



FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil

TRABAJO DE GRADO:

Evaluación de la implementación de Realidad Aumentada durante el proceso constructivo de edificaciones resueltas mediante sistemas de mampostería estructural en Colombia

AUTORES:

Luisa Fernanda Olaya Rodríguez

Carolina Ardila Quintero

DIRECTOR DEL TRABAJO.:

Ing. Yezid Alvarado

CO-DIRECTOR DEL TRABAJO:

Ing. Rodrigo Misle

Bogotá, Colombia

Noviembre del 2017

RESUMEN

Esta investigación busca determinar el tipo de impacto que genera la aplicación en obra de una herramienta innovadora que utiliza Realidad Aumentada (AR), denominada Formación Despierta. Esta herramienta permite explicar los procesos constructivos y divulgar las lecciones aprendidas de manera accesible para cualquier individuo durante el proceso de ejecución de una obra. Formación Despierta es una herramienta que requiere de un dispositivo móvil de gama media para su utilización, ya sea celular inteligente o Tablet.

El proceso de desarrollo se realizó definiendo y preparando la información requerida para la aplicación, como lo son los procesos constructivos, materiales y herramientas, lecciones aprendidas y aspectos de calidad. Se incorporaron características que mejoraran su interactividad para facilitar y dinamizar su uso, como lo son el personaje de Camila y los videos explicativos. Adicionalmente se realizaron socializaciones y pruebas de funcionamiento junto con una empresa colaboradora y el equipo de Formación despierta, con el fin de eliminar errores y corroborar que la información entregada al usuario fuera la esperada.

Para evaluar el impacto de Formación Despierta en el proceso de ejecución de una obra, se estudió un proyecto de construcción en mampostería estructural localizado en Pitalito, Huila. Se realizó un análisis comparativo de dos casos, con y sin el uso de la herramienta, los cuales se evaluaron al mismo tiempo gracias a que dentro del proyecto se construyen simultáneamente dos torres idénticas y se capacita únicamente las cuadrillas que trabajan en una de estas.

A partir del análisis comparativo se obtiene que Formación Despierta genera un impacto positivo en los resultados de un proyecto, reduciendo reprocesos y por tanto costos de inspección, y mejorando la productividad. Adicionalmente el equipo de trabajo en obra demuestra un mejor entendimiento de los procesos constructivos, el cual se refleja en el uso de un lenguaje técnico mejorado dentro de los procesos constructivos en los que se desarrolla cada individuo.

ABSTRACT

This research seeks to determine the type of impact generated by the implementation on construction of an innovative tool that uses Augmented Reality (AR), named Formación Despierta. This tool allows to explain the constructive processes and to divulge the lessons learned in an accessible way for any worker during the execution of a construction project. Formación Despierta is a tool that requires a mid-range mobile device to use, whether smart phone or Tablet.

The development process was done by defining and preparing the information required for the application, such as construction processes, materials and tools, lessons learned and quality tips. Other characteristics were added that improved its interactivity to facilitate and streamline its use, such as the character of Camila and explanatory videos. In addition, socializations and functional tests were carried out together with a collaborating company and the Formación Despierta's team, in order to correct errors and corroborate that the information delivered to the user was what was expected.

To evaluate the impact of Formación Despierta on construction, a structural masonry construction project located in Pitalito, Huila was studied. A comparative analysis of two scenarios is carried out, with and without the use of the tool, which were evaluated at the same time thanks to the fact that within the project two identical towers are built simultaneously and only the team working in one of these are trained with the tool.

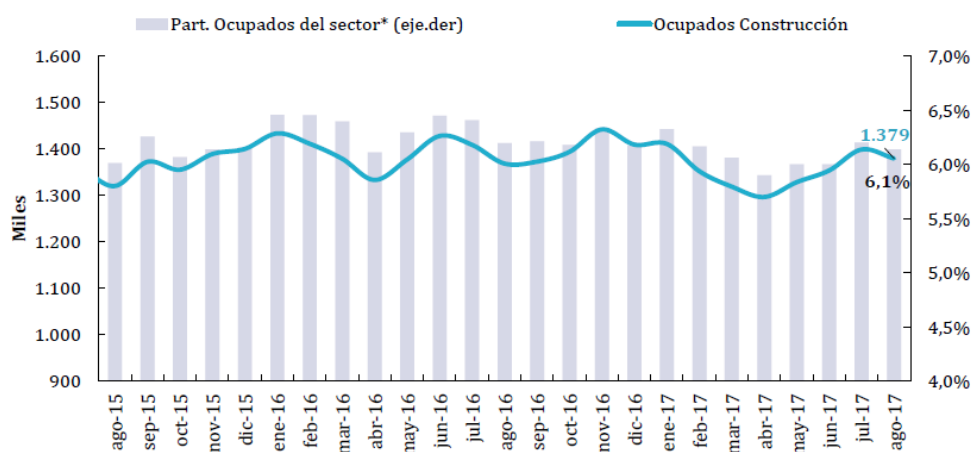
From comparative analysis, it is obtained that Formación Despierta generates a positive impact on the results of a project, reducing reprocessing and therefore inspection costs, and improving work productivity. In addition, the work team demonstrates a better understanding of the construction processes, which is reflected in the use of an improved technical language within the constructive processes in which each individual develops.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.2 SÍNTESIS.....	8
2. MARCO TEÓRICO	10
3. METODOLOGÍA GENERAL.....	17
4. DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INNOVADORA CON REALIDAD AUMENTADA PARA EL APRENDIZAJE DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	23
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE EDIFICACIONES RESUELTAS MEDIANTE SISTEMAS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL EN COLOMBIA	37
6. DISCUSIÓN GENERAL.....	52
7. CONCLUSIONES GENERALES.....	54
8. TRABAJO FUTURO.....	55
9. BIBLIOGRAFÍA	55

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sector de la construcción en Colombia ha impulsado el crecimiento económico y ha demostrado una aceleración significativa (CAMACOL, 2016). En el segundo trimestre de 2017, se presentó un aumento del 0.3 % del valor agregado de la construcción en el PIB del país (DANE, 2017). Adicionalmente, para agosto del 2017, 1.4 millones de colombianos se encontraban empleados en actividades de la construcción, esto equivale al 6.1% del total de la ocupación del país (Gráfica 1.) y constituye un porcentaje significativo de empleados en Colombia (CAMACOL, 2017).

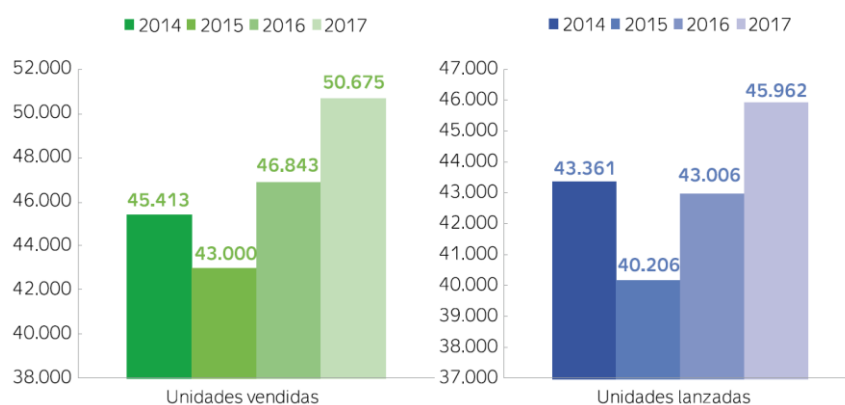


Gráfica 1. Generación empleo sector de la construcción – Total Nacional

Fuente: Adaptado de CAMACOL, 2017.

Una de las medidas implementadas por el gobierno que permiten impulsar la economía colombiana, es ofrecer subsidios para la adquisición de viviendas de interés social (VIS), los cuales benefician, desde la microeconomía de las familias que adquieren vivienda propia, hasta la macroeconomía del país al dinamizar los sectores influyentes como el de la construcción y el inmobiliario (CAMACOL, 2017). La demanda de VIS en Colombia es abundante debido a que los potenciales compradores se perfilan dentro de la clase media y baja, las cuales son las clases predominantes (CAMACOL, 2017).

Actualmente los programas de subsidios y apoyos financieros han sido bien acogidos por la población interesada en adquirir vivienda propia, y gracias al buen comportamiento de los compradores, se han mantenido y mejorado; además los lanzamientos de VIS ya han sido superados por las ventas, como se observa en el año 2017 en la gráfica 2, por lo cual hoy en día se ofrecen incentivos a las constructoras que ejecuten este tipo de viviendas con el fin de suplir la demanda (CAMACOL, 2017). Con base en lo anterior, es importante resaltar, que en el sector de la construcción hoy en día, el 33% de obras en ejecución son las de VIS, por lo cual este tipo de construcciones son susceptibles de investigación para generar mayor impacto en el sector (CAMACOL, 2017).



Gráfica 2. Comportamiento de ventas y lanzamiento de VIS en Colombia.
Fuente: CAMACOL, 2017.

Teniendo en cuenta la relevancia del sector de la construcción en la economía del país y en busca de medidas que ayuden al crecimiento de la tasa de empleo, diferentes entidades como la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), han desarrollado estudios donde se establece la necesidad de formación y cualificación de la mano de obra (CAMACOL, 2015). Estos estudios se enfocan en la necesidad de competencia laboral de la mano obrera, en cuanto a habilidades y conocimientos, y concluyen que la mayoría de las capacitaciones deben dirigirse hacia temáticas de estructuras e instalaciones. El personal obrero presenta poco conocimiento técnico de normativa, interpretación deficiente de planos constructivos y poca experiencia en el desarrollo de actividades constructivas (CAMACOL, 2015).

Por otro lado, en cuanto a problemáticas comúnmente presentadas durante una construcción, se encuentra que los atrasos que consumen más recursos, en cuanto a tiempos y costos, se presentan debido a errores cometidos durante los procesos constructivos (Love, Teo, Davidson, Cumming y Morrison, 2016). Estos errores ocurren, en la mayoría de los casos, por falta de capacitación del personal o por falta de supervisión, y además, ocurren repetitivamente en una misma obra o en obras ejecutadas por una misma constructora (Love et al, 2016).

Según Love et al. (2016) las causas para la reaparición de errores ya resueltos en proyectos de construcción, es debido a que el conocimiento aprendido previamente se restringe a la situación donde se presenta. Tampoco hay interés de divulgación del conocimiento adquirido por parte del personal de los proyectos de forma activa y constante. Adicionalmente, la alta rotación de personal es un factor importante en la falta de divulgación de conocimiento aprendido (Love et al, 2016). Las lecciones aprendidas son un concepto recientemente incorporado al sector de la construcción que permite documentar el conocimiento adquirido en obra al igual que divulgarlo, con el fin de solucionar algunas problemáticas comúnmente presentadas y apoyar el proceso de aprendizaje de los trabajadores en obra.

Por lo anteriormente expuesto, se muestra la necesidad de buscar una solución a estos problemas de déficit de formación, de entendimiento y divulgación de información en el personal

obrero durante el desarrollo de una obra, con el fin de aumentar la productividad en el trabajo. Es por esto que se genera la idea de la implementación de herramientas tecnológicas innovadoras, las cuales permiten el entendimiento claro de los pasos de un proceso que se pretenda realizar.

La Realidad Aumentada (AR por sus siglas en inglés) es una herramienta tecnológica innovadora que permite la adición de contenido digital al entorno real con el fin de experimentar una nueva percepción de éste. Además, busca mejorar el entendimiento de la realidad y es totalmente compatible con diferentes campos de investigación y accesible en cualquier área de estudio. A partir de esto, surge la pregunta de investigación que se desarrolla en este documento, ¿Cómo influye, en el entendimiento y visualización del proceso de una actividad constructiva a realizar, la utilización de la realidad aumentada como método de divulgación de información, consulta y solución de dudas?

Para la evaluación de la pregunta de investigación mencionada se elige el proceso constructivo del sistema estructural de edificaciones en mampostería estructural. La mampostería estructural es uno de los sistemas típicos para construcción VIS, la cual, como se había mencionado anteriormente, tienen una demanda de construcción alta y proyecciones a seguir en aumento en los próximos años (CAMACOL, 2017). Este sistema es ampliamente utilizado en VIS debido a que es un método artesanal de bajo costo que se ha venido desarrollando al mismo tiempo que el concepto de construcción, sin embargo “el conocimiento y manejo técnico que tienen los maestros de obra sobre estos sistemas no siempre es el más apropiado” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011, p. 10).

Para explicar los procesos constructivos y divulgar las lecciones aprendidas de manera accesible para cualquier individuo, se desarrolló Formación Despierta, una aplicación para dispositivos móviles de media gama. Formación Despierta es una herramienta que involucra Realidad Aumentada para mostrar las actividades que se pueden desarrollar durante la ejecución de una obra. Se busca explicar las labores y divulgar otra información importante a los trabajadores de construcción mediante la aplicación. Debido a que Formación Despierta es una aplicación para dispositivo móvil, puede ser utilizada en celulares o tablets de media gama, es decir que utiliza una tecnología conocida por la mayoría de la población Colombiana, permitiendo una mejor acogida por cualquier individuo de la obra.

La implementación de Formación Despierta se realiza en una obra localizada en Pitalito, Huila, de la cual se logró obtener toda la información gracias a la empresa colaboradora propietaria del proyecto. La empresa colaboradora tiene su sede principal en Neiva, Huila. Parte de la información recolectada para definir lineamientos base corresponde a datos históricos de proyectos con características similares y por tanto comparables con los datos obtenidos durante la implementación de Formación Despierta.

El trabajo de grado base de este documento de investigación se desarrolló por la metodología de artículos, la cual consiste en presentar los principales resultados obtenidos de la investigación

en artículos estructurados para ser publicados en revistas científicas. Junto con los resultados principales también se expondrán los métodos y materiales utilizados para desarrollar la investigación, junto con la justificación y conclusiones.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo de grado es determinar el impacto que genera la aplicación en obra de una herramienta tecnológica que utilice la Realidad Aumentada durante la construcción de un sistema en mampostería estructural.

Para desarrollar este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los principales factores que determinan el uso de dispositivos tecnológicos durante la construcción de elementos estructurales.
2. Desarrollar una herramienta de divulgación de recomendaciones, lecciones aprendidas y modelos gráficos de un proceso constructivo, con la ayuda de la Realidad Aumentada.
3. Comparar el proceso de construcción de elementos estructurales con y sin la utilización de la herramienta de divulgación y visualización.

1.2 SÍNTESIS

En el presente documento se podrá encontrar en primera instancia un resumen del trabajo de grado general tanto en español como en inglés. Posteriormente, un primer capítulo de introducción, compuesto por el planteamiento y justificación, donde se incluye la pregunta de investigación y la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos y la síntesis del documento. En el segundo capítulo se encuentra un Marco teórico donde se contextualizan bajo el marco del trabajo de grado los conceptos que para este sean significativos. En el tercer capítulo se encuentra una Metodología general donde se explica el proceso de desarrollo del trabajo de grado, desde la concepción de la idea y la investigación previa al desarrollo de la misma hasta la implementación y análisis de datos obtenidos.

En el cuarto capítulo se encuentra un artículo que será publicado en una revista indexada llamado *Desarrollo de una Herramienta Innovadora con Realidad Aumentada para el Aprendizaje de Procesos Constructivos*, en donde se explica el proceso de desarrollo de la aplicación. En el quinto capítulo se encuentra un segundo artículo que también será publicado en una revista indexada llamado *Implementación de Realidad Aumentada Durante el Proceso Constructivo de Edificaciones Resueltas Mediante Sistemas de Mampostería Estructural en Colombia*, en donde se presenta y analiza el proceso de implementación de Formación Despierta.

En el sexto capítulo se encuentra una Discusión general, donde se presenta un análisis de los resultados encontrados en todas las fases de la metodología para este trabajo de grado, al igual que la relación que tiene con otras investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional. En

el séptimo capítulo se encuentra la Conclusión general, en donde se presentan las conclusiones generales de toda la propuesta, tanto la fase de desarrollo, como la fase de implementación de la misma.

En el octavo capítulo, llamado Trabajo futuro se encuentran las posibilidades de la investigación, es decir campos nuevos donde se podría llegar a aplicar o algunas características que se le pueden agregar para que Formación Despierta alcance de mejor manera su objetivo inicial. Finalmente en el noveno capítulo se encuentra la bibliografía general del proyecto.

2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

En los últimos años se han venido utilizando diferentes herramientas que permiten relacionar el entorno real y el virtual permitiendo que se exprese de forma más clara el objetivo de los proyectos de construcción antes y durante la ejecución. La metodología BIM (Building Information Modeling) es una de las herramientas más reconocidas a nivel mundial y se puede definir como un grupo de políticas interactivas, procesos y tecnologías que generan una metodología para manejar el diseño y la información esencial de un proyecto en formato digital a través de la ejecución del mismo (Bryde, Broquetas y Volm, 2013).

Por medio de la metodología BIM se puede visualizar los proyectos hasta en 5 dimensiones (incluyendo control de costos y programación), ya que recolecta y analiza todo tipo de información. Sin embargo, debido a esta característica multidimensional, la metodología requiere diferentes tipos de software que solo pueden ser utilizados en hardware no portátil. Algunos de los programas utilizados dentro de la metodología BIM son especializados y en muchas ocasiones son dirigidos únicamente a profesionales en la construcción, por lo cual nos son fácilmente asimilables por cualquier individuo que haga parte del personal de obra.

