

Análisis de necesidades e implementación de tecnología de realidad virtual para entrenamiento y educación militar en Colombia

Needs analysis and implementation of virtual reality technology for military training and education in Colombia

Análise de necessidades e implementação de tecnologia de realidade virtual para treinamento e educação militar na Colômbia

Cristhian Camilo García Rodríguez ^{a*} | Oscar Leonardo Mosquera Dussán ^b | Daniel Guzmán Pérez ^c | Jhonnatan Eduardo Zamudio Palacios ^d | José Antonio García Torres ^e

^a <https://orcid.org/0000-0001-7351-8132> Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia

^b <https://orcid.org/0000-0002-8453-3597> Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia

^c <https://orcid.org/0000-0002-4329-565X> Ejército Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

^d <https://orcid.org/0000-0002-6179-0101> Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia

^e <https://orcid.org/0000-0002-5592-3027> Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia

- **Fecha de recepción:** 2020-06-10
- **Fecha concepto de evaluación:** 2020-08-07
- **Fecha de aprobación:** 2020-08-18
<https://doi.org/10.22335/rlct.v13i1.1271>

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: García Rodríguez, C. C., Mosquera Dussán, O. L., Guzmán Pérez, D., Zamudio Palacios, J. E., & García Torres, J. A. (2021). Análisis de necesidades e implementación de tecnología de realidad virtual para entrenamiento y educación militar en Colombia. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 13(1), 8-18. <https://doi.org/10.22335/rlct.v13i1.1271>

RESUMEN

El artículo se propone realizar el análisis de las necesidades en el entrenamiento y la educación militar de comandante de pequeñas unidades y proponer una solución mediante la implementación de tecnología de realidad virtual. En este trabajo, por medio de la aplicación de una encuesta, se exploran las herramientas disponibles para realizar entrenamiento de comandante de pequeñas unidades. Asimismo, se identifican las necesidades que presenta la institución en este tipo de entrenamiento, centrándose en ejercicios de maniobras de combate irregular. Se realizó un análisis de las principales acciones que debe ejecutar el personal militar en este tipo de entrenamientos con el propósito de identificar medios tecnológicos que den solución a las acciones identificadas. Se propone la integración e implementación de un sistema de simulación haciendo uso de tecnología de realidad virtual y plataformas omnidireccionales para captura de movimiento, identificando factores relevantes como, por ejemplo, la adaptación a este tipo de tecnología y los parámetros de seguridad referentes a la aceptación por parte de los usuarios. El sistema propuesto se constituye en la unidad fundamental en el diseño de un centro de entrenamiento de maniobras irregulares que permitirá la interacción con grupos y diferentes especialidades en el interior de las Fuerzas Armadas.

Palabras clave: educación militar, entrenamiento, Fuerzas Armadas, realidad virtual, tecnología militar

ABSTRACT

The article analyzes the training and military education needs of small unit commanders and proposes to solve them by implementing virtual reality technology. This paper applies a survey to explore the tools that are available for training small unit commanders. Likewise, it identifies institutions' needs for this type of training, focusing on exercises for irregular combat maneuvers. An analysis was carried out to identify the main actions that military personnel usually carry out in this type of training in order to find technological solutions to them. The integration and implementation of a simulation system is proposed, making use of virtual reality technology and omnidirectional platforms for motion capture, identifying relevant factors such as, for example, adaptation to this type of technology and security parameters regarding user acceptance. The proposed system is the fundamental unit in the design of a training center for irregular maneuvers that will allow interaction with groups and different specialties within the Armed Forces.

Keywords: military education, training, Armed Forces, virtual reality, military technology

RESUMO

O artigo visa realizar a análise das necessidades no treinamento e a educação militar de comandantes de pequenas unidades e propor uma solução através da implementação de tecnologia de realidade virtual. Neste trabalho, por meio da aplicação de uma enquete, exploram-se as ferramentas disponíveis para realizar o treinamento de comandantes de pequenas unidades. Da mesma forma, identificam-se as necessidades da instituição neste tipo de treinamento, concentrando-se em exercícios de manobras de combate irregular. Realizou-se uma análise das principais ações que devem ser executadas pelo pessoal militar neste tipo de treinamentos com o propósito de identificar meios tecnológicos que ofereçam solução às ações identificadas. Propõe-se a integração e implementação de um sistema de simulação, fazendo uso de tecnologia de realidade virtual e plataformas omnidirecionais para captura de movimento, identificando fatores relevantes como, por exemplo, a adaptação a este tipo de tecnologia e os parâmetros de segurança referentes à aceitação por parte dos usuários. O sistema proposto se constitui na unidade fundamental no desenho de um centro de treinamento de manobras irregulares que permitirá a interação com grupos e diferentes especialidades no interior das Forças Armadas.

Palavras-chave: educação militar; treinamento, Forças Armadas, realidade virtual, tecnologia militar

El aprendizaje mediante el uso de sistemas de simulación se implementa actualmente en el mundo como elemento didáctico que permite reducir costos y, a su vez, mejorar las habilidades y los resultados frente a la enseñanza tradicional (Muelle, 2019). Gracias a lo anterior se logra un mejor seguimiento y la evaluación por parte de los instructores.

En la educación militar los sistemas de simulación virtual ofrecen un entrenamiento táctico consolidado y una solución de ensayo de misión, combinando un terreno flexible y editores de escenarios con un ambiente virtual de alta fidelidad para la formación y evaluación posterior a la acción. Esto hace posible entrenar a los profesionales militares en un entorno virtual en el que pueden mejorar sus habilidades sin la necesidad de entrenar en un campo de batalla.

