

**REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA Y BUILDING INFORMATION MODELING
COMO APOYO A LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES EN ACABADOS DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

DANIELA GALVIS GAMBOA, JONATHAN HARLEY PINZÓN SÁNCHEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

OMAR GIOVANNY SÁNCHEZ RIVERA

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. METODOLOGÍA	14
1.1 Recopilación de información	14
1.2 Aprendizaje de Softwares	14
1.3 Generación de espacios de realidad virtual inmersiva a partir de un modelo BIM de un proyecto de construcción	15
1.4 Encuesta	17
1.5 Aplicaciones y desarrollos futuros.....	18
2. RESULTADOS	19
2.1 Conceptualización.....	19
2.2 Aprendizaje de softwares	21
2.3 Método para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva, a partir del modelo BIM de un proyecto de construcción	22
2.3.1. Modelado BIM del proyecto.	22
2.3.2. Personalizar el modelo BIM.	23
2.3.3. Determinación de opciones de acabados.	24
2.3.4. Definición de combinaciones de acabados.	25
2.3.5. Modelamiento BIM de texturas.	27

2.3.6.	Renderizado panorámico 360 de las combinaciones.	27
2.3.7.	Generación de la escena de realidad virtual inmersiva y desarrollo de entorno interactivo a partir de las imágenes 360°.	30
2.3.8.	Generación de aplicación para teléfono móvil.....	33
2.4	Resultados encuesta	35
2.5	Posibles aplicaciones y desarrollos futuros de realidad virtual inmersiva.....	38
3.	CONCLUSIONES.....	42
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
	ANEXOS.....	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dispositivos móviles implementados para el caso de estudio.....	16
Figura 2. Gafas de realidad virtual implementadas para el caso de estudio.	16
Figura 3. Desarrollo de encuesta.....	18
Figura 4. Modelo apartamento caso de estudio.	23
Figura 5. Modelo apartamento amoblado caso de estudio.....	23
Figura 6. Opciones de acabados para cocina.	24
Figura 7. Opciones de acabados para piso.	24
Figura 8. Opciones de acabados para muro.	25
Figura 9. Diagrama de árbol con combinaciones posibles de acabas para caso de estudio.....	26
Figura 10. Combinación de acabados 1 (Piso beige, Muro blanco, Cocina crema).	28
Figura 11. Combinación de acabados 2 (Piso beige, Muro blanco, Cocina marrón).	28
Figura 14. Combinación de acabados 5 (Piso gris, Muro blanco, Cocina crema).....	29
Figura 15. Combinación de acabados 6 (Piso gris, Muro blanco, Cocina marrón).	29
Figura 16. Combinación de acabados 7 (Piso gris, Muro marrón, Cocina crema).	30
Figura 17. Combinación de acabados 8 (Piso gris, Muro marrón, Cocina marrón).	30
Figura 18. Material esfera con imagen 360° en el software Unity.	32
Figura 19. Interfaz para escoger acabados.	32
Figura 20. Vista de la aplicación en teléfono móvil.	33
Figura 21. Diagrama método para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva, a partir del modelo BIM de un proyecto de construcción.	34

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resultados encuesta. 35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Código para acabados cocina.	46
Anexo B. Código para acabados cocina.	47
Anexo C. Código para acabados piso.	48
Anexo D. Código para combinación de acabados.	49

RESUMEN

TÍTULO:

REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA Y BUILDING INFORMATION MODELING COMO APOYO A LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES EN ACABADOS DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN*

AUTORES:

Daniela Galvis Gamboa

Jonathan Harley Pinzón Sánchez**

PALABRAS CLAVE: BIM, Building Information Modeling, Planificación de proyectos de construcción, Realidad Virtual, Realidad Virtual inmersiva.

DESCRIPCIÓN:

En la venta de proyectos de construcción la forma más usual de presentar los proyectos a los clientes es por medio de dibujos, especificaciones escritas y modelos a pequeña escala (maquetas), a menudo los clientes no tienen la experiencia y habilidad técnica para entender completamente la distribución de espacios en tres dimensiones con solo mirar esta información bidimensional, lo que resulta en un proceso mental con ineficiencias e inexactitudes inherentes. Por consiguiente, los potenciales compradores tienden a presentar dificultades para visualizar y comprender los efectos de las modificaciones que sugieren sobre su futura vivienda. En este artículo se estudia la implementación de la realidad virtual inmersiva y building information modeling como un instrumento de apoyo en la toma de decisiones en acabados de proyectos de construcción, para lo cual se planteó y desarrolló una aplicación para teléfonos celulares con sistema operativo Android, y se presentó un proyecto de un apartamento por medio de la forma tradicional y haciendo uso de la realidad virtual inmersiva. Luego, mediante una encuesta se evaluó el valor de esta tecnología de visualización, demostrando que los modelos de realidad virtual inmersiva proporcionan una herramienta útil para la toma de decisiones de las características de un proyecto de construcción.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil, M.Sc.

ABSTRACT

TITLE:

IMMERSIVE VIRTUAL REALITY AND BUILDING INFORMATION MODELING TO
SUPPORT DECISION-MAKING PROCESSES IN CONSTRUCTION PROJECT FINISHES*

AUTHORS:

Daniela Galvis Gamboa

Jonathan Harley Pinzón Sánchez**

KEYWORDS: BIM, Building Information Modeling, Planning of construction projects, Virtual Reality, Immersive Virtual Reality.

DESCRIPTION:

In the sale of construction projects the most usual way to present projects to clients is through drawings, written specifications and small-scale models. However, clients do not often have the experience and technical ability to fully understand the distribution of spaces in three dimensions just by looking at this two-dimensional information, which results in a mental process with inefficiencies and inherent inaccuracies. Consequently, potential buyers tend to have difficulties to visualize and understand the effects of the modifications they suggest about their future home. In this article, we study the implementation of immersive virtual reality and building information modeling as a support instrument in decision-making when it comes to construction project finishes. For this reason, we proposed and developed an application for cell phones and we presented a project of an apartment by means of the traditional way and making use of virtual reality as well. Then, the value of this visualization technology was evaluated through a survey, and at the end, it was demonstrated that immersive virtual reality models provide a useful tool for making decisions about the characteristics of a construction project.

* Degree work

** Faculty of Engineering Physical Mechanical, School Engineering Civil. Director: Omar Giovanny Sánchez Rivera, Civil Engineer M.Sc.

INTRODUCCIÓN

En la venta de proyectos de vivienda la forma más usual de transmitir la información del proyecto al cliente es por medio de dibujos, especificaciones escritas y modelos a pequeña escala (maquetas) [1]-[2]-[3]. Esta manera tradicional de presentar los proyectos a los potenciales compradores carece de datos espaciales, obligando a los clientes a traducir información bidimensional (2D) en un espacio tridimensional, lo que resulta en un proceso mental con ineficiencias e inexactitudes inherentes [4], derivando una falta de sensación de inmersión y una falta de interactividad [1]-[5], por lo que el comprador no podrá visualizar y comprender los efectos de las modificaciones que él sugiera sobre el proyecto hasta que se haya construido [1].

“La visualización representa la capacidad de ver mentalmente la información” [4], y se puede describir como un medio para comunicar datos complejos el cual tiene grandes ventajas sobre los documentos escritos o la misma voz [6]-[7], ya que el sentido visual es el componente dominante de la percepción sensorial humana [6]. Los avances tecnológicos han abierto camino a nuevas tecnologías de visualización como la realidad virtual [8], esta tecnología consiste en “un entorno generado por ordenador que para la persona que lo experimenta se asemeja a la realidad” [6]-[9], estos modelos virtuales proporcionan una buena representación de la futura infraestructura y se pueden disponer como herramienta de marketing [2].

La realidad virtual es una forma de comunicar información [8]-[10]-[11], la cual facilita la comprensión de la concepción espacial [1]-[6]-[11]-[12], además permite expresar y explorar la imaginación en los diseños [6]-[13], una de las aplicaciones es la determinación de preferencias visuales con el propósito de informar sobre cambios visuales a futuro [6].

