

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL**



**INFORME FINAL DEL CURSO DE ESPECIALIZACION:
EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

TITULO DEL INFORME FINAL:

**APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA SECUENCIA DE
CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Br. Edgardo Valentín Hernández Gómez N° CARNÉ HG17016
Br. Omar Eduardo Medina Torres N° CARNÉ MT17001
Br. Ada María Padilla Escobar N° CARNÉ PE18005

DOCENTE ASESOR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

NOVIEMBRE DE 2023

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR AUTORIDADES



RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

VICERRECTORA ACADÉMICA:

DR. EVELYN BEATRIZ FARFÁN

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ALARCÓN

DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS:

LICDO. LUIS ANTONIO MEJÍA LIPE

FISCAL GENERAL:

LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
AUTORIDADES



DECANO:

MSC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO

VICEDECANO:

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA

SECRETARIO:

LIC. CARLOS DE JESÚS SÁNCHEZ

DIRECTOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO:

MTRO. EVER ANTONIO PADILLA LAZO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

ING. RIGOBERTO LOPEZ

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL**

INFORME FINAL DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN:

**CURSO DE ESPECIALIZACION EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA DE
LA CONSTRUCCIÓN**

TITULO DEL INFORME FINAL:

**APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA SECUENCIA DE
CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA DE
CONCRETO**

**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN, PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO
DE:**

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Br. Edgardo Valentín Hernández Gómez	Nº CARNÉ HG17016
Br. Omar Eduardo Medina Torres	Nº CARNÉ MT17001
Br. Ada María Padilla Escobar	Nº CARNÉ PE18005

CURSO DE ESPECIALIZACION APROBADO POR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

DOCENTE ASESOR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

NOVIEMBRE DE 2023

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

RESUMEN:

En el vasto ámbito de la ingeniería civil, donde la excelencia en la planificación, ejecución y calidad de las estructuras se eleva al estatus de imperativo fundamental, la construcción de muros de mampostería de concreto se erige como una fase de singular importancia. Esta actividad se desenvuelve en el interseccionado cruce de precisión técnica, comprensión de procedimientos constructivos y ejecución eficaz. El artículo que se presenta se enfoca en la descripción del aporte de la Realidad Virtual en la construcción, a través del modelo de un muro de mampostería de concreto. Este modelo se centra en permitir una simulación visual del proceso de construcción del elemento antes mencionado, lo que se traduce en una valiosa herramienta en la eficiencia de este tipo proyectos de ingeniería civil. **OBJETIVOS.** Valorar el impacto que tiene la tecnología de la realidad virtual sobre la comprensión de procesos constructivos en un muro de mampostería de concreto. **METODOLOGIA.** La elaboración del presente artículo se inscribe en el paradigma de la investigación cualitativa, particularmente, en el metanálisis, de tal manera que se identifica el resultado de diversas investigaciones y reportes sobre el modelo de Realidad Virtual de un muro de mampostería de concreto. **RESULTADOS.** Indican que la Realidad Virtual mejora la comprensión de procedimientos constructivos, facilita la detección temprana de errores y mejora la comunicación multidisciplinaria en proyectos de construcción. **CONCLUSIONES** Se destaca la utilidad de la Realidad Virtual para transformar la forma en que se abordan los desafíos en la ingeniería civil, ofreciendo beneficios significativos en términos de eficiencia, prevención de errores y toma de decisiones en proyectos de muros de mampostería de concreto.

Palabras clave: Ingeniería civil, Muros de mampostería de concreto, Precisión técnica, Procedimientos constructivos, Realidad Virtual (RV), Construcción.

ABSTRACT:

In the vast field of civil engineering, where excellence in planning, execution, and quality of structures rises to the status of a fundamental imperative, the construction of concrete masonry walls stands out as a phase of singular importance. This activity unfolds at the intersecting junction of technical precision, understanding of construction procedures, and effective execution. The presented article focuses on describing the contribution of Virtual Reality to construction, through the model of a concrete masonry wall. This model aims to enable a visual simulation of the construction process of the aforementioned element, translating into a valuable tool for efficiency in such civil engineering projects. **OBJECTIVES.** To assess the impact of virtual reality technology on the understanding of construction processes in a concrete masonry wall. **METHODOLOGY.** The development of this article is framed within the paradigm of qualitative research, particularly in meta-analysis, identifying the results of various studies and reports on the Virtual Reality model of a concrete masonry wall. **RESULTS.** Indicate that Virtual Reality enhances the understanding of construction procedures, facilitates early error detection, and improves multidisciplinary communication in construction projects. **CONCLUSIONS.** Emphasize the utility of Virtual Reality in transforming how challenges in civil engineering are addressed, offering significant benefits in terms of efficiency, error prevention, and decision-making in concrete masonry wall projects.

Keywords: Civil engineering, Concrete masonry walls, Technical precision, Construction procedures, Virtual Reality (VR), Construction

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN:	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
DELIMITACION DEL PROBLEMA	9
JUSTIFICACION	10
OBJETIVOS	12
Objetivo general:.....	12
Objetivo específico:	12
MARCO TEORICO CONCEPTUAL	13
Tecnología de la Realidad Virtual	13
Realidad Virtual en la construcción.....	13
Muros de mampostería de concreto	13
Muros de mampostería de concreto y Realidad Virtual.....	14
RV para ayudar a evitar malos procedimientos constructivos en muros de mampostería.....	14
METODOLOGIA	15
MODELO DE REALIDAD VIRTUAL DE MURO DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO ..	17
Proceso constructivo estándar empleado en la simulación virtual para la elaboración del muro de mampostería de concreto.....	19
Errores constructivos que se pueden identificar en la simulación virtual del muro de mampostería de concreto	20
La Realidad Virtual en la fase de ejecución.....	22
Aplicaciones y beneficios	22
DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	23
CONCLUSIONES	25
RECOMENDACIONES.....	25
REFERENCIAS.....	26

INTRODUCCIÓN:

En el vasto ámbito de la ingeniería civil, donde la excelencia en la planificación, ejecución y calidad de las estructuras se eleva al estatus de imperativo fundamental, la construcción de muros de mampostería de concreto se erige como una fase de singular importancia. Esta actividad se desenvuelve en el interseccionado cruce de precisión técnica, comprensión de procedimientos constructivos y ejecución eficaz. No obstante, no se puede soslayar la magnitud de los desafíos que esta empresa conlleva. Estos desafíos, que se propagan desde la inherente complejidad del proceso de construcción hasta la necesidad perentoria de esquivar errores costosos, acarrear la responsabilidad de asegurar no solo la eficacia en la edificación, sino también la seguridad y la integridad de las estructuras que emergen de estos esfuerzos. En este contexto de continuo desarrollo y evolución tecnológica, la tecnología de Realidad Virtual se alza como una herramienta potencialmente transformadora, con capacidad para irrumpir y revolucionar de manera trascendental la ingeniería civil. Esta tecnología, que combina software y hardware avanzados para generar entornos virtuales inmersivos y realistas, ha sido reconocida como un recurso versátil y sumamente promisorio para la representación visual detallada y la simulación envolvente de procesos constructivos. Particularmente, un modelo de RV que simule la construcción de muros de mampostería de concreto se proyecta como la vía por excelencia para brindar una visión precisa y holística de la secuencia de construcción, destacar los elementos críticos y forjar una vía eficaz de comunicación entre los diversos equipos multidisciplinarios que convergen en estos desafiantes proyectos. El artículo que se presenta se enfoca en el análisis y aplicación de un modelo de RV de un muro de mampostería de concreto. Este modelo se centra en permitir una simulación visual detallada del proceso de construcción del elemento antes mencionado, lo que se traduce en una valiosa herramienta en la de ejecución de proyectos de ingeniería civil.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el campo de la ingeniería civil, la construcción de muros de mampostería de concreto es parte integral fundamental de un sistema estructural que requiere precisión, comprensión de los procedimientos constructivos y una ejecución eficiente. Sin embargo, esta tarea presenta desafíos que van desde la complejidad del proceso de construcción hasta la necesidad de evitar errores costosos y garantizar la calidad y la seguridad de las estructuras resultantes.

En nuestro medio, la observable ejecución deficiente en la construcción de muros de mampostería de concreto, atribuible a la carencia de formación especializada en los procedimientos constructivos, engendra una serie de inconvenientes que impactan negativamente en la eficacia y calidad de las edificaciones. Dichos errores abarcan desde la insuficiente preparación de la base, la utilización de mortero inapropiado y la falta de consolidación del mismo, desalineación y desnivelación, inadecuado espaciado entre unidades, omisión de refuerzo estructural, entre otros, culmina en la necesidad de efectuar reparaciones y retrabajos onerosos para subsanar tales problemáticas. Este escenario acarrea costos adicionales en términos de recursos empleados en mano de obra y materiales. Además, cuando la comprensión de los componentes esenciales de los muros es insuficiente, se incurre en la inclusión de unidades incorrectas o defectuosas en la estructura, lo que conlleva la imperante sustitución de dichas unidades con materiales apropiados. Tal proceder no solo implica desembolsos suplementarios en cuanto a material se refiere, sino también la consiguiente inversión de tiempo requerida para llevar a cabo la desinstalación y posterior reinstalación. No obstante, uno de los aspectos recurrentes en este contexto radica en el incumplimiento de las especificaciones, lo cual deriva en una construcción defectuosa con una disminución de la vida útil de la edificación. Esto, a su vez, traduce en gastos adicionales destinados a labores de mantenimiento y reparación que perduran durante el ciclo de vida de la estructura. Por añadidura, la falta de comunicación efectiva y colaboración insuficiente entre arquitectos, ingenieros y contratistas propicia interpretaciones erróneas, decisiones subóptimas y, en última instancia, la materialización de construcciones deficientes.

DELIMITACION DEL PROBLEMA

El problema de investigación se centra en la aplicación de la tecnología de Realidad Virtual (RV) en el análisis de un modelo de un muro de mampostería de concreto. Esta investigación se enfoca en la utilización de la RV para mejorar la comprensión de los procesos constructivos, eficiencia y toma de decisiones en las fases de ejecución del elemento mencionado.

Área de Estudio: Ingeniería Civil.

Contexto Temporal: Por las características propias de un alcance corto de la investigación. Se desarrolla en el último trimestre del año 2023

Contexto Geográfico: Aplicable principalmente en el área geográfica oriental de El Salvador

Población o Muestra: Profesionales, arquitectos, ingenieros, constructores y estudiantes involucrados en proyectos de mampostería de concreto.

Variables Relevantes: Uso de RV en la construcción de mampostería de concreto, comprensión de procesos constructivos, eficiencia en la construcción, toma de decisiones multidisciplinarias.

Metodología: Investigación cualitativa basada en el metaanálisis de fuentes de información relevantes, incluyendo tesis, artículos y consultas a expertos del campo.

Limitaciones:

- **Desarrollo incipiente en tecnología de RV:** El Salvador se encuentra en una etapa temprana de desarrollo en esta tecnología. La disponibilidad limitada de recursos, expertos, tecnología y espacios como laboratorios de RV, obstaculizaron la investigación sobre implementación de la RV en la construcción.
- **Limitaciones presupuestarias:** Las limitaciones presupuestarias en instituciones académicas o de investigación restringieron el alcance y la profundidad de esta investigación en el campo de la RV.
- **Nula incorporación de la RV en proyectos locales:** La falta de proyectos de construcción que incorporen RV limitaron las oportunidades de investigación en situaciones de la vida real.
- **Limitaciones en la adopción de tecnología:** La adopción de la RV en la construcción puede ser lenta debido a la resistencia al cambio y a la falta de conciencia sobre los beneficios de esta tecnología. Esto dificultó la identificación de casos de estudio relevantes.
- **Capacidades de recolección de datos:** La falta de tecnología y capacidad para recopilar datos de campo de manera efectiva durante proyectos de muros de mampostería de concreto que utilizan RV dificultó la obtención de información relevante y precisa.