Ejércitos de otros países han implementado el uso de estas tecnologías. Estados Unidos cuenta con el centro de entrenamiento virtual de alta tecnología, basado en animación virtual en Ft. Eustis, denominado G-2 Operational Environmental Training Support Center. Este centro se puede utilizar para el entrenamiento de los más de 500000 uniformados con los que cuenta (Gooding, 2016). De hecho, recientemente han implementado un sistema de entrenamiento que requiere el uso de unas gafas de realidad virtual acompañadas de una ametralladora simulada y un *joystick*, de manera que en la simulación el militar se encuentra dentro de un vehículo y cuenta con una visión de 360 grados (Branco, 2020).

En España, la compañía Indra, al servicio de las fuerzas militares de este país, desarrolló un sistema de simulación

con realidad virtual para entrenamiento militar por el cual se puede entrenar a tiradores y en las manos el soldado tiene un arma pesada real. Sin embargo, por medio de las gafas solo se observa la representación generada por ordenador (Indra, 2019).

Por otra parte, en Brasil se emplea el Simulador de Apoyo de Fuego Sur (Simaf), en el que los militares llevan a cabo entrenamientos simulados de combate y es posible planificar escenarios de alta resolución, monitorear las actividades de simulación e identificar procedimientos incorrectos. El complejo está dividido en 21 salas que albergan los subsistemas de los centros de control y evaluación del ejercicio (Bonilla, 2016).

A nivel de Latinoamérica, la Academia de Guerra en Chile, por medio del Centro de Entrenamiento Operativo Táctico (Ceotac), cuenta con varios sistemas de simulación como aporte a la investigación y el desarrollo en las áreas del entrenamiento militar: el SETAC3, un sistema de entrenamiento de toma de decisiones militares que simula la conducción táctica de unidades y en el que los comandantes conducen las acciones desde sus puestos de mando, utilizando estaciones de trabajo remotas; el Sistema de Simulación de Gestión y Entrenamiento de Situaciones de Emergencia (Sigen), un sistema diseñado para el uso de las autoridades responsables del manejo de emergencias naturales, antrópicas, socioorganizativas y tecnológicas; y el Sistema de Simulación Para Operaciones de Paz, Simupaz, destinado a perfeccionar las habilidades en el proceso de toma de decisiones de las planas mayores que cumplen misiones de paz conforme a los estándares definidos por las Naciones Unidas (Academia de Guerra del Ejército de Chile, 2016).

Argentina, por su parte, mediante el desarrollo de Sistemas de Comando y Control (C2) para el apoyo a la toma de decisiones y la dirección de las operaciones dirigidas tanto a problemas militares como operativos (Ejército Nacional de Colombia, 2017) ha empezado a utilizar este tipo de tecnologías. Así ha logrado un impacto positivo en el cumplimiento de sus misiones, con menores costos operacionales y facilitando al mando mejores decisiones tácticas y estratégicas.

En Colombia, el Ejército Nacional enfoca sus esfuerzos en prepararse para afrontar los retos del futuro. Esta realidad exige generar continuamente procesos de modernización que permitan desarrollar capacidades y así brindar respuestas oportunas, eficaces y sostenibles a los

requerimientos estratégicos que se encuentran inmersos en los planes del direccionamiento estratégico (Ejército Nacional de Colombia, 2015). Entre estos se destaca la necesidad de aumentar la efectividad del entrenamiento y el reentrenamiento en los diferentes niveles del organigrama ofensivo militar mediante metodologías de investigación y desarrollo tecnológico, para lo cual se han incorporado tecnologías de simulación a nivel de las escuelas de formación que, según estudios realizados, se utilizan, principalmente, en el desarrollo de ejercicios de entrenamiento individual dirigidos a fortalecer el área de tiro, la cual abarca desde principios básicos hasta tiradores de alta precisión. La práctica continua en entornos simulados y genera un mayor aprendizaje en un menor tiempo.

Otros tipos de entrenamientos se realizan actualmente de manera teórico-práctica con ejercicios en terreno (Jefatura de Educación y Doctrina, 2010). Esto genera gastos logísticos (costos de combustible, grasas, lubricantes y desgaste de material), de desplazamiento de personal, materiales y municiones, lo que limita el número de prácticas y la posibilidad de entrenar diferentes niveles de mando. De igual manera, debido al alto número de personal que realiza de forma simultánea este tipo de entrenamiento, no se produce un óptimo acompañamiento por parte del instructor. Entre estos entrenamientos se encuentra el de comandante de pequeñas unidades, concepto que nace como una necesidad de las unidades para el desarrollo de operaciones de guerra irregular (emboscada, contraemboscada, acciones sorpresivas, infiltración, etc.). Estas operaciones, a diferencia del combate regular o convencional, no tienen como principal objetivo ganar un espacio de terreno, sino que abarcan una serie de aspectos por lograr, como, por ejemplo, la deslegitimación del adversario, la protección de la población civil y sus bienes o la protección de los recursos del Estado. A fin de lograr estos cometidos las Fuerzas Militares deben hacer uso de todo tipo de medios que les brinda la doctrina militar con el propósito de contrarrestar el accionar de las organizaciones terroristas (Ejército Nacional de Colombia, 2010). La organización de estas unidades permite otorgar a los comandantes una distribución adecuada del poder de combate de sus hombres, logrando así que cada uno de ellos tenga una misión específica para el desarrollo de maniobras de combate en el marco del desarrollo de una operación táctica.