El uso de la realidad virtual facilita acceder a situaciones que no existen [8]-[14]-[6], y es vista hoy como una herramienta para el apoyo de la toma de decisiones [11], por tal motivo, se ha implementado ampliamente como una herramienta eficaz para representar y probar distintas soluciones de diseño, debido a que es más sencillo y económico, evaluar la forma y el diseño de un entorno virtual en lugar de realizar modificaciones de un modelo físico construido [10]-[12]. La implementación de la realidad virtual en la gestión de los proyectos de construcción reduce el desperdicio de recursos y mejora el resultado final [2].

La hipótesis que se comprobó en el desarrollo de la presente investigación es: con la implementación de building information modeling y realidad virtual inmersiva es posible obtener una herramienta para apoyar la toma de decisiones en acabados de proyectos de construcción, para comprobar la hipótesis se planteó un método para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva a partir del modelo BIM 3D de un proyecto de construcción, el cual se aplicó para desarrollar un prototipo que funciona como herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones en los acabados de un apartamento del modelo BIM del caso de estudio, este prototipo mencionado funciona a través de teléfonos móviles con sistema operativo Android y gafas de realidad virtual. Luego, a partir de la experiencia que se logró mediante el desarrollo del prototipo de realidad virtual inmersiva y una revisión bibliográfica se obtuvo información relevante para establecer posibles aplicaciones y desarrollos futuros de la herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones en proyectos de construcción.

1. METODOLOGÍA

1.1 Recopilación de información

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó una búsqueda de artículos de las bases de datos electrónicas ScienceDirect, Web of Science, Scopus y ASCE, haciendo uso de palabras clave como: realidad virtual y construcción, realidad virtual y diseño, realidad virtual y optimización, realidad virtual y planeación, Building Information Modeling y marketing. El paso siguiente fue realizar una selección, filtrando por títulos y resumen, para identificar las publicaciones relacionadas con estos temas. Finalmente implementando estos artículos se conceptualizaron de forma clara algunos de los términos claves necesarios para el desarrollo de la investigación.

1.2 Aprendizaje de Softwares

Parte importante para la creación de la herramienta que funcione como apoyo de la toma de decisiones en acabados de proyectos de construcción, fue el aprendizaje de los softwares como Unity y Autodesk Revit. Donde se implementaron varias estrategias con el fin de completar un manejo adecuado de cada paquete. Lo primero que se llevó a cabo, fue una lectura de los documentos seleccionados en la recopilación de información donde hacían uso de estos sistemas. Luego, se realizó una investigación en manuales, como es el caso del manual de Unity el cual es proporcionado por la empresa productora del software, donde se explica de forma detallada cómo funcionan las herramientas del software, también de manuales como Revit Architecture 2017 de

la editorial Anaya y Revit Structure de la editorial Macro. Además, para complementar todo el estudio anterior, se utilizaron recursos audiovisuales provenientes de bases de datos como YouTube elaborados por personas con experiencia en dichos programas.

1.3 Generación de espacios de realidad virtual inmersiva a partir de un modelo BIM de un proyecto de construcción

Para la generación de un espacio de realidad inmersiva se inició con el modelamiento BIM 3D de un caso de estudio que consistió en un apartamento dedicado a vivienda, a partir del cual se obtuvieron imágenes 360° correspondientes al área de sala, cocina y comedor, las cuales fueron exportadas al software Unity para generar una aplicación compatible con teléfonos móviles que cuenten con sistema operativo Android, para el caso de estudio los teléfonos celulares utilizados fueron un dispositivo Samsung Galaxy S7 edge y un dispositivo Lenovo Vibe K6 (Figura 1), una vez instalada y abierta la aplicación en los teléfonos móviles se introduce dentro de unas gafas de realidad virtual que para el desarrollo de esta investigación se utilizaron las Gafas Samsung Gear VR y las gafas VR Box (Figura 2), en las que viendo a través de ellas crea en el usuario la sensación de estar inmerso dentro del modelo BIM del apartamento, donde el usuario puede interactuar con el modelo virtual modificando algunos de sus acabados, por lo que dicha App funciona como una herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones en los acabados del proyecto de construcción del caso de estudio.



Lenovo
Vibe K6



Samsung Galaxy
S7 edge

Figura 1. Dispositivos móviles implementados para el caso de estudio. Imágen celular Lenovo K6 Vibe. Recurerado de https://media.aws.alkosto.com/media/catalog/product/cache/6/image/69ace863370f34bdf190e4e164b6e123/k/6/k6_gld_frnt-4.jpg. Imágen celular Samsung S7 edge. Recuperado de <https://img.pccomponentes.com/articles/10/100509/samsung-galaxy-s7-edge-platas-1.jpg>.



VR Box



Samsung
Gear VR

Figura 2. Gafas de realidad virtual implementadas para el caso de estudio. Imágen gafas VR Box. Disponible en: <https://rukminim1.flixcart.com/image/832/832/video-glasses/k/m/e/r-mangal-v123-original-imaekqdgjhuzsuxh.jpeg?q=70>. Imágen gafas Samsung Gear VR». [En línea]. Disponible en: <https://www.samsung.com/us/mobile/virtual-reality/gear-vr/gear-vr-sm-r322nzwaxar/>.

Con la información obtenida mediante el desarrollo del prototipo se propuso un método de modo que otros investigadores puedan tener una guía para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva a partir del modelo BIM de un proyecto de construcción, con el fin de fomentar el estudio y la implementación de nuevas tecnologías de visualización como la realidad virtual en la industria de la construcción.

1.4 Encuesta

Se visitaron algunas constructoras en la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander (Colombia) haciendo el papel de clientes, con el objetivo de estudiar la forma como tradicionalmente se presentan los proyectos de construcción a los potenciales compradores, durante las visitas se encontró que la información era suministrada a los clientes por medio de folletos los cuales contenían especificaciones escritas y un render en planta 2D del proyecto que ofrecían, con base en esa observación se creó una presentación similar que consta de un folleto que contiene un render del apartamento del caso de estudio, además de algunas opciones de acabados a preferencia del comprador y algunas especificaciones escritas.

Se presentó el proyecto del apartamento a 37 participantes (estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia) (Figura 3), por medio de la forma tradicional y haciendo uso de la herramienta de realidad virtual inmersiva que se creó a partir del modelo BIM del proyecto de construcción, los participantes debían escoger la combinación de los acabados que querían para su vivienda y al final debían responder una encuesta que consta de nueve preguntas relacionadas con la experiencia en la herramienta de realidad virtual desarrollada, esto con el propósito de recolectar información y hacer un estudio estadístico para

determinar los beneficios que tiene el uso de la realidad virtual inmersiva como una herramienta en el proceso de toma de decisiones en los acabados de los proyectos de construcción y además establecer otros beneficios que pueden derivarse de esta manera de presentar los proyectos a los clientes en comparación de la manera tradicional.



Figura 3. Desarrollo de encuesta.

1.5 Aplicaciones y desarrollos futuros

Con base en información obtenida de estudios realizados por otros investigadores sobre la aplicación de la realidad virtual en el proceso constructivo y a partir de la experiencia que se obtuvo mediante el desarrollo del prototipo de realidad virtual inmersiva, se obtuvo información relevante con la cual fue posible mencionar otras aplicaciones y posibles desarrollos futuros de esta

tecnología de visualización como herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones en los proyectos de construcción.

2. RESULTADOS

2.1 Conceptualización

Al completar la búsqueda y lectura de los artículos, se logró realizar una completa definición de los conceptos más importantes de esta investigación, haciendo uso de numerosas publicaciones. Dando como resultado las siguientes definiciones:

Realidad Virtual

La realidad virtual se puede definir como un componente de la comunicación en el que se crea un ambiente de inmersión sensorial que responde de forma interactiva a partir del comportamiento del usuario [12]-[15], donde se reemplaza el mundo real por uno virtual y la sensación de estar en determinado lugar es simulada [16]-[8]-[17], permitiendo experimentar situaciones en lugar de imaginarlas [12].