La metodología BIM tiene un alcance que va más allá de ver de forma clara los proyectos utilizando herramientas didácticas e innovadoras, sin embargo, la Realidad Aumentada (AR por sus siglas en inglés) permite la visualización ‘aumentada’ de los proyectos, los cuales se presentan dentro del ambiente real con la ayuda de elementos digitales, a partir de información básica y con el uso de software que puede ser utilizado en hardware totalmente portátil. El software y hardware de características básicas es amigable para cualquier individuo que haya sido introducido con anterioridad a la tecnología de los celulares inteligentes.

La AR ha sido utilizada en diferentes áreas como una tecnología que permite un puente entre lo real y lo virtual, lo cual facilita el entendimiento de diferentes procesos y facilita el desarrollo de actividades (Wang, Ong y Nee, 2016). En la actualidad el puente entre lo real y lo virtual se ha estrechado a dimensiones mínimas, lo que dificulta la definición de una línea clara que divida lo real de lo virtual, por lo cual la concepción del espacio que se encuentra entre el entorno real y el virtual se ha definido de diferentes formas. La definición de Paul Milgram y Fumio Kishio en 1994 (Ver figura 1), es una de las más antiguas y aceptadas en el campo que abarca esta tecnología, definiendo este espacio intersticial como una realidad mezclada, en la cual a medida que se acerca al entorno virtual se llama Virtualidad Aumentada (AV por sus siglas en inglés), y al ir en sentido opuesto, hacia el entorno real se denomina Realidad Aumentada.

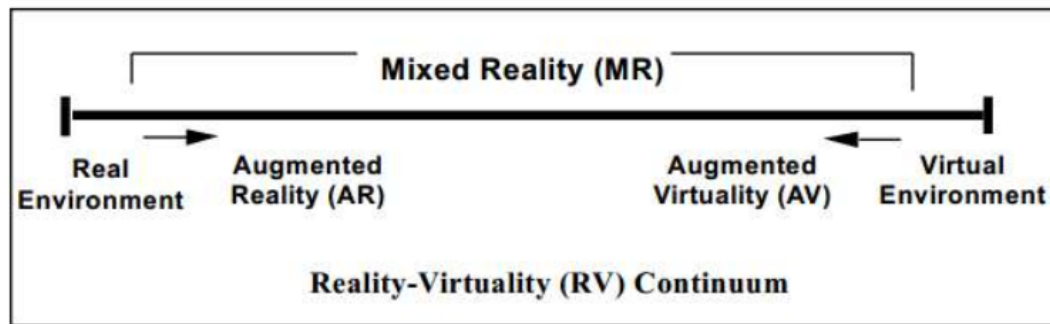


Figura 1. Continuo de virtualidad de Miligram.

Fuente: Raul Reinoso, s.f.

A nivel mundial, la AR ha sido utilizada principalmente en el sector industrial, en procesos donde es necesaria una simulación de ensamblaje. En la industria del ensamblaje, este tipo de simulación permite que el usuario pueda ser asistido mediante una herramienta visual, para verificar operaciones y secuencias del proceso permitiendo facilidad en el ensamblaje de un producto en específico (Wang, Ong y Nee, 2016).

Wang, Ong y Nee (2016) basaron su investigación en la creación de una plataforma con contenidos de AR que permite simular un proceso de ensamblaje y diseño de elementos mecánicos. Esta plataforma permite que ingenieros mecánicos y diseñadores, los cuales normalmente trabajan con modelos tradicionales 2D, visualicen los procesos en 3D y en tiempo real sobre los objetos reales facilitando el diseño y ensamblaje (Wang, Ong y Nee, 2016). La plataforma de simulación de ensamblaje permite a los trabajadores una visualización clara y fácil de los pasos a seguir durante el desarrollo de la actividad. Los usuarios pueden determinar desde el inicio del diseño la posición de los componentes en la máquina, las herramientas que debe utilizar, los movimientos que debe seguir y el elemento final (Ver figura 2).

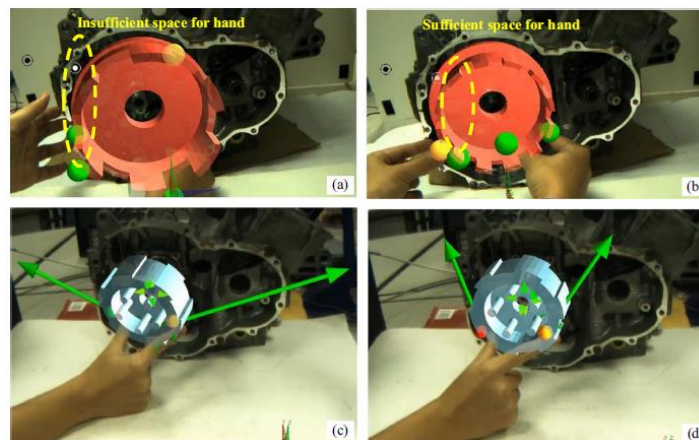


Figura 2. Proceso de simulación de ensamblaje con AR.

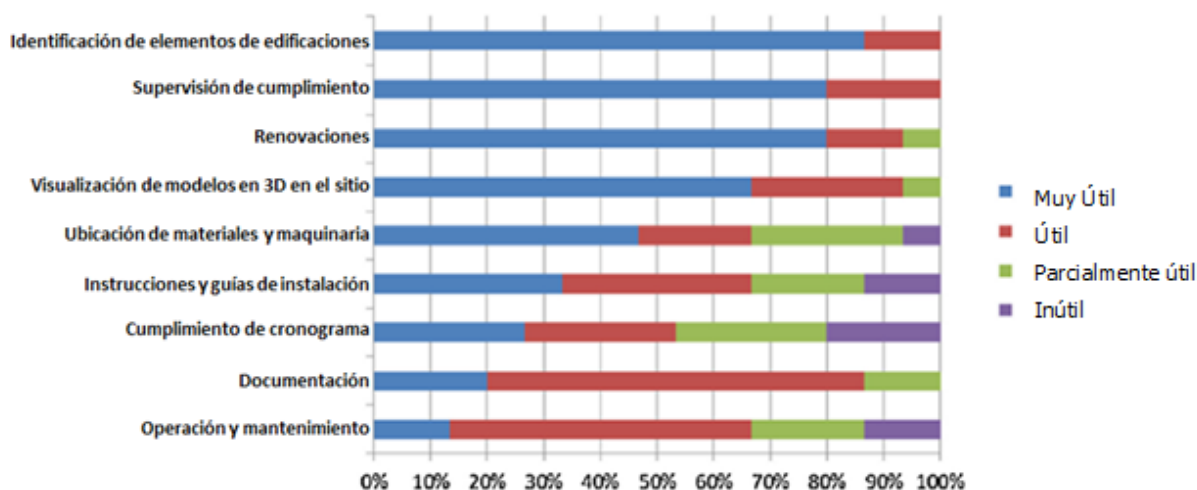
Fuente: Adaptado de Wang, Ong y Nee 2016.

Por otro lado, en el campo de ingeniería civil se han realizado algunas investigaciones de implementación de la AR en el sector, como la de Meza, Turk y Dolnec (2015), en la cual se

afirma que la AR es una tecnología que integra información, tiempos, lugares y contextos. Se encuentra que la herramienta más común, por medio de la cual se lleva a la obra una representación del modelo teórico que se desea construir, es la representación 2D impresa en papel o plano, sin embargo, Meza et al (2015) cuestionan si este proceso puede ser apoyado por otras tecnologías como la AR.

A partir de lo anterior, Meza et al (2015) realizan una investigación de los potenciales usos de la AR como herramienta en el sector de la construcción, en donde, con base a un modelo de una construcción y cuestionarios (Ingenieros, arquitectos y demás interesados en el proyecto), se comparó la percepción de los potenciales usuarios ante 3 tecnologías ya utilizadas (planos 2D impresos en papel, modelos BIM 3D en computador y modelos BIM 3D en una tablet) y la AR para visualizar proyectos a construir, evaluando la utilidad y facilidad de uso del software.

Una de las conclusiones que arroja la investigación es que el uso de la AR dentro del sector de la construcción puede influir positivamente durante diferentes etapas de un proyecto (Meza, Turk y Dolnec, 2015), principalmente en las áreas que se resumen en la gráfica 3, y el impacto es muy positivo en la identificación de elementos, supervisión de cumplimiento y renovaciones. En general, al evaluar la mejora en la representación del modelo teórico con la ayuda de tecnologías cada vez más avanzadas, se encuentra que el uso de las herramientas tecnológicas es mucho mejor, según la percepción del usuario, comparado con la representación 2D (la más básica); sin embargo la AR es la que mejor porcentaje de calificación tiene en muchas áreas (Meza, Turk y Dolnec, 2015).



Gráfica 3. Áreas potenciales donde se podrían utilizar AR.

Fuente: Adaptado Meza, Turk y Dolenc, 2015.

Es importante resaltar que con la velocidad en que está evolucionando el campo de la construcción hoy en día, utilizar la realidad aumentada en la ingeniería civil puede llegar a ser un paso tan grande como lo fue pasar del dibujo 2D a los modelos de proyecciones 3D. Sin embargo, cuando se trata de modelar la realidad en un programa, no se podrá alcanzar tal nivel de perfección que permita su representación completa, sin embargo con la realidad aumentada se

toma como base un ambiente real donde se añaden elementos virtuales que amplifica su entendimiento.

Otra aplicación en la ingeniería civil donde la AR ha sido utilizada es en el área ambiental, ya que la crisis ambiental es un tema que abarca gran parte de la investigación e interés académico en la actualidad. Es por esto que un grupo de investigadores en Italia diseñaron un sistema de monitoreo ambiental móvil, con el fin de preservar franjas de protección conocidas como “*buffers*” a lo largo de un río en el centro de Italia, las cuales cumplen la función de proteger la calidad del recurso hídrico, reducir la erosión de los cauces y mejorar el hábitat de flora y fauna (Pierdicca et al, 2016). Este sistema móvil permite el monitoreo y visualización de las franjas de protección mediante la integración de AR e Información de Georreferenciación (Pierdicca et al, 2016).

El objetivo general de la investigación de Pierdicca et al (2016), consiste en captar imágenes y videos reales mediante georreferenciación de lugares cercanos a la ribera del río mediante una aplicación que involucre AR (Pierdicca et al, 2016). El monitoreo ambiental consiste en ubicar cámaras en diferentes lugares a lo largo de la ribera del río, identificarlos mediante georreferenciación, exportar las imágenes y videos captados, cargarlos en una base de datos que posteriormente se visualice en AR y de esta manera tener información espacial superpuesta en escenas reales (Pierdicca et al, 2016).

Como se muestra en la figura 3, la herramienta AR permite al usuario identificar las franjas que deben estar protegidas ya que se pueden trazar puntos, líneas y polilíneas y así tener control y monitoreo de la zona.



Figura 3. Imagen captada en la ribera del río donde se traza la franja de protección.

Fuente: Pierdicca et al (2016).

En el sector de la construcción, los primeros acercamientos que se han tenido con la AR es en el desarrollo de aplicaciones que permitan compartir situaciones presentadas en obra y

comunicación entre los involucrados en el desarrollo de un proyecto (Pejoska, Bauters, Purma y Leinonen, 2016). Un software móvil fue creado fruto de la investigación desarrollada por Pejoska, Bauters, Purma y Leinonen (2016) en Finlandia, el cual consiste en una app “socio-laboral” basada en el principio de aprender trabajando y la necesidad de soluciones inmediatas a las que se enfrentan las personas cuando laboran en la construcción.

De acuerdo con Pejoska et al (2016), encontrar la manera de aprender durante las actividades laborales es un punto importante para mejorar la productividad en obra. Es por esto, que desarrollan la aplicación móvil con base en los problemas que se puedan presentar en obra que necesiten ser comunicadas inmediatamente, situaciones inesperadas, cambio de material según el estado de la obra y solución de dudas de actividades constructivas que se estén desarrollando (Pejoska et al, 2016). La aplicación permite comunicación inmediata mediante mensajería instantánea y visualizar en tiempo real la situación que se está presentando, la cual mediante AR permite al trabajador trazar encima del video o de la fotografía que se está compartiendo y a su par mostrar cómo podría solucionarlo acertadamente (Pejoska et al, 2016).

Adicionalmente con la aplicación se pueden divulgar lecciones aprendidas, las cuales son una herramienta muy utilizada en la construcción, que busca documentar el conocimiento adquirido al solucionar problemas durante la ejecución, y a partir de su aplicación se ha encontrado que es uno de los valores más importantes en el proceso de aprendizaje, por lo cual es importante que sean documentadas y comunicadas (Love et al, 2016).

Según la investigación de Love et al (2016), para evitar reprocesos y mejorar la seguridad en la construcción, la habilidad de absorber, asimilar y aplicar nuevo conocimiento de las entidades gracias a las lecciones aprendidas, ha sido de gran influencia y su aporte es notorio en el mejoramiento de la productividad en procesos constructivos; sin embargo falta encontrar una forma de actualizar en tiempo real la base de datos de lecciones aprendidas recolectadas de manera que los usuarios la puedan retroalimentar, y encontrar una forma más eficiente de explicación y divulgación de dichas lecciones.

Diferentes estudios dentro del campo de la construcción se enfocan en la utilización de la AR como una tecnología que permite una visualización más exacta y clara de modelos urbanísticos y arquitectónicos (Hwang, Chu y Chen 2015). Según lo consultado, son varios los usos que se le han dado a la AR en diferentes campos, sin embargo en la construcción ha sido más una herramienta de visualización arquitectónica y de comunicación en obra, mas no ha sido utilizada en el ámbito de procesos constructivos.

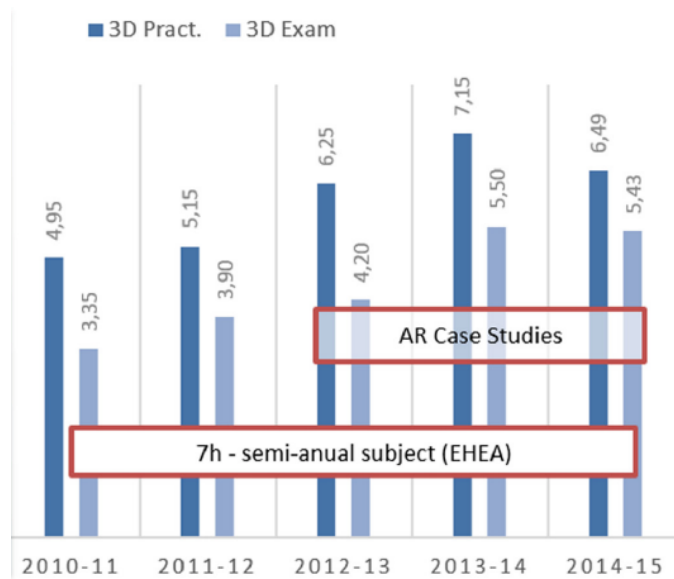
En el campo estudiantil o académico se encuentran diferentes estudios como el de la Universidad Politécnica de Madrid, donde se desarrolló una investigación que utilizó la AR como método de enseñanza en construcción dirigida a alumnos de arquitectura. Los autores se basaron en la hipótesis que el alumno puede reconocer rápidamente un determinado elemento y situarlo en su contexto real facilitando así el contacto directo del alumno con edificios-ejemplo (Alamillo, García y Magdalena, 2014). El desarrollo de la investigación inicia en el desarrollo de una base de datos de edificaciones cercanas, mediante la captura de fotos y videos con dispositivos

móviles. Estas capturas posteriormente son organizadas en un catálogo de fichas en las cuales el alumno mediante geoposicionamiento puede acceder al interior de la edificación y explorar los espacios (Alamillo, García y Magdalena, 2014). De esta manera se pretende mejorar la enseñanza poniendo al alumno frente a la realidad del hecho constructivo utilizando nuevas tecnologías.

Igualmente, el departamento de expresión gráfica Arquitectónica de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España) desarrolló una idea de la ciudad como aula digital mediante la cual se enseña urbanismo y arquitectura mediante la AR. El objetivo principal de la investigación “es evaluar como las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación se incorporan en los procesos educativos, añadiendo motivación, agilidad y movilidad” (Redondo, Sanchez, Moya y Regot, 2012). La investigación recopiló cantidad de información necesaria de edificaciones y arquitectura antigua en España, la cual fue sobrepuesta mediante geoposicionamiento (puntos de referencia tipográficos) en los lugares donde de acuerdo a la literatura existieron en el pasado.

Siguiendo la línea que ha llevado la educación superior en arquitectura sobre la utilización de la AR como método de enseñanza, en la Universidad de Salamanca (España) Fonseca, Redondo y Valls (2016) basaron su investigación en mejorar académicamente utilizando AR para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos. La investigación más que cómo implementar AR, se basa principalmente en evaluar cuantitativamente y cualitativamente el mejoramiento académico de los estudiantes al utilizar la AR como método de enseñanza. Desarrollan dos escenarios, el primero donde los estudiantes no utilizan modelos 3D ni AR, y el segundo donde si lo utilizan.

