications in cultural heritage.,» *Euro-Mediterranean Conference*, pp. 381-388, 2010.
- [25] Arce, D., Retamozo, S., Aguilar, R. y Castañeda, B., «A mixed methodology for detailed 3D modeling of architectural heritage.,» *Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls: Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, p. 104, 2016.
- [26] Scarlatos, D., Agapiou, A. y Rova, M., «Photogrammetric support on an underwater archaeological excavation site: The Mazotos shipwreck case.,» *Euromed 2010*, pp. 8-11, 2010.
- [27] G. Lucet, «Virtual reality: a knowledge tool for cultural heritage.,» *International Conference on Computer Vision and Computer Graphics.*, pp. 1-10, 2008.
- [28] P. Callet, «3D reconstruction from 3D cultural heritage models.,» *3D Research Challenges in Cultural Heritage* , pp. 135-142, 2014.

- [29] Fleury, P. y Madeleine, S. , «Reviving ancient Rome: virtual reality at the service of cultural heritage.,» *Euro-Mediterranean Conference*, pp. 159-169, 2012.
- [30] J. Lloyd, «Contextualizing 3D Cultural Heritage.,» *Euro-Mediterranean Conference*, pp. 859-868, 2016.
- [31] D. Guttentag, «Virtual reality: Applications and implications for tourism.,» *Tourism Management.*, vol. 31, nº 5, pp. 637-651, 2010.
- [32] Polimeris, S. y Calfoglou, C., «Cultural Tourism Destinations and the Power of Virtual Reality.,» *Tourism and Culture in the Age of Innovation*, pp. 577-587, 2016.
- [33] Huang, Y. , Backman, K., Backman, S. y Chang, L., «Exploring the implications of virtual reality technology in tourism marketing: An integrated research framework.,» *International Journal of Tourism Research.*, vol. 18, nº 2, pp. 116-128, 2016.
- [34] Chiou, W., Wan, C. y Lee, H. , «Virtual experience vs. brochures in the advertisement of scenic spots: How cognitive preferences and order effects influence advertising effects on consumers.,» *Tourism Management.*, vol. 29, nº 1, pp. 146-150, 2008.
- [35] Fan, S. y Wang, F., «Application of Virtual Reality in Tourism Management Professional Teaching.,» *Soft Computing in Information Communication Technology*, pp. 385-389, 2012.
- [36] Chan, Y., Lin, J. Y., Wang, Y., Lu, I. Y. y Hsu, Y., «How Augmented Reality Technology Consolidates the SMB Ecosystem of the Tourism Industry in Taiwan.,» *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, pp. 129-143, 2017.
- [37] Xiaoying, L. y Xianbo, S., «The Application of Virtual Reality Technology in Teaching Reform.,» *Advanced Technology in Teaching.*, pp. 149-156, 2012.
- [38] Němec, M., Fasuga, R., Trubač, J. y Kratochvíl, J., «Using virtual reality in education.,» *Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2017 15th International Conference on*, pp. 1-6, 2017.
- [39] Merchant, Z., Goetz, E. , Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W. y Davis, T. , «Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis.,» *Computers & Education.*, vol. 70, pp. 29-40, 2014.
- [40] Kabassi, K. y Maravelakis, E., «Walkthrough evaluation of a VR museum for the physical environment.,» *Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 2015 6th International Conference*, pp. 1-5, 2015.
- [41] Ibrahim, N., Ali, N. y Yatim, N., «Cultural learning in virtual heritage: an overview.,» *International Visual Informatics Conference*, pp. 273-283, 2011.
- [42] Lepouras, G. y Vassilakis, C., «Virtual museums for all: employing game technology for edutainment.,» *Virtual reality*, vol. 8, nº 2, pp. 96-106, 2004.
- [43] World Monuments Fund, «Proyectos de Conservación del World Monuments Fund en el Perú.,» Nueva York, 2014.

- [44] Ruta del Barroco Andino, «Ruta del Barroco Andino,» [En línea]. Available: <http://rutadelbarrocoandino.com/>. [Último acceso: 2 5 2018].
- [45] Ministerio de Cultura del Perú, «¿Qué es patrimonio cultural?,» Lima.
- [46] W. Schweibenz, «Virtual museums,» *ICOM News Magazine*, vol. 3, p. 3, 2004.
- [47] Valle, J. y Rodríguez, Á., «Características básicas de los modelos tridimensionales de elementos históricos.,» *PH: boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, vol. 77, pp. 145-148, 2011.
- [48] Engineering & Heritage, «ENGINEERING AND HERITAGE RESEARCH GROUP,» [En línea]. Available: http://www.pucp.edu.pe/engineeringandheritage/3d_reconstruction.html . [Último acceso: 06 06 2018].
- [49] Leica Geosystems, «Leica Geosystems,» [En línea]. Available: <https://hds.leica-geosystems.com/en/index.htm>. [Último acceso: 06 06 2018].
- [50] Agisoft PhotoScan, «Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition,» Agisoft LLC, San Petersburgo, 2017.
- [51] Younes, G., Kahil, R., Jallad, M., Asmar, D., Elhadj, I., Turkiyyah, G. y Al-Harithy, H., «Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos,» *Digital applications in archaeology and cultural heritage*, vol. 5, n° 52, pp. 1-9, 2017.
- [52] Autodesk, «Acerca del modelado de objetos 3D,» [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ESP/AutoCAD-Core/files/GUID-9DACE807-BC9D-4357-B47E-C6199F6AF1A2-htm.html>. [Último acceso: 06 06 2018].
- [53] Geographic, National, «Ancient Drawings Discovered in Peru | National Geographic,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Spvn_BGCLa0. [Último acceso: 06 06 2018].
- [54] Unity 3D, «Unity documentation,» [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/UnityManual.html>. [Último acceso: 06 06 2018].
- [55] U. o. a. technology, «Autodesk, Revit: la mejor herramienta para arquitectura,» [En línea]. Available: <https://www.uniat.com/autodesk-revit-arq/>. [Último acceso: 06 06 2018].
- [56] J. Mula, «DEUSTO FORMACIÓN,» [En línea]. Available: <https://www.deustoformacion.com/blog/disenio-produccion-audiovisual/pros-contras-programar-unity-vs-unreal-engine>. [Último acceso: 06 06 2018].
- [57] G. Zonno, « Implementation of a Web Platform to Present Real Time Dynamic Monitoring Data from Heritage Structures,» *SAHC 2018*, 2018.

Anexos

Encuestas

1) Primera encuesta

La encuesta del hito 1 tiene como objetivo obtener el punto de vista de los usuarios sobre la primera versión del programa para que de esta manera el tour virtual pueda ir en dirección al usuario. Esta encuesta ha sido respondida por 9 estudiantes tanto de pregrado como de posgrado y se ha enfocado en la calidad de gráficos, interacción e información presentada en cada escena. Las preguntas y respuestas se presentan a continuación:

a) En general, ¿cómo califica la facilidad del uso del programa, siendo 5 muy sencillo y 1 muy complicado?

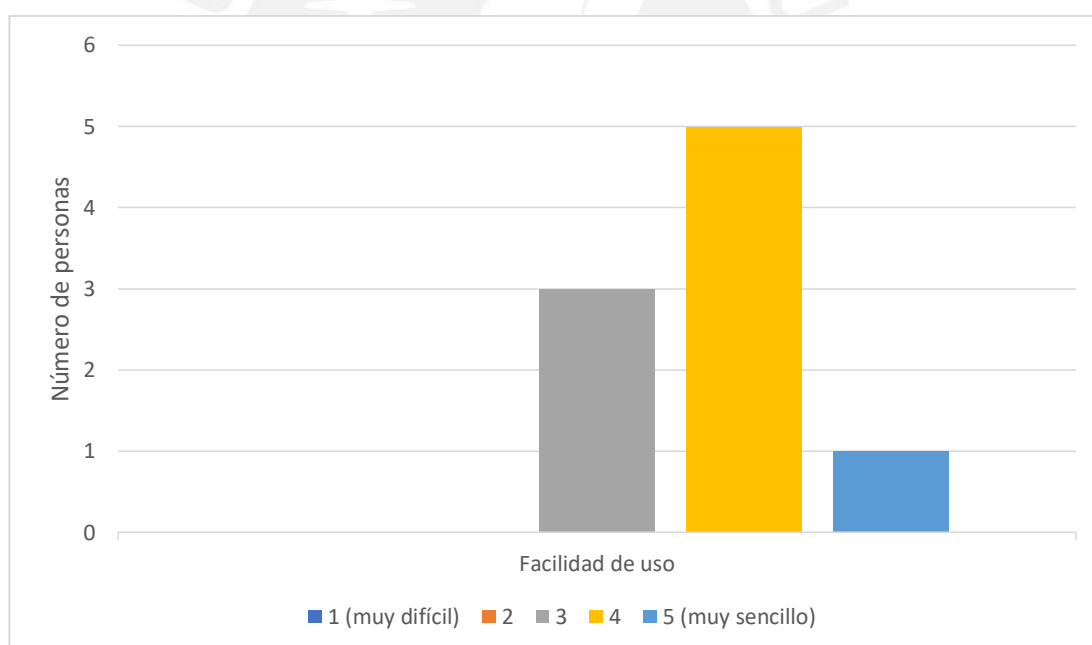


Gráfico 4.1

b) ¿Qué cambios realizaría usted para hacer más fácil el uso del programa?