La realidad virtual está creando una nueva forma de comunicar la información, donde el usuario está completamente inmerso en un mundo virtual [8], ofreciéndole la posibilidad de explorar e interactuar el entorno en tiempo real [2]. Esta forma de comunicación es posible aplicarla a diferentes situaciones de la vida cotidiana, como juegos, entretenimiento y educación, pero

también puede tener aplicaciones relacionadas con la industria [8]-[18]. En la ingeniería puede servir como ayuda para visualizar posibles soluciones usando un entorno tridimensional [8], además la implementación de esta tecnología podría minimizar el desperdicio de recursos y mejorar el resultado final en el proceso de construcción [2].

Building Information Modeling

BIM es una metodología utilizada para la gestión de proyectos de arquitectura y construcción, tanto para el proceso de diseño de un proyecto como para el ciclo de vida de la edificación [19]. Es una tecnología orientada a objetos que está cambiando la manera de diseñar y construir, debido a que antes de ser construido, este es modelado y visualizado en tres dimensiones, convirtiéndose en el método preferido de los diseñadores para presentar las propuestas a los dueños y a las partes interesadas [20].

El modelado de la información para edificaciones reúne todas las herramientas tradicionales y aumenta el nivel de eficiencia, comunicación y colaboración en los proyectos de construcción [21], haciendo posible un intercambio de información completo y en tiempo real [19]. Cada modelo contiene gran cantidad de datos que pueden ser utilizados por todos los miembros del equipo de diseño para la elaboración de los diferentes sistemas de un edificio [20], además, contiene toda la información de los periodos de un proyecto de construcción [22], permitiendo realizar funciones como estimación de costos, planificación, control, gestión de operaciones y mantenimiento de las edificaciones [20].

La implementación de esta tecnología tiene múltiples ventajas en el proceso constructivo como velocidad, economía, sostenibilidad y seguridad [20], reduciendo desechos y ahorrando costos

[23], convirtiéndose en una solución para mejorar la productividad y la eficiencia en la industria de construcción [24]-[25].

Marketing

Marketing ha sido definido por Friedman (1984) como una actividad con un potencial para aumentar las ventas [26] y generar la satisfacción de las necesidades y deseos del cliente [27], el marketing se considera una inversión para generar una ventaja competitiva [26], las actividades de marketing se ejecutan con el fin de convencer a un posible comprador de elegir a la empresa como su proveedor de servicios y para ello se debe generar un valor diferencial visible a los ojos del cliente [28].

Las empresas constructoras comercializan servicios dado que resaltan sus habilidades para cumplir o superar con los criterios de los clientes para el costo, el tiempo y la calidad de la construcción [27]. El marketing es cada vez más importante en la industria de la construcción y se está estableciendo personal de marketing dentro de las estructuras organizacionales de las empresas de construcción con el fin de identificar oportunidades de negocio y lograr satisfacción en el cliente [28].

2.2 Aprendizaje de softwares

Producto del aprendizaje del programa Autodesk Revit 2017 se pudo realizar el modelo BIM 3D del proyecto de construcción del caso de estudio que consistió en un apartamento. Además, se consiguió amoblar el modelo generando un ambiente agradable de la vivienda con lo cual los clientes pueden proyectar su mobiliario dentro del apartamento, y por último se logró generar

imágenes panorámicas que ilustran todas las posibles combinaciones de acabados que pueden surgir de acuerdo a la preferencia del comprador.

Como consecuencia del aprendizaje del software Unity se consiguió generar un espacio de realidad virtual inmersiva a partir de las imágenes panorámicas obtenidas del apartamento, con la cual se logró crear una aplicación para teléfonos celulares que cuenten con sistema operativo Android, y que funciona como una herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones en algunos de los acabados del proyecto de vivienda.

2.3 Método para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva, a partir del modelo BIM de un proyecto de construcción

2.3.1. Modelado BIM del proyecto.

Los modelos BIM van mucho más allá del 3D, estos abarcan todas las fases del ciclo de vida de la infraestructura, su diseño debe ser colaborativo entre proyectistas, constructores y demás agentes implicados en el proceso constructivo. Uno de los propósitos de este artículo es el aprovechamiento de estos modelos para generar espacios de realidad virtual inmersiva como una herramienta de comunicación y de apoyo en el proceso de la toma de decisiones, para el caso de estudio se realizó un modelo de un apartamento (Figura 4) en el cual el proyecto le brinda la posibilidad al cliente de escoger a su preferencia algunos de sus acabados.

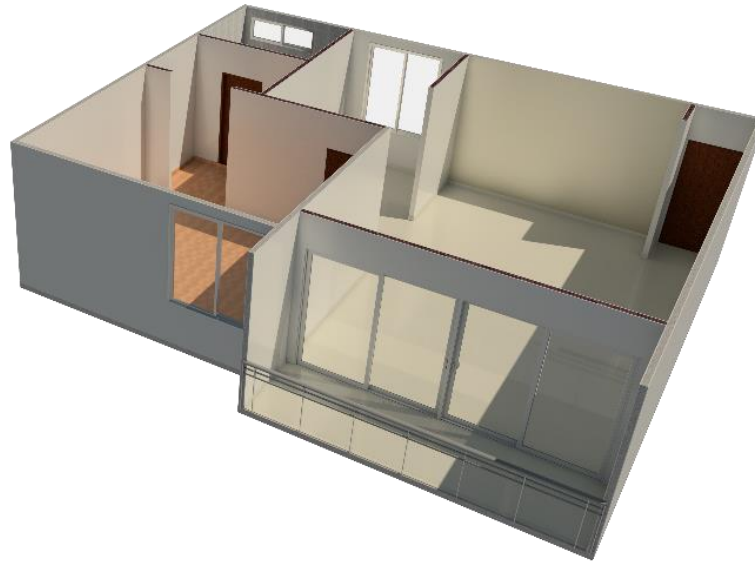


Figura 4. Modelo apartamento caso de estudio.

2.3.2. Personalizar el modelo BIM.

Se agregan las texturas y el mobiliario que llevará el modelo, es importante crear un ambiente agradable a la vista de los futuros compradores del proyecto de construcción (Figura 5).



Figura 5. Modelo apartamento amoblado caso de estudio.

2.3.3. Determinación de opciones de acabados.

En este paso se establecen cuáles son los acabados que el cliente podrá modificar según su gusto, para el caso de estudio se establecieron dos tipos de acabados para la cocina (madera marrón y madera crema) (Figura 6), dos tipos de acabado para el piso (baldosa gris y baldosa beige) (Figura 7) y dos tipos de acabado para uno de los muros interiores (tableta color marrón y pintura blanca) (Figura 8).



Figura 6. Opciones de acabados para cocina.

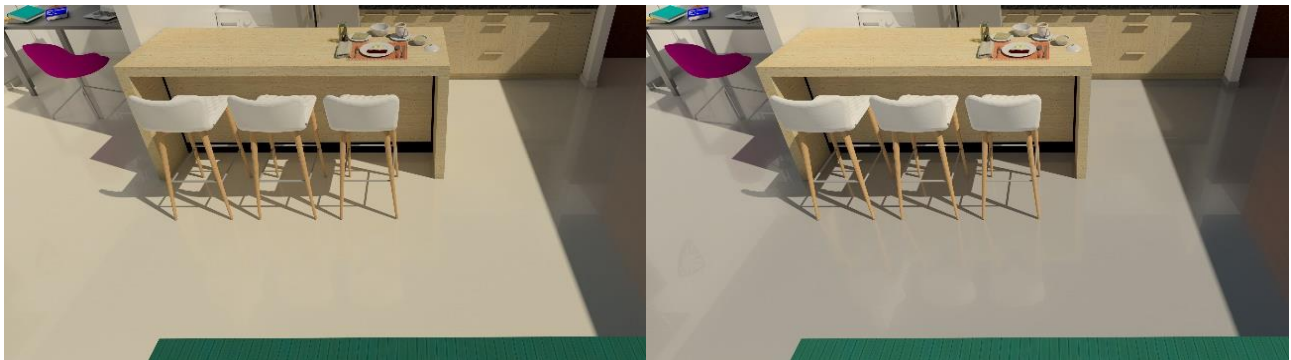


Figura 7. Opciones de acabados para piso.



Figura 8. Opciones de acabados para muro.