JUSTIFICACION

La presente investigación se fundamenta en la creciente importancia de la Realidad Virtual (RV) en el campo de la ingeniería civil, específicamente en su aplicación en la construcción de muros de mampostería de concreto. La RV, una tecnología que emplea software y hardware avanzados para crear entornos virtuales inmersivos y realistas, ha emergido como una herramienta disruptiva con el potencial de transformar los procesos de diseño y construcción en la industria de la construcción. En este contexto, la justificación de esta investigación se articula en torno a varios aspectos clave:

Revolución Tecnológica en la Construcción:

La industria de la construcción ha experimentado una revolución tecnológica en los últimos años, con la adopción de tecnologías de información y comunicación (TIC) que están transformando la forma en que se diseñan y ejecutan proyectos. La RV se presenta como una de las tecnologías más prometedoras en este contexto, con la capacidad de ofrecer representaciones tridimensionales altamente realistas de proyectos de construcción y permitir a los profesionales interactuar con ellos de manera inmersiva. Su adopción se ha acelerado debido a su potencial para mejorar la eficiencia, la precisión y la toma de decisiones en las diferentes fases de un proyecto de construcción.

Optimización de Procesos Constructivos:

La construcción de muros de mampostería de concreto es una tarea crítica en la industria de la construcción, y su correcta ejecución es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras. Sin embargo, la construcción de estos muros implica una serie de procesos y actividades que requieren una coordinación precisa y un seguimiento riguroso. La utilización de la RV en este contexto puede permitir una visualización detallada de los procesos constructivos, la identificación temprana de errores potenciales y la mejora de la comunicación entre los diversos actores involucrados en un proyecto, incluidos arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes.

Necesidad de Reducir Errores Constructivos:

Los errores constructivos en la edificación de muros de mampostería de concreto pueden ser costosos y peligrosos. La omisión de una adecuada preparación de la base, el uso de mortero incorrecto, la falta de consolidación del mortero o la incorporación de unidades defectuosas son solo algunos ejemplos de errores comunes que pueden comprometer la seguridad y la calidad de las estructuras. La RV ofrece una plataforma de capacitación y simulación efectiva para prevenir estos errores al permitir a los profesionales simular procedimientos constructivos en un entorno virtual antes de llevarlos a cabo en la realidad.

Contribución a la Ingeniería Civil:

La investigación propuesta contribuirá significativamente al campo de la ingeniería civil al explorar las aplicaciones de la RV en la construcción de muros de mampostería de concreto. Los resultados de esta investigación tienen el potencial de proporcionar una visión más profunda de cómo la RV puede optimizar los procesos constructivos y mejorar la calidad de las estructuras

construidas. Además, al impulsar la adopción de tecnologías avanzadas en la construcción, esta investigación podría allanar el camino para una industria de la construcción más eficiente, segura y sostenible.

Esta investigación se justifica por la creciente relevancia de la RV en la industria de la construcción, la necesidad de optimizar los procesos constructivos, la importancia de reducir errores constructivos y la contribución potencial a la ingeniería civil y la sociedad en general. La investigación busca abordar una brecha en el conocimiento al explorar la aplicación de la RV en la construcción de muros de mampostería de concreto, con el objetivo de mejorar la calidad y eficiencia de los proyectos de construcción.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Valorar el impacto que tiene la tecnología de la realidad virtual sobre la comprensión de procesos constructivos en un muro de mampostería de concreto.

Objetivo específico:

- Describir el aporte de la realidad virtual en la construcción a través del modelo de un muro de mampostería de concreto.

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

Tecnología de la Realidad Virtual

VR se refiere a tecnologías informáticas que utilizan software para generar imágenes realistas, sonidos y otras sensaciones que representan un entorno inmersivo y simulan la presencia física de un usuario al permitir interacciones en tiempo real a través de canales sensoriomotores. [1]

Un sistema de RV generalmente consta de más de un dispositivo de hardware para su funcionamiento completo. En general, el hardware de un sistema de RV se puede clasificar en tres tipos según su uso, a saber, dispositivos de visualización, dispositivos de captura de movimiento (mocap) y dispositivos interactivos. Un dispositivo de visualización es el elemento esencial de un sistema de RV, que produce imágenes estereoscópicas para los usuarios. Las paredes de visualización, los HMD (dispositivos de visualización montados en la cabeza) y los dispositivos portátiles son tres tipos comúnmente utilizados de equipos de visualización. [2]

Realidad Virtual en la construcción

La visualización en realidad virtual está demostrando ser una herramienta útil durante la fase de construcción del trabajo en múltiples ocasiones para varios actores involucrados, mejorando y acelerando el proceso de toma de decisiones. En particular, el uso de la tecnología de realidad virtual puede permitir:

- Una vista inmersiva del modelo BIM en construcción y sus fases de construcción (simulación BIM 4D) tanto para una mejor planificación de las actividades en el sitio de construcción como para monitorear y mostrar en tiempo real el progreso de las obras.
- Una comprensión más rápida y profunda del trabajo, los procesos y sus secuencias de construcción correctas por parte del equipo, reduciendo los riesgos o trabajos adicionales.
- La creación de entornos virtuales colaborativos que permiten a los miembros del equipo de trabajo colaborar de forma remota.
- El monitoreo remoto del edificio en construcción a través de videos e imágenes de 360 grados combinando tecnologías de realidad virtual y cámaras de video 3D. [3]

Muros de mampostería de concreto

Los muros de mampostería de concreto son estructuras construidas utilizando unidades prefabricadas de concreto, como bloques o ladrillos, unidas con mortero de cemento, y reforzadas con componentes de acero. Estas unidades se disponen de manera ordenada y se conectan mediante mortero para formar una pared o muro. Los muros de mampostería de concreto se utilizan comúnmente en la construcción de edificios, paredes de contención, viviendas y otras estructuras.[4]

Muros de mampostería de concreto y Realidad Virtual

La realidad virtual (VR) se puede utilizar para mejorar el diseño y la construcción de muros de mampostería al proporcionar experiencias inmersivas y mejorar la comunicación entre los constructores y los clientes. La tecnología de realidad virtual permite a los clientes visualizar la construcción planificada en un entorno 3D antes de que comience la construcción real, lo que aumenta su satisfacción y reduce el riesgo de demolición posterior a la construcción debido a los resultados insatisfactorios [5] [6]. Además, la realidad virtual se puede utilizar para simular el proceso de construcción, lo que ayuda a los constructores a analizar y realizar un seguimiento del progreso, resolver errores y mejorar la comunicación con los clientes [7]. En general, la realidad virtual ofrece una forma más eficiente y precisa de construir muros de mampostería, sustituyendo a los métodos tradicionales que son propensos a errores y brechas de comunicación [7].