Resumen de las respuestas:

- Necesidad de un tutorial para que se explique cómo realizar las acciones.
- Una voz que guíe al usuario.
- Mejorar la visualización de la información ya que no se puede leer correctamente.

- Que el usuario pueda moverse más rápido.
- Mejorar la interacción con la página web.

c) Calificación de la escena del menú principal.

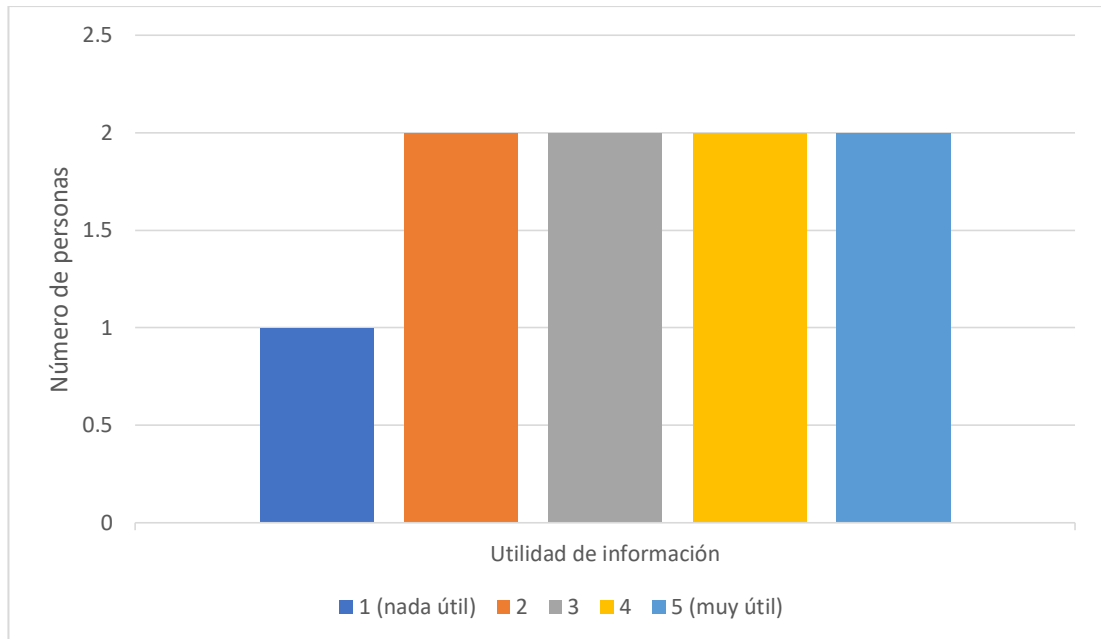


Gráfico 4.2

d) En la escena del menú principal, ¿qué cambios realizaría usted para que sea una mejor escena?

Resumen de las respuestas:

- Que se pueda probar las opciones en esta escena mediante una simulación.
- La gente se aburre al leer, además existe mucho espacio en blanco para poca información.
- Mejorar la nitidez para que se pueda leer la información.

e) Calificación de la escena del coro de Andahuaylillas.

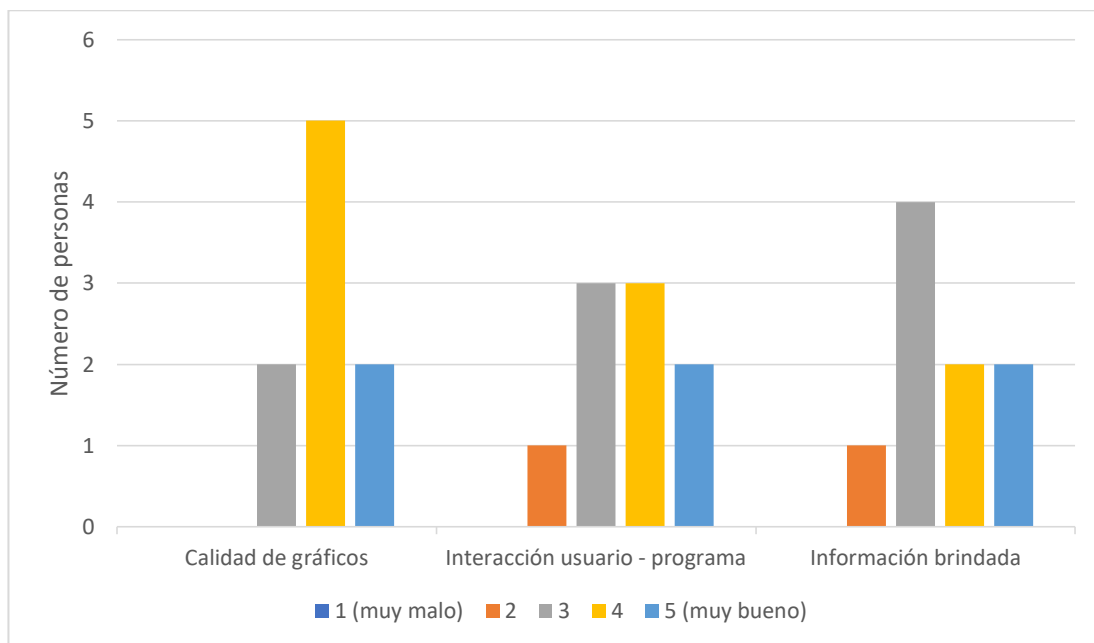


Gráfico 4.3

f) En la escena del coro de Andahuaylillas, ¿qué cambios realizaría usted para mejorar esta escena?

Resumen de las respuestas:

- Darle profundidad a la imagen que simula el primer piso de la iglesia.
- Colocar música andina.

g) Calificación de la escena del exterior de la iglesia de Andahuaylillas.

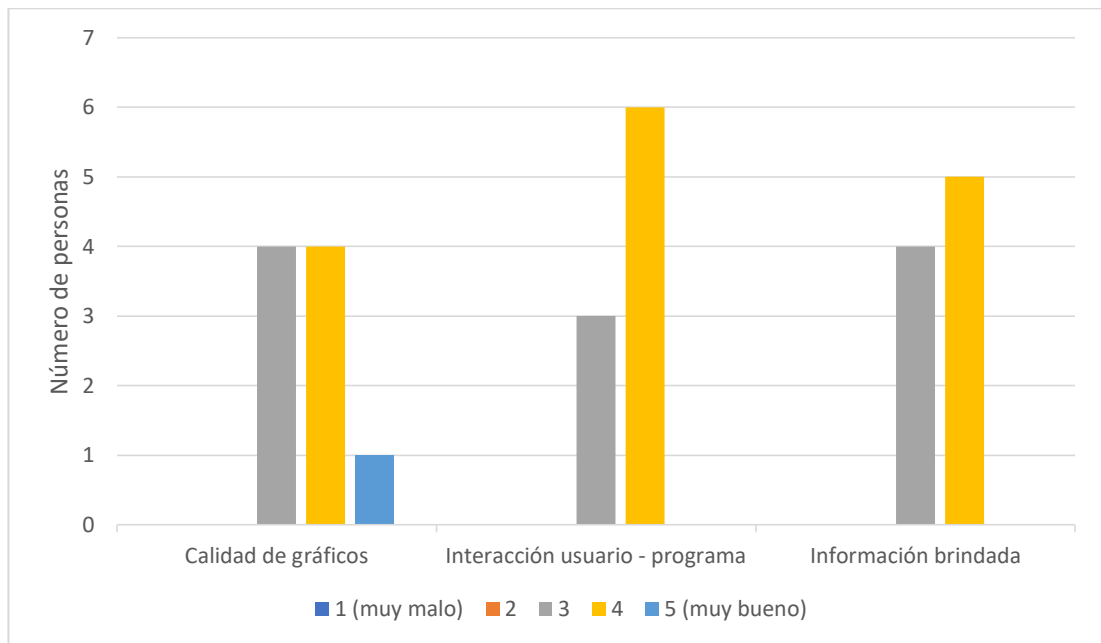


Gráfico 4.4

h) En la escena del exterior de la iglesia de Andahuaylillas, ¿qué cambios realizaría usted para mejorar esta escena?