2.3.4. Definición de combinaciones de acabados.

En probabilidad la regla del producto es una técnica que puede aplicarse en este caso para determinar las diferentes combinaciones de acabados que se pueden dar de acuerdo a la preferencia visual de cada uno de los clientes, de este modo se puede establecer todos los tipos de apartamento que pueden surgir según sus acabados, otra técnica que se puede implementar para llevar a cabo esta tarea es un diagrama de árbol. Para representar de forma más precisa para el caso de estudio se utilizó la segunda técnica como se muestra en la (Figura 9).

$$N_{resultados} = n_1 * n_2 * n_3 * ... * n_h$$

Donde:

$$n_1 * n_2 * n_3 * ... * n_h = \text{opciones por acabado}$$

$$N_{resultados} = \text{cantidad de combinaciones}$$

Para el caso de estudio:

Opciones de acabados cocina = 2

Opciones de acabados muro = 2

Opciones de acabados piso = 2

$$\text{Cantidad de combinaciones} = 2 * 2 * 2 = 8$$

Con base a las anteriores técnicas se obtuvieron 8 combinaciones de acabados para el proyecto de vivienda.

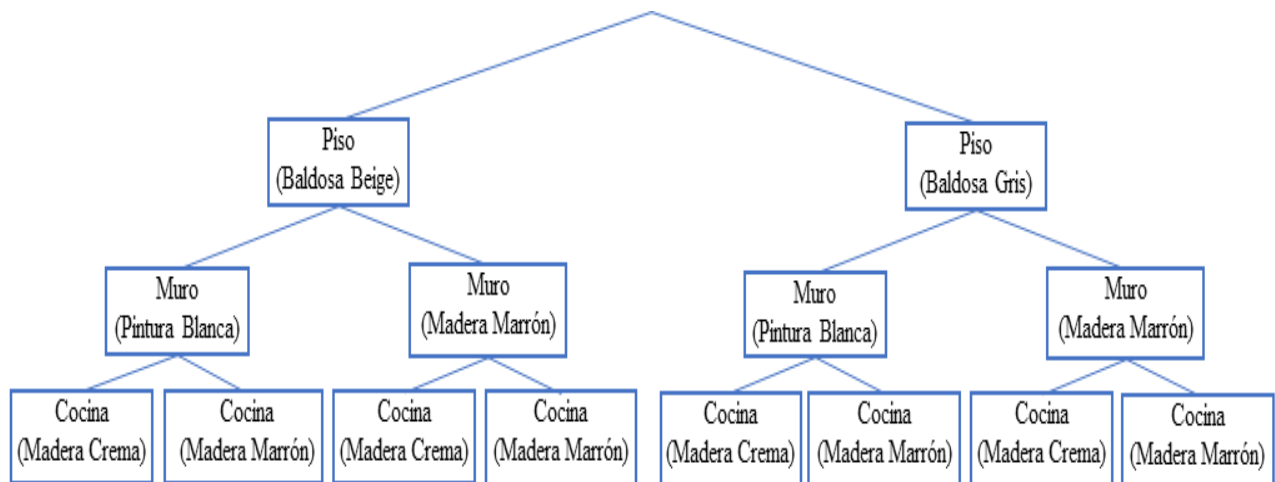


Figura 9. Diagrama de árbol con combinaciones posibles de acabados para caso de estudio.

2.3.5. Modelamiento BIM de texturas.

En este paso se asigna las texturas a los objetos formando cada una de las combinaciones que se obtuvieron en el paso anterior (numeral 3.3.4) y de ese modo se prepara el modelo para luego generar las imágenes panorámicas.

2.3.6. Renderizado panorámico 360 de las combinaciones.

El proceso de renderizado 360 se llevó a cabo mediante el uso del servicio en la nube ofrecido por Autodesk, donde la empresa ofrece a los nuevos usuarios la oportunidad de experimentar de forma gratuita con las funciones avanzadas de renderización de Autodesk 360, la empresa suministra 25 créditos de nube de prueba y no está permitido aplicarse a trabajo comercial, Autodesk cobrara un determinado número de créditos por megapíxeles (MP) y con tarifas diferentes en función del tamaño, la calidad y el tipo de renderización. En caso de necesitar realizar una gran cantidad de renderizaciones o en caso de hacer de ella un uso comercial Autodesk ofrece a los usuarios con suscripción adquirir más créditos de nube desde las tiendas Autodesk e-Store, los distribuidores de Autodesk y las ventas directas de Autodesk. Una vez se obtiene la cuenta en Autodesk se pueden generar las imágenes panorámicas para cada una de las posibles combinaciones de acabados que pueden surgir para el proyecto de construcción, como se puede observar para el caso de estudio en las figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15,16 y 17.



Figura 10. Combinación de acabados 1 (Piso beige, Muro blanco, Cocina crema).



Figura 11. Combinación de acabados 2 (Piso beige, Muro blanco, Cocina marrón).



Figura 12. Combinación de acabados 3 (Piso beige, Muro marrón, Cocina crema).



Figura 13. Combinación de acabados 4 (Piso beige, Muro marrón, Cocina marrón).



Figura 14. Combinación de acabados 5 (Piso gris, Muro blanco, Cocina crema).



Figura 15. Combinación de acabados 6 (Piso gris, Muro blanco, Cocina marrón).



Figura 16. Combinación de acabados 7 (Piso gris, Muro marrón, Cocina crema).



Figura 17. Combinación de acabados 8 (Piso gris, Muro marrón, Cocina marrón).

2.3.7. Generación de la escena de realidad virtual inmersiva y desarrollo de entorno interactivo a partir de las imágenes 360°.

Para el desarrollo de esta escena según el método que se propone, se recomienda hacer uso del software Unity, el cual ofrece una plataforma para crear juegos y aplicaciones en 2D, 3D, realidad virtual y realidad aumentada. Además, cuenta con una licencia gratuita para principiantes, estudiantes y aficionados que desean explorar y empezar a trabajar con Unity.

Lo primero que se debe realizar es agregar todas las imágenes 360° obtenidas en el paso anterior, y asignarles un nombre que las identifique según la combinación de sus acabados, además, es necesario modificar algunas propiedades de la imagen con el propósito de disminuir su peso, dado que se necesita obtener una herramienta óptima, debido que será compatible sólo con teléfonos celulares, por lo cual es necesario generar una aplicación que consuma la menor cantidad de recursos del dispositivo móvil y de ese modo poder conseguir una experiencia de realidad virtual fluida.

Luego se debe crear un material, que para el caso de estudio fue una esfera, sobre la cual se aplican las texturas (imágenes 360° generadas como se indica en el numeral 3.1.6 del presente artículo) (Figura 18) que constantemente se superponen de acuerdo a los cambios que realice el usuario de los acabados del apartamento mientras hace uso de la herramienta de realidad virtual inmersiva. Para lograr lo anterior, se debe crear un código de programación dentro del software Unity, el cual soporta principalmente dos lenguajes de programación como lo son C# (un lenguaje de la industria similar a java o C++) y UnityScript (un lenguaje diseñado específicamente para uso con Unity y modelado tras JavaScript), para este paso en el desarrollo de la aplicación para teléfonos móviles se generó el código utilizando el lenguaje C# (ver anexos), dicho código efectúa el cambio de textura aplicada al material esférico colocando sobre la esfera el render 360° que corresponda a la combinación de acabados del apartamento que el usuario vaya realizando mientras hace uso de la herramienta de realidad virtual (Figura 19).