En el primer escenario realizan lineamientos base identificando cuales son los dispositivos móviles y por qué que más utilizan los jóvenes, ya que estos son los que permiten la visualización en AR de los modelos (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). De los lineamientos base, se obtuvo como resultado que los dispositivos más usados son los celulares inteligentes y computadores portátiles. Se realizaron varias pruebas donde se explicó una clase mediante métodos tradicionales y posteriormente con la ayuda de modelos en AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). Posteriormente, en el segundo escenario se obtuvo como resultado que las calificaciones presentadas en los estudiantes al utilizar la AR como método de enseñanza, aumentaron considerablemente en comparación al primer escenario, como se observa en la gráfica 4 (Fonseca, Redondo y Valls, 2016).



Gráfica 4. Comparación calificaciones obtenidas.
Fuente: Adaptado Fonseca, Redondo y Valls (2016).

Finalmente, a pesar que el estudio cualitativo mediante encuestas y observaciones realiza una evaluación acertada que concluye un mejoramiento académico en los alumnos, los autores optan por realizar cuantitativamente la evaluación. Analizaron las calificaciones obtenidas por los alumnos durante dos años, tiempo durante el cual implementaron la AR como método de enseñanza, mediante análisis de varianza (ANOVA) el cual es un conjunto de técnicas estadísticas que permite comparar dos o más medidas de muestras al mismo tiempo (Weiers, 2006). A la luz de este análisis, se encontró que las calificaciones en los dos escenarios si presentan diferencias significativas presentando mayores calificaciones, lo cual está altamente influenciado por la utilización de la AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016).

3. METODOLOGÍA GENERAL

La metodología propuesta para esta investigación se basa en las siguientes cinco fases que permitirán su desarrollo:

FASE 1. Revisión del estado del conocimiento:

Determinar los posibles impactos generados en obra, por el uso de una herramienta con AR, implica realizar una revisión del estado del conocimiento acerca de los procesos constructivos y los principales problemas presentados en obra. A partir de esta investigación preliminar se buscó contextualizar la investigación dentro de la situación actual colombiana. Adicionalmente se determinó la obra que sirvió como base para el caso de estudio, al igual que la empresa colaboradora, la cual permitió acceso a la construcción y toda la información pertinente para el desarrollo de esta investigación.

En una visita preliminar a la obra escogida, se realizó la identificación de las operaciones necesarias dentro del proceso constructivo de la parte estructural de una edificación en mampostería. En la visita preliminar se recolectó información mediante registro fotográfico, registro de video, encuestas y entrevistas, tanto a personal de obra como a directivas, con el fin de conocer la metodología de construcción de la empresa colaboradora a profundidad. Con las operaciones definidas bajo el contexto del sector de la construcción en Colombia, y en la empresa colaboradora puntualmente, se procede a definir los parámetros de medición de impacto.

Los parámetros de medición de impacto se refieren a variables que, según el contexto de la obra, son realmente cuantificables y comparables. Son parámetros que se pueden obtener a partir de la medición mediante observación de aspectos como tiempos productivos, no productivos y contributivos. También son aquellos que se pueden obtener de un análisis del costo de la supervisión de actividades, basado en los tiempos de supervisión, y de la percepción de los usuarios ante una herramienta innovadora, mediante encuestas que se realizan con el debido asesoramiento de una psicóloga especializada en recurso humano.

Por otro lado, dentro de esta fase también se identificó la viabilidad del uso de dispositivos móviles en obras de construcción, con el fin de tener claridad al momento de implementar la herramienta innovadora con AR. Esta viabilidad se determinó de acuerdo con el marco legal que rige en Colombia en temas de Seguridad en el trabajo y Salud ocupacional y el reglamento interno de la empresa colaboradora.

Otra actividad importante, que hace parte de esta fase, es la constante revisión de la literatura alrededor de los temas como como AR, construcción, productividad, entre otros. Es importante resaltar que esta revisión de literatura se viene realizando durante toda la investigación y se prolongará hasta la culminación de la misma, con el fin de mantener actualizado el marco teórico.

FASE 2. Diagnóstico:

En esta fase diagnóstico, se definieron las líneas base de la investigación, las cuales permiten identificar el contexto bajo el cual actualmente se ejecutan las actividades propias de la construcción de elementos estructurales. También, se observó el trabajo del personal de obra antes de que tenga acceso a una herramienta que involucre AR como método de divulgación y enseñanza, con el fin de identificar una metodología para la recolección y análisis de datos.

Adicionalmente, se determinan los 3 casos para la evaluación y comparación de los parámetros de impacto:

- El caso 0 o primera línea base, es donde se evaluó una obra con características muy similares a la escogida para caso de estudio, la cual es propiedad de la misma empresa colaboradora. Esta primera línea base se realiza principalmente para definir el contexto inicial o matriz de diagnóstico, pero también permitió una planeación de cómo se deben recolectar y analizar los datos para las matrices posteriores.
- El caso 1 (Sin AR) o segunda línea base, es donde se evaluó, dentro la obra escogida para el caso de estudio, un grupo de trabajadores que no hubieran sido capacitados con Formación Despierta.
- El caso 2 (Con AR) es donde se realizó la implementación de la herramienta en la obra escogida para el caso de estudio, es decir donde se capacitó a un grupo de obreros y se recolectó la información de los parámetros de impacto.

Es importante resaltar que los casos 1 y 2 se evaluaron al mismo tiempo en la obra escogida, con el fin de minimizar al máximo los factores que pueden interferir en la toma de datos. También se debe mencionar que el tamaño del grupo bajo estudio fue de 22 personas, cifra obtenida teniendo en cuenta aspectos característicos de la obra, como el tamaño total del equipo de trabajo, el cual es de 26 personas. El tamaño del grupo de trabajadores evaluado en el caso 1 es de 11 personas, al igual que en el caso 2. A estas personas se les realizó una encuesta inicial de caracterización de la población durante la visita preliminar, con la cual se identificó que la mayoría tienen conocimientos suficientes para el uso dispositivos móviles inteligentes.

FASE 3. Desarrollo:

En esta fase se realizó el proceso de desarrollo de la aplicación con base en la información recolectada en la FASE 1 y 2. A partir de la identificación de los objetivos que se desean cumplir con la aplicación y la viabilidad del uso de dispositivos móviles para la implementación de la herramienta con AR en obras de construcción, se realizó un esquema inicial para Formación Despierta. Con este esquema inicial se obtuvo un punto de partida que permitió la determinación de un presupuesto inicial y empezar con el proceso de selección del desarrollador de la herramienta.

Con el apoyo del profesional escogido para desarrollar la aplicación, se definió un alcance específico para la herramienta y cada una de sus partes, teniendo en cuenta los objetivos establecidos. Con el alcance definitivo se realizó una fase de preparación de la información recolectada en las anteriores fases para ser entregada al desarrollador. Dicha información se organizó para los 2 elementos representativos del sistema constructivo en mampostería estructural, los cuales son placa de entepiso y muro en mampostería estructural, dentro de 4 paquetes de información representativos:

1. Modelos 3D y Base de datos del proceso constructivo: Los modelos 3D corresponden a representaciones del apartamento general y de los 2 elementos representativos del sistema constructivo. Estos modelos se realizaron en el programa Google Sketchup, para posteriormente exportarlos como modelos 3D que puedan ser utilizados con los programas que le agregan interactividad y permiten su homologación a AR. La base de datos del proceso constructivo corresponde a la identificación de las operaciones necesarias para construir los 2 elementos representativos y su debida descripción con el fin de tener una explicación del proceso constructivo de un sistema en mampostería estructural.
2. Materiales, herramientas y elementos de protección personal: Es un listado realizado a partir de la experiencia adquirida por la empresa en obra, con el fin de que los usuarios puedan asegurarse que tienen todos los elementos necesarios para construir cada elementos previo al inicio de las actividades y así reducir los reprocesos.
3. Base de datos de lecciones aprendidas: Es una base de datos que recolecta experiencias positivas o negativas que se han presentado en obra, con el fin de que sean divulgadas para tratar de repetirlas o evitar que ocurran nuevamente.
4. Diagramas de calidad causa-efecto: Son diagramas en donde se pueden observar y rastrear las causas que pueden hacer que se presente un efecto negativo en la calidad durante la construcción de los elementos. Los diagramas buscan que se tengan presenten las causas de un efecto negativo para evitar que se materialicen, y se realizan varios diagramas para el elemento.

La información recolectada en los paquetes se analiza, con el fin de traducirla a un lenguaje amigable y dinámico para posteriormente entregarla mediante una aplicación móvil al personal de obra. Teniendo en cuenta que se está desarrollando una herramienta innovadora para la enseñanza, adicionalmente se analizaron teorías de enseñanza para ayudar a aprender a adultos, ya que para enseñar a una población mayor de edad se requiere de un conjunto de técnicas de enseñanzas diferentes a las comúnmente encontradas en instituciones educativas.

Una vez entregada la información al desarrollador, este la convirtió a AR, de manera que se relacionaron todos los conceptos mencionados de forma accesible para cualquier individuo. Para dotar de AR las bases de datos y los modelos de los elementos, fue necesario utilizar programas especializados para el desarrollo de aplicaciones móviles, como lo es UNITY, el cual permite que partir de modelos 3D haya una interactividad con el usuario. UNITY permite dar interactividad a

la aplicación móvil y al ser utilizado junto con el complemento VUFORIA permite convertir el proyecto interactivo en una aplicación dotada de AR compatible con dispositivos móviles inteligentes como celulares o tablets.

Se programaron reuniones semanales con el desarrollador de la aplicación para monitorear el avance de la misma y verificar que se cumpliera el alcance y los objetivos definidos. También se realizaron socializaciones y validaciones con ingenieros externos a la obra y directivos de la empresa colaboradora, que conocieran el proyecto, con el fin de mejorar la aplicación y conseguir una aprobación para la implementación de la misma en obra. Esta socialización de la aplicación se realizó como un ciclo de prueba-modificación del cual se obtuvieron diferentes comentarios que ayudaron a mejorar aspectos en cuanto a entendimiento y funcionalidad; finalmente se obtuvo la aprobación para la implementación en obra de Formación Despierta.

FASE 4. Implementación:

Para dar inicio a esta fase fue de vital importancia tener el marco de implementación bien definido con anterioridad. Este marco de implementación está compuesto por la selección de la obra bajo estudio, el acercamiento al personal en obra mediante visitas y encuestas, y la selección de la muestra según aspectos característicos de la obra. La obra seleccionada para la implementación esta localizada en Pitalito, Huila, y es uno de los proyectos de la constructora León Aguilera. Se realizaron visitas de acercamiento al personal donde se llevaron a cabo encuestas desarrolladas con el apoyo de una psicóloga especialista en recursos humanos en donde se buscó determinar qué tan útil sería para los obreros la aplicación móvil desarrollada.

El tamaño del grupo bajo estudio fue de 22 personas, cifra obtenida teniendo en cuenta aspectos característicos de la obra, como el tamaño total del equipo de trabajo, el cual es de 26 personas. Igualmente, se identificó que la mayoría del personal tiene conocimientos suficientes para el uso de dispositivos móviles inteligentes. Por otro lado, los parámetros de impacto escogidos, a partir del análisis de variables cuantificables y observables en obra, son productividad (Lean Construction) a partir del registro de tiempos productivos, contributivos y no contributivos, costos de inspección de calidad y percepción del recurso humano ante la aplicación.

El trabajo realizado por la población bajo estudio durante la implementación quedó registrado en videos tomados en cámaras situadas en diferentes puntos de la obra. Con la posterior observación de estos videos, se obtuvieron datos de los parámetros de medición de impacto. Se determinaron dos (2) casos para el registro, evaluación y comparación de los parámetros de medición de impacto.

El caso 1 (Sin AR), fue el grupo del personal que no fue capacitado con Formación Despierta. El caso 2 (Con AR), correspondió al grupo de trabajadores que se capacitó con Formación Despierta, es decir en donde se implementó la herramienta que involucra AR como

método de enseñanza. Es importante resaltar que los casos 1 y 2 se evaluaron al mismo tiempo en la obra escogida, con el fin de minimizar al máximo los factores que pueden interferir en la toma de datos. El tamaño del grupo de trabajadores evaluado en el caso 1 es de 11 personas, al igual que en el caso 2.

Antes de dar inicio a la implementación, se hizo un primer acercamiento al personal mediante encuestas que se desarrollaron con el apoyo de una psicóloga especializada en recurso humano. Con esta primera encuesta se buscó determinar la utilidad que puede tener para el personal en obra Formación Despierta.

Se da inicio a la implementación de Formación Despierta en obra durante un mes, donde se analizaron cinco (5) escenarios:

- Escenario 1: En la primera semana se realizó el escenario 1, desarrollando una prueba piloto en donde se observó y registró el trabajo realizado por el grupo de trabajadores del caso 1 (Sin AR). Por otro lado se capacitó con Formación Despierta, una sola vez, al grupo de trabajadores del caso 2 (Con AR) antes de iniciar labores, posteriormente se observó y registró el trabajo. El personal correspondiente al caso 2 (Con AR) fue encuestado por segunda vez con el fin de determinar su percepción y experiencia con la aplicación.
- Escenario 2: durante la segunda semana de implementación, se continuó la misma metodología que la desarrollada en el escenario 1. Por lo cual, al analizar y comparar los registros del trabajo que realizaron los dos casos no se presentaron mayores diferencias.
- Escenario 3: se cambió la manera de implementar Formación Despierta en obra, empezando a capacitar diariamente al grupo de trabajadores del caso 2 (Con AR) con el fin de encontrar diferencias.
- Escenario 4: la capacitación diaria fue dictada por un ingeniero coordinador de obras, basándose en la hipótesis que cuando una capacitación es dictada por una persona con un cargo de mayor autoridad dentro del proyecto, los trabajadores prestaran mayor atención.
- Escenario 5: Se observó únicamente el trabajo realizado por los obreros con menor experiencia dentro de cada caso. Para el caso 2 (Con AR) el obrero con menor experiencia se capacitó con Formación Despierta diariamente.

Con los registros de videos y lo recolectado en obra se realizaron bases de datos que permitieron cuantificar los tres parámetros de medición de impacto (productividad, costos de inspección de calidad y percepción del recurso humano). Inicialmente, se registra por día de implementación, para los dos casos (Con AR y Sin AR), los tiempos productivos (TP), contributivos (TC) y no contributivos (TNC) del personal. Estas mediciones constaron de

observar el video diario que se grabó durante la implementación, y cada cinco minutos registrar el trabajo realizado por cada trabajador. De esta manera se identificó el tiempo de TP, TC y TNC. Con estos tiempos, se obtuvo porcentualmente los tiempos de productividad de cada trabajador en los dos casos (Con AR y Sin AR) para los cinco (5) escenarios.

Por otro lado, con el fin de determinar el costo de la inspección de la calidad (segundo parámetro de impacto) se observaron los videos y se registró el tiempo que dedicó, el inspector de la obra y el instalador y supervisor de redes, en corregir e indicar como mejorar el trabajo que se está ejecutando por parte del personal. Se registra el tiempo dedicado para el personal en el caso 1 (Sin AR) y el caso 2 (Con AR).

FASE 5. Propositiva:

Para iniciar el análisis de los datos recolectados en la fase de implementación, se tabularon las respuestas del personal en la obra de las dos encuestas realizadas. Estos resultados fueron analizados con el apoyo de la psicóloga especialista en recursos humanos, y mediante el análisis de dos teorías de aprendizaje en adultos, se determinó la percepción del grupo bajo estudio con Formación Despierta.

También se realizó un análisis estadístico utilizando el programa estadístico R (R Core Team 2017) llamado prueba T-Test que permitió comparar los TP, TC y TNC presentados en los dos casos (Con AR y Sin AR) y establecer si son significativamente diferentes. Este análisis se realizó para los datos obtenidos en los cinco (5) escenarios. De esta manera se determinó que tipo de impacto generó la aplicación de Formación Despierta en la obra y en el trabajo realizado por el personal.

La prueba T-Test al comparar dos grupos de datos arroja valores p-value que determinan si dos muestras de datos son significativamente diferentes (Lind & Marchal, 2012). Se realizó la comparación de los TP para el caso 1 (Sin AR) con los del caso 2 (Con AR) para cada escenario, de igual manera para los TC y TNC. Se estableció un valor de 0.05 de significatividad, es decir los valores de p-value menores a 0.05 presentan diferencias significativas. Si un tiempo de productividad presenta un valor p-value menor a 0.05 en cualquier escenario, quiere decir que el trabajo realizado por los trabajadores en el caso 1 (Sin AR) es significativamente diferente al trabajado realizado por los trabajadores del caso 2 (Con AR). De esta manera se identifica que la implementación de la Formación Despierta en la obra tiene algún tipo de impacto en el contenido del trabajo realizado.

Por último, se determinó el costo de la inspección de la calidad, se observó y registró el tiempo que dedicó durante la implementación, el inspector de la obra y el supervisor de redes, en corregir e indicar como mejorar el trabajo que están realizando lo obreros.

4. DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INNOVADORA CON REALIDAD AUMENTADA PARA EL APRENDIZAJE DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Luisa Fernanda Olaya Rodríguez

Ingeniero civil – Civil engineering.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

luisa.olaya@javeriana.edu.co

Carolina Ardila Quintero

Ingeniero civil – Civil engineering.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

ardila.carolina@javeriana.edu.co

Yezid Alexander Alvarado

Jefe Laboratorio de Pruebas y Ensayos – Laboratory of tests and assays head.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 2718)

alvarado.y@javeriana.edu.co

Rodrigo Misle Rodríguez

Jefe de Proyectos de Innovación y Desarrollo - Innovation and development projects head.