Resumen de las respuestas:

- Incluir ambientación sobre el entorno de la iglesia.
- La información puede salir en el control para que te puedas movilizar mientras lees.
- Mejorar la música de fondo de la escena.

i) Calificación de la escena de los acelerómetros del proyecto de Andahuaylillas.

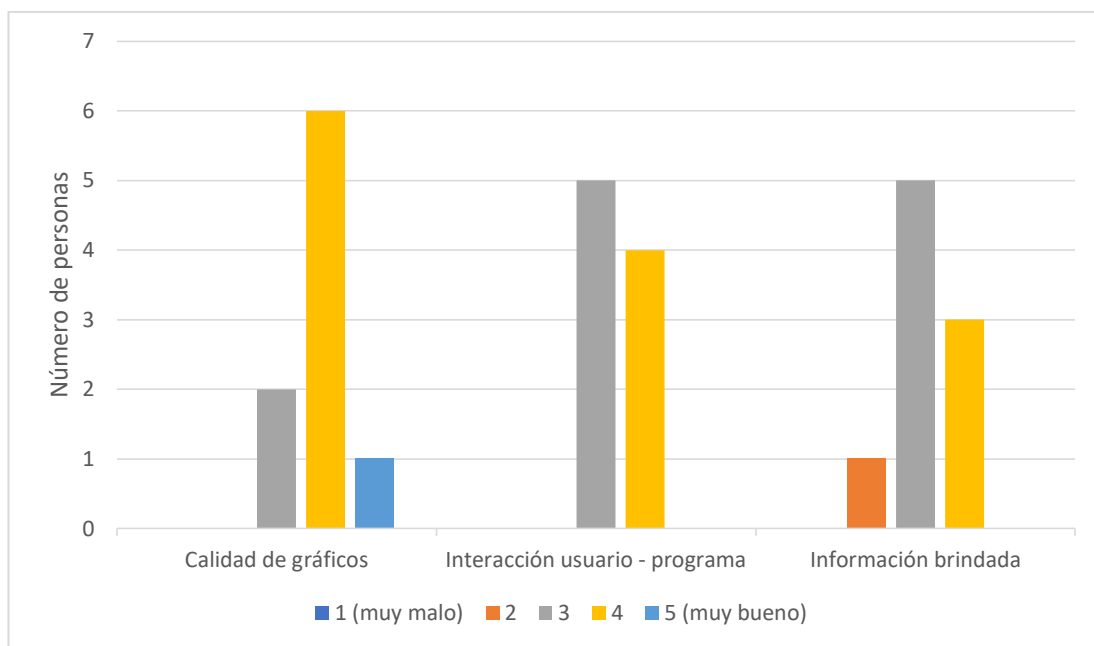


Gráfico 4.5

j) En la escena de los acelerómetros del proyecto de Andahuaylillas, ¿qué cambios realizaría usted para mejorar esta escena?

Resumen de las respuestas:

- Poner voz a la descripción del proyecto.
- Organizar mejor la información.
- Agregar ejemplo de lectura de gráficos.

k) Calificación de la escena de la cabina del proyecto.

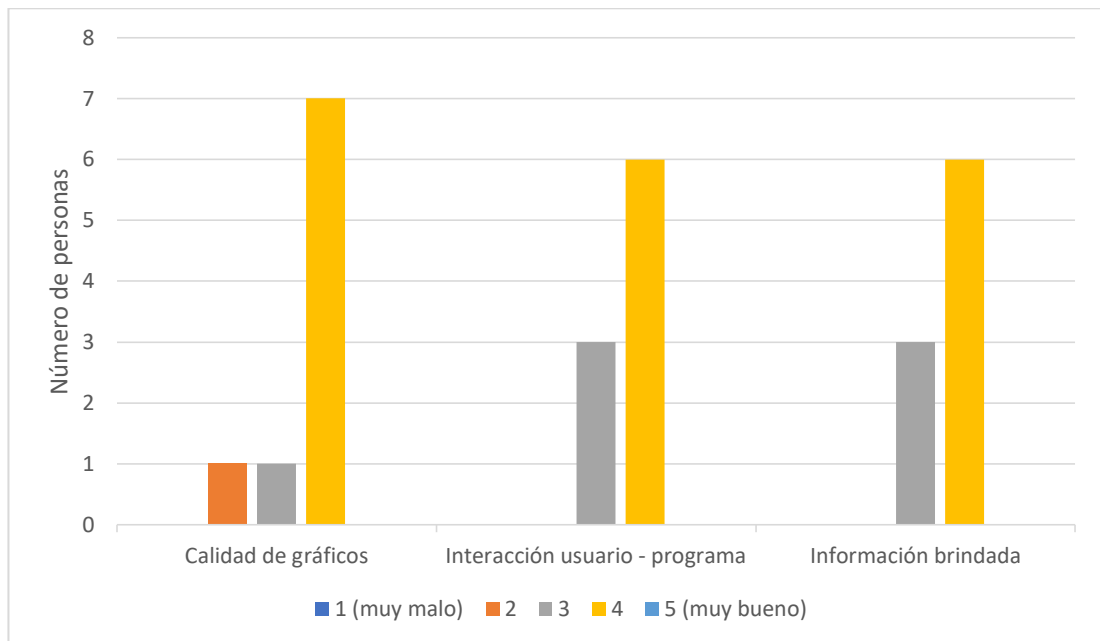


Gráfico 4.6

l) En la escena de la cabina del proyecto, ¿qué cambios realizaría usted para mejorar esta escena?

Resumen de las respuestas:

- La página web es difícil de usar.
- La pantalla es demasiado grande y obliga a levantar la cabeza.
- Mejora la calidad de las imágenes que dan la información.

m) Sabiendo que los objetivos del proyecto son la educación, el turismo y dar a conocer el proyecto de investigación realizado en la iglesia. ¿Cuál es su apreciación del programa?, ¿Qué le gustaría que cambie para que sea una mejor experiencia?

Resumen de las respuestas:

- Se siente como si estuviera en el lugar.
- Agregar música relacionada al lugar.
- Sería bueno agregar una guía.
- Mejorar la presentación de la información educativa.
- Propuesta innovadora, interesante y didáctica para educar sobre el patrimonio.

2. Segunda encuesta

La segunda encuesta busca recoger el punto de vista del usuario con respecto al programa final que se presenta en esta tesis. Se ha encuestado un total de 50 personas.

a) Sobre el usuario

i) ¿Ha utilizado la tecnología de realidad virtual previamente?

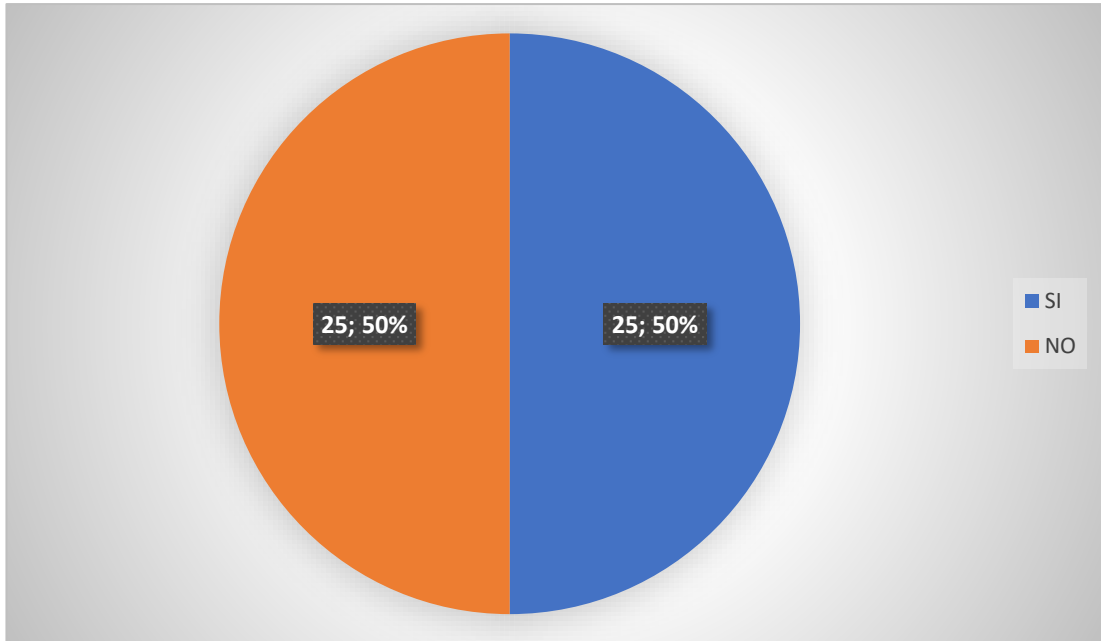


Gráfico 4.7

ii) ¿En qué nivel académico te encuentras?