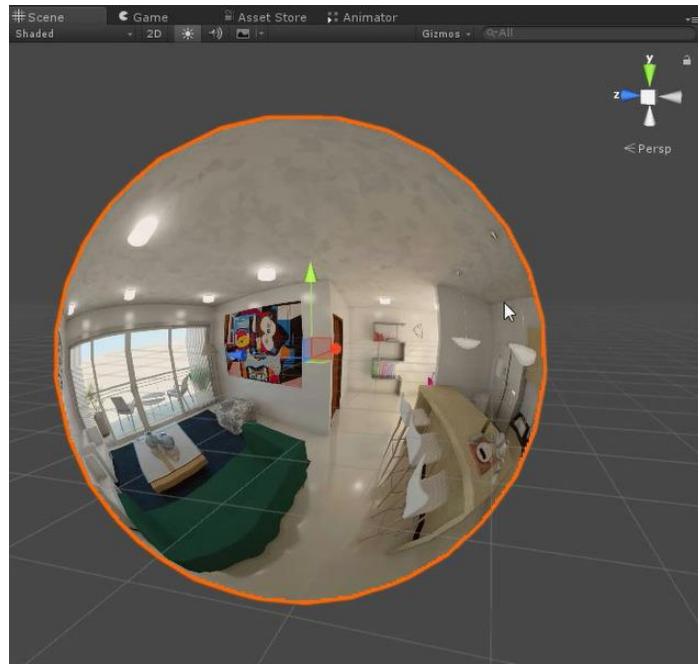


Figura 18. Material esfera con imagen 360° en el software Unity.



Figura 19. Interfaz para escoger acabados.

2.3.8. Generación de aplicación para teléfono móvil.

Una vez creada la escena en el software Unity, el paso siguiente es generar la aplicación que para el caso de estudio se implementó para teléfonos móviles con sistema operativo Android. Como primer paso es necesario asignarle un nombre para identificarlo de otras aplicaciones y realizar una configuración donde se definen características, en este punto se establece el tipo de gafas de realidad virtual que soportaran la aplicación, en el caso de estudio se implementó para gafas Cardboard y Samsung GearVR. Después, al momento de construir el archivo que se instalará en el celular, se debe seleccionar la plataforma Android y agregar la escena generada anteriormente. Finalmente, se construye y corre el programa, para obtener el archivo que se instalará en el teléfono móvil (Figura 20).

En la Figura 20 se muestra de manera resumida mediante un bosquejo el método que propone el presente artículo para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva a partir de un modelo BIM de un proyecto de construcción.

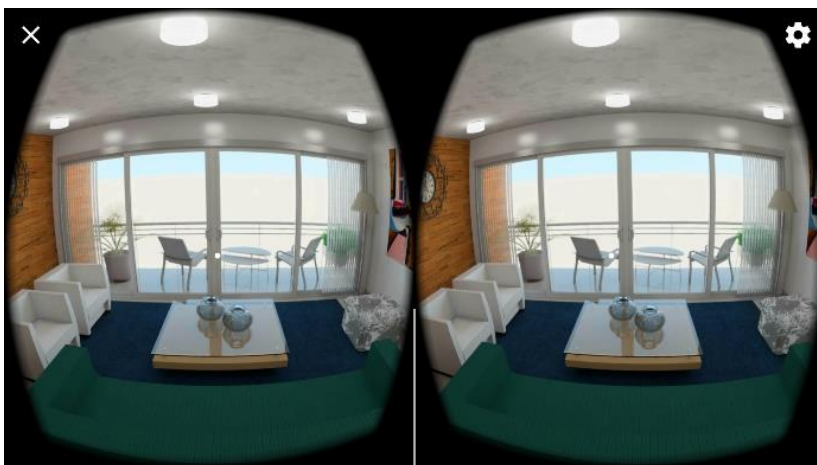


Figura 20. Vista de la aplicación en teléfono móvil.

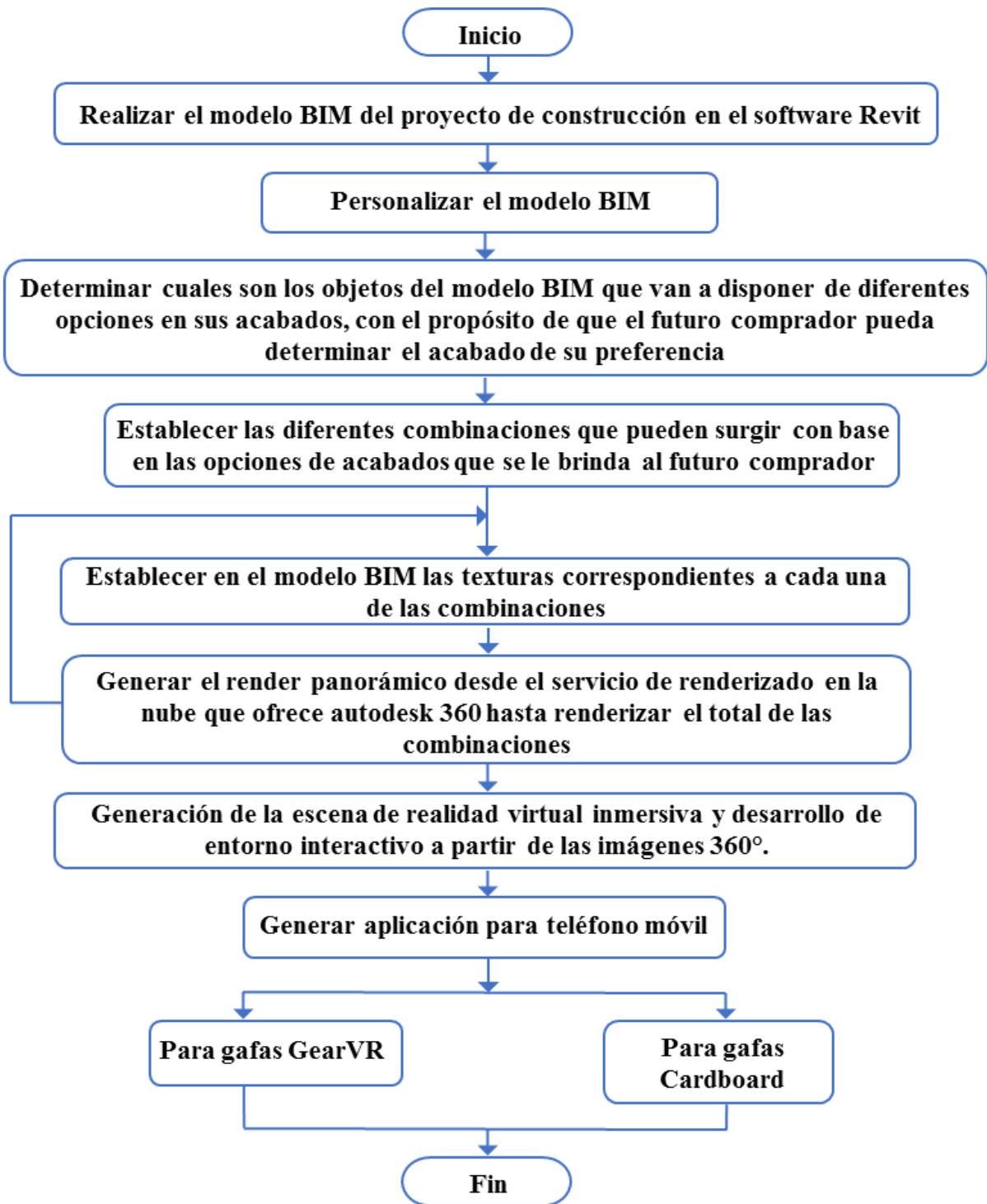


Figura 21. Diagrama método para la generación de espacios de realidad virtual inmersiva, a partir del modelo BIM de un proyecto de construcción.

2.4 Resultados encuesta

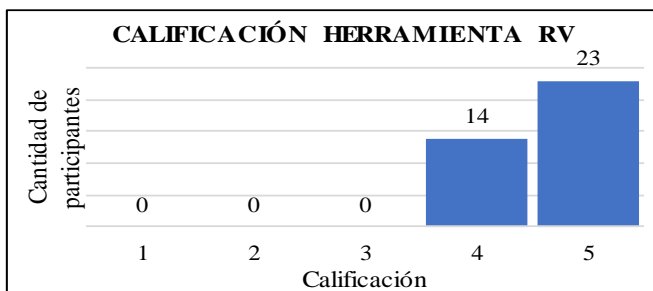
Tabla 1. Resultados encuesta.