RV para ayudar a evitar malos procedimientos constructivos en muros de mampostería

La Realidad Virtual (RV) puede desempeñar un papel crucial en la prevención de malos procedimientos constructivos en muros de mampostería al ofrecer una plataforma de capacitación y simulación altamente efectiva para arquitectos, ingenieros y constructores:

- **Simulación de procedimientos constructivos:** La RV permite crear entornos virtuales que imitan los procedimientos constructivos del mundo real. Los profesionales pueden visualizar la construcción de muros de mampostería en un entorno virtual antes de llevarlo a cabo en el mundo real, lo que ayuda a identificar y corregir errores potenciales.
- **Capacitación y formación:** La RV puede ser utilizada para capacitar a trabajadores y contratistas en los procedimientos correctos de construcción de mampostería. Esto incluye la correcta preparación de la base, la selección de materiales, la disposición de ladrillos o piedras, la aplicación de mortero y otros aspectos críticos. La capacitación en RV puede ser repetitiva y personalizada, lo que mejora la retención del conocimiento.
- **Evaluación de competencia:** La RV también puede ser utilizada para evaluar la competencia de los trabajadores en la construcción de mampostería. Los supervisores pueden observar a los trabajadores realizando tareas en un entorno virtual y evaluar su desempeño, identificando áreas en las que necesitan mejorar.
- **Prevención de errores costosos:** La construcción de mampostería mal ejecutada puede ser costosa de corregir una vez que se ha completado. La RV permite identificar y rectificar errores en una etapa temprana, lo que ahorra tiempo y dinero.
- **Colaboración multidisciplinaria:** La RV también facilita la colaboración entre diferentes profesionales, como arquitectos, ingenieros estructurales y contratistas, al proporcionar una plataforma compartida para revisar y discutir proyectos de construcción de muros de mampostería.

La RV ofrece una herramienta poderosa para la capacitación, simulación y evaluación de procedimientos constructivos en muros de mampostería, lo que puede contribuir a evitar malos procedimientos constructivos y mejorar la calidad de la construcción en este tipo de proyectos.

METODOLOGIA

1. TIPO DE INVESTIGACION

- **Paradigma de Investigación:** La investigación se enmarca en el paradigma cualitativo, que se centra en comprender y explorar fenómenos, procesos y comportamientos en profundidad.
- **Método de Investigación:** Se utiliza el método de metaanálisis, que implica la síntesis y análisis de información cualitativa a partir de diversas fuentes.

2. VARIABLES DE ESTUDIO

- **Variables Relevantes:** Uso de RV en la construcción de mampostería de concreto, comprensión de procesos constructivos, eficiencia en la construcción, toma de decisiones multidisciplinarias.

3. TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

Selección de Fuentes de Información:

- **Fuentes de Información:** Se recopila información relevante de fuentes diversas, incluyendo una tesis académica, un artículo científico y cinco documentos técnicos relacionados con la aplicación de RV en la construcción de muros de mampostería de concreto. Dichas fuentes se encuentran debidamente citadas en las referencias
- **Criterios de Selección:** Se seleccionan fuentes que sean resultados de investigaciones originales y publicaciones en revistas internacionales, garantizando su calidad y pertinencia.

Consulta a Expertos y Visitas de campo:

- **Consulta a Expertos del Campo:** Para fortalecer los hallazgos y patrones identificados a partir de la información recopilada, se realizó una consulta a experto en el campo de la ingeniería civil y la tecnología de RV. Además de la visita de campo a dos proyectos donde se estuvieran ejecutando obras de muros de mampostería de concreto.

4. ANALISIS O PROCESAMIENTO

Análisis y Síntesis de Información:

- **Análisis Comparativo:** Se emplea un método comparativo para identificar similitudes y diferencias en los resultados, conclusiones y hallazgos de las fuentes seleccionadas.
- **Patrones de Comportamiento:** El análisis comparativo tiene como objetivo identificar patrones de comportamiento en la aplicación de la RV en la construcción de muros de mampostería de concreto.

Análisis del Modelo de RV de Muro de Mampostería de Concreto:

- **Análisis del Modelo:** Se analiza un modelo de RV que simula detalladamente el proceso de construcción de un muro de mampostería de concreto. Este modelo se desarrolla en un entorno virtual y sigue una secuencia de construcción realista.
- **Componentes del Modelo:** El modelo incluye elementos clave, como cimientos, columnas, vigas, paneles de relleno, juntas de expansión, refuerzo estructural y otros elementos relevantes en la construcción de muros de mampostería.

Simulación y Visualización del Proceso Constructivo:

- **Simulación Visual:** La RV permite la simulación visual de cada fase del proceso constructivo del muro, incluyendo la preparación del sitio, la adquisición de materiales, la colocación de unidades de mampostería, la unión con mortero, la construcción de juntas de expansión y control, la incorporación de refuerzo estructural, entre otros.
- **Control de Duración y Enfoque:** El usuario puede controlar la duración de tiempo que se muestra para cada fase y observar el modelo utilizando diferentes cámaras y posiciones de zoom para una percepción correcta de los detalles de los elementos de construcción.