En el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades se evalúan habilidades de liderazgo y toma de decisiones en los diferentes niveles del mando, así como la interacción

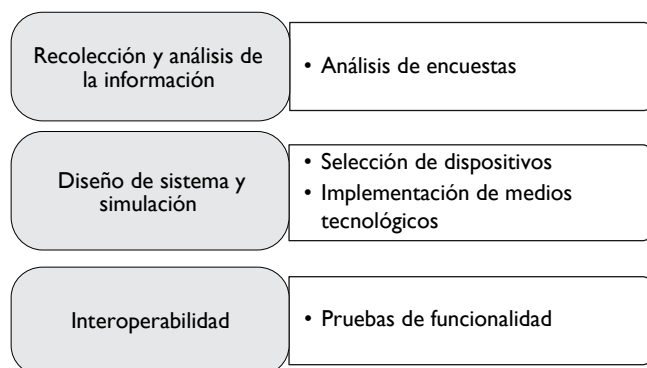
entre el comandante y los soldados de diferentes especialidades (enfermero, radioperador, fusilero, ametrallador, etc.) en una unidad tipo pelotón, escuadra y equipo de combate (Comando de Educación y Doctrina [Cedoc], 2016). Por lo anterior, se busca ampliar las capacidades de este tipo de entrenamiento militar haciendo uso de tecnologías de simulación que pueden atender las limitantes de tipo logístico y de evaluación.

En este trabajo se realizó una encuesta a oficiales y suboficiales del Ejército Nacional enfocada en buscar las falencias en los procesos de aprendizaje y las prácticas de entrenamiento de comandantes de pequeñas unidades en maniobras de guerra irregular, con la finalidad de entender la necesidad actual en sistemas de entrenamiento militar. Según el respectivo análisis estadístico de la información recolectada, se identifica la necesidad de implementar medios tecnológicos capaces de contribuir al entrenamiento de comandante de pequeñas unidades en el desarrollo de maniobras de combate irregular. A partir de lo anterior se propone un sistema de simulación compuesto por medios tecnológicos de realidad virtual y plataformas omnidireccionales que aporten a la solución de las necesidades identificadas, de modo que se elaboró el diagrama de conexión del sistema y, finalmente, se efectuaron las pruebas de funcionalidad con el propósito de garantizar la interoperabilidad del sistema de simulación.

■ Método y materiales

Para el desarrollo de esta propuesta tecnológica se establecieron tres actividades principales: recolección y análisis de información, diseño de sistema de simulación e interoperabilidad; en cada una se presentan los resultados obtenidos (véase la figura 1).

Figura 1. Diagrama de proceso de desarrollo del proyecto.



A continuación, se exploran los detalles de cada una de las actividades.

Recolección y análisis de la información

Se realizó una encuesta a los diferentes miembros de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Esta encuesta consta de ocho preguntas relacionadas con el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades y el uso de sistemas de simulación para entrenamiento militar. La encuesta se realizó de manera presencial en el 2019 a un total de 52 miembros de la institución, quienes firmaron consentimientos informados de acuerdo con los lineamientos de la Resolución N.º 008430 de 1993, por la cual en toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio deberá prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y su bienestar.

A partir de los datos obtenidos y el uso de la estadística inferencial con el fin de que los resultados se puedan extender a la población, se realizaron de manera manual pruebas de estimación de proporciones con intervalos de confianza del 95% donde p es el parámetro de la distribución binomial. Si se considera que la muestra $n = 52$ es una muestra grande, la distribución binomial se reduce con una distribución normal (Walpole, 2012).

Diseño de sistema de simulación

En el diseño del sistema de simulación, con base en el manual de operaciones del Ejército Nacional de Colombia, se identificaron las principales tareas que debe realizar el sujeto de investigación en el terreno para el desarrollo de ejercicios de maniobras de combate como comandante de pequeñas unidades. Estas son: rechazar ataques del enemigo por medio del fuego directo o el combate cuerpo a cuerpo y estar en capacidad de maniobrar en toda clase de terreno y bajo cualquier condición climática (Comando de Educación y Doctrina [Cedoc], 2016).

A partir de lo anterior se definieron las acciones que se deben realizar con el simulador de realidad virtual: (1) desplazamiento sin fin, con rango de movimiento de 360°, lo que permita explorar ambientes abiertos; (2) apuntar y disparar; (3) dar órdenes a personal a cargo en un determinado equipo; (4) inmersión del sujeto en un ambiente de combate irregular. A continuación, se realizó una búsqueda con el propósito de identificar medios tecnológicos existentes que den solución a las acciones identificadas (véase la tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos de dispositivos

Acción	Dispositivo	Características requeridas
Desplazamiento sin fin	Plataforma omnidireccional	<ul style="list-style-type: none"> Permitir rotación 360° Compatibilidad con dispositivos HMD (<i>head mounted display</i>)
Apuntar y disparar	Periférico externo	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilidad con PC Sensores para movimiento Similitud dispositivo real
Dar órdenes	Periférico externo	<ul style="list-style-type: none"> Pulsadores compatibles para PC
Inmersión del sujeto en un ambiente de combate irregular	Dispositivo HMD-auriculares	<ul style="list-style-type: none"> Permitir vista 360° Compatibilidad con PC Sonido envolvente

Después de determinar los elementos a utilizar (plataforma omnidireccional, periférico externo y dispositivo HMD) se realiza el diagrama de conectividad del sistema de simulación con el propósito de determinar los elementos de conexión necesarios, los medios de transmisión de la información (HDMI, *bluetooth*, USB) y el trazado de la red eléctrica que alimentará los dispositivos. Para lo anterior se hace uso de los *software* SolidWorks y Smart Draw, los cuales cuentan con librerías de componentes eléctricos y electrónicos que permiten la elaboración de diseños y planos que dan lugar a la implementación del sistema.