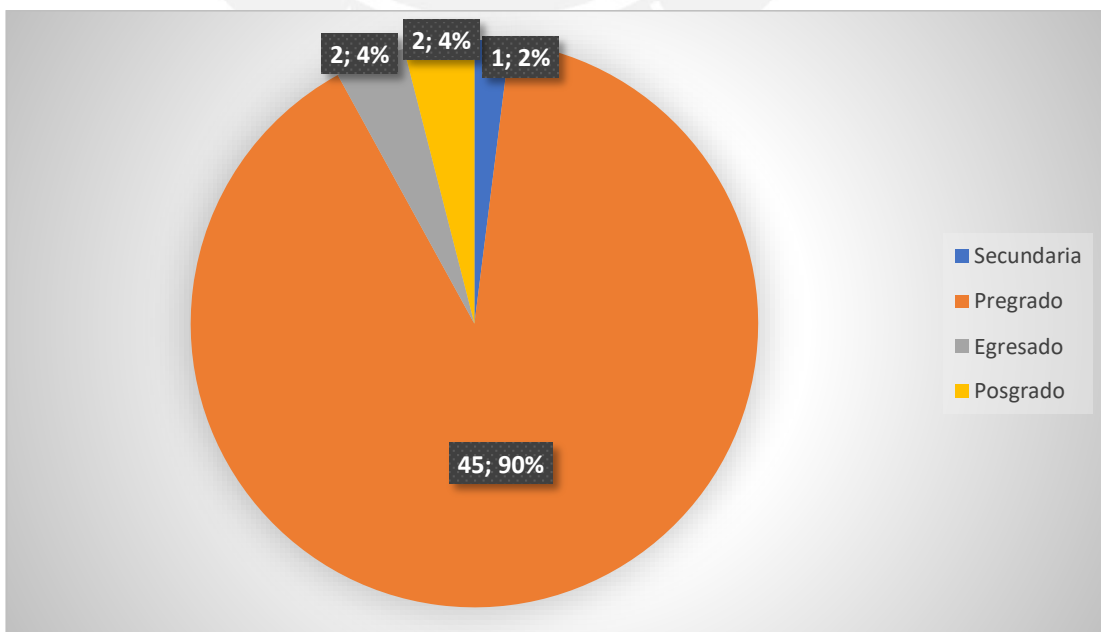


Gráfico 4.8

b) Escena del tutorial

i) ¿Le ha ayudado el tutorial a manejar mejor el programa?

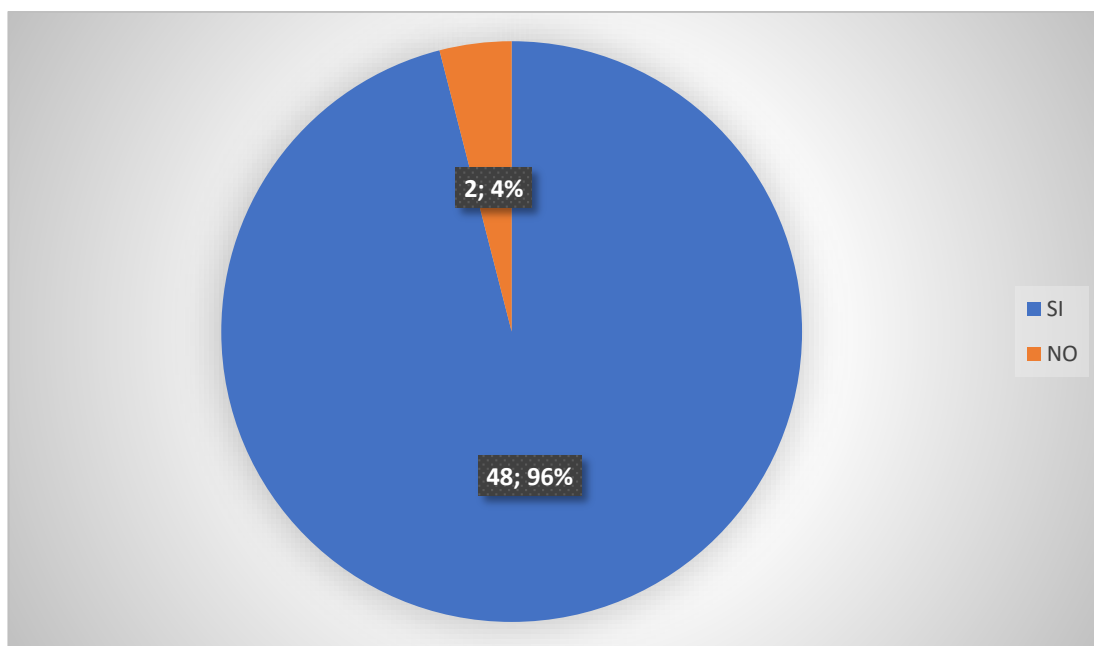


Gráfico 4.9

ii) Brínden sus comentarios sobre la escena.

Resumen de las respuestas:

- Dificultad al inicio para entender partes del tutorial, especialmente el de mover objetos. El tutorial te dice que acerques el mando al objeto cuando en realidad debo atravesarlo.
- Exponer más el resaltado de los botones a utilizar.
- Fue muy fácil el tutorial, pero el cuadro de información me tapaba la vista.
- Es necesario prestar atención y hacer bien los ejercicios del tutorial ya que facilita el recorrido por la iglesia.
- Me parece útil que paso a paso nos guíe sobre los controles básicos.
- Los textos deben ser más grandes y de otros colores. No se veía tan clara la imagen de información.
- Me parece desordenado tener que voltear y buscar la información.
- Dinámico e instructivo.
- Sería bueno tener una persona en el mundo virtual explicándote.

c) Escena del exterior de la iglesia

i) Calificación de la escena

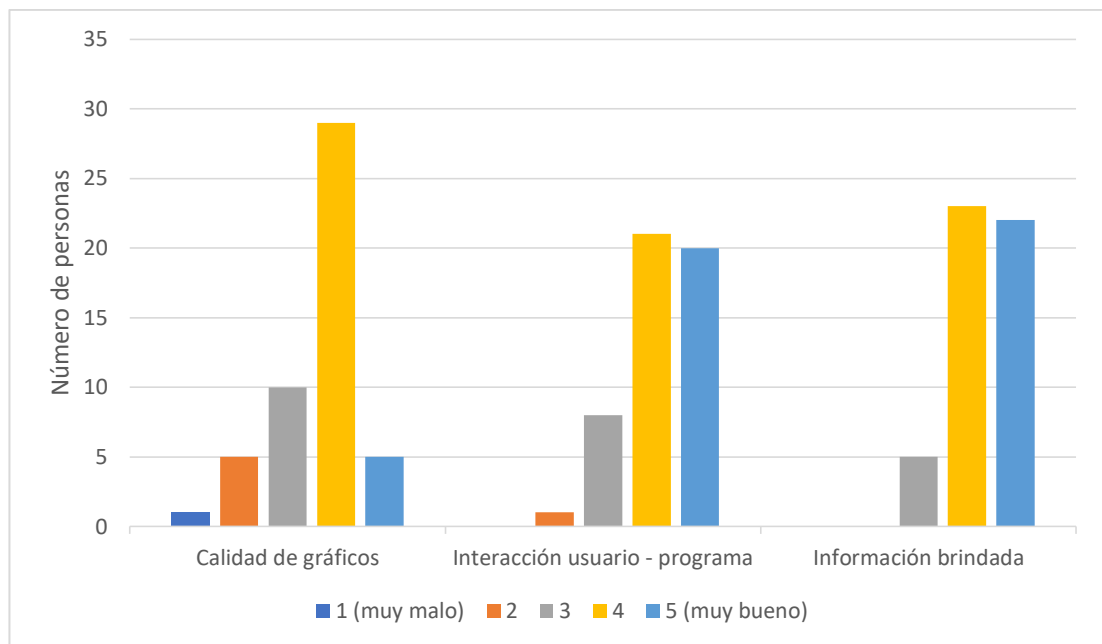


Gráfico 4.10

ii) Brínden sus comentarios sobre la escena.