Identificación de Errores Constructivos:

- **Identificación de Errores:** La RV permite resaltar y examinar en detalle cada elemento incorporado en el modelo, lo que facilita la identificación de errores constructivos como la deficiente preparación de la base, el uso de mortero inadecuado, la falta de consolidación del mortero, entre otros.

5. DISCUSION DE RESULTADOS

- **Resultados:** El modelo de RV tiene aplicaciones en la visualización precisa de procesos constructivos, la identificación de problemas potenciales, la mejora de la comunicación en equipos multidisciplinarios y la formación de profesionales de la construcción.
- **Patrones Identificados:** La investigación produce resultados que identifican patrones de comportamiento en la aplicación de la RV en los modelos para la ejecución de muros de mampostería de concreto.
- **Conclusiones:** Con base en los resultados, se presentan conclusiones sobre la implementación efectiva de la RV en la ejecución de muros de mampostería de concreto, con el objetivo de mejorar la calidad, la seguridad y la eficiencia

MODELO DE REALIDAD VIRTUAL DE MURO DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO

Un muro de mampostería de concreto, constituye un componente esencial de prácticamente todas las construcciones estándar. La planificación y ejecución de su diseño son cruciales para la estabilidad y funcionalidad de cualquier construcción. La importancia de este componente reside en su capacidad para proporcionar soporte estructural y aislamiento térmico, lo que impacta directamente en la seguridad y la comodidad de los ocupantes. El modelo de RV en cuestión se enfoca en este muro de mampostería de concreto, y su relevancia radica en su capacidad para permitir una simulación visual detallada de su proceso de construcción.

Para permitir la simulación visual de la construcción del muro, el modelo geométrico generado se compone de un conjunto de elementos, cada uno representando un componente de la construcción [8]. La definición del modelo 3D de un muro de un edificio convencional incluye (*figura 1*): los elementos estructurales (cimientos, columnas y vigas), los paneles verticales de relleno (con la placa de aislamiento térmico colocada entre los paneles de ladrillo y las losas de piedra colocadas en la superficie exterior) y dos elementos de cavidad (puerta y ventana).

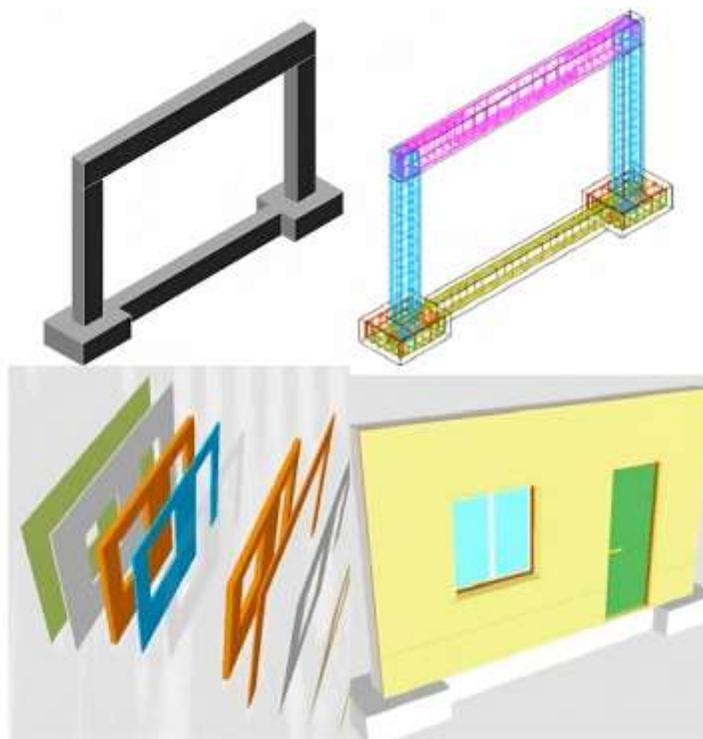


Figura 1: "Modelos 3D de refuerzos de acero de los elementos estructurales, los paneles verticales de relleno y las aberturas de puertas y ventanas."

El modelo geométrico completo se transfirió al sistema de RV EON. En este sistema, se programó la simulación visual del proceso de construcción de la pared, siguiendo un plan realista del progreso de la construcción. El orden en el que se muestran y se incorporan consecutivamente los

componentes en el modelo virtual representa adecuadamente la evolución real del muro en construcción:

- Durante la animación, el usuario puede controlar la duración de tiempo que se muestra cada fase y observar el modelo utilizando las cámaras y las posiciones de zoom más adecuadas para una percepción correcta de los detalles de los elementos de construcción (*figura 2*).