Interoperabilidad

En esta última actividad se realizó la implementación e interconexión de los diferentes dispositivos (plataforma omnidireccional, periférico externo y dispositivo HMD con auriculares). Se verificaron las especificaciones técnicas requeridas por los componentes del sistema de simulación, esto es, rotación y vista 360° de los sistemas para visualización y desplazamiento, y compatibilidad entre *hardware*.

Luego, se realizó la interconexión de los dispositivos y se efectuaron pruebas de funcionalidad e interoperabilidad mediante la ejecución de una serie de ejercicios prácticos en el área de operaciones que se elaboraron en el *software* Arma 3, el cual es de uso comercial y permite el desarrollo de misiones y escenarios a nivel militar. Se utilizó también el *software* VorpX, que es un controlador 3D específicamente orientado a dispositivos de realidad virtual, de manera que permite modificar aspectos tales como la resolución o la asignación de funciones a las entradas de *mouse* y teclado dentro del ambiente de realidad virtual.

Finalmente, se desarrollan pruebas de funcionalidad basadas en el siguiente protocolo de interconexión y funcionalidad:

- *Realizar la conexión y calibración del dispositivo HMD.* En este proceso se conecta el dispositivo por medio de un adaptador a la red eléctrica de 120 v; este adaptador transforma ese voltaje en 5 v DC, posterior a lo cual se realiza la calibración de las gafas de realidad virtual con respecto a la altura del sujeto de investigación que va a hacer uso del dispositivo (con este fin se hace uso del *software* Steam VR que proporcion el fabricante).
- *Realizar la conexión y calibración de la plataforma omnidireccional.* El dispositivo se comunica por medio de conexión USB al equipo Workstation, se inicia el *software* de calibración proporcionado por el fabricante (el cual permite detectar los movimientos de los ejes de la plataforma y verificar que se encuentre configurada con la posición de avance).
- *Ejecutar el software VorpX.* En este proceso se debe realizar la configuración de las funciones de la plataforma omnidireccional y la resolución de la imagen proyectada en el dispositivo HMD.
- *Ejecutar software Arma 3.* Posterior a ello se debe comprobar la visualización de la pantalla de inicio del *software* en el dispositivo HMD.
- *Iniciar la misión desarrollada en el software Arma 3.*
- *Activar el dispositivo periférico externo.*
- *Desarrollar la misión.* Esta consiste en realizar una caminata por un sendero con obstáculos con el propósito de evaluar el funcionamiento de las plataformas omnidireccionales, luego en un área de polígono de tiro que permita verificar el funcionamiento del periférico externo.

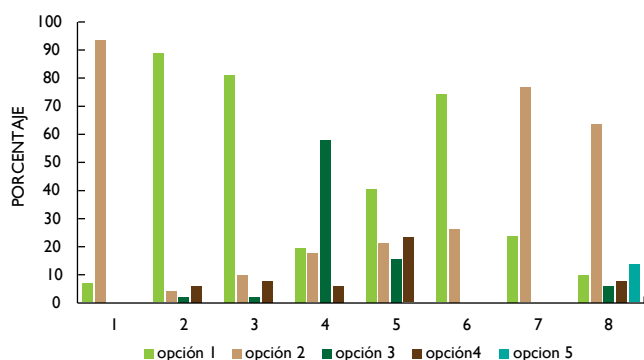
Estas pruebas se realizaron con el fin de verificar que no existieran problemas de compatibilidad entre los dispositivos, no se generaran conflictos en la transmisión de la información, así como la estabilidad y la capacidad de la red eléctrica.

Resultados

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en cada una de las preguntas realizadas en la encuesta se representan en un diagrama de barras previo a la prueba de estimación de proporciones (véase la figura 2).

Figura 2.



Resultados de encuestas. Preguntas aplicadas para conocer la opinión de los diferentes miembros de la Escuela Militar de Cadetes, principalmente de oficiales y suboficiales, con respecto al uso de tecnologías para el desarrollo de maniobras irregulares de guerra. (1) ¿Tuvo entrenamiento como comandante de pequeñas unidades? Opción 1: no; opción 2: sí. (2) ¿Cómo fue el proceso de aprendizaje de comandante de pequeñas unidades? Opción 1: teórico-práctico; opción 2: teórico; opción 3: práctico; opción 4: ninguna de las anteriores. (3) ¿Qué herramientas para ejercicio práctico empleó en su formación como comandante de pequeñas unidades? Opción 1: ejercicios en el terreno; opción 2: juego de guerra; opción 3: simulador para ejercicios prácticos; opción 4: ninguna de las anteriores. (4) ¿Cuál de las siguientes herramientas ha empleado para el entrenamiento como comandante de pequeñas unidades? Opción 1: pantalla; opción 2: *miles plus*; opción 3: ninguna; opción 4: otras. (5) ¿Qué herramientas conoce para hacer ejercicios simulados como comandante de pequeñas unidades? opción 1: ninguna; opción 2: simuladores; opción 3: juegos de guerra; opción 4: otros. (6) ¿Considera usted que existen falencias en el entrenamiento como comandante de pequeñas unidades? Opción 1: sí; opción 2: no. (7) ¿Ha realizado ejercicios de entrenamiento para comandante de pequeñas unidades con sistemas de simulación bajo realidad virtual? Opción 1: sí; opción 2: no. (8) ¿Qué tipos de medios tecnológicos considera que deberían ser implementados en la fuerza para el entrenamiento como comandante de pequeñas unidades? Opción 1: ninguno; opción 2: simuladores; opción 3: juegos de guerra; opción 4: satelital; opción 5: otros.