Preguntas	Resultados																		
<p>Cada participante debía escoger los acabados del apartamento del caso de estudio utilizando la forma tradicional de presentar los proyectos de construcción (folleto), y usando la herramienta de realidad virtual.</p>	<div data-bbox="680 426 1346 762" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>VARIACIÓN DE LOS ACABADOS</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Ningún acabado</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>Variación de un acabado</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Variación de dos acabados</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Variación de tres acabados</td> <td>5%</td> </tr> </table> </div> <p>En el gráfico se presentan los porcentajes de las variaciones en la toma de decisión de los acabados que presentaron los participantes, al comparar los acabados escogidos usando el folleto y usando la herramienta de realidad virtual.</p>	Ningún acabado	35%	Variación de un acabado	30%	Variación de dos acabados	30%	Variación de tres acabados	5%										
Ningún acabado	35%																		
Variación de un acabado	30%																		
Variación de dos acabados	30%																		
Variación de tres acabados	5%																		
<p>¿Cuáles combinaciones fueron más aceptadas por los participantes?</p>	<div data-bbox="591 919 1484 1350" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">COMBINACIONES ESCOGIDAS POR PARTICIPANTES</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Combinaciones</th> <th style="text-align: right;">Cantidad de personas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Piso beige - Muro blanco - Cocina crema</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Piso beige - Muro blanco - Cocina marrón</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>Piso beige - Muro marrón - Cocina crema</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>Piso beige - Muro marrón - Cocina marrón</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Piso gris - Muro blanco - Cocina crema</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Piso gris - Muro blanco - Cocina marrón</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>Piso gris - Muro marrón - Cocina crema</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>Piso gris - Muro marrón - Cocina marrón</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>La realidad virtual inmersiva además de servir como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones en los acabados de proyectos de construcción, tiene el beneficio de ofrecer a los vendedores una ayuda para definir cuáles de las combinaciones de acabados prefieren los usuarios y con base a esto planificar el futuro proyecto.</p>	Combinaciones	Cantidad de personas	Piso beige - Muro blanco - Cocina crema	1	Piso beige - Muro blanco - Cocina marrón	3	Piso beige - Muro marrón - Cocina crema	3	Piso beige - Muro marrón - Cocina marrón	10	Piso gris - Muro blanco - Cocina crema	1	Piso gris - Muro blanco - Cocina marrón	7	Piso gris - Muro marrón - Cocina crema	2	Piso gris - Muro marrón - Cocina marrón	10
Combinaciones	Cantidad de personas																		
Piso beige - Muro blanco - Cocina crema	1																		
Piso beige - Muro blanco - Cocina marrón	3																		
Piso beige - Muro marrón - Cocina crema	3																		
Piso beige - Muro marrón - Cocina marrón	10																		
Piso gris - Muro blanco - Cocina crema	1																		
Piso gris - Muro blanco - Cocina marrón	7																		
Piso gris - Muro marrón - Cocina crema	2																		
Piso gris - Muro marrón - Cocina marrón	10																		
<p>¿Cuál de las modalidades prefiere para la visualización de la información en la compra de un proyecto de vivienda?</p>	<p>El 100% de los participantes prefieren visualizar la información en la compra de un proyecto de vivienda haciendo uso de la herramienta de realidad virtual.</p>																		
<p>¿Alguna vez ha usado la herramienta de realidad virtual para la elección de acabados arquitectónicos de proyectos de construcción?</p>	<p>Ninguno de los participantes ha hecho uso de la herramienta de realidad virtual para la elección de acabados arquitectónicos de proyectos de construcción.</p>																		

¿Considera útil la aplicación de la herramienta de realidad virtual para la toma de decisiones de las características de un proyecto de construcción?

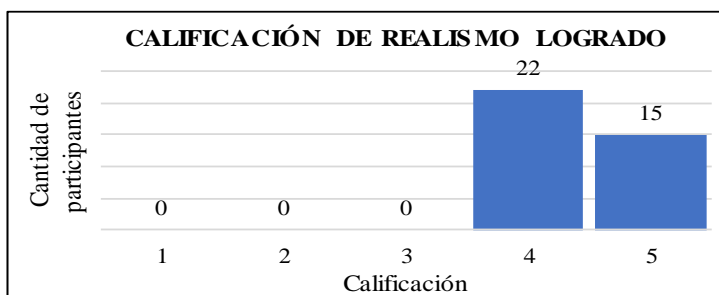
La totalidad de los participantes consideraron útil la aplicación de la herramienta para la toma de decisiones de las características de un proyecto de construcción.

Califique de 1 a 5, la herramienta de realidad virtual utilizada. (1 es el puntaje más bajo y 5 el más alto).



La herramienta de realidad virtual tuvo buena aceptación en los participantes, donde 23 de 37 personas que experimentaron la aplicación le dieron la calificación más alta y los restantes una calificación de 4.

Califique de 1 a 5, el grado de realismo logrado en la herramienta de realidad virtual inmersiva. (1 es el puntaje más bajo y 5 el más alto).



22 de los participantes le dio al grado de realismo logrado en la herramienta de realidad virtual una puntuación de 4 y 15 de ellos una puntuación de 5.

Considera que el uso de la herramienta de realidad virtual lo motiva a invertir en la compra del proyecto presentado.

El 97% de los participantes consideró que el uso de la herramienta de realidad virtual lo motiva a invertir en la compra del proyecto.

¿Considera que el uso de la realidad virtual afecta sus decisiones sobre los acabados del proyecto?

El 92% consideró que el uso de la realidad virtual afecta sus decisiones sobre los acabados del proyecto.

¿Considera que el uso de la realidad virtual le permite comprender de mejor manera la distribución de espacios del proyecto evaluado?

Al 95% de los encuestados el uso de la realidad virtual les permitió comprender de mejor manera la distribución de espacios en el proyecto.

¿Considera que la realidad virtual le permite proyectar de mejor forma los muebles a adquirir?

El porcentaje de encuestados que consideró que la realidad virtual le permite proyectar de mejor forma los muebles a adquirir fue el 95%.

Producto del análisis de los resultados obtenidos de la encuesta (Tabla 1), la herramienta de realidad virtual tuvo una buena respuesta entre los participantes, donde la mayoría de ellos usaron la realidad virtual por primera vez para escoger acabados de vivienda y en su totalidad prefieren este método para la presentación de los proyectos de construcción.

Luego, se realizó el estudio de la variación de la elección de los acabados realizada por los participantes, comparando los acabados escogidos haciendo uso del folleto y luego de la realidad virtual. Observando que el 65% de los participantes modificaron las características de la vivienda y tan solo el 35% no presento variación, por lo tanto, se puede decir que el uso de la herramienta influye de forma significativa en la decisión de los acabados de la vivienda.

Para el caso de estudio se pudo observar que el 54% de los participantes se inclinaron solo por 2 de las 8 combinaciones. Con lo cual se puede decir, que el uso de la herramienta de realidad virtual inmersiva permite determinar mediante una encuesta cuales son las combinaciones de acabados más atractivas al público, por consiguiente, las empresas constructoras pueden tener una mejor planificación de la oferta de acabados que le pueden brindar a los clientes.

Como consecuencia del desarrollo de la encuesta, se observó que los participantes no presentaron dificultades en el manejo de la aplicación, además se mostraron entusiasmados con la propuesta de implementar esta tecnología en el sector de la ingeniería. Sin embargo, algunos de los participantes, afirmaron presentar una sensación de mareo luego de utilizar las gafas de realidad virtual.

Finalmente, se puede decir que la herramienta generó un impacto positivo, mostrando que el uso de la realidad virtual inmersiva mejora la forma de presentar los proyectos de construcción, dado que facilita el proceso de toma de decisiones en los acabados de la vivienda, además mejora

la comprensión espacial del proyecto y los participantes afirmaron que el uso de esta tecnología de visualización los motiva a invertir en la compra del proyecto.

2.5 Posibles aplicaciones y desarrollos futuros de realidad virtual inmersiva

Solución de problemas de colaboración remota

En 2016 se realizó un estudio para el desarrollo de una herramienta de realidad virtual que funciona para teléfonos celulares, con el fin de resolver problemas de colaboración y comunicación entre los miembros de un proyecto de construcción, que trabajan en diferentes áreas, permitiendo a cada uno de los involucrados del proyecto tener una mejor percepción de los espacios y dimensiones en la etapa de diseño y planificación [29].