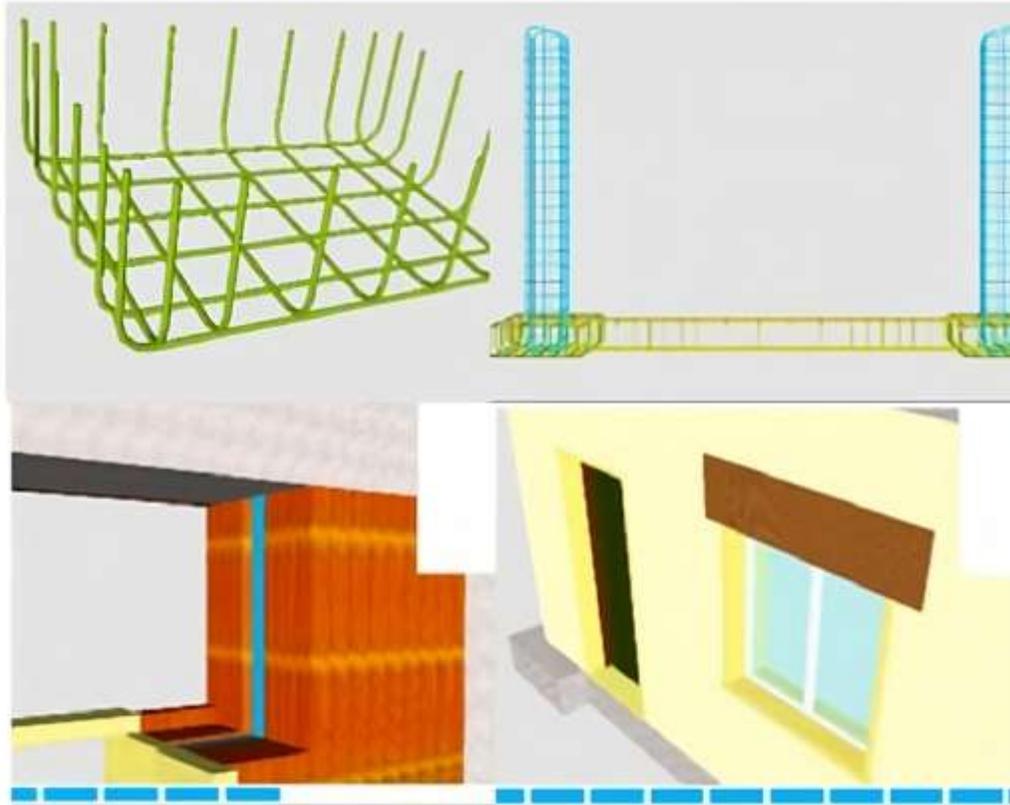


Figura 2: "Control de duración temporal y posiciones de zoom."

- Es posible resaltar el componente incorporado en cada nueva fase y examinarlo en detalle (*figura 3*).
- Se incluye, debajo de la ventana en la que se muestra la escena virtual, una barra que muestra el progreso de la construcción. A lo largo de la animación, la barra se llena progresivamente, con pequeños rectángulos que simbolizan el porcentaje de cada fase en relación con la construcción de la pared completada. A través de símbolos, representa los diagramas normalmente utilizados en los planos de construcción (*figura 3*).
- Simultáneamente, con la visualización de cada fase, se muestra un texto (en la esquina superior derecha de la ventana) (*figura 3*), que proporciona datos relacionados con la etapa mostrada, como su posición dentro de la secuencia de construcción, la descripción de la actividad y las características del material del elemento incorporado.

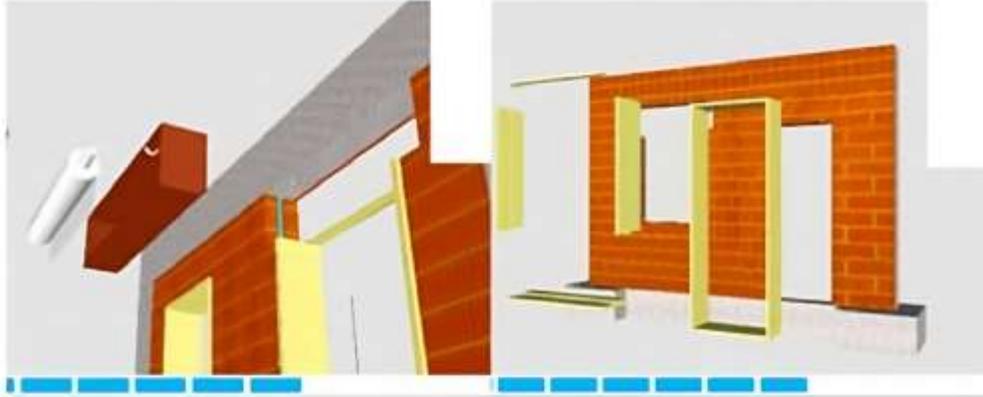


Figura 3: "Elementos del modelo global del muro."

El desarrollo del modelo fue respaldado por un ingeniero especializado en construcción, lo que garantiza que el modelo muestre una secuencia de construcción válida y que la configuración de cada componente se haya definido con precisión [9].

Proceso constructivo estándar empleado en la simulación virtual para la elaboración del muro de mampostería de concreto.

El proceso constructivo para la elaboración de un muro de mampostería de concreto implica varios pasos clave. A continuación, se describen los pasos típicos involucrados en la simulación de realidad virtual del modelo:

1. Planificación y diseño

- Se inicia con la creación de un diseño estructural que abarca la ubicación precisa, la altura y las dimensiones del muro, además de la especificación detallada de los materiales a emplear.
- Se gestiona la obtención de los permisos de construcción necesarios y se garantiza el cumplimiento de las regulaciones locales aplicables.

2. Preparación del sitio:

- Se procede con la limpieza del terreno y la excavación del área destinada al muro, asegurándose de que la base esté nivelada y debidamente compactada.
- Se realiza la construcción de una base de cimientos que servirá como soporte sólido para el muro.

3. Adquisición de materiales y herramientas:

- Se efectúa la adquisición de bloques de mampostería de concreto, mortero, y refuerzo estructural.
- Se obtienen las herramientas esenciales, como paletas, niveles, llanas, cinceles, mazos, entre otras.

4. Mezcla de mortero:

- Se procede a preparar el mortero siguiendo estrictamente las especificaciones proporcionadas por el fabricante. Se respetan las proporciones de diseño adecuadas de agua y cemento para lograr la consistencia deseada.

5. Colocación de unidades de mampostería:

- Se inicia la colocación de las unidades de mampostería de concreto, sobre la base previamente preparada.
- Se asegura que las unidades estén niveladas y alineadas de manera precisa mediante la utilización de un nivel y una cuerda de albañil como referencia.
- Previamente a la colocación, se aplica una capa de mortero en la parte inferior de cada unidad para garantizar una óptima adherencia.

6. Unión con mortero:

- Se procede a aplicar el mortero entre las juntas de las unidades utilizando una paleta o llana, asegurando que las juntas se encuentren rellenas de manera uniforme, sin la presencia de burbujas de aire atrapadas.

7. Construcción de juntas de expansión y control:

- Se instalan juntas de expansión y control en intervalos regulares para permitir la dilatación y contracción del muro sin ocasionar daños estructurales.

8. Refuerzo estructural:

- Se incorpora refuerzo estructural, como barras de refuerzo, dentro del muro para reforzar su resistencia y estabilidad.