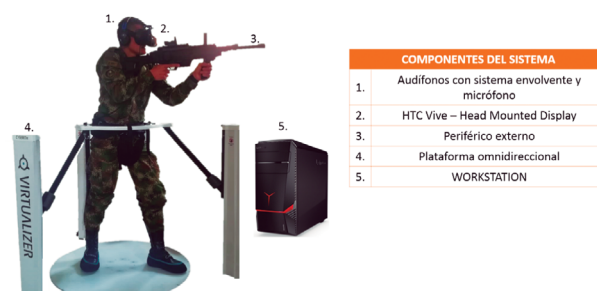
Para cada pregunta de la encuesta se realizaron estimaciones de proporciones por intervalos de confianza con un intervalo de confianza del 95%; se tomó el valor de porcentaje de respuesta más alto en cada una de las preguntas en el cálculo de la proporción muestral \hat{p} (véase la tabla 2).

Selección de dispositivos

Al tener en cuenta los requisitos mencionados en el diseño de sistema de simulación y los análisis estadísticos realizados, en los cuales se identificaron aspectos importantes, como, por ejemplo, el alto porcentaje de personal

que recibe entrenamiento en terreno como comandante de pequeñas unidades y el poco uso de sistemas de simulación como apoyo al entrenamiento militar, se seleccionaron referencias comerciales que cumplieran con las características requeridas (véase la figura 3). Además, se tuvo en cuenta que sean de fácil uso por parte del sujeto de investigación, permitan un alto número de ciclos de uso y se adapten a aspectos físicos propios de los participantes, como lo son, principalmente, el peso y la estatura.

Figura 3. Dispositivos de sistema de simulación.



Componentes del sistema

1. Audífonos con sonido envolvente y micrófono
2. Dispositivo HMD-head mounted display
3. Periférico externo
4. Plataforma omnidireccional
5. Workstation

Dispositivo HMD para generación de imágenes

Se opta para este proyecto por HTC vive, el cual cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Vtm, 2016):

- pantalla de 3.6" diagonal;
- resolución de 1080 x 1200 píxeles por ojo (2160 x 1200 píxeles combinados);
- sensores G-sensor, proximidad, giroscopio, Steam VR Tracking;
- conexiones HDMI, USB 2,0, *jack* auricular de 3.5 mm, *power*, *bluetooth*;
- entradas de micrófono integrado;
- adaptador de corriente *input* 100-240V a 500 mA 50-60 Hz, *output* 12V a 1.5 A.

Este dispositivo también cuenta con un mayor desarrollo comercial y soporte por parte de la compañía fabricante.

Periférico externo para acción de disparar y dar órdenes

Para la selección del periférico externo que se utilizó en la simulación del fusil y poder realizar la acción de disparo

Tabla 2. Intervalos de confianza

Proporción	Intervalos de confianza		Interpretación
	P	\hat{p}	
1. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que tienen entrenamiento como comandantes de pequeñas unidades.	0.9230	0.9230 ± 0.073	Entre el 85% y el 99% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes tienen entrenamiento como comandantes de pequeñas unidades.
2. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que tuvieron un proceso “teórico-práctico” de aprendizaje como comandantes de pequeñas unidades.	0.8846	0.8846 ± 0.0868	Entre el 80% y el 97% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes tuvieron un proceso “teórico-práctico” de aprendizaje como comandantes de pequeñas unidades.
3. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que utilizaron como herramienta de entrenamiento práctico el ejercicio en terreno en su formación como comandantes de pequeñas unidades.	0.8076	0.8076 ± 0.1071	Entre el 70% y el 91% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes utilizaron como herramienta de entrenamiento práctico el ejercicio en terreno en su formación como comandantes de pequeñas unidades.
4. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que no conocen las herramientas de simulación usadas para el entrenamiento como comandantes de pequeñas unidades.	0.5769	0.5769 ± 0.1343	Entre el 45% y el 71% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes no conocen las herramientas de simulación usadas para el entrenamiento como comandantes de pequeñas unidades.
5. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que conocen de herramientas existentes para realizar ejercicios simulados como comandantes de comandante de pequeñas unidades.	0.4038	0.4038 ± 0.1333	Entre el 27% y el 54% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes conocen herramientas para hacer ejercicios simulados como comandantes de comandante de pequeñas unidades.
6. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que consideran que existen falencias en el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades.	0.75	0.75 ± 0.1176	Entre el 64% y el 86% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar consideran que existen falencias en el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades.
7. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que no han utilizado simuladores de realidad virtual para entrenamiento.	0.7692	0.7692 ± 0.1145	Entre el 65% y el 87% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de cadetes no han utilizado simuladores de realidad virtual para entrenamiento.
8. Oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes que consideran que el uso de simuladores de realidad virtual debería utilizarse como herramienta del entrenamiento de comandante de pequeñas unidades.	0.6153	0.6153 ± 0.1322	Entre el 48% y el 75% de los oficiales y suboficiales de la Escuela Militar de Cadetes consideran que el uso de simuladores de realidad virtual debería utilizarse como herramienta del entrenamiento de comandante de pequeñas unidades.

se tuvo como condición el que más se acercara en apariencia al Galil 5.56 actualmente por la fuerza. En razón a lo anterior, se seleccionó el periférico Delta Six (Cronus, 2016), el cual, además, cuenta con sensores (acelerómetros y giroscopio) y un motor que genera la sensación de retroceso en el momento de disparar. De igual manera, se tiene la posibilidad de realizar tres configuraciones de montaje diferente, es compatible con PC y juegos de realidad virtual con vista de 360°, cuenta con conexión *bluetooth* y su funcionamiento es con baterías.

Este periférico cuenta con una serie de botones y un *joystick* que pueden configurarse dentro del *software* para realizar la acción de emitir órdenes.