Resumen de las respuestas:

- Mejorar la calidad de imágenes. Me gustaría que el cielo sea más real.
- El tema audiovisual y escrito es correcto con información relevante. La información si me permitió conocer algo de la iglesia.
- La información es descrita de forma rápida. Además se siente muy extensa por ciertos momentos. La información no se encontraba en el lugar correcto.
- Fue dinámica y combinado con el paisaje mantenía armonía. Gráficos definidos e instrucciones sencillas.
- Es bastante impactante para quienes usan vr por primera vez, por lo que dificulta prestar atención a la información. Por ende creo que se debe mejorar presentar la información más interactivamente.
- Los paneles de información se hacían por momentos ilegibles y mareaban.

d) Escena del coro de la iglesia

i) Calificación de la escena

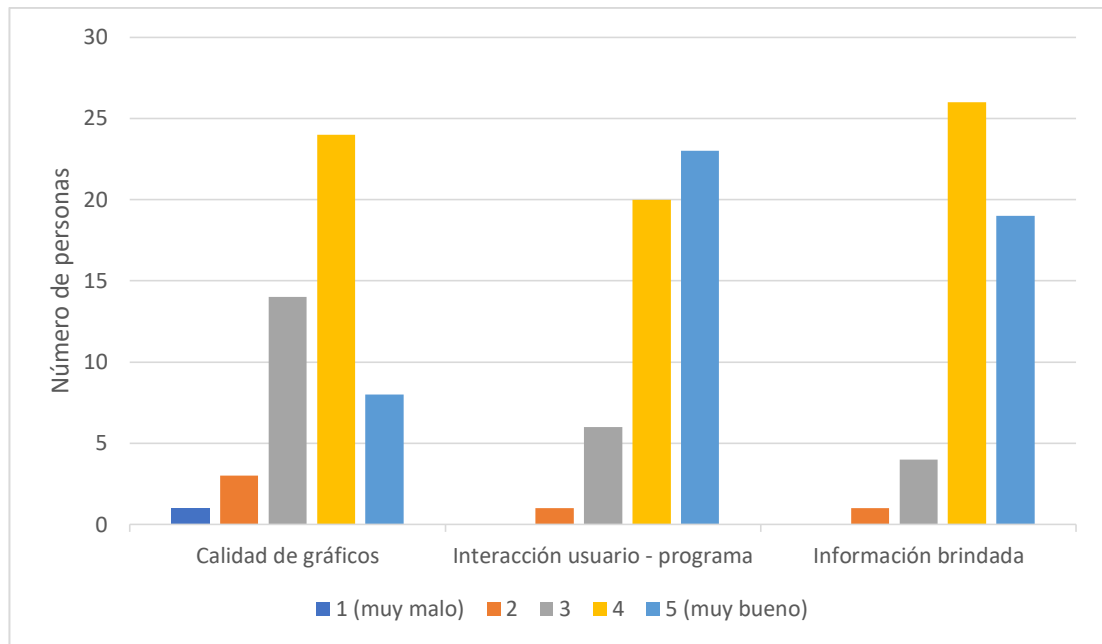


Gráfico 4.11

ii) Brínden sus comentarios sobre la escena.

Resumen de las respuestas:

- No se reconoce el instrumento musical, quizá hacer que suene el órgano mejore la percepción del mismo. La estatua sorprendía por sus gráficos.
- La música elegida es muy buena.
- Se necesita mayor información de las pinturas.
- Información clara, relevante y puntual.
- Mejorar la imagen de la parte interior ya que se percibe plana.

e) Escena del proyecto de investigación

i) Calificación de la escena

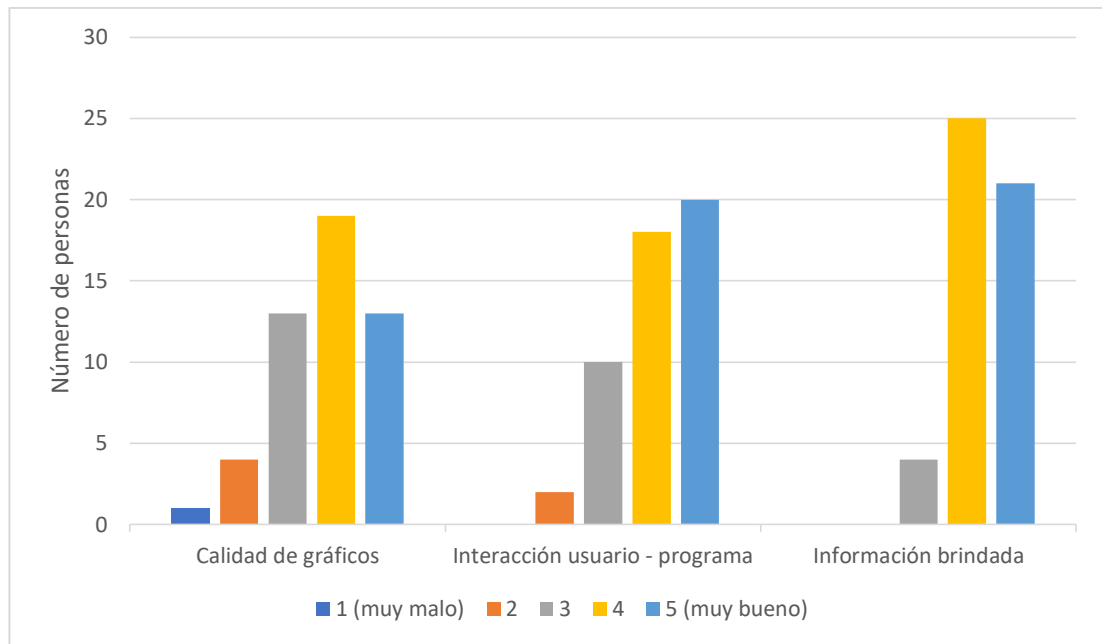


Gráfico 4.12

ii) Brínden sus comentarios sobre la escena.

Resumen de las respuestas:

- Mayor profundidad en los gráficos de datos, unidades por ejemplo.
- Delimitar más el área de exploración.
- El espacio era demasiado grande y por consiguiente mareaba.
- La parte de poder interactuar con los equipos ayuda mucho en la experiencia en general.
- Escena muy didáctica. Los equipos poseían buena calidad.
- La información estuvo bien detallada. Fue importante comprender los cuidados que debe tenerse para proteger este patrimonio cultural. Se menciona la relevancia y fundamentos.
- Sería bueno ver animaciones sobre la funcionalidad de los componentes.
- El dron es muy lento y por ratos se pierde de vista.

f) Preguntas sobre aprendizaje

i) ¿Qué había antes de la construcción de la iglesia San Pedro apóstol de Andahuaylillas?

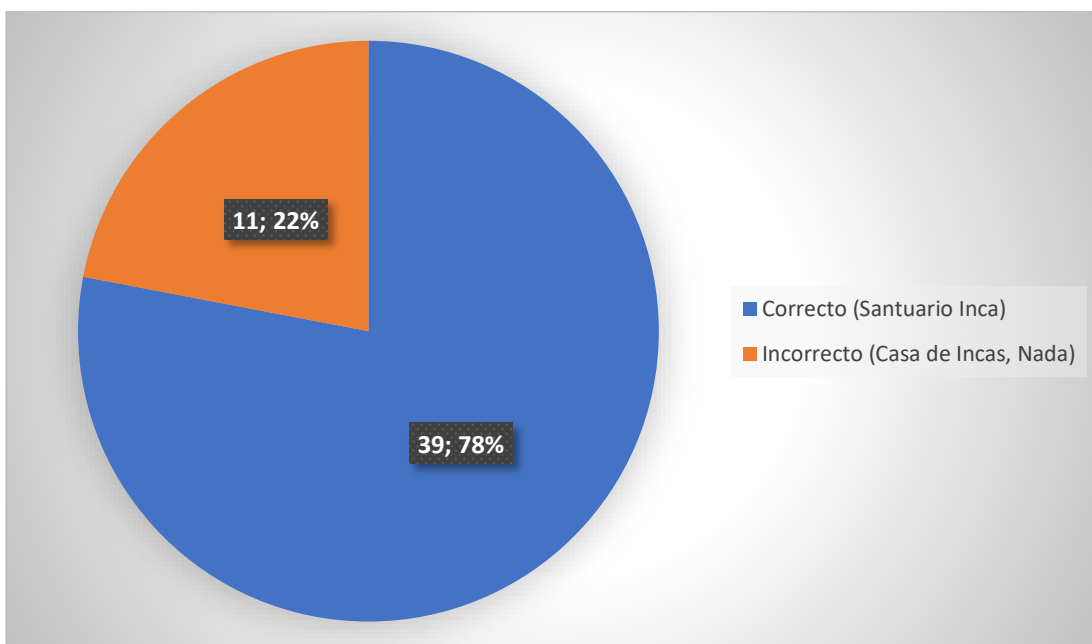


Gráfico 4.13

ii) ¿Cómo son considerados los órganos de la iglesia?