9. Continuación de la construcción:

- Se prosigue con la colocación de unidades y la aplicación de mortero en capas sucesivas hasta alcanzar la altura deseada.

10. Acabado y limpieza:

- Se procede a limpiar el exceso de mortero de las superficies de las unidades utilizando una esponja húmeda antes de que este se endurezca por completo.
- Se mantiene una alineación y nivelación precisa de las unidades a medida que se avanza en la construcción.

11. Curado del muro:

- Después de la finalización de la construcción, se lleva a cabo el proceso de curado para proteger el muro de la desecación. Se cubre el muro con material plástico y se mantiene húmedo durante varios días.

12. Inspección y control de calidad:

- Se realizan inspecciones exhaustivas para verificar que el muro cumple con las especificaciones de diseño y las normativas de construcción aplicables.

Errores constructivos que se pueden identificar en la simulación virtual del muro de mampostería de concreto

La ejecución de muros de mampostería de concreto puede propiciar diversas prácticas incorrectas con el potencial de comprometer la seguridad, durabilidad y estética de la estructura en cuestión. A continuación, se detallan algunas de las deficiencias que se pueden identificar en la simulación de realidad virtual del muro de mampostería de concreto:

1. **Deficiente preparación de la base:** La omisión de una preparación idónea de la superficie sobre la cual se erigirá el muro de mampostería conduce a asentamientos desiguales y problemas de estabilidad. Requisito fundamental es lograr una base nivelada, adecuadamente compactada y uniforme.
2. **Utilización de mortero inadecuado:** El empleo de mortero inapropiado, ya sea por su composición o mezcla incorrecta, debilita la cohesión entre los bloques o ladrillos. Es imperativo utilizar el mortero recomendado por el fabricante y seguir rigurosamente las proporciones de mezcla especificadas.
3. **Insuficiente consolidación del mortero:** La falta de compactación del mortero entre las unidades de mampostería resulta en la formación de espacios vacíos y una conexión deficiente. Se requiere el uso de paletas o llanas para garantizar una distribución uniforme del mortero, eliminando la presencia de bolsas de aire.
4. **Desalineación y desnivelación:** La desatención en mantener los bloques o ladrillos debidamente nivelados y alineados produce una apariencia irregular y una estructura con deficiencias de estabilidad. Se hace imprescindible el empleo de niveladores y cuerdas de albañil para preservar la alineación correcta.
5. **Inadecuado espaciado entre unidades:** El dejar un espacio inadecuado entre las unidades de mampostería afecta negativamente la resistencia y estabilidad del muro. El espacio Inter unidades debe cumplir las especificaciones de diseño y mantener uniformidad a lo largo del muro.
6. **Incorporación de unidades dañadas o defectuosas:** La omisión de una inspección previa a la instalación puede llevar a la inclusión de bloques o ladrillos dañados o defectuosos, lo que disminuye la resistencia y la integridad del muro.
7. **Omisión de refuerzo estructural:** En situaciones que requieren el refuerzo estructural, como la inclusión de barras de refuerzo o armaduras, la no incorporación de estos elementos pone en riesgo la estabilidad del muro y su capacidad de carga.
8. **Exceso de mortero o acabado inadecuado:** La falta de remoción del mortero sobresaliente de las juntas o el acabado incorrecto impacta negativamente en la estética del muro y su capacidad para resistir elementos ambientales.
9. **Descuido en juntas de expansión y control:** La omisión de juntas de expansión y control en muros extensos resulta en la formación de fisuras y daño estructural debido a la expansión y contracción térmica.
10. **Incumplimiento de especificaciones de diseño:** La falta de observancia de las especificaciones de diseño y las recomendaciones del ingeniero estructural puede dar lugar a

problemas sustanciales. Es crucial adherirse a las especificaciones y directrices proporcionadas en los planos de construcción.

Evitar prácticas incorrectas resulta fundamental para salvaguardar la integridad y longevidad de los muros de mampostería de concreto. Se exhorta enfáticamente la supervisión profesional y la conformidad con las normativas de construcción locales y nacionales.

La Realidad Virtual en la fase de ejecución

La fase de ejecución es el punto crítico donde se materializa el diseño y se construye la estructura. La RV también desempeña un papel fundamental en esta etapa:

- Durante la ejecución, el modelo de RV guía a los equipos de construcción, proporcionando una representación visual precisa de la secuencia de construcción. Esto asegura que cada componente se incorpore en el orden correcto y de la manera más eficiente posible.
- La capacidad de resaltar y examinar en detalle cada elemento recién incorporado permite una construcción precisa y evita errores que podrían resultar en costosos retrasos.
- La barra de progreso visual en el modelo refleja el avance de la construcción y proporciona un marco claro de referencia para los equipos de trabajo, asegurando una ejecución fluida y controlada.

Aplicaciones y beneficios

El modelo de RV presenta una serie de aplicaciones y beneficios en el campo de la ingeniería civil. Primordialmente, permite a los ingenieros y diseñadores:

- Visualizar con precisión los procesos constructivos, lo que facilita la comprensión de la interacción entre los diferentes componentes del muro de mampostería de concreto.
- Identificar problemas potenciales y soluciones de manera más eficiente, lo que es crucial para garantizar la seguridad y la calidad de la construcción.
- Facilitar la comunicación y la toma de decisiones en equipos multidisciplinarios, ya que el modelo sirve como punto de referencia visual común.
- Brindar una valiosa herramienta de formación y educación para estudiantes y profesionales de la construcción, lo que contribuye a la formación de futuros expertos en ingeniería civil.

Un aspecto esencial es que el desarrollo de este modelo contó con el respaldo de un ingeniero especializado en construcción. Esto garantiza que el modelo represente una secuencia de construcción válida y que la configuración de cada componente se haya definido con precisión.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio, se ha desarrollado un modelo de Realidad Virtual (RV) destinado a simular de manera minuciosa el proceso de construcción de un muro de mampostería de concreto en el contexto de la ingeniería civil. Los resultados obtenidos tras el análisis de los datos y la evaluación del modelo proporcionan una perspicacia fundamental sobre la utilidad y el potencial de la RV en la mejora de la comprensión de procedimientos constructivos, la detección temprana de errores y la optimización de la comunicación en el sector de la construcción.