Plataformas omnidireccionales

En la acción de desplazamiento se seleccionaron dos plataformas omnidireccionales que pueden generar esta sensación en el ambiente simulado; estas son Virtuix Omni

y Cyberith Virtualizer. Ambas tienen características en común, como, por ejemplo, la posibilidad de girar 360°, son compatibles con todos los sistemas HMD existentes, cuentan con un *software* independiente para su instalación y configuración, su conexión de comunicación es mediante USB y su sistema de carga funciona con convertidores de voltaje DC conectados a una línea de voltaje AC de 120 v y 60 HZ.

Equipo Workstation

A partir de las especificaciones técnicas de los diferentes dispositivos que componen el sistema de simulación individual fue posible identificar los requerimientos con los que debe contar la estación de trabajo para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema (Lenovo, 2015).

Estos requerimientos son:

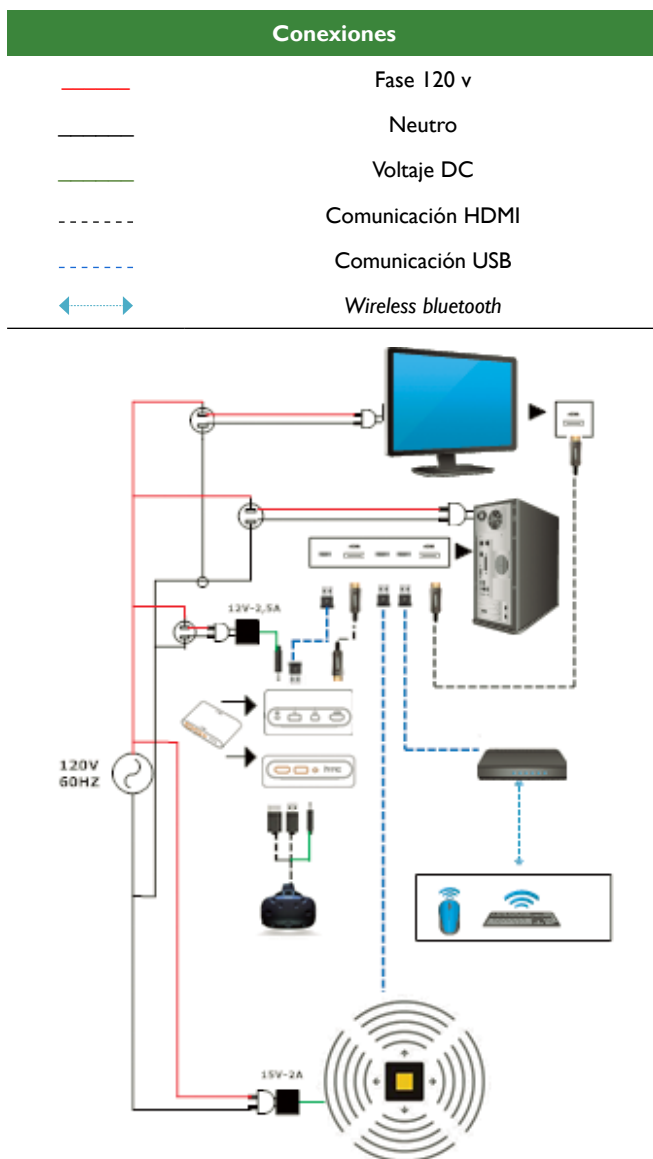
- procesador Intel i7;
- tarjeta gráfica PNY Nvidia Quadro P5000;

- RAM 32Gb;
- almacenamiento: disco duro Toshiba 1Tb a" y SSD 512Gb;
- fuente de poder de 650 W;
- puertos x4 USB 3,0, x6 USB 2,0, unidad óptica, jack de 3,5 mm de salida y entrada de audio;
- sistema operativo Windows 10.

Diagrama de conectividad

A partir de las especificaciones técnicas de los dispositivos que componen el sistema de simulación se realizó el diagrama de conectividad (véase la figura 4) para realizar el proceso de integración.

Figura 4. Diagrama de conectividad.



Implementación y pruebas de funcionalidad

Después de realizar los diagramas de conectividad se procede a realizar la implementación y la conexión de los

diferentes dispositivos, para lo cual se tuvo en cuenta las dimensiones de cada uno de los elementos y el espacio requerido para su adecuado funcionamiento. De esta manera se determina un área de trabajo del sistema de simulación de 6 m² (3 m x 2 m).

Se realizó la implementación y la conexión de dos sistemas de simulación debido a que se cuenta con dos plataformas omnidireccionales que tienen sistemas de funcionamiento diferente. Por una parte, la plataforma Cyberith Virtualizer (Jiménez, 2014) funciona mediante seis sensores ópticos instalados en el plato base de la plataforma, los cuales, al activarse por rozamiento con unos zapatos especiales, generan el movimiento. Por otra, la plataforma Virtuix Omni necesita de unos zapatos especiales por talla en los cuales se insertan unos sensores Omni Pods (Omni, 2017) que detectan el movimiento y transmiten la señal vía *bluetooth*. La plataforma Cyberith Virtualizer, por su diseño mecánico, a diferencia de la plataforma Virtuix Omni, permite que el sujeto de experimentación realice la acción de arrodillarse.