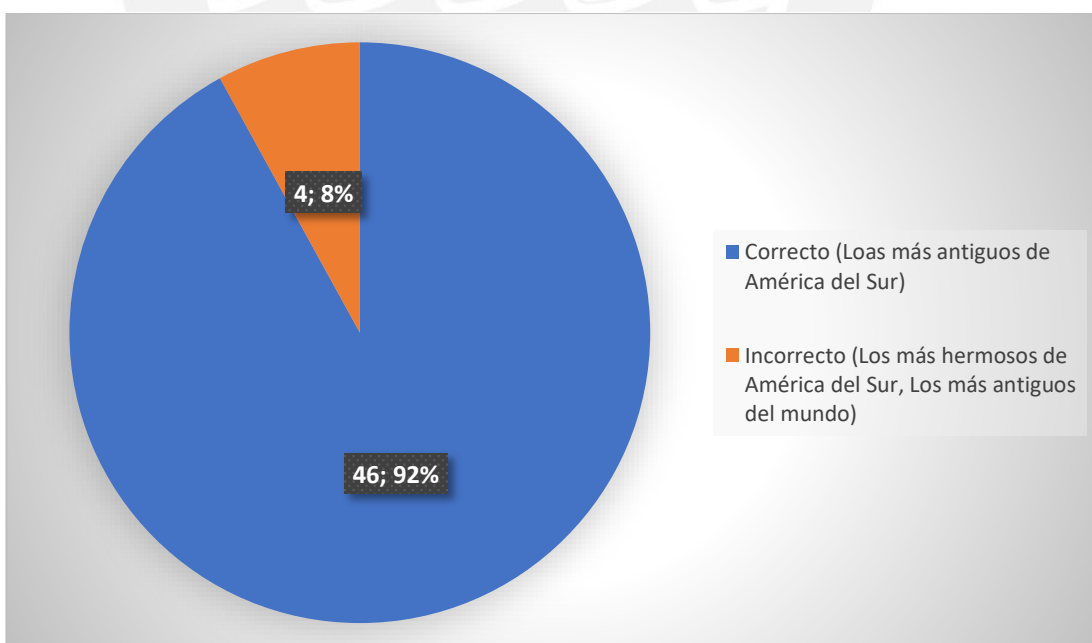


Gráfico 4.14

iii) ¿Cuál es el fin principal del proyecto de investigación de monitoreo de salud estructural?

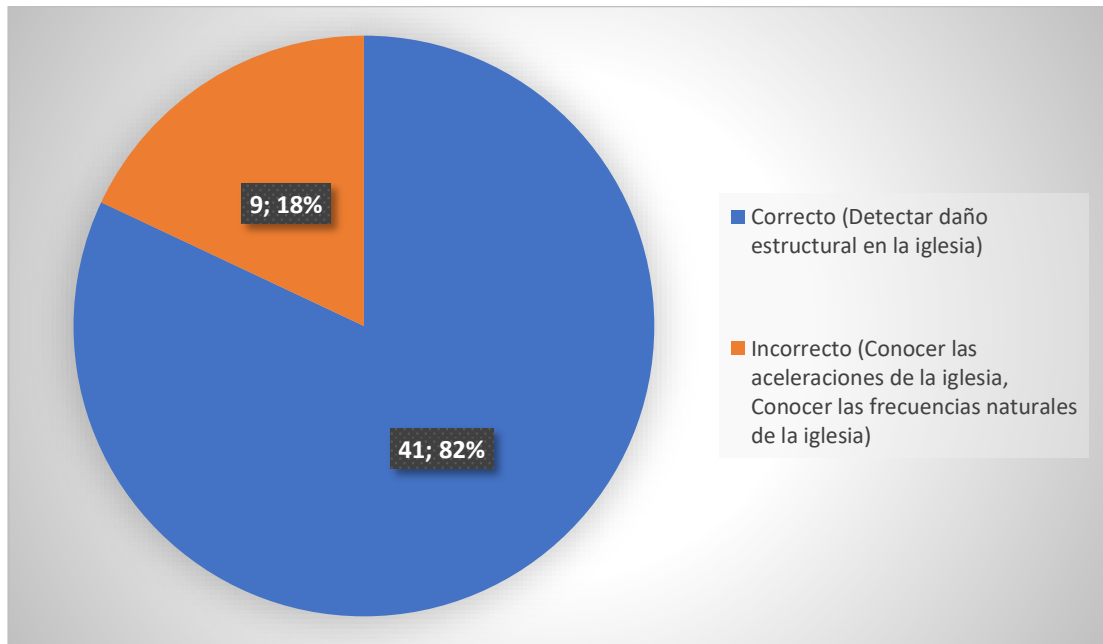


Gráfico 4.15

g) Pregunta final

i) ¿Cómo califica la facilidad de uso del programa?

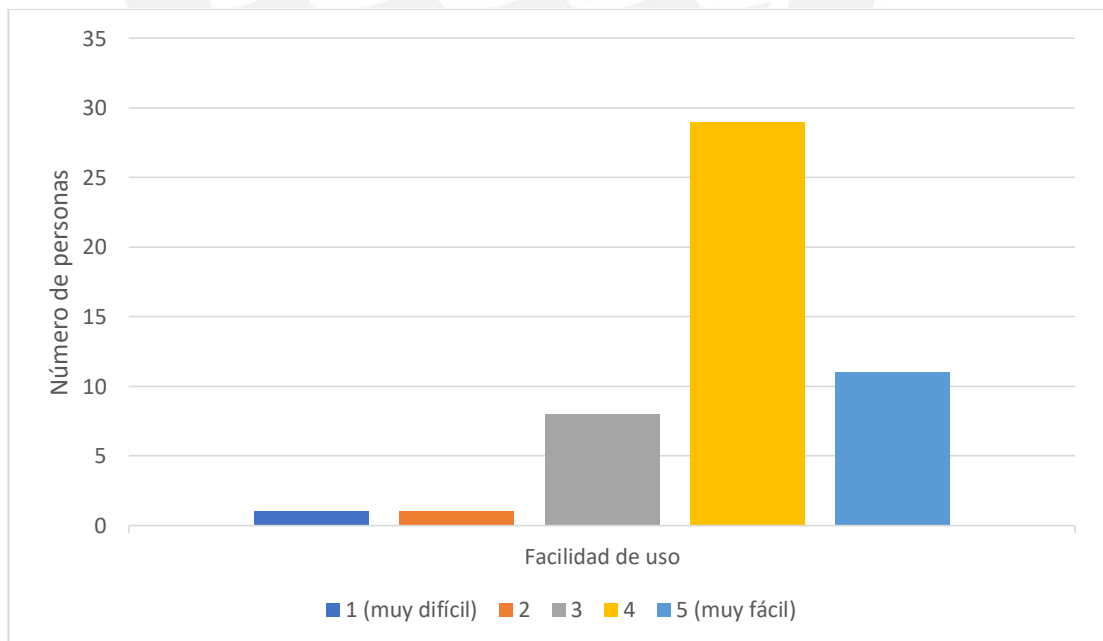


Gráfico 4.16

ii) ¿Te gustaría conocer la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas en la vida real?

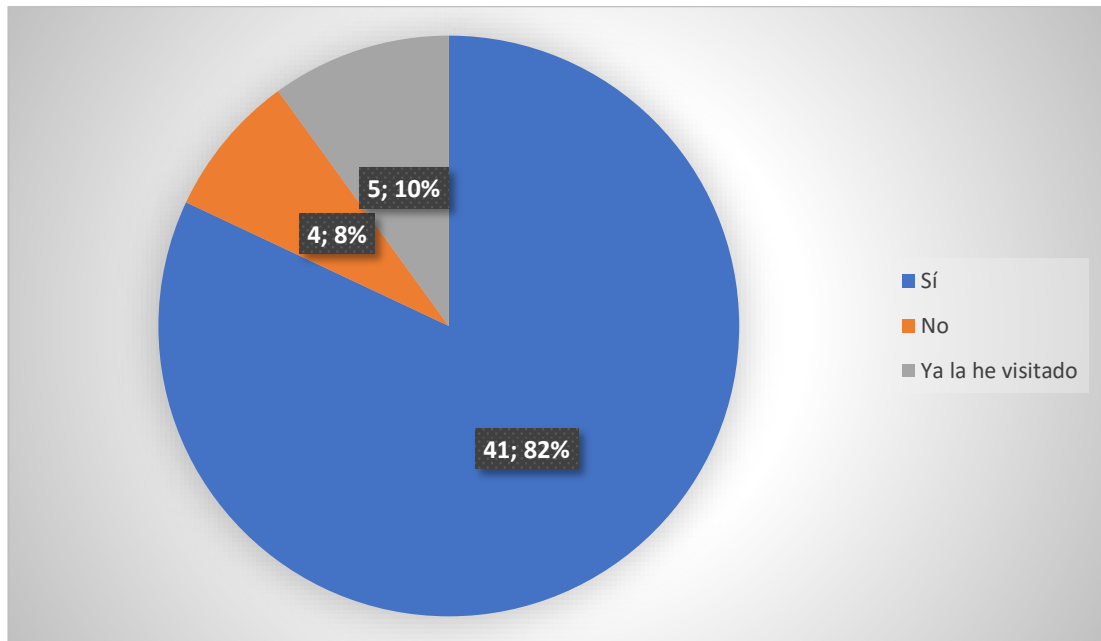


Gráfico 4.17

iii) Bríndanos un comentario en general de la experiencia

Resumen de las respuestas:

- Muy buen proyecto, logro convencerme de que preservar este patrimonio es importante.
- La realidad virtual ha logrado que me sienta interesada en conocer el lugar. Estuvo muy didáctica, entretenida e informativa.
- Sería bueno agregar el primer piso de la iglesia.
- Mejorar la calidad de los gráficos.
- Siento que debe haber un mini manual para recordar las funciones de los botones.
- Acelerar el desplazamiento entre los puntos a donde se quiere ir.
- Sería interesante agregar personas en las escenas.
- Tratar de retirar los cables del equipo ya que molestan al usuario.

Diagramas de flujo de las acciones programadas

- **Caminar dentro del mundo virtual, mientras camina en el mundo real**

En la Figura 3.13 se muestra el diagrama que explica como el caminar en el mundo real se proyecta también en el mundo virtual. Para la implementación de esta acción

se ha creado el prefab ubicado en anexos\ Assets_tesis\ Prefabs_general\ Usuario.prefab.

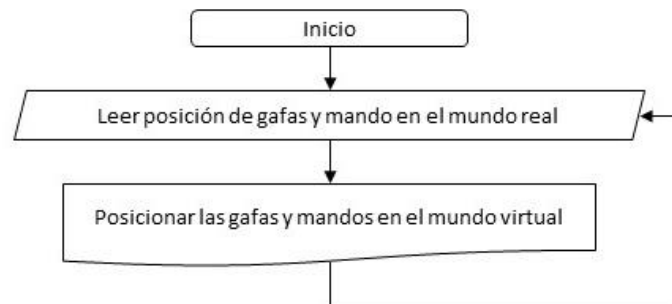


Figura 3. 13 El programa se encuentra constantemente monitoreando la posición de las gafas y mandos para posicionarlas en el mundo virtual. Este monitoreo se realiza con las estaciones base. Las estaciones base emiten rayos infrarrojos realizando un barrido vertical, seguido por un barrido horizontal. Los mandos y la gafa poseen sensores de detección de luz infrarroja por lo cual determinan el tiempo de diferencia entre la detección del barrido lateral y horizontal, con lo cual pueden saber la posición en la que se encuentran los mandos y la gafa.

- Trasladarse a diferentes puntos dentro de la misma escena

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama que explica como el usuario puede movilizarse en la misma escena. Para la implementación de esta acción se ha creado el prefab ubicado en anexos\ Assets_tesis\ Prefabs_general\ Usuario.prefab.

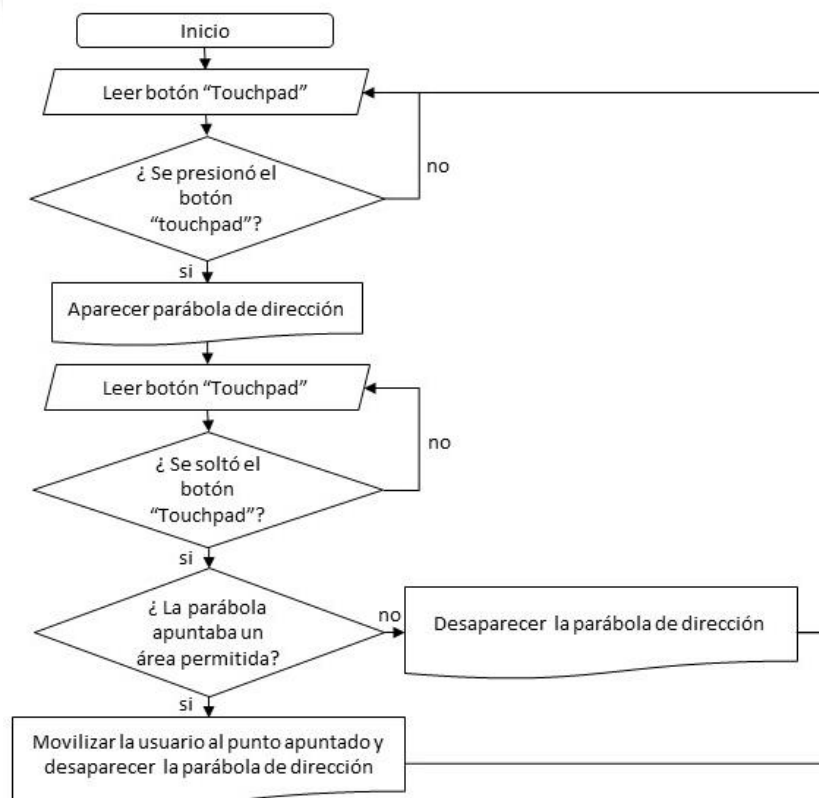


Figura 3. 14 El usuario puede trasladarse en la misma escena haciendo uso del mando. Presionando el botón "Touchpad" obtiene una parábola que le permite direccionar el punto al que desea trasladarse.

- Agarrar y mover objetos virtuales

En la Figura 3.15 se muestra el diagrama que explica el programa que permite al usuario levantar objetos en el mundo virtual haciendo uso de los mandos que son sus manos virtuales. El código implementado puede visualizarse en anexos\Scripts_general\Cargar_objetos.cs.

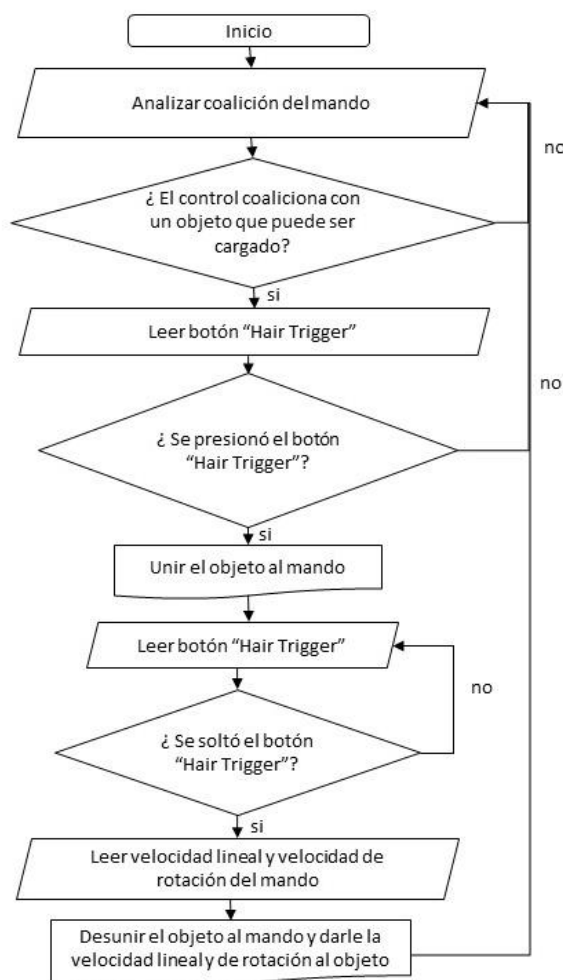


Figura 3. 15 El usuario es capaz de levantar objetos usando los mandos como sus manos virtuales.

- Obtención de información

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama que explica el programa que permite al usuario obtener la información relevante del patrimonio. El código implementado puede visualizarse en anexos\Scripts_general\información_comportamiento.cs.

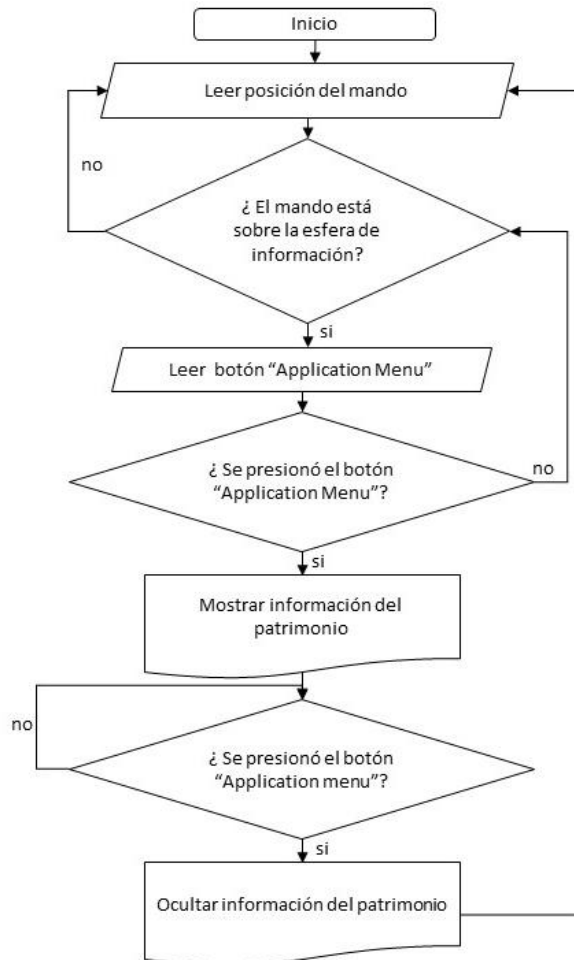


Figura 3. 16 El usuario es capaz de obtener información del patrimonio mediante la interacción con puntos de información en la escena.

- Trasladarse a diferentes escenas

En la Figura 3.17 se muestra el diagrama que explica el programa que permite al usuario trasladarse entre las escenas que conforman el tour virtual. Para la implementación de esta acción se ha creado el prefab ubicado en anexos\Assets_tesis\Prefabs_general\ Usuario.prefab.

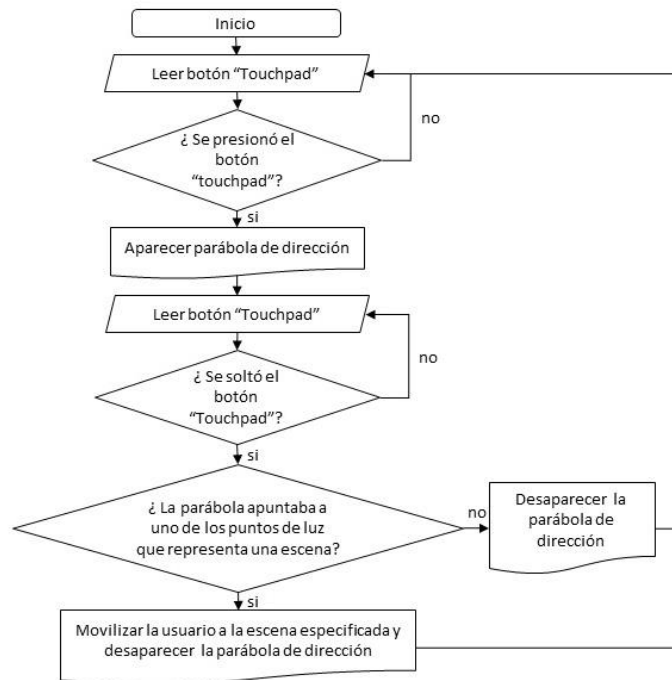


Figura 3. 17 El usuario puede trasladarse entre diferentes escenas del tour virtual.

- Aprender el uso del tour virtual mediante un tutorial interactivo

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama que explica el tutorial interactivo que se muestra en la escena inicial. Este tutorial enseña al usuario cuales son las acciones que puede desarrollar para la utilización de la experiencia virtual. El código implementado se visualiza en anexos\Scripts_general\guia_instructor.

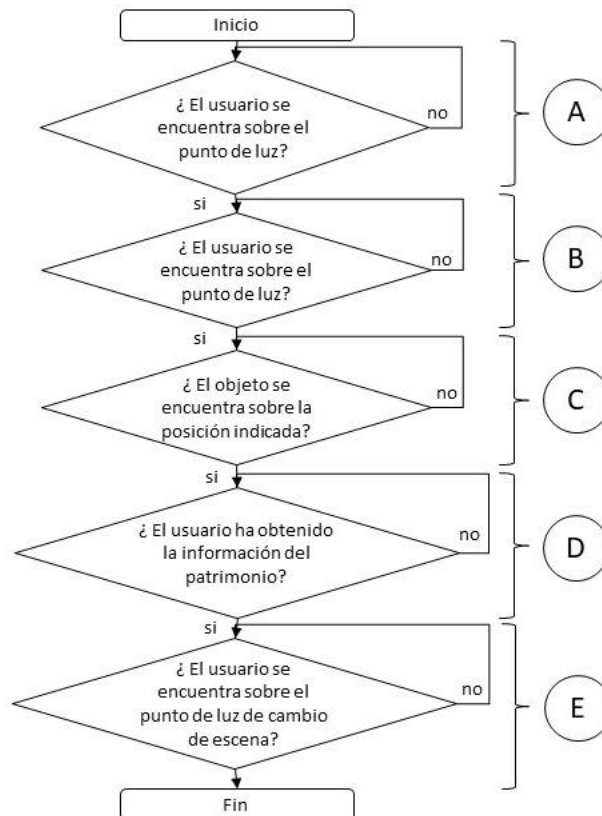


Figura 3. 18 El usuario aprende las acciones posibles en el tour virtual en la escena inicial que desarrolla un tutorial interactivo. El tutorial está separado en 5 etapas que el usuario debe concluir para empezar el tour virtual. (A) El usuario aprende que al caminar en el mundo real también se mueve en el mundo virtual, además aprende que los límites del mundo real se delimitan también en el mundo virtual, razón por la cual no se va a chocar mientras camine dentro de los límites. (B) El usuario aprende que puede trasladarse dentro de la misma escena usando el botón “Touchpad”. (C) El usuario aprende que puede levantar y mover objetos virtuales usando el mando. (D) El usuario aprende que es capaz de obtener información del patrimonio interactuando con las esferas de información. (E) El usuario aprende que puede trasladarse entre las distintas escenas del tour virtual.

- Aprender sobre el patrimonio mediante un modo de historia tridimensional

En la Figura 3.19 se muestra el diagrama que explica el programa que permite contar la historia del patrimonio mediante material audiovisual tridimensional. El código se implementa en tres partes que pueden visualizarse en anexos\Scripts_general\Primera_historia.cs, anexos\Scripts_general\media_historia.cs y anexos\Scripts_general\Historia final.cs.

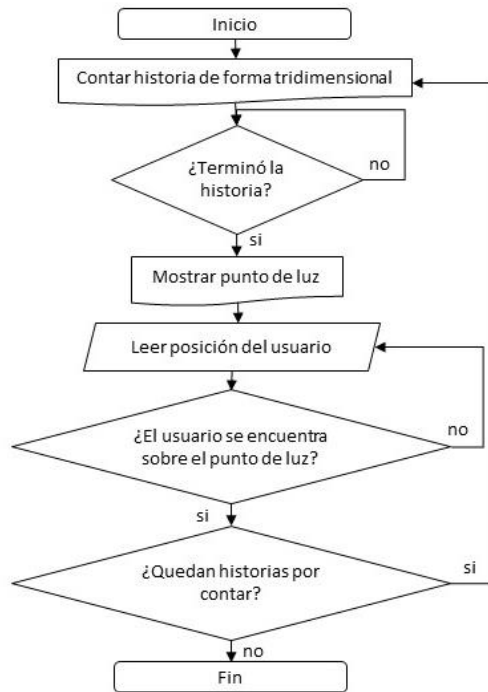


Figura 3. 19 El usuario podrá aprender sobre la historia del patrimonio en la que se basa el tour virtual mediante una historia tridimensional. Esta historia se cuenta paso a paso y mediante material audiovisual tridimensional, es decir que pueden tener objetos movilizándose con un sentido alrededor del usuario.