Constructora Apiros. Carrera 7 # 78-47, Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

rmisle@javeriana.edu.co

RESUMEN

Este artículo explica el proceso de desarrollo de una herramienta innovadora que utiliza Realidad Aumentada (AR) denominada Formación Despierta, la cual permite explicar los procesos constructivos de un sistema en mampostería estructural, exponer las herramientas y materiales necesarios para ejecutar los trabajos, divulgar las lecciones aprendidas en construcción y diagramas de calidad (causa y efecto) de las operaciones del proceso constructivo de manera accesible. La herramienta se desarrolla a partir de información y material recopilado en obra. Con la información obtenida y el alcance definido de la herramienta, se desarrolla una aplicación para un dispositivo móvil de media gama, que además de ser portátil, es fácil de utilizar por cualquier individuo que haga parte del equipo de construcción.

Palabras claves: Realidad aumentada, herramienta tecnológica, lecciones aprendidas, mampostería estructural, aplicación móvil, diagrama de calidad.

ABSTRACT

This article explains the developing process of an innovative tool that uses Augmented Reality (AR) called Formación Despierta, which allows to clearly explain the constructive processes of a structural masonry system and to promulgate the lessons learned in construction in an accessible

way for any worker. The tool is developed based on a research of the needs founded on construction, in terms of workers' knowledge, from which 4 principal categories of information are proposed to be included in the tool: constructive processes, material and tools, lessons learned and quality of construction. With the defined scope of the tool was developed a mobile application for the mobile device of medium range, which in addition to being portable, is easy and dynamic to be used by any individual who is part of the construction equipment.

Keywords: Augmented reality, technologic tool, learned lessons, structural masonry, mobile app, quality diagram.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En los últimos años, el sector de la construcción en Colombia ha impulsado el crecimiento económico y ha demostrado una aceleración significativa (CAMACOL, 2016). En el segundo trimestre del 2017, se presentó un aumento del 0.3 % del valor agregado de la construcción en el PIB del país (DANE, 2017). Adicionalmente, para agosto del 2017, 1.4 millones de colombianos se encontraban empleados en actividades de la construcción, esto equivale al 6.1% del total de la ocupación del país (Ver figura 1.) y constituye un porcentaje significativo de empleados en Colombia (CAMACOL, 2017).

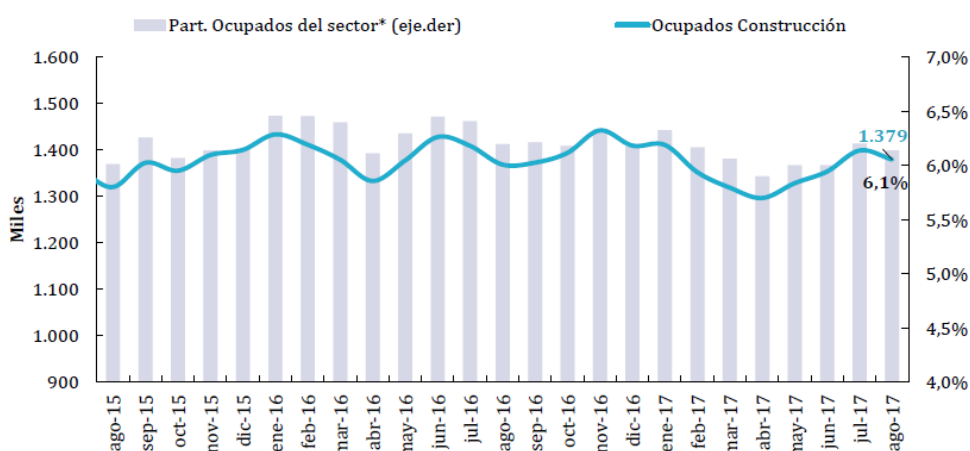


Figura 1. Generación empleo sector de la construcción – Total Nacional

Fuente: Adaptado de CAMACOL, 2017.

Teniendo en cuenta la relevancia del sector de la construcción en la economía del país y en busca de medidas que ayuden al crecimiento de la tasas de empleo, diferentes entidades como la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), han desarrollado estudios donde se evidencia la necesidad de formación y cualificación de la mano de obra (CAMACOL, 2015). Estos estudios se enfocan en la necesidad de competencia laboral de la mano obrera, en cuanto a habilidades y conocimientos, y concluye que la mayoría de las capacitaciones deben dirigirse hacia temáticas de estructuras e instalaciones. El personal obrero presenta poco conocimiento técnico de normativa, interpretación deficiente de planos constructivos y poca experiencia en el desarrollo de actividades constructivas (CAMACOL, 2015).

Por otro lado, en cuanto a problemáticas comúnmente presentadas durante una construcción, se encuentra que los atrasos, que consumen más recursos en cuanto a tiempos y costos, se presentan debido a errores cometidos durante los procesos constructivos (Love, Teo, Davidson, Cumming y Morrison, 2016). Estos errores ocurren, en la mayoría de los casos, por falta de capacitación del personal o por falta de supervisión, y además, ocurren repetitivamente en una misma obra o en obras ejecutadas por una misma constructora (Love et al, 2016).

Por lo anterior, es evidente la necesidad de buscar una solución a estos problemas de déficit de formación, de entendimiento y divulgación de información en los trabajadores durante el desarrollo de una obra, con el fin de aumentar la productividad en el trabajo. Es por esto que se genera la idea de implementar una herramienta tecnológica innovadora en obras, la cual permita el entendimiento de los pasos de un proceso constructivo que se pretenda realizar mediante la utilización de elementos virtuales y tecnologías accesibles.

En los últimos años se ha venido utilizando diferentes herramientas que permitan relacionar el entorno real y el virtual permitiendo que se exprese de forma más clara el objetivo de los proyectos de construcción antes de iniciar su ejecución y durante la misma. La Realidad Aumentada (AR por sus siglas en inglés) facilita el entendimiento de diferentes procesos y facilita el desarrollo de actividades (Wang, Ong y Nee, 2016). Adicionalmente requiere de software y hardware de características básicas, y es amigable para cualquier individuo que haya sido introducido con anterioridad a la tecnología de los celulares inteligentes.

Lo virtual se relaciona profundamente con lo real en la actualidad, lo que dificulta la definición de una línea que los divida, por lo cual la concepción del espacio que se encuentra entre el entorno real y el virtual se ha definido de diferentes formas. Sin embargo, la definición de Paul Milgram y Fumio Kishio en 1994 (Ver figura 2), es una de las más antiguas y aceptadas en el campo que abarca esta tecnología, definiendo este espacio intersticial como una realidad mezclada, en la cual a medida que se acerca al entorno virtual se llama Virtualidad Aumentada (AV por sus siglas en ingles), y al ir en sentido opuesto, hacia entorno real se denomina Realidad Aumentada.

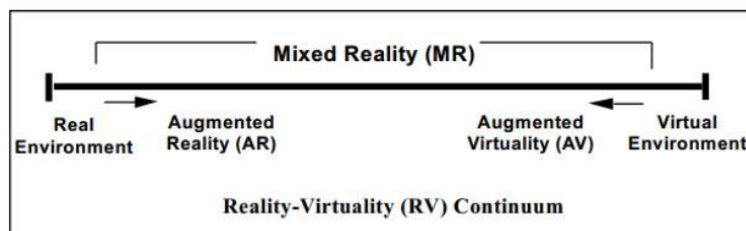


Figura 2. Continuo de virtualidad de Milgram.

Fuente: Raul Reinoso, s.f.

En el sector de la construcción, los primeros acercamientos que se ha tenido con la AR es en el desarrollo de aplicaciones que permitan compartir situaciones presentadas en obra y comunicación entre los involucrados en desarrollo de un proyecto (Pejoska, Bauters, Purma y Leinonen, 2016). Un software móvil fue creado fruto de la investigación desarrollada por Pejoska, Bauters, Purma y Leinonen (2016) en Finlandia, el cual consiste en una app “socio-laboral” que se basa en el principio de aprender trabajando y la necesidad de soluciones inmediatas a las que se enfrentan las personas cuando laboran en la construcción.

De acuerdo con Pejoska et al (2016), encontrar la manera de aprender durante las actividades laborales es un punto importante para mejorar la productividad en obra. Es por esto, que desarrollan la aplicación móvil con base en los problemas que se puedan presentar en obra que necesiten ser comunicados inmediatamente, situaciones inesperadas, cambio de material según el estado de la obra y solución de dudas de actividades constructivas que se estén desarrollando (Pejoska et al, 2016). La aplicación permite comunicación inmediata mediante mensajería instantánea y visualizar en tiempo real la situación que se está presentando, la cual mediante AR permite al trabajador trazar encima del video o de la fotografía que se está pasando y a su par mostrar cómo podría solucionarlo acertadamente (Pejoska et al, 2016).

Adicionalmente con la aplicación se pueden divulgar lecciones aprendidas, las cuales son una herramienta muy utilizada en construcción que busca documentar el conocimiento adquirido al solucionar problemas durante la ejecución, y a partir de su aplicación se ha encontrado que es uno de los valores más importantes en el proceso de aprendizaje, por lo cual es importante que sean documentadas y comunicadas (Love et al, 2016).

En el campo estudiantil o académico se encuentran diferentes estudios como el de la la Universidad de Salamanca (España) donde Fonseca, Redondo y Valls (2016) basaron su investigación en mejorar académicamente utilizando AR para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos. La investigación más que cómo implementar AR, se basa principalmente en evaluar cuantitativamente y cualitativamente el mejoramiento académico de los estudiantes al utilizar la AR como método de aprendizaje. Desarrollan dos escenarios, el primero donde los estudiantes no utilizan modelos 3D ni AR, y el segundo donde si lo utilizan.

En un inicio, realizan lineamientos base identificando cuales son los dispositivos móviles y por qué que más utilizan los jóvenes, ya que estos son los que permiten la visualización en AR de los modelos (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). De este primer objetivo, se obtuvo como resultado que los dispositivos más usados son los celulares inteligentes y computadores portátiles. Se realizaron varias pruebas donde se explicó una clase mediante métodos tradicionales y posteriormente con la ayuda de modelos en AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). Se obtuvo como resultado que las calificaciones presentadas en los estudiantes al utilizar la AR como método de aprendizaje, aumentaron considerablemente en comparación al tiempo que no se implementó este aprendizaje como se observa en la figura 3 (Fonseca, Redondo y Valls, 2016).

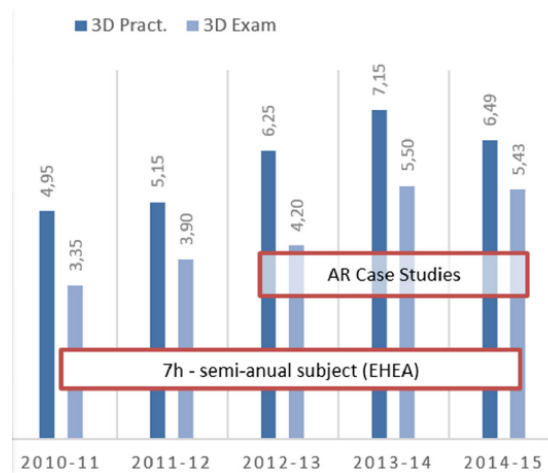


Figura 3. Comparación calificaciones obtenidas.
Fuente: Adaptado Fonseca, Redondo y Valls (2016).

Finalmente, a pesar que el estudio cualitativo mediante encuestas y observaciones realiza una evaluación acertada que concluye un mejoramiento académico en los alumnos, los autores optan por realizar cuantitativamente la evaluación. Analizaron las calificaciones obtenidas por los alumnos durante dos años, tiempo durante el cual implementaron la AR como método de aprendizaje, mediante análisis de varianza (ANOVA) el cual es un conjunto de técnicas estadísticas que permite comparar dos o más medidas de muestras al mismo tiempo (Weiers, 2006). A la luz de este análisis, se encontró que las calificaciones en los dos escenarios si presentan diferencias significativas presentando mayores calificaciones, lo cual está altamente influenciado por la utilización de la AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar una herramienta innovadora con AR que permita el aprendizaje de procesos constructivos se inició realizando una contextualización de la investigación dentro de la situación actual colombiana. Se determinó la obra que sirvió como base para la observación de los procesos constructivos, al igual que la empresa colaboradora, la cual nos permitió acceso a la construcción y toda la información pertinente para el desarrollo la aplicación. Se realizó una visita preliminar a la obra, donde se identificaron las operaciones necesarias dentro del proceso constructivo de la parte estructural de una edificación en mampostería.

En la visita preliminar se recolecto información mediante registro fotográfico, registro de video, encuestas y entrevistas, tanto a personal de obra como a directivas, con el fin de conocer la metodología de construcción de la empresa colaboradora a profundidad. Las encuestas realizadas, con el apoyo de una psicóloga especializada en recurso humano, permitieron hacer un primer acercamiento al personal, con el fin de determinar la utilidad que puede tener para el personal en obra Formación Despierta.

La primera encuesta realizada al grupo de estudio consistió en preguntas que ayudaron a identificar el nivel de conocimientos sobre elementos técnicos de la obra y el nivel de entendimiento de modelos 3D. En esta encuesta preliminar se les pidió que hicieran una comparación entre la representación de un apartamento en plano 2D y un modelo del mismo en 3D, con el fin de entender cuál creían que se entendía mejor. También se les pidió que identificaran en imágenes algunos modelos 3D de elementos que típicamente se ven en construcción. Por otro lado se les preguntó a los individuos si en alguna ocasión les habían contado sobre posibles problemas que ya hayan ocurrido en otras obras, y si tenían algún lugar específico donde consultarlos.

Otra actividad importante para el desarrollo de la aplicación es identificar la viabilidad del uso de dispositivos móviles en obras de construcción, con el fin de tener claridad con respecto a las políticas de uso de dispositivos móviles durante la construcción de elementos. Esta viabilidad se determinó de acuerdo con el marco legal que rige en Colombia en temas de Seguridad en el trabajo y Salud ocupacional y el reglamento interno de la empresa colaboradora.

Con las operaciones definidas bajo el contexto del sector de la construcción en Colombia, se procedió a realizar la identificación de los objetivos que se desean cumplir con la aplicación para posteriormente realizar un esquema inicial de la aplicación. Con el alcance definitivo se realizó una fase de preparación de la información recolectada anteriormente para ser incluida en la aplicación. Dicha información se organizó para los 2 elementos representativos del sistema constructivo en mampostería estructural, los cuales son placa de entepiso y muro en mampostería estructural, dentro de 4 paquetes de información representativos:

1. Modelos 3D y Base de datos del proceso constructivo: Los modelos 3D corresponden a representaciones del apartamento general y de los 2 elementos representativos del sistema constructivo. Estos modelos se realizaron en el programa Google Sketchup, para posteriormente exportarlos como modelos 3D que puedan ser utilizados con los programas que le agregan interactividad y permiten su homologación a AR. La base de datos del proceso constructivo corresponde a la identificación de las operaciones necesarias para construir los 2 elementos representativos y su debida descripción con el fin de tener una explicación del proceso constructivo de un sistema en mampostería estructural.
2. Materiales, herramientas y elementos de protección personal: Es un listado realizado a partir de la experiencia adquirida por la empresa en obra, con el fin de que los usuarios puedan asegurarse que tienen todos los elementos necesarios para construir cada elementos previo al inicio de las actividades y así reducir los reprocesos.
3. Base de datos de lecciones aprendidas: Es una base de datos que recolecta experiencias positivas o negativas que se han presentado en obra, con el fin de que sean divulgadas para tratar de repetirlas o evitar que ocurran nuevamente.
4. Diagramas de calidad causa-efecto: Son diagramas en donde se pueden observar y rastrear las causas que pueden hacer que se presente un efecto negativo en la calidad

durante la construcción de los elementos. Los diagramas buscan que se tengan presentes las causas de un efecto negativo para evitar que se materialicen, y se realizan varios diagramas para el elemento.

La información recolectada en los paquetes se analiza, con el fin de encontrar una forma amigable y dinámica para entregarla mediante una aplicación móvil al personal de obra. Teniendo en cuenta que se está desarrollando una herramienta innovadora para la aprendizaje, adicionalmente se analizaron teorías de aprendizaje para ayudar a aprender a adultos, ya que para enseñar a una población mayor de edad se requiere de un conjunto de técnicas de aprendizaje diferentes a las comúnmente encontradas en instituciones educativas.

Para incluir la información en la aplicación móvil se realizó un proceso de homologación de la misma a AR, para lo cual fue necesario utilizar programas especializados para el desarrollo de aplicaciones móviles, como lo es UNITY, el cual permite que los modelos 3D sean interactivos para el usuario. Al ser utilizado el complemento de UNITY llamado VUFORIA se homologa el proyecto interactivo en una aplicación dotada AR compatible con dispositivos móviles inteligentes como celulares o tabletas.