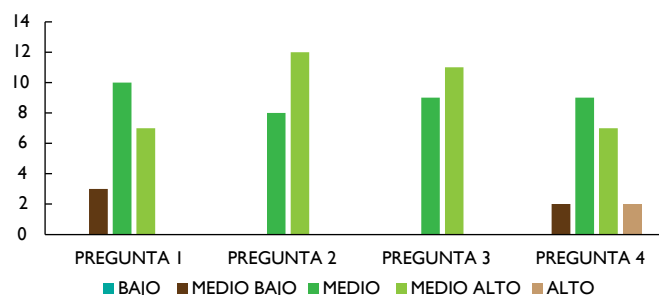
Luego de realizar la conexión de dispositivos se realizaron las pruebas de funcionalidad (véase la figura 5), de acuerdo con el protocolo de conexión. Esta prueba contó con la participación de personal militar ($n = 20$) que tuviera conocimiento en entrenamiento de comandante de pequeñas unidades y experiencia en el área de operaciones. En el desarrollo de estas pruebas los sujetos de investigación firmaron consentimientos informados como compromiso ético en los que especificaron claramente los objetivos, los métodos, los riesgos, la confidencialidad y los beneficios a los que estarían sometidos, con el propósito de otorgar los elementos de juicio necesarios que les permitieran tomar una decisión sobre su participación en la investigación.

Al final de la participación los sujetos de investigación diligenciaron una encuesta de calificación acerca de su percepción en aspectos de inmersión y comodidad en una escala de 1 a 5, en la que 1 es bajo, 2 medibajo, 3 medio, 4 medioalto y 5 alto (véase la figura 6). De igual forma, como parámetros de seguridad esta actividad la acompañaron y condujeron los investigadores responsables, quienes estuvieron siempre presentes monitorizando el estado de salud de los participantes mediante el uso de sensores de frecuencia cardiaca. También se atendieron las indicaciones emitidas por el fabricante acerca del uso continuo de dispositivos de realidad virtual, el cual es de 20 a 30 min máximo, a fin de evitar eventos tales como mareo o náuseas al estar inmerso en entornos de realidad virtual (Dudley, 2018).

Figura 5. Pruebas de funcionalidad siguiendo protocolo de conectividad.



Figura 6.



Resultados de encuestas. Preguntas aplicadas para conocer la percepción de inmersión y adaptación de los sujetos de investigación: (1) ¿En una escala de 1 a 5, hasta qué punto tuvo la sensación de estar en un ambiente de operación militar? (2) ¿En una escala de 1 a 5, hasta qué punto el ambiente virtual militar se convirtió en la "realidad" para usted y se olvidó del "mundo real"? (3) ¿En una escala de 1 a 5, relacionó el ambiente virtual militar experimentado como imágenes vistas o como algún lugar visitado? (4) ¿En una escala de 1 a 5, qué tan cómodo se sintió durante la experiencia virtual?

Discusión de resultados

A partir de las encuestas realizadas, más del 85% de los oficiales y los suboficiales del ejército han recibido entrenamiento de comandante de pequeñas unidades; de estos, más de un 80% lo realizó de manera teórico-práctica con ejercicios en terreno. A partir de lo anterior es posible afirmar que este sistema de simulación contribuiría a la necesidad de aumentar la efectividad y la cantidad de ejercicios para el entrenamiento y reentrenamiento en los diferentes niveles del organigrama ofensivo militar, de manera que se reduzcan costos logísticos (costos de combustible, grasas, lubricantes y desgaste de material), de desplazamiento de personal, materiales y municiones. Esta necesidad también se encuentra enmarcada en el plan estratégico para el sector defensa 2018-2022, en el objetivo de continuar con el proceso de transformación,

modernización y fortalecimiento institucional del sector defensa y seguridad de manera sostenible.

Con los resultados obtenidos también es posible afirmar que más del 60% de los oficiales y suboficiales considera que existen falencias con respecto a la cantidad y la eficacia del entrenamiento de comandante de pequeñas unidades. Además, se puede afirmar que existe la necesidad de fortalecer el conocimiento en el uso de simuladores para entrenamiento militar, ya que solo entre el 27% y el 54% de los oficiales y suboficiales conocen acerca de los sistemas de simulación que se utilizan actualmente en Colombia o en otros países. Esta necesidad también se encuentra identificada en las líneas de investigación y desarrollo tecnológico del Ejército Nacional.

Con base en las pruebas de funcionalidad es posible afirmar que con este sistema de simulación se reduce en un 100% la posibilidad de accidentes en el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades, ya que se realiza en un ambiente controlado. De igual modo, el uso de plataformas omnidireccionales limita el desplazamiento del personal en entrenamiento, lo que reduce en su totalidad la posibilidad de que sufra alguna lesión en el momento de encontrarse inmerso en el entorno de realidad virtual.

Por otra parte, también se identificaron algunas limitaciones a nivel de usabilidad, *software* y *hardware*. En cuanto a la usabilidad, esta se limita a un periodo de uso de los dispositivos de realidad virtual de máximo 30 min, razón por la cual solo se pueden desarrollar misiones de entrenamiento en este lapso de tiempo. A nivel de *software* se identificó que los escenarios utilizados no son lo suficientemente acordes a la geografía colombiana y a un entorno de operaciones real, pues tal como se evidencia en los resultados de calificación de la prueba de funcionalidad la percepción de inmersión y realismo se encuentra en un nivel de aprobación medio. Otra limitante es la necesidad de realizar calibraciones previas en el momento de iniciar un proceso de entrenamiento, ya que las variables físicas del personal militar (estatura, peso) cambian, y los dispositivos de simulación deben reconocerlas para así funcionar de manera adecuada.

A nivel de *hardware* se identificó que las plataformas omnidireccionales limitan la posibilidad de que el personal militar pueda arrodillarse y que el periférico externo utilizado para las acciones de disparar y emitir órdenes tiene un menor peso que un fusil real. Estos aspectos generan un menor nivel de realismo e inmersión en el personal militar. Finalmente, se requiere un proceso de familiarización con el uso de estos dos dispositivos previo a la inmersión en una misión de realidad virtual.