Implementación de entornos virtuales para mejorar la consulta pública

Con el fin de mejorar la consulta pública y la participación en el proceso de planificación urbana, los investigadores T. Howard y N. Gaborit en 2007, presentaron un estudio en el que crearon entornos de realidad virtual donde los participantes podían ver el proyecto que se pretendía realizar y la zona en el que este se encontraba, mostrando a los usuarios las propuestas de planificación de una manera más realista. De esta forma, permitían a los ciudadanos realizar y observar las modificaciones del entorno en tiempo real, acceder a la información y dejar comentarios sobre las propuestas presentadas [1].

Desarrollo de prácticas de topografía con realidad virtual

En las prácticas de topografía tradicionales, la calidad y el progreso de la instrucción se ven afectados por factores como condiciones de mal tiempo, tipo de terreno, limitación en los instrumentos y excesiva cantidad de alumnos. Para lograr un mejor aprendizaje, en el año 2008 en el campus del Sur de la Universidad de Chung Hua, se presentó un estudio del uso de la realidad virtual como herramienta de enseñanza en los levantamientos topográficos, este sistema propone tanto a estudiantes como docentes un proceso interactivo y autónomo, en donde cada participante se encuentra inmerso en un entorno virtual, con la posibilidad de tener una retroalimentación inmediata dándole a conocer la magnitud y la distribución de los errores de elevación que se cometen durante el proceso [30].

Planificación en la construcción de fábricas empleando entornos virtuales

Buscando mejorar la distribución de espacios y el diseño de las fábricas, en 2016, se realizó un estudio en el cual se hacía uso de la realidad virtual donde los usuarios podían caminar en tiempo real por el futuro proyecto, dimensionando tamaños, distancias y nivel de comodidad del espacio de trabajo. Permitiendo a diseñadores, ingenieros, expertos en planificación y futuros empleados poder comprobar los diseños antes de ser construidos [31].

Realidad virtual en la enseñanza de los procesos constructivos

El sector educativo ha considerado las tecnologías de la información y comunicación como una herramienta clave para mejorar los procesos de aprendizaje. Los modelos tridimensionales (3D) y

la realidad virtual como instrumentos de enseñanza en el área de la ingeniería ofrece a los estudiantes la oportunidad de visualizar los conceptos que aprenden en el aula. El Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Técnica de Lisboa ha implementado modelos didácticos de realidad virtual para mostrar la secuencia de los procesos de construcción que permite la visualización paso a paso, los usuarios de estos modelos han sido sus estudiantes y por tanto la tecnología de realidad virtual en este caso fue aplicada con fines educativos [11].

Realidad virtual para la comprensión y análisis de disposiciones espaciales complejas

Algunos estudiantes pueden tener dificultades para entender conceptos tridimensionales representados en un salón de clase tradicional, donde los conceptos se presentan en una forma 2D, para aclarar estos arreglos 3D complejos los educadores frecuentemente han recurrido a visitas de obra, las cuales en muchas ocasiones están severamente limitadas por preocupaciones económicas y de seguridad. La realidad virtual es un ambiente rico para la comprensión y el análisis de las disposiciones tridimensionales complejas. El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Michigan ha estudiado el impacto que tiene la realidad virtual como complemento de la enseñanza de las disposiciones espaciales complejas en las aulas de ingeniería estructural en las cuales han implementado entornos virtuales que consisten en modelos de estructuras de algunos edificios donde los usuarios pueden explorar e investigar las conexiones en detalle y el espaciado entre elementos. Con base en los resultados obtenidos han concluido que la realidad virtual proporciona una herramienta única de aprendizaje para ser utilizada en el aula al explicar conceptos espaciales complejos y que además estos entornos virtuales presentan un método

eficiente y económico de transmitir conceptos a los estudiantes en las universidades donde el espacio de laboratorio o estructuras físicas no están disponibles [32].

3. CONCLUSIONES

A partir de los modelos BIM de proyectos de construcción es posible generar espacios de realidad virtual inmersiva, los cuales suministran una buena representación de la futura infraestructura, estos entornos virtuales permiten al usuario explorar las características de la vivienda y por tanto se considera que la realidad virtual funciona como una herramienta útil para la toma de decisiones en acabados de proyectos de construcción.

Con base en los resultados obtenidos de la encuesta desarrollada durante el estudio de esta investigación, se puede argumentar que el uso de la realidad virtual influye en las decisiones de los acabados en los proyectos de construcción, y que además permite a los usuarios tener una mejor comprensión de la distribución de espacios en la vivienda.

La realidad virtual incorpora beneficios desde la planeación y diseño del proyecto de construcción hasta las fases de gestión y operación, dado que implementando esta tecnología en la industria de la construcción se pueden explorar los proyectos mucho antes de que se hayan construido lo que permite visualizar diferentes soluciones técnicas y de diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. L. J. Howard y N. Gaborit, «Using Virtual Environment Technology to Improve Public Participation in Urban Planning Process», vol. 133, n.º December, pp. 233-241, 2007.
- [2] S. Woksepp y T. Olofsson, «Credibility and applicability of virtual reality models in design and construction», *Adv. Eng. Informatics*, vol. 22, n.º 4, pp. 520-528, 2008.
- [3] A. F. Waly y W. Y. Thabet, «A Virtual Construction Environment for preconstruction planning», vol. 12, pp. 139-154, 2002.
- [4] D. Nikolic, S. Jaruhar, y J. I. Messner, «Educational Simulation in Construction: Virtual Construction Simulator1», *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 25, n.º 6, pp. 421-429, 2011.
- [5] R. Laurini, *No Title*. Taylor & Francis London and New York, 2001.
- [6] M. E. Portman, A. Natapov, y D. Fisher-Gewirtzman, «To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning», *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 54, pp. 376-384, 2015.
- [7] E. R. Tufte, «Envisioning information». USA: Graphics Press., 1990.
- [8] B. Jiménez Fernández-Palacios, D. Morabito, y F. Remondino, «Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions», *J. Cult. Herit.*, vol. 23, pp. 40-48, 2016.
- [9] Collins Dictionary, «“Virtual Reality”. Collins English Dictionary – Complete & Unabridged 10th Edition.», 2014.
- [10] G. H. Otto, J. I. Messner, y L. Kalisperis, «Expanding the Boundaries of Virtual Reality for Building Design and Construction», pp. 1-10, 2005.
- [11] A. Z. Sampaio, M. M. Ferreira, D. P. Rosário, y O. P. Martins, «Automation in Construction 3D and VR models in Civil Engineering education : Construction , rehabilitation and

- maintenance», *Autom. Constr.*, vol. 19, n.º 7, pp. 819-828, 2010.
- [12] W. A. Abdelhameed, «Virtual reality use in architectural design studios: A case of studying structure and construction», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 220-230, 2013.
- [13] Schnabel, M. Aurel, X. Wang, H. Seichter, y T. Kvan, «Touching the Untouchables: Virtual-, Augmented- and Reality», en *CAADRIA 2008*, 2008.
- [14] G. C. Burdea y P. Coiffet, *Virtual reality technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
- [15] R. H y D. D, «Architectural Education and Virtual Reality Aided Design (VRAD)», 1997.
- [16] Y. Boas, «Overview of Virtual Reality Technologies», *Mms.Ecs.Soton.Ac.Uk*, 2013.
- [17] Juan A Barceló, «Visualizing what might be: an introduction to virtual reality techniques in archaeology», pp. 9-36, 2000.
- [18] A. Sherstyuk, D. Vincent, y A. Treskunov, «Towards Virtual Reality games», *Proc. 8th Int. Conf. Virtual Real. Contin. its Appl. Ind. - VRCAI '09*, p. 315, 2009.
- [19] Jorge García-Valldecabres, Eugenio Pellicer, y I. Jordan-Palomar, «BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM Jorge García-Valldecabres, Ph.D.; Eugenio Pellicer, Ph.D.; Isabel Jordan-Palomar», pp. 2228-2238, 2016.
- [20] N. O. Nawari, «BIM Standard in Off-Site Construction», *J. Archit. Eng.*, vol. 18, n.º 2, pp. 107-113, 2012.
- [21] A. Lucena, D. Mah, y F. Arain, «Enabling Building Information Modeling (BIM) practices in the Canadian construction industry: A case for an academic program», *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.*, vol. 122nd ASEE, n.º 122nd ASEE Annual Conference and Exposition: Making Value for Society, 2015.

- [22] X. Zeng y J. Tan, «Building information modeling based on intelligent parametric technology», *Front. Archit. Civ. Eng. China*, vol. 1, n.º 3, pp. 367-370, 2007.
- [23] Y. G. Xu, C. Qian, W. P. Sung, J. C. M. Kao, y R. Chen, «Lean Cost Analysis Based on BIM Modeling for Construction Project», *Front. Mech. Eng. Mater. Eng. II, Pts 1 2*, vol. 457-458, n.º 1, pp. 1444-1447, 2014.
- [24] W. Kim, B. Lee, y H. Kang, «Survey and Implications of Utilizing BIM in Construction Company». Construction & Economy Research Institute of Korea, Korea, pp. 1-8, 2012.
- [25] J. Shin y J. Choi, «Development of a Performance Management System for BIM in the Construction Industry 2 Development of BIM Performance Management Framework», vol. 2, n.º 2013, pp. 37-41, 2016.
- [26] D. Arditi, G. Polat, y S. A. Makinde, «Marketing Practices of U . S . Contractors», vol. 24, n.º October, pp. 255-264, 2008.
- [27] J. Huff, «PROFESSIONAL MARKETING IN SMALL», vol. 110, n.º 3, pp. 127-141, 1984.
- [28] J. E. Schaufelberger, «Marketing Construction Services», pp. 471-476.
- [29] A. R. Resolve y R. C. Issues, «Virtual and Augmented Reality Resolve», vol. 86, n.º September, pp. 41-42, 2016.
- [30] C. Li, I. Yeh, S. Chen, T. Chiang, y L. Lien, «Virtual Reality Learning System for Digital Terrain Model Surveying Practice», vol. 134, n.º October, pp. 335-345, 2008.
- [31] A. Kunz, M. Zank, M. Fjeld, y T. Nescher, «Real walking in virtual environments for factory planning and evaluation», *Procedia CIRP*, vol. 44, pp. 257-262, 2016.
- [32] S. Congress, «Structures Congress 2015 2557», pp. 2557-2564, 2015.

ANEXOS

The image shows a screenshot of the Microsoft Visual Studio IDE. The title bar reads 'Apartamento360 - Microsoft Visual Studio'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Ver', 'Proyecto', 'Compilar', 'Depurar', 'Equipo', 'Herramientas', and 'Analiz...'. The toolbar shows various icons for file operations and a 'Debug' dropdown menu. The active window is 'Cocina.cs'. The Solution Explorer on the left shows a project named 'Apartamento360' with a folder 'Cocina'. The main editor area displays the following C# code:

```

1 public class Cocina : PoliColores
2 {
3     public enum Colores
4     {
5         Crema,
6         Marron
7     }
8
9     public Colores color;
10
11     public void cambiarColor(string color)
12     {
13         this.color = getCodNombreColor(color);
14         _combinaciones.generarCodNombreTextura();
15     }
16
17     public void cambiarColor(Colores color)
18     {
19         this.color = color;
20         _combinaciones.generarCodNombreTextura();
21     }
22
23     public string getCodNombreColor()
24     {
25         string codNombre = "Cc_";
26
27         if (color == Colores.Crema)
28             codNombre = "Cc_";
29         else if (color == Colores.Marron)
30             codNombre = "Cm_";
31         else
32             codNombre = "Cc_";
33
34         return codNombre;
35     }
36
37     public Colores getCodNombreColor(string colorString)
38     {
39         Colores color = Colores.Crema;
40
41         if (colorString == Colores.Crema.ToString())
42             color = Colores.Crema;
43         else if (colorString == Colores.Marron.ToString())
44             color = Colores.Marron;
45         else
46             color = Colores.Crema;
47
48         return color;
49     }
50 }
51
52

```

Anexo A. Código para acabados cocina.

```

1 public class Muro : PoliColores
2 {
3     public enum Colores
4     {
5         Blanco,
6         Marron
7     }
8
9     public Colores color;
10
11    public void cambiarColor(string color)
12    {
13        this.color = getCodNombreColor(color);
14        _combinaciones.generarCodNombreTextura();
15    }
16
17    public void cambiarColor(Colores color)
18    {
19        this.color = color;
20        _combinaciones.generarCodNombreTextura();
21    }
22
23    public string getCodNombreColor()
24    {
25        string codNombre = "Mb_";
26
27        if (color == Colores.Blanco)
28            codNombre = "Mb_";
29        else if (color == Colores.Marron)
30            codNombre = "Mm_";
31        else
32            codNombre = "Mb_";
33
34        return codNombre;
35    }
36
37    public Colores getCodNombreColor(string colorString)
38    {
39        Colores color = Colores.Blanco;
40
41        if (colorString == Colores.Blanco.ToString())
42            color = Colores.Blanco;
43        else if (colorString == Colores.Marron.ToString())
44            color = Colores.Marron;
45        else
46            color = Colores.Blanco;
47
48        return color;
49    }
50 }
51

```

Anexo B. Código para acabados cocina.

The image shows a screenshot of the Microsoft Visual Studio IDE. The title bar reads 'Apartamento360 - Microsoft Visual Studio'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Ver', 'Proyecto', 'Compilar', 'Depurar', 'Equipo', 'Herramientas', and 'Analizar'. The toolbar shows various icons for file operations and debugging, with 'Debug' and 'Any CPU' selected. The active window is 'Piso.cs'. The Solution Explorer on the left shows a project named 'Apartamento360' with a folder 'Piso'. The main editor area displays the following C# code:

```

1 public class Piso : PoliColores
2 {
3     public enum Colores
4     {
5         Beige,
6         Gris
7     }
8
9     public Colores color;
10
11    public void cambiarColor(string color)
12    {
13        this.color = getCodNombreColor(color);
14        _combinaciones.generarCodNombreTextura();
15    }
16
17    public void cambiarColor(Colores color)
18    {
19        this.color = color;
20        _combinaciones.generarCodNombreTextura();
21    }
22
23    public string getCodNombreColor()
24    {
25        string codNombre = "Pb_";
26
27        if (color == Colores.Beige)
28            codNombre = "Pb_";
29        else if (color == Colores.Gris)
30            codNombre = "Pg_";
31        else
32            codNombre = "Pb_";
33
34        return codNombre;
35    }
36
37    public Colores getCodNombreColor(string colorString)
38    {
39        Colores color = Colores.Beige;
40
41        if (colorString == Colores.Beige.ToString())
42            color = Colores.Beige;
43        else if (colorString == Colores.Gris.ToString())
44            color = Colores.Gris;
45        else
46            color = Colores.Beige;
47
48        return color;
49    }
50
51 }
52

```

Anexo C. Código para acabados piso.

```

1  using UnityEngine;
2
3  public class Combinaciones : MonoBehaviour
4  {
5      private Cocina cCocina;
6      private Piso cPiso;
7      private Muro cMuro;
8
9      private string codNombreTextura = string.Empty;
10
11     [SerializeField]
12     private GameObject sphereVR;
13
14     void Awake ()
15     {
16         cCocina = GetComponent<Cocina>();
17         cPiso = GetComponent<Piso>();
18         cMuro = GetComponent<Muro>();
19
20         cCocina.setCombinaciones(this);
21         cMuro.setCombinaciones(this);
22         cPiso.setCombinaciones(this);
23     }
24
25     void Start()
26     {
27         generarCodNombreTextura();
28     }
29
30     public void generarCodNombreTextura ()
31     {
32         codNombreTextura = cPiso.getCodNombreColor() + cMuro.getCodNombreColor() + cCocina.getCodNombreColor();
33         cambiarTextura ();
34     }
35
36     void cambiarTextura ()
37     {
38         Texture2D textureTemp = Resources.Load("Textures/Apartamento/" + codNombreTextura) as Texture2D;
39         sphereVR.GetComponent<Renderer>().material.mainTexture = textureTemp;
40
41         codNombreTextura = string.Empty;
42     }
43 }
44

```

Anexo D. Código para combinación de acabados.