Finalmente, es importante resaltar que se realizaron socializaciones y validaciones con ingenieros externos a la obra y directivos de la empresa colaboradora, que conocieran el proyecto, con el fin de mejorar la aplicación y conseguir una aprobación para la implementación de la misma en obra. Esta socialización de la aplicación se realizó como un ciclo de prueba-modificación del cual se obtuvieron diferentes comentarios que ayudaron a mejorar aspectos en cuanto a entendimiento y funcionalidad; finalmente se obtuvo la aprobación para la implementación en obra de Formación Despierta.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

A partir de la metodología descrita anteriormente se materializó Formación Despierta como una aplicación móvil que utiliza realidad aumentada para explicar procesos constructivos. Para la explicación de los procesos constructivos se identificaron las operaciones para la construcción de los 2 elementos representativos, los muros en mampostería y la placa de entrepiso, según la visita realizada a la obra en Pitalito, Huila. Las operaciones identificadas durante la visita se encuentran en los diagramas de la figura 4.a para el muro en mampostería y figura 4.b para la placa de entrepiso.

a)



b)

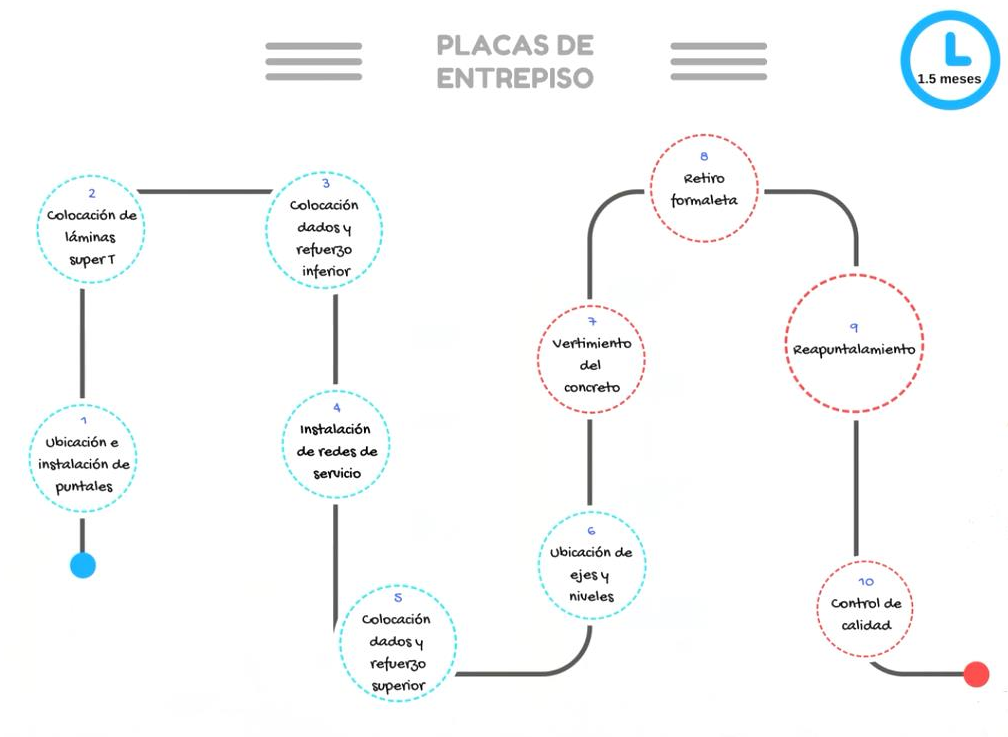


Figura 4. Operaciones que conforman el proceso constructivo de a) muros en mampostería y b) placas de entrepiso.

En cuanto a la viabilidad del uso de dispositivos móviles en obra, se encontró que la normativa colombiana permite a las empresas colombianas tener autonomía en cuanto a si se puede o no utilizar dispositivos móviles en el trabajo. En el reglamento interno de la empresa colaboradora únicamente se restringe el uso de dispositivos móviles durante la ejecución de labores de construcción de elementos. Por lo anterior, una aplicación como Formación Despierta puede ser utilizada en espacios de capacitación o instrucción de las labores diarias a realizar o como un punto de ayuda ubicado cerca al campamento, donde se pueden acercar los trabajadores en caso de tener dudas con respecto al proceso constructivo.

De las encuestas realizadas en esta primera visita se encontró que todos los individuos que hacían parte del grupo de estudio, el cual es un equipo de trabajo de una obra real, están familiarizados con la tecnología de los dispositivos inteligentes que se requieren para una aplicación como Formación Despierta. Con respecto a la representación mediante planos en 2D y modelos en 3D, los individuos consideraban que ambas representaciones válidas y aplicables en la obra. El 65% de los obreros encontraron atractivos y más entendibles los modelos en 3D, sin embargo enfatizaron que para construir y poder realizar su trabajo era necesario contar con el plano en 2D dada la información que éste contiene.

También se encontró que las representaciones mediante modelos 3D de los elementos fueron entendidas correctamente por alrededor del 95% de la población bajo estudio, y además podían enlistar algunas de los materiales que componían cada elemento. Finalmente, la totalidad de los encuestados manifestaron que si fueron comunicados de situaciones y accidentes presentadas en otras obras para evitar que se repitieran nuevamente, sin embargo no conocían ningún lugar donde pudieran consultarlos nuevamente.

Es importante resaltar que los usuarios encuestados siempre mostraron interés en aprender y de enfrentarse a nuevos métodos de aprendizaje, para aprender o mejorar la forma en que realizan su trabajo independientemente del tiempo que lleven ejerciendo. Lo anterior es uno de los puntos fundamentales dentro de teorías de enseñanza para adultos como la teoría de la Andrología, la cual se define como el arte y la ciencia de ayudar a adultos a aprender (Smith, 2002). De acuerdo con este conjunto de técnicas de enseñanza orientadas a educar a personas adultas, el adulto aprende de manera diferente a un niño y tiene la necesidad de usar un proceso o herramienta diferente para facilitar su aprendizaje. Durante esta investigación, Formación Despierta tiene el papel de una herramienta no convencional en un proceso de aprendizaje en un grupo de personal de obra que cuenta con experiencia.

Igualmente, el adulto busca el conocimiento para su inmediata aplicación práctica y mejorar en sus oficios o profesiones. Formación Despierta ofreció al personal conocimiento para poder ser aplicado inmediatamente en sus labores. Uno de los principios de la Andragogía se basa en que el adulto está en la constante búsqueda de nuevos conocimientos con el fin de mejorar en su trabajo o vida profesional o personal, en esta afirmación nos basamos para decir que la reacción que tuvo la población bajo estudio de Formación Despierta fue positiva en el sentido que

encontró una nueva manera innovadora de aprender y poder mejorar en su trabajo (Knwoles, 1978).

A nivel mundial encontramos otras investigaciones que buscan determinar los factores que impulsan a los trabajadores a usar tecnologías portátiles en su lugar de trabajo como método de aprendizaje (Choi, Hwang y Lee, 2017), donde se encontró que la utilidad de la tecnología y la facilidad de uso son esenciales para que las herramientas tecnológicas impacten positivamente en los trabajadores. Los resultados de la investigación alrededor de Formación Despierta ratificaron esta misma conclusión, ya que la población compuesta por obreros resaltó que la facilidad en el uso de la aplicación favoreció la utilidad de la misma. También encontramos que la capacitación permite la mejora de la competitividad de los trabajadores en construcción (Dardiri, Kuncoro y Ichwanto, 2017), ya que la educación colaborativa les permite adquirir nuevo conocimiento y además los motiva a divulgarlo.

Por otro lado, debido a que esta aplicación se desarrolló fundamentándose en la idea de enseñar procesos constructivos de forma accesible para cualquier individuo en obra, se realizó una fase de socialización, la cual fue muy importante para afinar detalles en cuanto a la funcionalidad de la misma. La primera versión que se obtuvo, fue presentada al equipo de formación despierta, a ingenieros directivos y trabajadores de obra de la empresa colaboradora con el fin de recolectar comentarios que ayudaron a mejorar la aplicación.

En esta primera versión de la aplicación, con solo apuntar un dispositivo móvil a un marcador, el cual para el caso de Formación Despierta es el plano de un proyecto de vivienda en mampostería estructural, se podía ver una representación 3D de una de las unidades de vivienda a construir en la obra de Pitalito, Huila (Ver figura 5). El modelo 3D que se incluyó en la aplicación es un apartamento tipo construido en mampostería estructural el cual consta de cocina, sala comedor, dos habitaciones, habitación principal con baño y baño auxiliar. Es importante resaltar que esta tipología de apartamento es la configuración típica de apartamentos de vivienda de interés social en Colombia.



Figura 5. Dispositivo móvil leyendo el marcador.

Cuando se selecciona un muro o la placa del modelo 3D del apartamento, se separa el elemento de la estructura permitiendo la visualización del modelo 3D del elemento únicamente. Dentro del modelo 3D de cada elemento se podrán identificar todas las partes que conforman el elemento que fue seleccionado. Las partes típicas de cada elemento son componentes como acero, refuerzo, tubería de instalaciones, mampostería y concreto (Ver figura 6).



Figura 6. Modelos elementos 3D a) muro en mampostería y b) placa en concreto.

Dentro del modelo 3D del elemento se mostraban 4 íconos que entregaban los 4 paquetes de información descritos con anterioridad. El primer ícono entregaba la base de datos del proceso constructivo mediante un video explicativo donde se mostraban todas las operaciones dentro del mismo. El segundo ícono mostraba el listado de materiales, herramientas y elementos de protección personal como un listado. El tercer ícono mostraba un cuadro donde se enlistaban las lecciones aprendidas y algunas características como nivel de impacto y si es positiva o negativa, El ultimo icono mostraba un diagrama de espina de pescado para efectos negativos que se pueden presentar en cada elemento, cada vez que se ingresaba a este icono aparecía el diagrama de un efecto diferente aleatoriamente.

Esta socialización dejo un buen número de comentarios, principalmente en cuanto a la forma en que se muestra la información, como se ve en la figura 7. A raíz de estos comentarios se hicieron mejoras para la versión final de la aplicación. Se agregó el personaje de Camila, quien acompaña al usuario dentro de la experiencia innovadora y la hace mucho más amigable para cualquier individuo en obra. También se agregó un botón de restaurar y de ayuda de Camila para ver un tutorial de cómo usar la aplicación. Se cambió la forma en que se mostraba el listado de herramientas, materiales y elementos de protección personal, agregándole fotografías y mostrando la descomposición de los materiales de forma más profunda, es decir que, por ejemplo se muestra que el concreto está compuesto por agua arena y cemento.

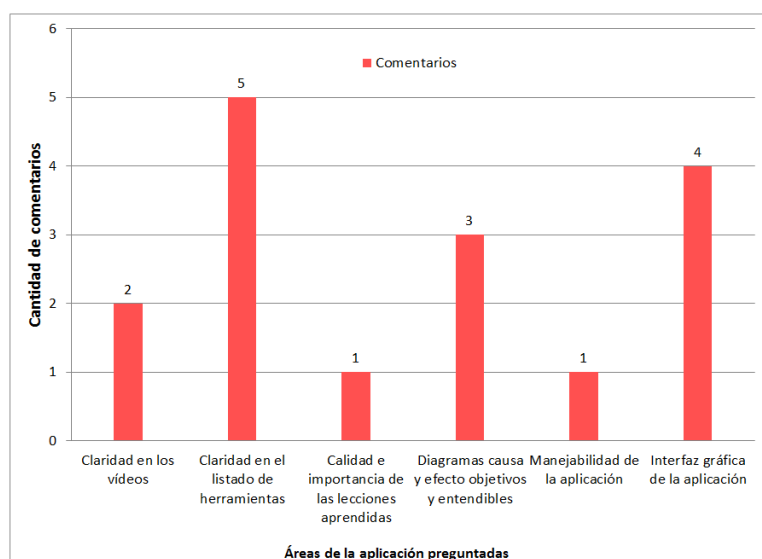


Figura 7. Estadísticas comentarios socialización.

En la versión final de la aplicación, dentro del modelo 3D de cada elemento se encuentra el menú de iconos en la parte superior izquierda de la pantalla del dispositivo. Este menú contiene cuatro íconos, el primero permite acceder a un video con el paso a paso del proceso constructivo (Ver figura 8.a.), con el segundo ícono se accede a un listado de los materiales, herramientas y elementos de protección personal que deben ser utilizados para construir (Ver figura 8.b.), el tercer ícono permite el acceso a fichas con lecciones aprendidas (Ver figura 8.c.), las cuales son experiencias positivas o negativas que se han presentado en obra y se divulgan para tratar de repetirlas o evitar que ocurran nuevamente, y por último el ícono que permite el acceso a aspectos de calidad (Ver figura 8.d.), es decir los efectos negativos que se pueden producir y generar problemas en los resultados de la obra.

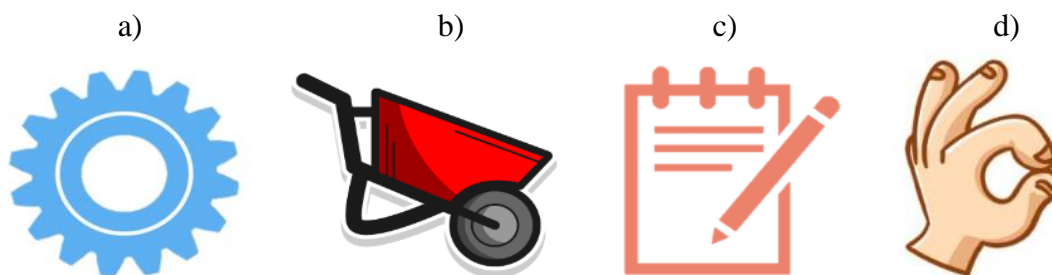


Figura 8. Íconos de a) paso a paso, b) materiales y herramientas, c) lecciones aprendidas y d) calidad.

Por último, es importante resaltar que Camila un personaje que fortalece el ambiente didáctico de la aplicación, basado en una mujer de la construcción que ayuda a los usuarios a aprender las instrucciones básicas para manejar la app. Camila es un personaje creado exclusivamente para Formación Despierta quien aparece al iniciar la aplicación en un video explicativo donde muestra la función de todos los iconos y botones de la app. Este video explicativo de introducción se puede saltar en cualquier momento al tocar la pantalla. Camila

siempre aparece en la parte inferior izquierda de la pantalla del dispositivo por si necesitas recordar cómo utilizar la aplicación, además siempre acompañará al usuario en esta experiencia innovadora.

4. CONCLUSIONES

Formación despierta es una aplicación desarrollada para el personal de obra en general, incluso aquellos individuos que no tengan un nivel de escolaridad avanzado, por lo cual fue de vital importancia durante el desarrollo realizar socializaciones con el equipo de obra de la empresa colaboradora. Gracias a estas socializaciones se alcanzó el objetivo principal de la aplicación y es hacerla dinámica y atractiva para fomentar la curiosidad de la población obrera.

También se encontró que la mayoría de los individuos que hacían parte de la población bajo estudio conocen la tecnología táctil de los teléfonos inteligentes y además disfrutan de utilizarla a diario, por lo anterior la acogida de la aplicación fue muy fácil. Adicionalmente los videos tutoriales que explican cómo utilizar la aplicación en efecto es un punto de inicio crucial para empezar a conocer Formación Despierta y todas las posibilidades que en ella se pueden encontrar.

El personaje de Camila también genera un impacto muy positivo en los usuarios, debido a que siempre se encuentra presente en la pantalla del dispositivo, además es difícil de olvidar. Camila finalmente permite al usuario tener confianza para explorar la aplicación acompañado y con la opción de siempre poder volver a ver para que sirven los iconos y botones que se encuentran en la pantalla de inicio.

5. TRABAJOS FUTUROS

Una aplicación como Formación despierta es una plataforma que abre el campo para la explicación de todo tipo de temas relacionados con la construcción, como lo pueden ser maquinaria y equipos de construcción. Las normativas vigentes de construcción también pueden ser explicadas mediante la aplicación para que sean fáciles de entender para cualquier individuo en obra.

También es una idea que se puede implementar con cualquier tipo de sistema constructivo, ya que requiere de insumos como bases de datos y representaciones con modelos 3D, los cuales pueden ser fácilmente repetibles para otros sistemas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana por el apoyo brindado durante el proceso experimental reportado en este documento, a la empresa colaboradora León Aguilera S.A.S por toda la información brindada, y

al equipo de Formación Despierta por la constante colaboración durante todo el desarrollo de la aplicación.

7. REFERENCIAS

- Bryde, David, Martí Broquetas y Jurgen M. Volm 2013. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31, 971–980.
- CAMACOL 2017. Informe de actividad edificadora: Octubre de 2017. Disponible en <http://camacol.co/>
- CAMACOL 2015. Perspectivas del sector edificador en Colombia 2016: Contexto de mercado y efectos de política pública. Disponible en <http://camacol.co/informacion-economica/estudios-economicos?page=1>
- DANE 2017. Boletín técnico: Indicadores económicos alrededor de la construcción – IEAC (II trimestre de 2017). Disponible en <http://dane.gov.co/>
- Choi B., Hwang S., Lee S. 2017. What drives construction workers' acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health . *Automation in Construction Journal*. 84: 31 – 41.
- Dardiri A., Sutrisno, Kuncoro T., Ichwanto M., Suparji. 2017. Enhancing the competitiveness of skilled construction workers through collaborative education and training. *AIP Conference Proceedings* 1887, 02005. Malagang, Indonesia.
- Fonseca, David, Ernest Redondo y Francesc Valls. 2016. Motivación y mejora académica utilizando realidad aumentada para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos. *Education in the Knowledge Society*, 17 (1): 45-64.
- Love, Peter, Pauline Teo, Murray Davidson, Shaun Cumming y John Morrison. 2016. Building absorptive capacity in an alliance: Process improvement through lessons learned. *International Journal of Project Management*, 34: 1123-37.
- Pejoska, Jana, Merja Bauters, Jukka Purma y Teemu Leinonen. 2016. Social augmented reality: Enhancing context-dependent communication and informal learning at work. *British Journal of Educational Technology*, 47 (3): 474-83.
- Smith M.K. 2002. Malcolm Knowles, informal adult education, self – direction and andragogy. *The Encyclopedia of Informal Education*.
- Wang, X., S.K. Ong y A.Y.C. Nee. 2016. Real-Virtual components interaction for assembly simulation and planning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 41: 102-14.
- Weiers, R. M. 2006. *Introducción a la Estadística Para Negocios*. México: Thomson.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE EDIFICACIONES RESUELTAS MEDIANTE SISTEMAS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL EN COLOMBIA

Carolina Ardila Quintero

Ingeniero civil – Civil engineering.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

ardila.carolina@javeriana.edu.co

Luisa Fernanda Olaya Rodríguez

Ingeniero civil – Civil engineering.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

luisa.olaya@javeriana.edu.co

Yezid Alexander Alvarado

Jefe Laboratorio de Pruebas y Ensayos – Laboratory of tests and assays head.

Pontificia Universidad Javeriana. Calle 40 No. 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 2718)

alvarado.y@javeriana.edu.co

Rodrigo Misle Rodríguez

Jefe de Proyectos de Innovación y Desarrollo - Innovation and development projects head.

Constructora Apiros. Carrera 7 # 78-47, Bogotá.

Tel.: +57 13208320 (ext. 5255 - 5258)

rmisle@javeriana.edu.co

RESUMEN

Esta investigación busca evaluar el impacto que genera la implementación, en una obra de construcción, de una herramienta innovadora que utiliza Realidad Aumentada (AR). Formación Despierta es una aplicación móvil que utiliza AR para mostrar el proceso constructivo, listado de materiales, herramientas y elementos de protección personal, lecciones aprendidas y diagramas de calidad de una construcción desarrollada mediante un sistema en mampostería estructural. Para evaluar el impacto de Formación Despierta al implementarla en obra se estudian dos casos, con y sin el uso de la herramienta. Durante la implementación se miden los tiempos de productividad de los diferentes cargos dentro de la obra y se realiza un análisis comparativo mediante análisis estadísticos de los datos registrados para los dos casos. Los resultados de la comparación reflejan que con la ayuda de Formación Despierta se obtiene un impacto positivo en los resultados de un proyecto, reduciendo tiempos de inspección de calidad, mejorando la productividad del personal y generando motivación de aprendizaje en el grupo bajo estudio.

Palabras claves: Realidad aumentada, herramienta tecnológica, aplicación móvil, mampostería estructural, productividad, Lean Construction, calidad, construcción, teorías de aprendizaje, lecciones aprendidas.

ABSTRACT

This research seeks to evaluate the impact generated by the implementation of an innovative tool that uses Augmented Reality (AR) in a construction project. Formación Despierta is a developed mobile application that uses AR to show the constructive process, material, tools and safety elements list, lessons learned and quality diagrams for the construction of a structural masonry system. In order to evaluate the impact to implemented Formación Despierta in a construction, two cases are studied, with and without the use of the tool. During the implementation the workers productivity are measured and a comparative analysis is carried out by statistical analysis of the registered data for the two cases. The results of the comparison reflect that Formación Despierta impacts positively in a project, reducing quality inspection times, improving staff productivity and generating learning motivation in the group under study.

Keywords: Augmented reality, technologic tool, mobile app, structural masonry, productivity, Lean Construction, quality, construction, learning theories, learned lessons.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En los últimos años, el sector de la construcción en Colombia ha impulsado el crecimiento económico y demostrado una aceleración significativa (CAMACOL, 2016). En el segundo trimestre del 2017, se presentó un aumento del 0.3 % del valor agregado de la construcción en el PIB del país (DANE, 2017). Por otro lado, para agosto del 2017, 1.4 millones de colombianos se encontraban empleados en actividades de la construcción, esto equivale al 6.1% del total de la ocupación del país (Ver figura 1.) y constituye un porcentaje significativo de empleados en Colombia (CAMACOL, 2017).

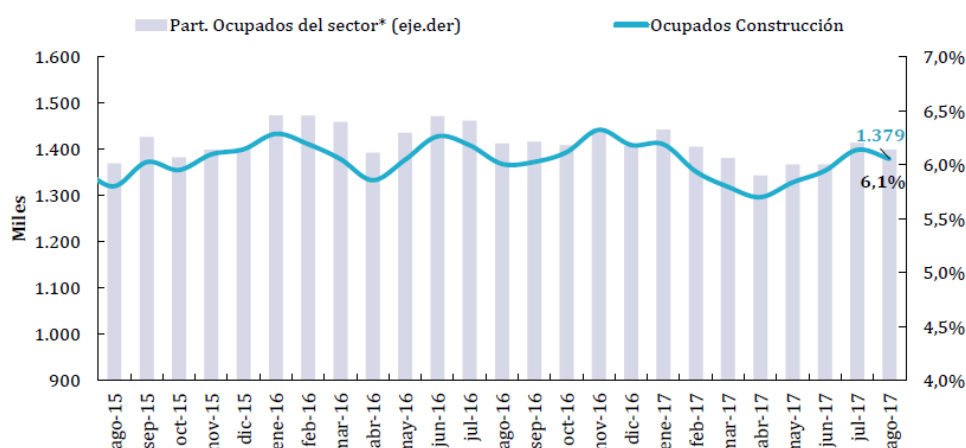


Figura 1. Generación empleo sector de la construcción – Total Nacional

Fuente: Adaptado de CAMACOL, 2017.

Debido a la importancia del sector de la construcción en la economía colombiana, una de las medidas implementadas por el gobierno que permiten impulsarla, es ofrecer subsidios para la adquisición de viviendas de interés social (VIS). Dichos subsidios benefician la economía del país al dinamizar los sectores más influyentes como el de la construcción y el inmobiliario (CAMACOL, 2017). Las ventas y los lanzamientos de VIS se mantienen por encima de su promedio histórico presentando un incremento positivo del 1,3% anual (CAMACOL, 2017).

La construcción VIS es típicamente desarrollada mediante sistemas en mampostería estructural, el cual es un método artesanal que se ha venido desarrollando desde el mismo momento en que se empezaron a realizar construcciones civiles. La construcción en mampostería estructural es un método tradicional enriquecido por los años de experiencia de los trabajadores en construcción, sin embargo “el conocimiento y manejo técnico que tienen los maestros de obra sobre estos sistemas no siempre es el más apropiado” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011, p. 10).

Teniendo en cuenta la relevancia del sector de la construcción en la economía del país y el incremento de la tasa de empleo en el sector, entidades como la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), han desarrollado estudios donde se toma conciencia de la necesidad de formación y cualificación de la mano de obra (CAMACOL, 2015). Estos estudios se enfocan en la necesidad de competencia laboral de la mano obrera, en cuanto a habilidades y conocimientos, y concluye que la mayoría de las capacitaciones deben dirigirse hacia temáticas de estructuras e instalaciones. El personal presenta poco conocimiento técnico y normativo, interpretación deficiente de planos constructivos y poca experiencia en el desarrollo de actividades constructivas (CAMACOL, 2015). Lo anterior, causa problemas en cuanto a poca calidad de los trabajos ejecutados y a pérdidas económicas importantes por necesidad de mayor inspección al personal en obra.

Adicionalmente, en cuanto a problemáticas comúnmente encontradas en el personal durante un proyecto de construcción, se encuentra que los atrasos, que consumen más recursos en cuanto a tiempos y costos, se presentan debido a errores cometidos durante los procesos constructivos (Love, Teo, Davidson, Cumming y Morrison, 2016). Estos errores ocurren, en la mayoría de los casos, por falta de capacitación del personal o de supervisión, y ocurren repetitivamente en una misma obra o en obras ejecutadas por una misma constructora (Love et al, 2016).

Una de las razones que encuentran Love et al (2016) para la reaparición de errores ya resueltos, es debido a que el conocimiento aprendido de las soluciones anteriores, se restringe a la situación donde se presenta y no hay interés de divulgación por parte del personal. Las lecciones aprendidas son un concepto recientemente incorporado al sector de la construcción que permite documentar el conocimiento adquirido en obra y divulgarlo, con el fin de solucionar problemáticas comúnmente presentadas y apoyar el proceso de aprendizaje de los trabajadores en obra.

Para solucionar las problemáticas mencionadas, se han presentado recientemente propuestas innovadoras que apoyan el proceso de aprendizaje. Este proceso de aprendizaje se basa en teorías de enseñanza para adultos como la teoría de la Andrología, la cual se define como el arte y la ciencia de ayudar a adultos a aprender (Smith, 2002). De acuerdo con este conjunto de técnicas de enseñanza orientadas a educar a personas adultas, el adulto aprende de manera diferente a un niño y tiene la necesidad de usar un proceso o herramienta diferente para facilitar su aprendizaje. Igualmente, el adulto busca el conocimiento para su inmediata aplicación práctica y mejorar en sus oficios o profesiones.

Durante esta investigación, Formación Despierta tiene el papel de una herramienta no convencional en un proceso de aprendizaje en un grupo de personal de obra que cuenta con experiencia. Formación Despierta utiliza realidad aumentada (AR por sus siglas en inglés) como una tecnología que permite un puente entre lo real y lo virtual, lo cual facilita el entendimiento de diferentes procesos y facilita el desarrollo de actividades (Wang, Ong y Nee, 2016). Adicionalmente requiere de software y hardware de características básicas, y es amigable para cualquier individuo que haya sido introducido con anterioridad a la tecnología de los celulares inteligentes.

La AR toma como base un ambiente real donde se añaden elementos virtuales que mejora el entendimiento de dicho ambiente. Formación Despierta es una aplicación que muestra en AR un modelo inicial en 3D de un apartamento tipo en mampostería estructural (Ver figura 2.), muestra los elementos estructurales que conforman el apartamento y enseña el paso a paso para construirlos, un listado de herramientas y materiales necesarios, bases de datos de lecciones aprendidas en obras similares y diagramas causa – efecto para controlar la calidad del trabajo.

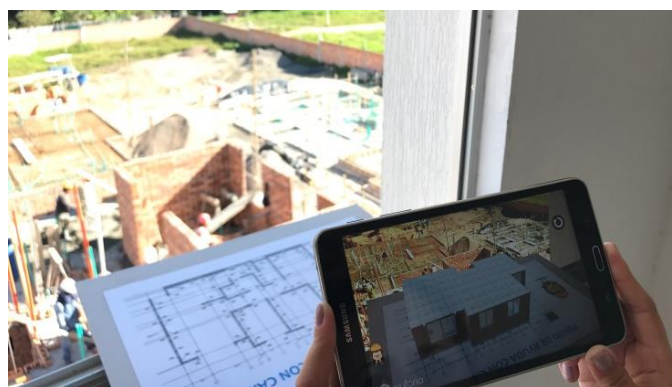


Figura 2. Modelo 3D en AR de Formación Despierta.

A nivel mundial, la AR ha sido utilizada principalmente en el sector industrial, en procesos donde es necesaria una simulación de ensamblaje. En la industria del ensamblaje, este tipo de simulación permite que el usuario pueda ser asistido mediante una herramienta visual (Ver figura 3.), para verificar operaciones y secuencias del proceso permitiendo facilidad en el ensamblaje de un producto en específico (Wang, Ong y Nee, 2016).

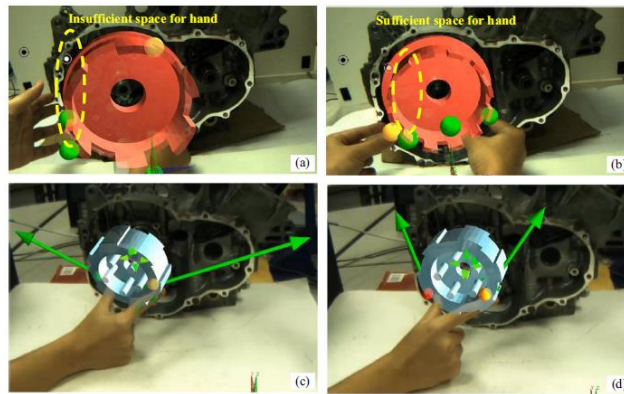


Figura 3. Proceso de simulación de ensamblaje con AR.
Fuente: Adaptado de Wang, Ong y Nee, 2016.

En la construcción, Meza et al (2015) realizan una investigación de los potenciales usos de la AR como herramienta en el sector, arrojando que la AR puede influir positivamente durante diferentes etapas de un proyecto, principalmente en la identificación de elementos, supervisión de cumplimiento y renovaciones. En general, al evaluar la mejora en la representación de modelos con la ayuda de tecnologías cada vez más avanzadas, se encuentra que el uso de las herramientas tecnológicas es mejor, según la percepción del usuario, comparado con la representación 2D (Meza, Turk y Dolnec, 2015).

Por otro lado, Pejoska, Bauters, Purma y Leinonen (2016) en Finlandia desarrollaron una aplicación que permite compartir situaciones presentadas en obra y comunicación entre los involucrados en un proyecto. Es una aplicación “socio-laboral” que se basa en el principio de aprender trabajando y la necesidad de soluciones inmediatas a las que se enfrentan las personas cuando laboran en la construcción. De acuerdo con Pejoska et al (2016), encontrar la manera de aprender durante las actividades laborales es un punto importante para mejorar la productividad en obra.

Según Love et al (2016), para evitar reprocesos y mejorar la seguridad en la construcción, la habilidad de absorber, asimilar y aplicar nuevo conocimiento gracias a las lecciones aprendidas, ha sido de gran influencia y su aporte es notorio en el mejoramiento de la productividad en procesos constructivos; sin embargo falta encontrar una forma de actualizar en tiempo real bases de datos de lecciones aprendidas de manera que los usuarios la puedan retroalimentar, y encontrar una forma más eficiente de explicación y divulgación.

Diferentes estudios dentro del campo de la construcción se enfocan en la utilización de la AR como una tecnología que permite una visualización más exacta y clara de modelos urbanísticos y arquitectónicos (Hwang, Chu y Chen 2015). Son varios los usos que se le han dado a la AR en diferentes campos, sin embargo en la construcción ha sido más una herramienta de visualización arquitectónica y de comunicación en obra, y no en el ámbito de procesos constructivos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementó la aplicación móvil Formación Despierta en un proyecto de construcción VIS, con el fin de determinar el impacto que genera en la ejecución del proceso constructivo de un sistema de mampostería estructural. Inicialmente, se seleccionó la obra en donde se realizó la implementación ubicada en el municipio de Pitalito en el departamento del Huila (Colombia). Es la segunda etapa de un proyecto de VIS que consta de 23 torres resueltas mediante un sistema constructivo en mampostería estructural.

Se realizó una primera visita a la obra con el fin de identificar y caracterizar la población bajo estudio, es decir el personal de la obra, y los parámetros de medición de impacto que se pueden observar y cuantificar de acuerdo al contexto. El tamaño del grupo bajo estudio fue de 22 personas, cifra obtenida teniendo en cuenta aspectos característicos de la obra, como el tamaño total del equipo de trabajo, el cual es de 26 personas. Igualmente, se identificó que la mayoría del personal tiene conocimientos suficientes para el uso de dispositivos móviles inteligentes. Por otro lado, los parámetros de impacto escogidos, a partir del análisis de variables cuantificables y observables en obra, son productividad (Lean Construction) a partir del registro de tiempos productivos, contributivos y no contributivos, costos de inspección de calidad y percepción del recurso humano ante la aplicación.

Por otro lado, en esta visita también se identificó la viabilidad del uso de dispositivos móviles en obras de construcción, con el fin de tener claridad al momento de implementar Formación Despierta. Esta viabilidad se determinó de acuerdo con el marco legal que rige en Colombia en temas de seguridad en el Trabajo y Salud Ocupacional, y el reglamento interno de la empresa colaboradora. Fue viable utilizar Formación Despierta en la obra antes de iniciar labores, implementándola como una herramienta para capacitar al personal acerca del trabajo que se realiza diariamente.

Posteriormente se definieron las líneas base de la investigación, las cuales permiten identificar el contexto bajo el cual actualmente se ejecutan las actividades propias de la construcción de elementos estructurales. También se observó el trabajo del personal de obra antes de que tenga acceso a una herramienta tecnológica, con el fin de identificar una metodología para el registro y análisis de datos. El trabajo realizado por la población bajo estudio durante la implementación quedó registrado en videos tomados en cámaras situadas en diferentes puntos de la obra. Con la posterior observación de estos videos, se obtuvieron datos de los parámetros de medición de impacto. Se determinaron dos (2) casos para el registro, evaluación y comparación de los parámetros de medición de impacto.

El caso 1 (Sin AR), fue el grupo del personal que no fue capacitado con Formación Despierta. El caso 2 (Con AR), correspondió al grupo de trabajadores que se capacitó con Formación Despierta, es decir en donde se implementó la herramienta que involucra AR como método de enseñanza. Es importante resaltar que los casos 1 y 2 se evaluaron al mismo tiempo en

la obra escogida, con el fin de minimizar al máximo los factores que pueden interferir en la toma de datos. El tamaño del grupo de trabajadores evaluado en el caso 1 es de 11 personas, al igual que en el caso 2.

Antes de dar inicio a la implementación, se hizo un primer acercamiento al personal mediante encuestas que se desarrollaron con el apoyo de una psicóloga especializada en recurso humano. Con esta primera encuesta se buscó determinar la utilidad que puede tener para el personal en obra Formación Despierta.

Se da inicio a la implementación de Formación Despierta en obra durante un mes, donde se analizaron cinco (5) escenarios:

- Escenario 1: En la primera semana se realizó el escenario 1, desarrollando una prueba piloto en donde se observó y registró el trabajo realizado por el grupo de trabajadores del caso 1 (Sin AR). Por otro lado se capacitó con Formación Despierta, una sola vez, al grupo de trabajadores del caso 2 (Con AR) antes de iniciar labores, posteriormente se observó y registró el trabajo. El personal correspondiente al caso 2 (Con AR) fue encuestado por segunda vez con el fin de determinar su percepción y experiencia con la aplicación.
- Escenario 2: durante la segunda semana de implementación, se continuó la misma metodología que la desarrollada en el escenario 1. Por lo cual, al analizar y comparar los registros del trabajo que realizaron los dos casos no se presentaron mayores diferencias.
- Escenario 3: se cambió la manera de implementar Formación Despierta en obra, empezando a capacitar diariamente al grupo de trabajadores del caso 2 (Con AR) con el fin de encontrar diferencias.
- Escenario 4: la capacitación diaria fue dictada por un ingeniero coordinador de obras, basándose en la hipótesis que cuando una capacitación es dictada por una persona con un cargo de mayor autoridad dentro del proyecto, los trabajadores prestaran mayor atención.
- Escenario 5: Se observó únicamente el trabajo realizado por los obreros con menor experiencia dentro de cada caso. Para el caso 2 (Con AR) el obrero con menor experiencia se capacitó con Formación Despierta diariamente.

Con los registros de videos y lo recolectado en obra se realizaron bases de datos que permitieron cuantificar los tres parámetros de medición de impacto (productividad, costos de inspección de calidad y percepción del recurso humano). Inicialmente, se registra por día de implementación, para los dos casos (Con AR y Sin AR), los tiempos productivos (TP), contributivos (TC) y no contributivos (TNC) del personal. Estas mediciones constaron de observar el video diario que se grabó durante la implementación, y cada cinco minutos registrar el trabajo realizado por cada trabajador. De esta manera se identificó el tiempo de TP, TC y TNC. Con estos tiempos, se obtuvo porcentualmente los tiempos de productividad de cada trabajador en los dos casos (Con AR y Sin AR) para los cinco (5) escenarios.

Por otro lado, con el fin de determinar el costo de la inspección de la calidad (segundo parámetro de impacto) se observaron los videos y se registró el tiempo que dedicó, el inspector de la obra y el instalador y supervisor de redes, en corregir e indicar como mejorar el trabajo que se está ejecutando por parte del personal. Se registra el tiempo dedicado para el personal en el caso 1 (Sin AR) y el caso 2 (Con AR).

Adicionalmente, se tabularon las respuestas del personal en la obra de las dos encuestas realizadas. Estos resultados fueron analizados con el apoyo de la psicóloga especialista en recursos humanos, y mediante el análisis de dos teorías de aprendizaje en adultos, se determinó la percepción del grupo bajo estudio con Formación Despierta.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico utilizando el programa estadístico R (R Core Team 2017) llamado prueba T-Test que permitió comparar los TP, TC y TNC presentados en los dos casos (Con AR y Sin AR) y establecer si son significativamente diferentes. Este análisis se realizó para los datos obtenidos en los cinco (5) escenarios. De esta manera se determinó que tipo de impacto generó la aplicación de Formación Despierta en la obra y en el trabajo realizado por el personal.

La prueba T-Test al comparar dos grupos de datos arroja valores p-value que determinan si dos muestras de datos son significativamente diferentes (Lind y Marchal, 2012). Se realizó la comparación de los TP para el caso 1 (Sin AR) con los del caso 2 (Con AR) para cada escenario, de igual manera para los TC y TNC. Se estableció un valor de 0.05 de significatividad, es decir los valores de p-value menores a 0.05 presentan diferencias significativas. Si un tiempo de productividad presenta un valor p-value menor a 0.05 en cualquier escenario, quiere decir que el trabajo realizado por los trabajadores en el caso 1 (Sin AR) es significativamente diferente al trabajado realizado por los trabajadores del caso 2 (Con AR). De esta manera se identifica que la implementación de la Formación Despierta en la obra tiene algún tipo de impacto en el contenido del trabajo realizado.

Por último, se determinó el costo de la inspección de la calidad, se observó y registró el tiempo que dedicó durante la implementación, el inspector de la obra y el supervisor de redes, en corregir e indicar como mejorar el trabajo que están realizando los obreros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A nivel mundial se pueden encontrar investigaciones donde implementaron herramientas tecnológicas en construcción, como la de Kivrak, Arslan, Akgun. y Arslan V (2015), donde se aplicó un sistema con realidad aumentada en construcción, o la de Hasanzadeh, Esmali y Dodd (2016), donde se usaron de gafas de virtualidad aumentada para evaluar la percepción de los trabajadores de construcción ante nuevas tecnologías. En dichas investigaciones se utilizó una metodología similar para la implementación de herramientas innovadoras. Primero se explicaron

aspectos constructivos con el uso de las herramientas y posteriormente se evaluó el impacto de la implementación mediante observación y encuestas a una población bajo estudio.

Sin embargo, también es una constante en los dos artículos la falta de importancia que dieron los autores a aspectos como la portabilidad, economía y facilidad de uso del dispositivo utilizado para implementar las herramientas tecnológicas innovadoras. Por lo anterior, dentro de la metodología de las investigaciones mencionadas anteriormente fue necesario incluir una fase de reconocimiento del dispositivo. Con formación despierta se buscó mejorar dicho aspecto, por lo cual uno de los pilares fundamentales en la metodología fue implementar la herramienta con AR por medio de un dispositivo accesible fácil de usar para cualquier individuo en obra.

En cuanto investigaciones donde se evalúe productividad en función de la utilización de tecnologías innovadoras, encontramos una investigación donde se buscó mejorar el entendimiento de un grupo de estudiantes de arquitectura mediante la utilización de AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). En esta investigación se evaluó la productividad de los estudiantes midiendo la variación del promedio de las notas cuando utilizaban AR en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes demostraron una mejora en las notas, por lo cual hubo una mejora en la productividad relacionada al uso de herramientas que utilizan AR en comunidades estudiantiles.

También encontramos que se ha medido la productividad de profesionales en obra según los resultados obtenidos de la investigación Meza et al (2015), donde se buscó mejorar el entendimiento de un proyecto de construcción en ingenieros y arquitectos mediante tecnología que aplican AR. Según la percepción de la población bajo estudio se entendía mejor un proyecto con la utilización de AR, obteniendo una mejor productividad en la población. Es importante resaltar que en las investigaciones mencionadas anteriormente no se evaluó la productividad de una población como la observada durante la implementación de Formación Despierta, compuesta por trabajadores con perfiles de formación básica.

Los resultados obtenidos a partir de la implementación de Formación Despierta en obra, se agrupan en los tres parámetros de medición de impacto. Primero, la consolidación de los TP, TC y TNC registrados con el fin de definir la productividad del grupo bajo estudio con y sin la utilización de la aplicación móvil, compararlos y determinar si sus diferencias son significativas (t-test). Segundo, los tiempos dedicados por parte de los inspectores y supervisores en la obra en los dos casos (Sin AR y Con AR), dándole valor monetario al tiempo invertido y comparándolo en los dos casos. Por último, la tabulación de las respuestas registradas en las dos encuestas realizadas al grupo de estudio, análisis de las respuestas y comparación con la teoría de la andrología y motivación de aprendizaje.

La tabla 1 muestra la media de los tiempos de productividad observados y registrados del personal en los dos casos (Sin AR y Con AR). El escenario 1, 2 y 3 no presenta mayor diferencia entre los dos casos, es decir implementar Formación Despierta en capacitaciones semanales o diarias no impacta en el trabajo que realizan las personas. Sin embargo, en los escenarios 4 y 5 se

presentan diferencias positivas en la productividad presentada en los dos casos. En el escenario 4 y 5 se presentan diferencias positivas del 5% y 8%, respectivamente, en el tiempo productivo, y en los tiempos contributivos y no contributivos diferencias negativas. El escenario 5, en el cual se capacitó con Formación Despierta al obrero con menor experiencia, es el que mayor diferencia entre los dos casos (Sin AR y Con AR) presenta en el tiempo productivo, esto determina que utilizar Formación Despierta en un grupo de personas que no tenga mayor experiencia y que estén en el inicio de su curva de aprendizaje es más enriquecedor para el trabajo que lleguen a realizar.

	Caso	Escenario1	Escenario2	Escenario3	Escenario4	Escenario5
TP	Sin AR	72%	72%	71%	71%	71%
	Con AR	73%	73%	74%	76%	79%
TC	Sin AR	19%	19%	20%	19%	18%
	Con AR	19%	19%	19%	17%	13%
TNC	Sin AR	9%	9%	9%	9%	11%
	Con AR	8%	8%	8%	7%	8%

Tabla 1. Tiempos de productividad en los dos casos (Sin AR y Con AR) para los 5 escenarios.

Dentro del grupo de personal bajo estudio se encontraban tres cargos principales, oficial de cuadrilla, primer ayudante y segundo ayudante. La figura 4 muestra una comparación de los dos casos (Sin Ar y Con AR) entre los TP registrados para los tres cargos en los cinco escenarios.

En el caso 1 (Sin AR) el TP de cada cargo presenta variaciones importantes en relación a los demás cargos. En contraste, para el caso 2 (Con AR) el tiempo productivo se nivela para los tres cargos, es decir todo el personal de la cuadrilla muestra eficiencia y productividad en su trabajo por igual.

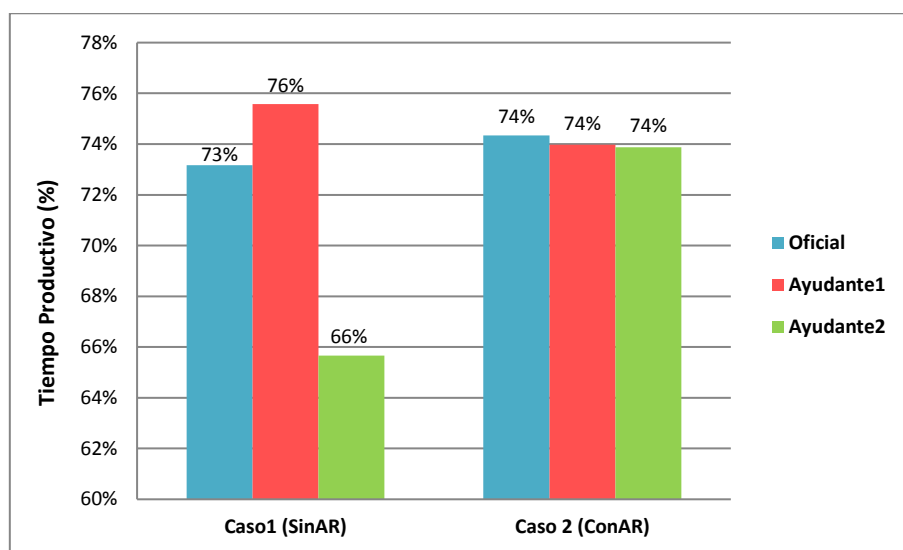


Figura 4. Comparación de los TP para cada cargo en los dos casos (Sin AR y Con AR)

Los valores de p-value de los tres tiempos de productividad en los cinco (5) escenarios se presentan en la tabla 2.

	Valores p-Value		
	TP	TC	TNC
Escenario 1	0.07653	0.71285	0.00385
Escenario 2	0.57341	0.14515	0.09476
Escenario 3	0.23514	0.0540	0.11028
Escenario 4	0.00078	0.09904	2.71E-05
Escenario 5	2.26E-06	6.46E-06	3.06E-09

Tabla 2. Resultados de casos significativamente diferentes en los cinco escenarios

En la tabla 2 se observa que en la mayoría de escenarios no se presentan diferencias significativas al encontrar más valores de p-value mayores a 0.05. Sin embargo, en el escenario 4 correspondiente a capacitaciones diarias con Formación Despierta al personal por parte del coordinador de la obra, el TP y el TNC presentan valores menores a 0.05; es decir, estos tiempos son significativamente diferentes en los dos casos (Sin AR y Con AR). El TP en el escenario 4 del caso 2 (Con AR) aumentó en un 5% (ver tabla 1) en comparación con el caso 2 (Sin AR), es decir la productividad en el personal en un escenario donde un superior utiliza Formación Despierta para capacitar ayuda a mejorar significativamente el trabajo del personal en obra.

En el escenario 5, donde se registraron los tiempos de trabajo del personal con menor experiencia en los dos casos (Sin AR y Con AR), se presentaron valores de p-value menores a 0.05 en todos los tiempos de productividad, es decir los TP, TC y TNC son significativamente diferentes en los dos casos para este escenario. En la tabla 1 se observa que el tiempo productivo del obrero con menor experiencia del caso 2 (Con AR) aumentó en un 8% en comparación con el caso 1 (Sin AR), quiere decir que mejoró significativamente la productividad del obrero de menor experiencia al capacitarse con Formación Despierta.

Por otro lado, para el caso 1 (Sin AR) el tiempo dedicado a corregir y mejorar el trabajo del personal por parte de los inspectores y supervisores fue mayor que en el caso 2 (Con AR). El costo de inspección de calidad en el caso 2 (Con AR) presenta un ahorro de 438 mil pesos por el tiempo del inspector y de 330 mil pesos por el tiempo del supervisor de redes (Ver figura 5), en comparación con el caso 1 (Sin AR). El proyecto tiene una duración de ocho (8) meses, es decir para la duración total del proyecto el ahorro en inspección de calidad sería de más de 6 millones de pesos si se utiliza Formación Despierta. Este ahorro es equivalente al 21% del costo de la administración de la obra que es donde se encuentran incluidos los sueldos del personal.

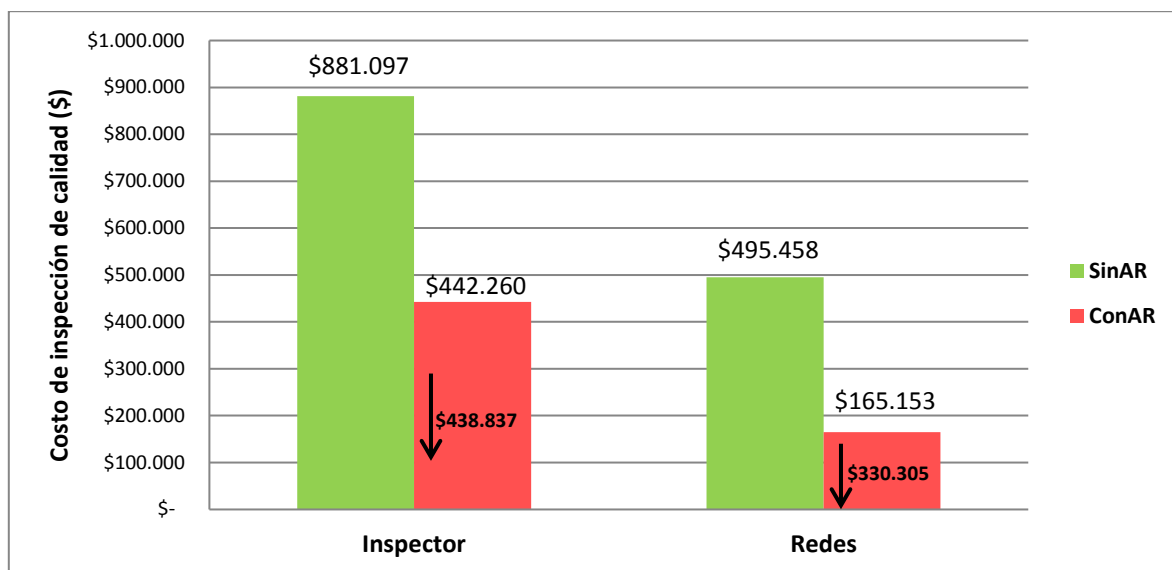


Figura 5. Costos de la inspección de la calidad para los dos casos (Sin AR y Con AR).

La percepción del recurso humano frente a la experiencia de utilizar Formación Despierta se analizó mediante las dos encuestas realizadas, una anterior a la implementación y otra posterior a manejar la aplicación.

La encuesta inicial buscó principalmente determinar si la aplicación desarrollada sería útil para el personal de obra. Se hicieron preguntas en donde se compararon planos en 2D y modelos en 3D de diferentes elementos estructurales a construir, con el fin de saber cuál entendían mejor y determinar si los modelos en 3D contenidos en Formación Despierta eran válidos y aplicables en el personal. El 65% de los obreros encontraron atractivos y más entendibles los modelos en 3D, sin embargo enfatizaron que para construir y poder realizar su trabajo era necesario contar con el plano en 2D dada la información que éste contiene.

La última parte de la primera encuesta, pedía relacionar las herramientas y materiales necesarios para realizar labores. Esta pregunta se realizó nuevamente posterior a utilizar Formación Despierta con el fin de encontrar diferencias y aspectos en el entendimiento del personal.

Para la encuesta posterior a la implementación, se realizaron algunas preguntas puntuales sobre la funcionalidad de la aplicación y los diferentes iconos que contiene, con el fin de determinar si la manejabilidad y entendimiento de la aplicación es fácil. El 100% del personal en obra coincidió en que utilizar la aplicación es fácil.

La experiencia con la aplicación para todos fue muy agradable y manifestaron en que la aplicación les ayudo a entender mejor las actividades dentro del proceso constructivo de mampostería estructural. Finalmente, se les realizó la pregunta de relacionar las herramientas y materiales necesarios para ejecutar su trabajo encontrando notablemente que cada uno de ellos mejoró y completó su lista. Además, se encontró una mejora en su lenguaje manejando palabras

técnicas y acordes a sus funciones. El 45% del personal relacionó las nuevas palabras con elementos que se encuentran en Formación Despierta.

La reacción del personal registrada en la encuesta posterior a Formación Despierta, da una visión del interés del grupo en aprender y de enfrentarse a nuevos métodos de enseñanza de una tarea o trabajo que ya llevan tiempo ejerciendo.

La teoría de la Andragogía es el arte y la ciencia de ayudar a adultos a aprender (Smith, 1978). De acuerdo con este conjunto de técnicas de enseñanza orientadas a educar a personas adultas, el adulto aprende de manera diferente a un niño y tiene la necesidad de usar un proceso o herramienta diferente para facilitar su aprendizaje. En este trabajo, Formación Despierta tuvo el papel de una herramienta no convencional en un proceso de aprendizaje en un grupo de personal de obra que cuenta con experiencia.

Igualmente, el adulto busca el conocimiento para su inmediata aplicación práctica y mejorar en sus oficios o profesiones. Formación Despierta ofreció al personal conocimiento para poder ser aplicado inmediatamente en sus labores. Uno de los principios de la Andragogía se basa en que el adulto está en la constante búsqueda de nuevos conocimientos con el fin de mejorar en su trabajo o vida profesional o personal, en esta afirmación nos basamos para decir que la reacción que tuvo la población bajo estudio de Formación Despierta fue positiva en el sentido que encontró una nueva manera innovadora de aprender y poder mejorar en su trabajo (Knwoles, 1978).

Finalmente, de acuerdo con la percepción del recurso humano Formación Despierta generó en el grupo una motivación de aprendizaje y disposición para alcanzar fines adecuados y positivos en la ejecución de su trabajo (Nuñez, 2009).

4. CONCLUSIONES

Formación Despierta generó un impacto positivo en la productividad del trabajo que realiza el personal en obra con poca experiencia. Igualmente, implementar Formación Despierta constantemente como método de capacitación genera en el personal una motivación en aprender y mejorar su trabajo.

Los tiempos requeridos para inspeccionar y supervisar la calidad del trabajo en obra son menores si se utiliza AR, es decir el personal que utiliza Formación Despierta tiene en cuenta detalles y aspectos de su trabajo que le ayudan a no cometer errores.

El personal en obra encuentra importante e indispensable el plano en 2D para ejecutar su trabajo, Formación Despierta es válida y aplicable en obra ya que la AR permite involucrar los dos aspectos, plano en 2D y modelo en 3D, y tener un paralelo entre las dos dimensiones.

Nuevos métodos de enseñanza con herramientas tecnológicas innovadoras como es el caso de AR, proporcionan una mejora en el entendimiento del obrero y genera mejoras en su lenguaje técnico y trabajo. Sin embargo, es un reto capacitar temas que ya son conocidos en adultos ya que puede que no muestre interés de aprender algo que ya hacen correctamente.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana por el apoyo brindado durante el proceso experimental reportado en este documento, a la empresa colaboradora León Aguilera S.A.S por toda la información brindada, y al equipo de Formación Despierta por la constante colaboración durante todo el desarrollo de la aplicación.

6. REFERENCIAS

- CAMACOL 2017. Informe de actividad edificadora: Octubre de 2017. Disponible en <http://camacol.co/>
- CAMACOL 2015. Perspectivas del sector edificador en Colombia 2016: Contexto de mercado y efectos de política pública. Disponible en <http://camacol.co/informacion-economica/estudios-economicos?page=1>
- DANE 2017. Boletín técnico: Indicadores económicos alrededor de la construcción – IEAC (II trimestre de 2017). Disponible en <http://dane.gov.co/>
- Fonseca, David, Ernest Redondo y Francesc Valls. 2016. Motivación y mejora académica utilizando realidad aumentada para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos. *Education in the Knowledge Society*, 17 (1): 45-64.
- Hwang, Jin-Tsong, Ting-Chen Chu y Chien-Hong Chen. “Accuracy Assessment of 3D Building Construction by Multiview Images and the Integrated Application with Augmented Reality” Conferencia. The 36th Asian Conference On Remote Sensing. 19 de Octubre del 2015.
- Lind, & Marchal, W. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía. New York: McGraw Hill.
- Hasanzadeh S., Esmaeli B., Dodd M. (2016) Measuring construction worker’s real – time situation awareness using mobile eye – tracking. Construction Research Congress. Universidad de California. San Diego, Estados Unidos.
- Kivrak S., Arslan G., Akgun A., Arslan V. 2015. Augmented Reality system applications in construction Project activities. Conference paper.
- Love, Peter, Pauline Teo, Murray Davidson, Shaun Cumming y John Morrison. 2016. Building absorptive capacity in an alliance: Process improvement through lessons learned. *International Journal of Project Management*, 34: 1123-37.
- Meza, Sebastjan, Ziga Turk y Matevz Dolnec. 2015. Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. *Advances in Engineering Software*, 90: 1-10.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011. Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social: Los materiales en la construcción de vivienda de interés social (No. 2).
- Núñez José Carlos. 2009. Motivación, aprendizaje y rendimiento académico. Congreso Internacional Galego – Portugués de Psicopedagogía. Universidade do Minho. Brasil.

- Pejoska, Jana, Merja Bauters, Jukka Purma y Teemu Leinonen. 2016. Social augmented reality: Enhancing context-dependent communication and informal learning at work. *British Journal of Educational Technology*, 47 (3): 474-83.
- Smith M.K. 2002. Malcolm Knowles, informal adult education, self – direction and andragogy. *The Encyclopedia of Informal Education*.
- Wang, X., S.K. Ong y A.Y.C. Nee. 2016. Real-Virtual components interaction for assembly simulation and planning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 41: 102-14.

6. DISCUSIÓN GENERAL

Como se mencionó anteriormente, en la FASE 1 se realizó una constante revisión de estado del conocimiento en cuanto a temáticas concernientes al desarrollo de esta investigación. A partir de esta revisión se encontraron publicaciones que fueron enriquecedoras para el desarrollo de la investigación, tanto por los aportes de conocimiento que brindaron como las brechas que evidenciaron. Las publicaciones que más resaltaron durante esta fase de revisión del estado de conocimiento, fueron agrupadas dentro de tres temáticas fundamentales en la investigación, implementación, aprendizaje y productividad.

En cuanto a la temática de implementación, encontramos investigaciones donde implementaron herramientas tecnológicas en construcción, como la de Kivrak, Arslan, Akgun. y Arslan V (2015), donde se aplicó un sistema con realidad aumentada en construcción, o la de Hasanzadeh, Esmaeli y Dodd (2016), donde se usaron de gafas de virtualidad aumentada para evaluar la percepción de los trabajadores de construcción ante nuevas tecnologías. En dichas investigaciones se utilizó una metodología similar para la implementación de herramientas innovadoras. Primero se explicaron aspectos constructivos con el uso de las herramientas y posteriormente se evaluó el impacto de la implementación mediante observación y encuestas a una población bajo estudio.

Sin embargo, también es una constante en los dos artículos la falta de importancia que dieron los autores a aspectos como la portabilidad, economía y facilidad de uso del dispositivo utilizado para implementar las herramientas tecnológicas innovadoras. Por lo anterior, dentro de la metodología de las investigaciones mencionadas anteriormente fue necesario incluir una fase de reconocimiento del dispositivo. Con formación despierta se buscó mejorar dicho aspecto, por lo cual uno de los pilares fundamentales en la metodología fue implementar la herramienta con AR por medio de un dispositivo accesible fácil de usar para cualquier individuo en obra.

Según lo anterior y teniendo en cuenta la temática de aprendizaje, encontramos una investigación que busca determinar los factores que impulsan a los trabajadores a usar tecnologías portátiles en su lugar de trabajo como método de aprendizaje (Choi, Hwang y Lee, 2017), donde se encontró que la utilidad de la tecnología y la facilidad de uso son esenciales para que las herramientas tecnológicas impacten positivamente en los trabajadores. Los resultados de la investigación alrededor de Formación Despierta ratificaron esta misma conclusión, ya que la población compuesta por obreros resaltó que la facilidad en el uso de la aplicación favoreció la utilidad de la misma.

Siguiendo por la temática de aprendizaje también encontramos que la capacitación permite la mejora de la competitividad de los trabajadores en construcción (Dardiri, Kuncoro y Ichwanto, 2017), ya que la educación colaborativa les permite adquirir nuevo conocimiento y además los motiva a divulgarlo. Con Formación Despierta también se encontró que las capacitaciones son de

vital importancia en el desarrollo de un proyecto de construcción y que además con el uso de herramientas tecnológicas se impulsa y motiva a la población a adquirir nuevo conocimiento.

Por último, en cuanto a la temática de productividad, encontramos una investigación donde se buscó mejorar el entendimiento de un grupo de estudiantes de arquitectura mediante la utilización de AR (Fonseca, Redondo y Valls, 2016). En esta investigación se evaluó la productividad de los estudiantes midiendo la variación del promedio de las notas cuando utilizaban AR en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes demostraron una mejora en las notas, por lo cual hubo una mejora en la productividad relacionada al uso de herramientas que utilizan AR en comunidades estudiantiles.

También encontramos que se ha medido la productividad de profesionales en obra según los resultados obtenidos de la investigación Meza et al (2015), donde se buscó mejorar el entendimiento de un proyecto de construcción en ingenieros y arquitectos mediante tecnología que aplican AR. Según la percepción de la población bajo estudio se entendía mejor un proyecto con la utilización de AR, obteniendo una mejor productividad en la población. Es importante resaltar que en las investigaciones mencionadas anteriormente no se evaluó la productividad de una población como la observada durante la implementación de Formación Despierta, compuesta por trabajadores con perfiles de formación básica.

7. CONCLUSIONES GENERALES

Formación despierta es una aplicación desarrollada para el personal de obra en general, incluso aquellos individuos que no tengan un nivel de escolaridad avanzado, por lo cual fue de vital importancia durante el desarrollo realizar socializaciones con el equipo de obra de la empresa colaboradora. Gracias a estas socializaciones se alcanzó el objetivo principal de la aplicación y es hacerla dinámica y atractiva para fomentar la curiosidad de la población obrera.

También se encontró que la mayoría de los individuos que hacían parte de la población bajo estudio conocen la tecnología táctil de los teléfonos inteligentes y además disfrutan de utilizarla a diario, por lo anterior la acogida de la aplicación fue muy fácil. Adicionalmente los videos tutoriales que explican cómo utilizar la aplicación en efecto es un punto de inicio crucial para empezar a conocer Formación Despierta y todas las posibilidades que en ella se pueden encontrar.

El personaje de Camila también genera un impacto muy positivo en los usuarios, debido a que siempre se encuentra presente en la pantalla del dispositivo, además es difícil de olvidar. Camila finalmente permite al usuario tener confianza para explorar la aplicación acompañado y con la opción de siempre poder volver a ver para que sirven los iconos y botones que se encuentran en la pantalla de inicio.

Formación Despierta generó un impacto positivo en la productividad del trabajo que realiza el personal en obra con poca experiencia. Igualmente, implementar Formación Despierta constantemente como método de capacitación genera en el personal una motivación en aprender y mejorar su trabajo.

Los tiempos requeridos para inspeccionar y supervisar la calidad del trabajo en obra son menores si se utiliza AR, es decir el personal que utiliza Formación Despierta tiene en cuenta detalles y aspectos de su trabajo que le ayudan a no cometer errores.

El personal en obra encuentra importante e indispensable el plano en 2D para ejecutar su trabajo, Formación Despierta es válida y aplicable en obra ya que la AR permite involucrar los dos aspectos, plano en 2D y modelo en 3D, y tener un paralelo entre las dos dimensiones.

Nuevos métodos de enseñanza con herramientas tecnológicas innovadoras como es el caso de AR, proporcionan una mejora en el entendimiento del obrero y genera mejoras en su lenguaje técnico y trabajo. Sin embargo, es un reto capacitar temas que ya son conocidos en adultos ya que puede que no muestre interés de aprender algo que ya hacen correctamente.

8. TRABAJO FUTURO

Una aplicación como Formación despierta es una plataforma que abre el campo para la explicación de todo tipo de temas relacionados con la construcción, como lo pueden ser maquinaria y equipos de construcción. Las normativas vigentes de construcción también pueden ser explicadas mediante la aplicación para que sean fáciles de entender para cualquier individuo en obra.

También es una idea que se puede implementar con cualquier tipo de sistema constructivo, ya que requiere de insumos como bases de datos y representaciones con modelos 3D, los cuales pueden ser fácilmente repetibles para otros sistemas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alamillo, Juan, Julián García y Fernando Magdalena. “La realidad aumentada como estrategia de enseñanza en construcción”. Conferencia. V encuentro sobre experiencias innovadoras en la docencia. 12 de Noviembre del 2014.
- Bryde, David, Martí Broquetas y Jurgen M. Volm 2013. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management, 31, 971–980.
- CAMACOL 2017. Informe de actividad edificadora: Octubre de 2017. Disponible en <http://camacol.co/>
- CAMACOL 2015. Perspectivas del sector edificador en Colombia 2016: Contexto de mercado y efectos de política pública. Disponible en <http://camacol.co/informacion-economica/estudios-economicos?page=1>
- DANE 2017. Boletín técnico: Indicadores económicos alrededor de la construcción – IEAC (II trimestre de 2017). Disponible en <http://dane.gov.co/>
- Choi B., Hwang S., Lee S. 2017. What drives construction workers' acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health . Automation in Construction Journal. 84: 31 – 41.
- Dardiri A., Sutrisno, Kuncoro T., Ichwanto M., Suparji. 2017. Enhancing the competitiveness of skilled construction workers through collaborative education and training. AIP Conference Proceedings 1887, 02005. Malagang, Indonesia.
- Fonseca, David, Ernest Redondo y Francesc Valls. 2016. Motivación y mejora académica utilizando realidad aumentada para el estudio de modelos tridimensionales arquitectónicos. Education in the Knowledge Society, 17 (1): 45-64.
- Hasanzadeh S., Esmaeli B., Dodd M. (2016) Measuring construction worker’s real – time situation awareness using mobile eye – tracking. Construction Research Congress. Universidad de California. San Diego, Estados Unidos.

- Hwang, Jin-Tsong, Ting-Chen Chu y Chien-Hong Chen. "Accuracy Assessment of 3D Building Construction by Multiview Images and the Integrated Application with Augmented Reality" Conferencia. The 36th Asian Conference On Remote Sensing. 19 de Octubre del 2015.
- Kivrak S., Arslan G., Akgun A., Arslan V. 2015. Augmented Reality system applications in construction Project activities. Conference paper.
- Lind, & Marchal, W. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía. New York: McGraw Hill.
- Love, Peter, Pauline Teo, Murray Davidson, Shaun Cumming y John Morrison. 2016. Building absorptive capacity in an alliance: Process improvement through lessons learned. *International Journal of Project Management*, 34: 1123-37.
- Meza, Sebastjan, Ziga Turk y Matevz Dolnec. 2015. Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. *Advances in Engineering Software*, 90: 1-10.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011. Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social: Los materiales en la construcción de vivienda de interés social (No. 2). Recuperado de: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_2.pdf
- Núñez José Carlos. 2009. Motivación, aprendizaje y rendimiento académico. Congreso Internacional Galego – Portugués de Psicopedagogía. Universidade do Minho. Brasil.
- Omar, Tarek y Moncef L. Nehdi. 2016. Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in Construction*, 70: 143-55.
- Pejoska, Jana, Merja Bauters, Jukka Purma y Teemu Leinonen. 2016. Social augmented reality: Enhancing context-dependent communication and informal learning at work. *British Journal of Educational Technology*, 47 (3): 474-83.
- Pierdicca, Roberto, Emanuele Frontoni, Primo Primo Zingaretti, Adriano Mancini, Eva Savina Malinverni, Ana Nora Tasseti, Ernesto Marcheggiani y Andrea Galli. 2016. Smart maintenance of riverbanks using a standard data layer and Augmented Reality. *Computers & Geosciences*, 95: 67-74.
- Raúl Reinoso (s.f). Introducción a la Realidad Aumentada. Disponible en www.educa.jcyl.es/crol/es/repositorio-global/introduccion-realidad-aumentada
- Redondo, Ernesto, Albert Sánchez, Joaquin Moya, Joaquin Regot. "La ciudad como aula digital. Enseñando urbanismo y arquitectura mediante mobile learning y la realidad aumentada. Un estudio de viabilidad y de caso." *Architecture, City and Environment*, 7 (2012): 27-54, http://www.cpsv.upc.es/ace/Articles_n19/articles_pdf/ACE_19_SA_11.pdf37162.ficheros/511255-3711.pdf
- Smith M.K. 2002. Malcolm Knowles, informal adult education, self – direction and andragogy. *The Encyclopedia of Informal Education*.

- Wang, X., S.K. Ong y A.Y.C. Nee. 2016. Real-Virtual components interaction for assembly simulation and planning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 41: 102-14.
- Weiers, R. M. 2006. *Introducción a la Estadística Para Negocios*. México: Thomson.