En el proceso de análisis de los datos cualitativos recopilados durante el desarrollo y la evaluación del modelo de RV, surgieron patrones significativos que arrojaron luz sobre la pertinencia y el impacto de esta tecnología emergente en la ingeniería civil. Estos patrones han sido esenciales para extraer conclusiones sustantivas y se presentan a continuación:

1. **Facilitación de la comprensión y visualización de procedimientos constructivos:** El modelo de RV desarrollado demuestra ser efectivo en la mejora de la comprensión de los procedimientos constructivos entre los profesionales de la construcción. La simulación visual permite a los usuarios explorar de manera inmersiva cada paso de la construcción del muro, lo que resulta una comprensión más profunda y una visión más clara de las interacciones entre los diferentes componentes del proceso constructivo.

Al utilizar la realidad virtual el usuario tiene la oportunidad de realizar una inspección visual al modelo generado digitalmente y hacer una comparativa directa con lo ejecutado en físico, también puede controlar las vistas, el zoom, las cámaras y la perspectiva de la secuencia proyectada; de esta forma le ofrece confort al usuario para visualizar el proceso completo de la edificación de la obra. Es importante recalcar que la realidad virtual no sustituye el razonamiento humano, detrás de la programación, la definición de las fases del proceso constructivo y la adaptación de la construcción a las condiciones del entorno, debe existir la intervención de un criterio profesional.

2. **Detección temprana de errores y toma de decisiones informadas:** La capacidad de resaltar y examinar en detalle cada componente recién incorporado en el modelo de RV facilita la identificación temprana de errores potenciales en el proceso de construcción del muro de mampostería de concreto. Esta identificación temprana permite a los profesionales tomar decisiones informadas y corregir los errores antes de que se convirtieran en problemas costosos.

La realidad virtual permite la visualización detallada de la secuencia ordenada de pasos a seguir para ejecutar satisfactoriamente una obra, es decir que, de existir incerteza, puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones constructivas. Al ser una herramienta visual, nos permite inspeccionar fase a fase las deficiencias en acabados, exceso de material utilizado, desniveles, unidades dañadas, separaciones excesivas y cualquier otro detalle visual que conlleve al deterioro prematuro de la estructura.

3. **Mejora de la comunicación y colaboración multidisciplinaria:** El modelo de RV proporcionó una plataforma compartida para revisar y discutir proyectos de construcción de muros de mampostería de concreto. Esta colaboración multidisciplinaria se tradujo en una comunicación más efectiva entre arquitectos, ingenieros estructurales y contratistas, lo que a su vez mejoró la coordinación y la calidad de la construcción.

La realidad virtual tiene la capacidad de generar espacios inversivos y multiusuarios. Lo cual resulta de gran ventaja al momento de realizar evaluaciones sobre algún punto específico del proceso constructivo, analizar los elementos involucrados en el sistema estructural o identificar errores potenciales desde las distintas perspectivas de los actores involucrados en los proyectos de ingeniería civil, específicamente en muros de mampostería de concreto.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la realidad virtual en la ingeniería civil, demuestra su utilidad para mejorar la comprensión en los procesos constructivos, la eficiencia o prevención de errores y riesgos y la toma de decisiones en los procesos de construcción. Esta tecnología tiene un gran potencial para transformar la forma en que se abordan los desafíos en la ingeniería civil, ofreciendo beneficios significativos para la industria en su conjunto. El modelo de RV presentado en esta investigación ha permitido una simulación visual del proceso de construcción de un muro de mampostería de concreto. Esta capacidad de visualización es esencial para comprender la interacción entre los diferentes componentes del muro y ha mejorado la comprensión de los procesos constructivos.
- La Realidad Virtual ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia en la construcción de muros de mampostería de concreto. Al permitir que los equipos de construcción visualicen y analicen el proceso de construcción antes de llevarlo a cabo en el mundo real, se han identificado y corregido errores potenciales de manera más eficiente. Además, la capacidad de resaltar y examinar en detalle cada elemento recién incorporado ha llevado a una construcción más precisa.

RECOMENDACIONES

A pesar de los avances logrados en esta investigación, existen oportunidades para futuras investigaciones en el campo de la RV aplicada a la construcción de muros de mampostería de concreto. Se sugiere investigar aún más las posibilidades de la RV en la capacitación y evaluación de competencia de los trabajadores en la construcción, así como explorar la viabilidad de implementar la RV en proyectos de construcción a mayor escala.

REFERENCIAS

- [1] Casini, M. (2021, p 283). *Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry*. Woodhead Publishing.
- [2] Casini, M. (2021, p 284). *Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry*. Woodhead Publishing.
- [3] Casini, M. (2021, p 500). *Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry*. Woodhead Publishing.
- [4] Universidad de Buenos Aires. (2021, 14 enero). Muros de mampostería de concreto. Instituto de la Construcción y Materiales UBA. Recuperado 10 de octubre de 2023, de <http://www.icm.fadu.uba.ar/>
- [5] Win, S. E. (2022). *Virtual Reality in Construction Design*. Proceedings Article•DOI.
- [6] Hong, J. (2023). *Virtual reality-based analysis of the effect of construction noise exposure on masonry work productivity*. Journal Article•DOI.
- [7] Zhao, J. (2022). *An investigation of design in virtual reality across the variation of training degree and visual realism*. Open access•Proceedings Article•DOI.
- [8] A.Z. Sampaio, and P.G. Henriques, “Building activities visualized in virtual environments”, in *eCAADe 07, 25th Conference of Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, Frankfurt, Germany, 2007, pp. 85-89.
- [9] Sampaio, A. Z., Henriques, P. G., & Martins, O. P. (2010). *Virtual Reality Technology Used in Civil Engineering Education [The Open Virtual Reality Journal]*. Department of Civil Engineering and Architecture, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.