Conclusiones y trabajo futuro

Se puede concluir que el entrenamiento como comandante de pequeñas unidades es significativamente relevante e importante en el interior de la fuerza. De igual manera, es posible afirmar que el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades se realiza en la actualidad, principalmente, de manera teórico-práctica y mediante ejecución de ejercicios en terreno, lo que supone un alto costo para la fuerza y posibles riesgos de accidentes.

Del presente estudio también es posible concluir que existe poco conocimiento sobre el manejo de sistemas de simulación, lo que plantea un aspecto a mejorar en cobertura de estos sistemas.

Es posible afirmar que en el interior de la fuerza existe la necesidad de implementar sistemas de simulación para el entrenamiento de comandante de pequeñas unidades, ya que una proporción significativa demanda este tipo de tecnologías. Se puede observar que existe la percepción según la cual estos sistemas serían una alternativa para un mejor desarrollo de este tipo de entrenamiento, de manera que fortalecerían las habilidades del personal militar; aumentarían la eficiencia en la evaluación y disminuirían el costo.

Después de realizar las pruebas de funcionalidad se evidenció la correcta interoperabilidad entre los dispositivos. De igual forma, fue posible validar el cumplimiento de

las características requeridas para el desarrollo de ejercicios de comandante de pequeñas unidades realizando maniobras de combate irregular.

En estas pruebas se evidenció la necesidad de realizar un proceso previo de familiarización al personal militar en lo concerniente al manejo de los elementos que componen este sistema de simulación, con el fin de que el sujeto de investigación realice las misiones de maniobra de combate de guerra irregular en el entorno de realidad virtual de manera adecuada con referencia la doctrina militar vigente. Este proceso de familiarización permitirá, a su vez, evaluar la capacidad de adaptación e inmersión en ambientes virtuales en conformidad con aspectos como, por ejemplo, el tiempo de uso recomendado por el fabricante.

Finalmente, este trabajo es el punto de partida para futuros avances como lo son el desarrollo de misiones a cargo de un comandante de pequeñas unidades o el diseño de terrenos de geografía colombiana, de modo que se logre así mayor realismo e inmersión. Esto permitirá, en un futuro, el desarrollo del Centro de Entrenamiento de Maniobras Irregulares Simuladas (Cemisi) que se tiene proyectado (véase la figura 7), el cual integrarán 41 sistemas de simulación interconectados con el fin de realizar ejercicios en los diferentes niveles de organización (equipo de combate, escuadra, sección y pelotón), y comunicación remota con otros centros de simulación.

Figura 7. Prototipo centro de entrenamiento de maniobras irregulares simuladas.



■ Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no tener ningún conflicto de intereses.

■ Referencias

- Academia de Guerra del Ejército de Chile (2016). *Ceotac*. http://www.acague.cl/?page_id=61
- Bonilla, J. (2016). Simaf: el mayor simulador militar de América Latina. *Defensa.com*. http://www.defensa.com/frontend/defensa/noticia.php?id_noticia=17929&id_seccion=332
- Branco, A. (2020). Cómo EE UU usa la realidad virtual para crear mejores soldados. *El Español*. https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20200301/eeuu-usa-realidad-virtual-crear-mejores-soldados/470453462_0.html
- Comando de Educación y Doctrina (2016). *Herramientas de planeamiento. Manual de Lancero*. Ejército Nacional. <https://bibliodoe.files.wordpress.com/2019/01/ejc-3-26-lancero.pdf>
- Cronus, O. (2016). Delta Six Guide Updates. <https://manualzz.com/doc/26590749/delta-six-guide-updates>
- Dudley, D. (2018). El futuro de la realidad virtual en la salud y los juegos. *AARP*. <https://www.aarp.org/espanol/hogar-familia/tecnologia/info-2019/beneficios-uso-de-realidad-virtual-vr-en-atencion-medica.html>
- Ejército Nacional de Colombia. (2010). *Reglamento de operaciones y maniobras de combate irregular*. Publicaciones Ejército.
- Ejército Nacional de Colombia. (2015). Organigrama-Ejército Nacional de Colombia. *Ejercito.mil.co*. <https://www.ejercito.mil.co/?idcategoria=27>
- Ejército Nacional de Colombia. (2017). *Plan integral de simulación*. Sección de publicaciones de Ejército.
- Gooding, M. (2016). Army opens new virtual training center at Ft. Eustis. *13 News Now*. <https://www.13newsnow.com/article/news/army-opens-new-virtual-training-center-at-ft-eustis/291-326344805>
- Indra (2019). Indra potencia el entrenamiento militar con el uso de gafas de realidad virtual. *Indracompany.com*. <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-potencia-entrenamiento-militar-uso-gafas-realidad-virtual>
- Jefatura de Educación y Doctrina (2010). *Reglamento de operaciones y maniobras de combate irregular*. Sección de publicaciones de Ejército.
- Jiménez, R. (2014). *Realidad virtual, su presente y futuro*. Universidad Católica de Asunción.
- Lenovo (2015). *Ideacentre Y700-900 Hardware Maintenance Manual*. <https://content.etilize.com/User-Manual/1037506120.pdf>
- Muente, G. (15 de abril de 2019). El futuro del aprendizaje ¿Cómo aplicar la realidad virtual en la educación? *Rockcontent.com*. <https://rockcontent.com/es/blog/realidad-virtual-en-la-educacion/>
- Omni (2017). *Operator manual*. <http://www.virtuix.com/wp-content/uploads/2017/01/Virtuix-Omni-Operator-Manual-v1.4.pdf>
- V.Tm (2016). *Vive PRE User Guide*. https://www.htc.com/managed-assets/shared/desktop/vive/Vive_PRE_User_Guide.pdf
- Walpole, M. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson.