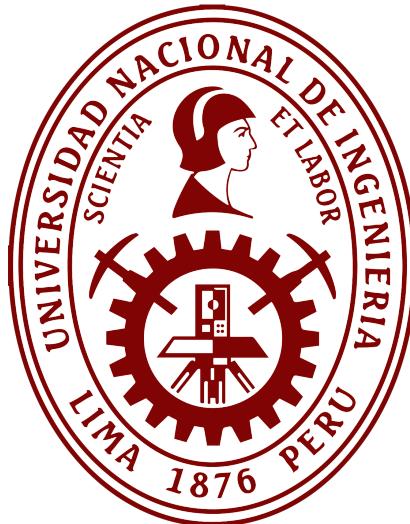


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIA DE LA
COMPUTACIÓN



**MEJORAMIENTO DEL APRENDIZAJE EN
CAPACITACIONES PARA OPERARIOS DE
TRABAJOS DE RIESGO EN PERÚ UTILIZANDO
REALIDAD VIRTUAL**

Seminario II

Autor: Daniel Alfredo Hidalgo Chávez

Asesor: Gipsy Miguel Angel Arrunategui Angulo

9 de marzo de 2021

Agradecimientos

A mi familia por siempre mantener mi motivación a seguir siempre adelante, a mis compañeros de carrera quienes serán en un futuro unos buenos colegas, y finalmente a mi, asesor quien me inspiró para lograr terminar el presente proyecto.

Resumen

Los trabajos de riesgo son actividades que, por su naturaleza o lugar donde se realiza, exponen la integridad física de los operadores para las actividades de rutina, los cuales pueden causar accidentes laborales severos e incluso mortales. Como contra medida a la ocurrencia de estos accidentes se realizan capacitaciones para cada miembro del equipo operario donde se hace uso de los diferentes medios audiovisuales disponibles en la actualidad, folletos, boletines y presentaciones en computadora. La utilización de aplicaciones en dispositivos de realidad virtual para capacitaciones o entrenamientos ha sido muy útil para simular trabajos en entornos de difícil acceso, como aquellos realizados por astronautas. En los últimos años la utilización de estos dispositivos se ha incrementado gracias al avance tecnológico en dispositivos LED y microprocesadores, lo que permite que más usuarios y empresas puedan desarrollar capacitaciones interactivas acorde a la labor específica. La propuesta de este proyecto de seminario de tesis es la utilización de una aplicación en realidad virtual para disminuir las ocurrencias de accidentes labores de trabajos de riesgo realizados en Perú.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivo Específico	3
1.3. Estructura del seminario	4
1.4. Historia	6
1.5. Estado del arte	7
1.6. Aspecto local	9
2. Fundamento teórico	11
2.1. Conceptos básicos	11
2.1.1. Dispositivos de realidad virtual	11
2.1.2. Trabajo de riesgo	12
2.1.3. Desatado de rocas	13
2.1.4. Uso de locomotoras	13
2.1.5. Simulación de entornos virtuales	14
3. Metodología y herramientas	16
3.1. Obtención de datos	16
3.1.1. Muestra poblacional	16
3.1.2. Medición	17
3.2. Herramientas	17
3.2.1. Unreal Engine 4	17
3.2.2. C++	19
3.2.3. HTC Vive Pro	19

4. Resultados y discusión	21
4.1. Resultados	21
4.2. Discusión	21
5. Conclusiones y trabajo futuro	22
5.1. Conclusiones	22
5.2. Trabajo futuro	23
6. Referencias	24

Índice de figuras

1.	Usuario utilizando Gravity Sketch para el diseño de automóviles	3
2.	De izquierda a derecha: Google Cardboard, HTC Vive, Oculus Quest 2	12
3.	Ilustración de la labor de desatado de rocas	14
4.	Simulaciones de entornos virtuales en diferentes plataformas	15
5.	Editor de niveles en el motor de videojuegos Unreal Engine 4	18
6.	Ejemplo de código en Blueprint scripting	18
7.	Ejemplo de cuestionario implementado en la aplicación	19
8.	Dispositivo de realidad virtual HTC Vive Pro	20

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Motivación

Los trabajos de riesgo han sido realizados a lo largo de la historia de la humanidad, como la construcción de los monumentos más impresionantes hechos por la humanidad. Otro trabajo de riesgo que se ha realizado constantemente es la extracción de recursos minerales. En cada trabajo de riesgo se han establecido protocolos y reglamentos de seguridad [26] para la continuidad de la labor de los operarios, con el paso del tiempo se han mejorado muchas veces gracias al avance de la tecnología. Las herramientas a su vez son cada vez más específicas y especializadas en las labores realizadas, es por esto que los operarios que las utilizan deben conocer cómo, cuando y dónde hacer uso de ellas.

En Perú también se ha realizado este tipo de trabajos desde antes de su constitución como república. La extracción de minerales como el oro, plata y cobre, es una de las actividades recurrente y generadoras de grandes ingresos para el estado, por este motivo se han establecido diferentes protocolos de seguridad para evitar accidentes o incidentes en esta actividad extractiva. Para lograr que cada operario esté capacitado en la realización de trabajos de extracción de recursos minerales dentro de estos ambientes naturales no seguros es necesario recurrir a métodos pedagógicos que aseguren el aprendizaje de los protocolos de seguridad y el uso de las herramientas a utilizar durante la labor. Lo más utilizados actualmente son las presentaciones de vistas informativos proyectadas por computadora, folletos

y boletines, seguido por una prueba en forma de cuestionario para corroborar lo aprendido por el aspirante a operario durante la capacitación.

Las aplicaciones de realidad virtual han comenzado a utilizarse como parte de capacitaciones en diferentes rubros desde hace muchos años. La NASA comenzó a utilizar este tipo de aplicaciones para el entrenamiento de los astronautas para mejorar el rendimiento en labores específicas que requerían una buena comunicación entre los tripulantes, para ello utilizaba computadoras de alta gama lo cual no permitía la masificación de este tipo de aplicaciones a un mayor público. Cerca de treinta años pasaron para que el poder de las computadoras personales sean capaces de ejecutar aplicaciones dirigidas a dispositivos de realidad virtual. Esto permitió que la popularidad se incremente exponencialmente acercando más a los usuarios comunes a este tipo de experiencias y nuevos tipos de interacciones con entornos virtuales. Actualmente el uso que se le da es amplio, entre ellos está para el entretenimiento como en el caso de videojuegos, paseos virtuales como Google Earth VR y capacitaciones virtuales como entrenamiento militar, cirugías emuladas en un paciente, mejoramiento de productividad para la iteración de diseños de automóviles, entre otras. Es posible también utilizar esta tecnología para realizar capacitaciones más efectivas en el área de trabajos de riesgo, reforzando el aprendizaje de los protocolos de seguridad que los operarios deben saber para trabajar siempre en un entorno seguro para todos los individuos dentro de un ambiente de difícil acceso como lo es una mina.



Figura 1: Usuario utilizando Gravity Sketch para el diseño de automóviles

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar una aplicación interactiva utilizando dispositivos de realidad virtual para mejorar el aprendizaje de los protocolos de seguridad en una mina situada en territorio peruano donde los operarios que recibirán la capacitación tendrán como labores el desatado de rocas [25] y uso de locomotoras.

1.2.2. Objetivo Específico

- Utilizar una aplicación de realidad virtual para emular el entorno donde se desarrollará la labor del desatado de roca y uso de locomotoras.
- Recolectar información de la ocurrencia de incidentes y accidentes en el lugar donde se realiza cada labor.
- Analizar la eficacia del uso de una aplicación de realidad virtual en el apren-

dizaje de los aspirantes a operarios de una mina con actividades de extracción.

1.3. Estructura del seminario

Para proporcionar al lector la idea global del contenido en el presente trabajo, este se dividirá en cinco (5) capítulos de los cuales se hará una breve descripción para explicar el propósito de cada uno.

- **Introducción:**

Se explica la motivación y los objetivos para el presente trabajo, luego se hará una breve introducción al tema de realidad virtual y su relación con las capacitaciones y sus beneficios en diferentes campos de la industria actual, así también se explicará lo que se propone: el beneficio de utilizar la tecnología de la realidad virtual para mejorar los resultados en los índices de accidentes e incidentes ocurridos en una labor de riesgo como la del desatado de roca en una mina ubicada en Perú. Finalmente se presentará el estado del arte relacionados a las aplicaciones ya desarrolladas para dispositivos de realidad virtual.

- **Fundamento teórico:**

Se describen los conceptos básicos que servirán para comprender el trabajo realizado, además se presentarán los pasos para realizar una aplicación en realidad virtual dirigida a capacitación de personal.

- **Metodología y herramientas:**

Se describe la metodología utilizada en la implementación de la aplicación, como también la obtención de datos en la capacitación generada por los

trabajadores y la medición de la efectividad en el uso de esta aplicación respecto a datos previos a dicha implementación. Por otra parte, se explicarán las herramientas utilizadas para el desarrollo de la aplicación.

■ **Resultados y discusión**

En este capítulo se explicará y discutirá los resultados obtenidos acerca de la eficiencia de los métodos con los aspirantes a operarios de una mina donde se tomará en cuenta el total de individuos y la cantidad de aprobados para cada método de aprendizaje.

■ **Conclusiones y trabajo a futuro**

En este último capítulo se expone las conclusiones obtenidas del presente trabajo. Adicionalmente, se proponen trabajos a futuro para mejorar el resultado conseguido.

1.4. Historia

La realidad virtual es un término que puede ser muy difícil describir en el sentido de qué es considerado una aplicación de realidad virtual. Para el presente trabajo se centrará en una definición funcional, donde se tomará en cuenta la capacidad de una aplicación, y los dispositivos donde se ejecutan, para interpretar la información del usuario cuando realice acciones no mapeadas en un dispositivo convencional de ingreso de datos como lo es un teclado o un mouse los cuales son incapaces de interpretar la posición y rotación de las manos. Esta tecnología ha sido del interés de muchas personas a lo largo del siglo XX y XXI debido al impacto producido en los usuarios. En 1960 Morton Heilig creó un simulador multisensorial llamado Sensorama, este era capaz de reproducir un filme previamente grabado a color, en estereo, al cual agregó sonido binaural, olores, viento y vibraciones, a pesar de ser el primero en el intento de recrear ambientes virtuales no era interactivo. Con el tiempo se fue mejorando las técnicas de emulación de ambientes e interacciones realizando así experimentos con este nuevo concepto de realidad virtual, pero no fue hasta 1982 que la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF por sus siglas en inglés) desarrolló un simulador de vuelo avanzado llamado VCASS (*Visually Coupled Airborne Systems Simulator*) donde el piloto de combate usaba un HMD (*Head-Mounted Display*) como parte de su entrenamiento debido a la abrumadura cantidad de información que debía tomar en cuenta mientras hace uso de la aeronave en su misión. Este proyecto abrió paso a los proyectos de programación de entrenamiento para diferentes áreas del mundo moderno. Apesar de las posibilidades del uso de la realidad virtual para desarrollar capacitaciones y diferentes tipos de trabajo la tecnología era aun muy difícil de replicar y producir en grandes cantidades, a esto se debe la ausencia de este tipo de aplicaciones en gran parte del siglo XX. La idea de las aplicaciones de

realidad virtual se mantuvo, en su mayoría, en medios de entretenimiento como libros y películas donde los autores proponían en su imaginación el uso que se le daría a la realidad virtual

No es hasta inicios de la década del 2010 que la empresa Oculus termina su primer producto llamado Oculus Rift capaz de ejecutar aplicaciones de experiencias inmersivas diseñadas como videojuegos en computadoras personales de sobremesa. Esto representó el inicio del ingreso de la realidad virtual a las masas como un medio de entretenimiento interactivo. Las empresas no demoraron en empezar a desarrollar aplicaciones para dichos dispositivos. Un sector de las empresas desarrolladoras se dedicó a utilizar esta tecnología en lo que originalmente fue concebida, para capacitaciones y entrenamientos de personal en una labor. Entre algunos ejemplos, la empresa Johnson Johnson Institute en colaboración con Osso VR desarrollaron una aplicación de entrenamiento para mejorar el rendimiento de los estudiantes de medicina en cirugías realizadas en la tibia del cual se obtuvo resultados donde se indicaba que la mejoría fue de un 230 %. Otro ejemplo resaltante es el trabajo colaborativo desarrollado por la empresa Ford y Gravity Sketch [1] que resultó en una aplicación en realidad virtual centrada en la iteración de diseños en automóviles, esta aplicación les permitió migrar fácilmente del uso aplicaciones convencionales de diseños a un entorno en 3 dimensiones el cual les permitía evaluar con mayor rapidez las propuestas del equipo.

1.5. Estado del arte

La compañía Ford junto a Gravity Sketch desarrollaron una aplicación en realidad virtual como herramienta para mejorar los resultados obtenidos de los diseños del equipo técnico para sus automóviles. Los diseños podían estar más

centrados en la comodidad del usuario final debido a la cantidad de iteraciones sobre un diseño que pueden obtener con la herramienta en tiempos más reducidos. Antes de la utilización de esta aplicación, los diseños tardaban semanas en realizarse pues existía una fase previa de selección de diseños antes de modelarse en 3D y esto significaba una evaluación más exhaustiva de cuales pasarían a la segunda fase. Sin embargo, una vez que la aplicación en realidad virtual se empezó a utilizar, estos procesos de propuestas de diseños pasaron a tardar solo horas. La aplicación permite dibujar trazos de tres dimensiones las cuales pueden ser unificadas con otras y formar piezas más complejas, a demás, está permitido rotar, trasladar, cambiar color y el material del trazo, y, por ultimo, redimensionar el objeto dibujado para tener un mejor entendimiento de lo que el usuario siente y observa cuando está dentro y fuera del automovil.[14]

La universidad de Oxford utiliza aplicaciones de realidad virtual para el entrenamiento de futuros profesionales en medicina. Se busca mejorar el tiempo de aprendizaje de los estudiantes luego de pasar por las diferentes pruebas en el programa de entrenamiento. La evaluación está enfocada en la toma de decisiones, el razonamiento clínico y el pensamiento crítico en base a lo impartido en las clases. Se desarrollaron sistemas que permiten analizar datos para cada uno de los campos previamente mencionados los cuales permiten tener un resultado completo de cada usuario. Una de las grandes ventajas del uso de esta tecnología para el campo de la medicina es el tiempo, costo y espacio requerido para que los estudiantes puedan observar y enfrentar los problemas que se les presentarán en el futuro, a esto también se suma la disponibilidad que el usuario posee para volver a realizar el entrenamiento en un entorno seguro.[15]

El campo militar es el que más utilidad le ha dado a la realidad virtual, esto principalmente por los desafíos que debe afrontar el militar ante diferentes situaciones, los sistemas y armamento utilizados son cada vez más complejos

(muchos hacen utilización de inteligencia artificial para ayudar al operador en el desarrollo de su labor) los cuales requieren una gran pericia al momento de tomar decisiones en tiempos muy reducidos, ya que la demora en una decisión puede significar el completo fallo de una misión. Una ventaja de simular situaciones en realidad virtual es la cantidad de situaciones simuladas que puede presentarse al usuario para observar su rendimiento en un campo seguro. Esto también significa en la reducción de costos en la utilización de vehículos acorazados, aeronaves de combate y uso de munición de práctica. [16]

El sector turismo también ha sido beneficiado con el uso de la realidad virtual. Se han desarrollado diversas aplicaciones que permiten a los usuarios transportar su presencia virtual en un entorno real en algún lugar del mundo. Para ello se utilizan muchas veces experiencias en viajes de videos 360°, otros utilizan las herramientas propias de los diferentes dispositivos para que el usuario pueda interactuar con objetos virtual en el lugar donde se encuentra virtualmente. Esto ha generado mucho interés de parte de los usuarios pues el ahorro y la disponibilidad que significa el uso de estas aplicaciones. [17]

Se realizó una investigación de la utilización de la realidad virtual para capacitaciones de los operarios debido a la gran cantidad de accidentes ocurridos en la industria de minería en Sudáfrica. Se analizó el diseño y desarrollo de distintos prototipos para sistemas de entrenamientos que utilizan la realidad virtual. También se realizó un reporte de cómo el aprendizaje podría incrementar mediante estas simulaciones de sistemas de entrenamiento [29].

1.6. Aspecto local

En la Pontificia Universidad Católica del Perú se realizó un estudio para medir la inmersión de los usuarios en una experiencia de realidad virtual. El público

objetivo fue de personas entre 20 y 25 años de edad. Dicha experiencia consistía en que el usuario asumía el rol de un conductor de submarino unipersonal cuya tarea era la de fotografiar los diferentes seres vivos a 4000 m de profundidad. Los resultados mostraron una dependencia a la calidad de la aplicación, la precisión de los controles para el manejo del submarino como la calidad de las imágenes y modelos empleados para la parte visual, a demás del apartado de sonido utilizado para reforzar la suspensión de la incredibilidad en los usuarios. Es necesario que cada una de las partes funcione correctamente y de forma cohesiva con lo proyectado en el visor. [20]

Capítulo 2

2. Fundamento teórico

2.1. Conceptos básicos

La realidad virtual es una interfaz de alta tecnología del tipo usuario computador que ejecuta aplicaciones de simulación en tiempo real como también recibe entradas para interactuar con la aplicación por medio de diferentes canales sensoriales. Entre estos están los visuales, auditivos, táctiles y olfativos [9]. Estas interacciones son utilizadas para aumentar la inmersión de los usuarios en las experiencias expuestas ante sus sentidos.

2.1.1. Dispositivos de realidad virtual

En la actualidad existe un gran número de dispositivos capaces de ejecutar aplicaciones de realidad virtual [27], sin embargo, existen diferencias en cuanto a la capacidad de registrar las entradas de información por parte del usuario, como también la fidelidad de la imagen capaz de reproducir en los visores. Un dispositivo estandar está compuesto principalmente de un (1) *Head-Mounted Display* (o HMD por sus siglas en inglés), comúnmente llamado casco de realidad virtual, el cual registra los movimientos de rotación de la cabeza del usuario, como es el caso de los Google Cardboards el cual utilizaba el poder un teléfono móvil (lo suficientemente capaz para ejecutar una aplicación de realidad virtual). Otros dispositivos más avanzados logran también registrar la traslación de la cabeza del usuario, y estos, comúnmente, utilizan controles con sensares hápticos para las

manos del usuario del cual se tendrá registro de la posición y rotación de cada mano de modo que sea factible poder renderizarlas en el espacio virtual proyectado en el HMD. Esto último se apoya su mayoría de cámaras externas con sensores infrarrojos que están en constante comunicación con el HMD y los controles. Dichas cámaras y el HMD requieren una conexión estable por cable a una computadora para utilizar el poder computacional de la tarjeta gráfica y microprocesador, y así lograr renderizar los entornos virtuales dentro de las aplicaciones a una tasa de cuadros por segundo adecuada [28]. El 2019 la empresa Oculus de Facebook lanzó al mercado un dispositivo capaz de registrar la translación y rotación de la cabeza y las manos sin la utilización de cámaras externas ni del poder de una computadora, mediante el uso de técnicas de computer vision y deep learning en unas cámaras incorporadas en el HMD.



Figura 2: De izquierda a derecha: Google Cardboard, HTC Vive, Oculus Quest 2

[2]

2.1.2. Trabajo de riesgo

Un trabajo es de riesgo cuando las actividades cotidianas involucran exposición de los trabajadores a posibles accidentes o incidentes que atenten contra su integridad física. Entre los peligros a los que puede estar expuesto el trabajador estan las sustancias o mezclas tóxicas, actividades de fabricación, construcción, manipulación y utilización de explosivos y pirotécnicos, actividades mineras a

cielo abierto y de interior, sondeos de superficie terrestre o plataformas marinas, entre otros. Para cada trabajo de riesgo se han desarrollado y propuesto distintos protocolos laborales que permiten el desarrollo de las actividades en entornos más seguros y libres de peligro. Es importante que todo el personal esté capacitado para así garantizar la integridad física de cada uno de los miembros del equipo.

2.1.3. Desatado de rocas

Es una labor realizada dentro de minas cuyo principal objetivo es desprender las rocas que estén débilmente sostenidas en la parte superior del espacio donde se realizará alguna actividad. Los operarios deberán utilizar barretillas de diferentes tamaños de acuerdo a la altura en la que se encuentran las rocas respecto al suelo donde está parado. Es importante mencionar que además de la indumentaria de seguridad utilizada, se debe usar la barretilla con cuidado de no provocar un accidente sobre otros individuos como del mismo operario, para ello es obligatorio que se utilice la barretilla con un ángulo de inclinación de 45° cuando se está inspeccionando las rocas del lugar. Una vez reconocidas las rocas que podrían desplomarse de forma repentina durante alguna labor, el usuario utilizando el gancho de la misma barretilla debe utilizarlo como palanca para el desprendimiento de dicha roca. Este proceso se repetirá hasta que se inspeccione toda la zona de labor para la mina.

2.1.4. Uso de locomotoras

En esta labor los operarios deben conocer los procedimientos que permiten la utilización segura de locomotoras para el transporte de materiales dentro y fuera de una mina.

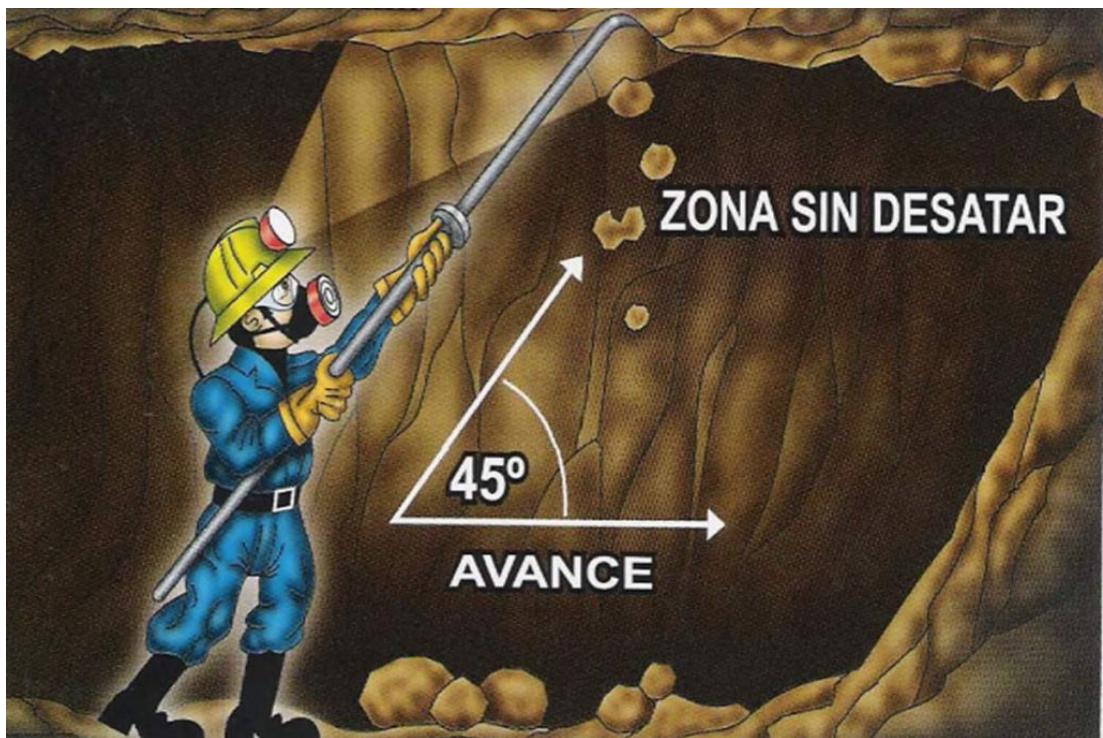


Figura 3: Ilustración de la labor de desatado de rocas

2.1.5. Simulación de entornos virtuales

La representación de la realidad en un entorno virtual es muy importante para cada tipo de experiencia. Es importante identificar cual es el propósito de la aplicación dirigido al usuario. Un simulador de vuelos de aviones comerciales tiene un propósito muy claro, simular los posibles escenarios en los que el piloto tendrá que tomar decisiones acertadas para superar los problemas presentados en la simulación. Es común utilizar una combinación de elementos físicos y virtuales más convencionales como el uso de pantallas para representar gráficamente la simulación y joysticks para registrar las entradas de información por parte del usuario, sin embargo, entrenamientos como los realizados por los tripulantes (o candidatos a tripulantes) de una nave espacial, requieren representar posiciones y rotaciones precisas de su cuerpo en un entorno de difícil accesos como es el espacio exterior. La manipulación de objetos las manos (en especial la precisión de los

dedos) requieren dispositivos más avanzados como los ofrecidos para aplicaciones de realidad virtual.

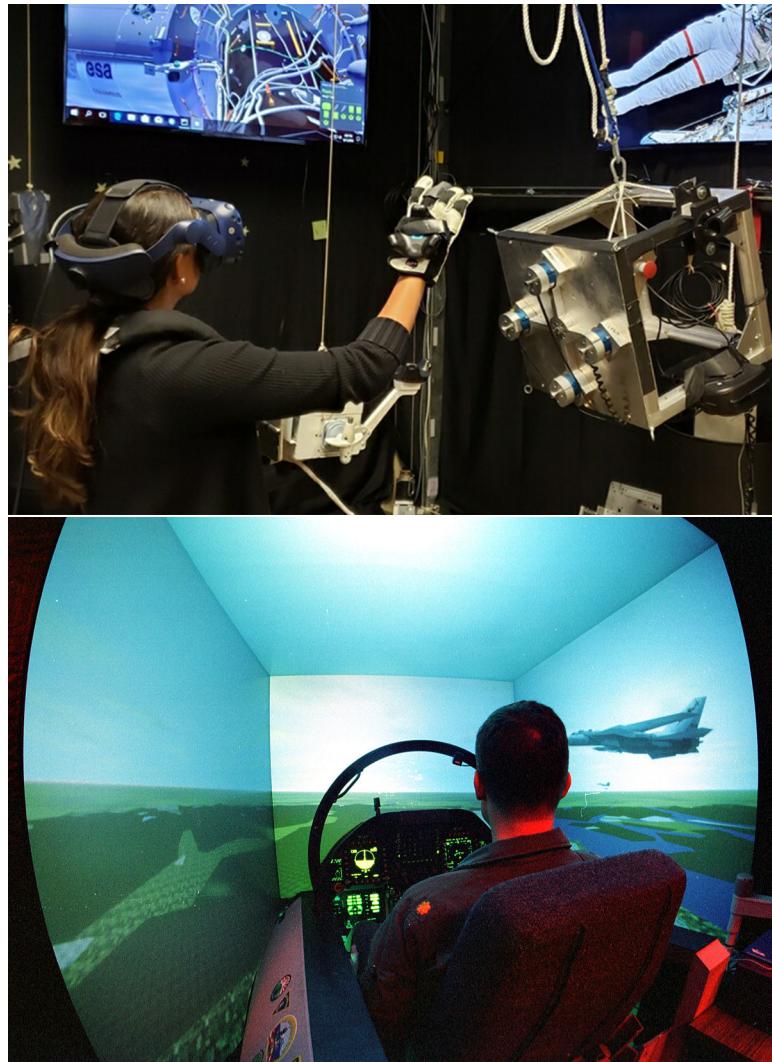


Figura 4: Simulaciones de entornos virtuales en diferentes plataformas

[2]

Capítulo 3

3. Metodología y herramientas

3.1. Obtención de datos

Los datos obtenidos serán brindados por la empresa minera PODEROSA ubicada en el distrito y provincia de Pataz a 320 km. de la ciudad de Trujillo. Dichos datos registrarán los resultados obtenidos por los operarios en las diferentes actividades que realizará en la mina. Cada sesión está dividida en dos (2) partes, una teórica donde a los usuarios se les impartirá una conjunto de diálogos, imágenes interactivas y eventos predefinidos dentro del entorno virtual, luego deben responder a un cuestionario de opciones múltiples con una sola respuesta; la segunda parte consiste en poner en práctica lo aprendido en otros entornos virtuales donde debe desarrollar las actividades para acondicionar el entorno con posibles peligros a uno seguro. En esta segunda parte se evaluarán el tiempo que le tomó al trabajador realizar la labor, si ocasionó un accidente, si hizo un correcto uso de los instrumentos y herramientas, y la atención de los iris del usuario a los objetos y lugares del entorno.

3.1.1. Muestra poblacional

La muestra constituye de 100 personas, todos mayores de 18 años, que recibirán una capacitación tradicional mediante el uso de presentaciones informativas para las clases teóricas acerca de la labor de desatado de roca para luego realizar una evaluación práctica en el socavón. Del total de individuos 17 realizaron actos subestándares durante el proceso que resultó en su desaprobación. A estos últi-

mos se les capacitará utilizando una aplicación de realidad virtual para medir la eficacia del software.

3.1.2. Medición

Se comparará la efectividad de este método respecto al convencional utilizando como individuos aquellos que no aprobaron el módulo de evaluación la primera vez. Estos utilizarán los dispositivos de realidad virtual todo el tiempo que dure la capacitación sin intervención externa de algún personal que pueda interferir en la experiencia del usuario.

3.2. Herramientas

Se utilizó el motor de videojuego Unreal Engine 4 [22] para todo lo relacionado a la programación de eventos, secuencias, cuestionarios e interacciones que el usuario podrá realizar en todos los entornos virtuales dentro de la capacitación. Para el apartado visual se utilizaron las herramientas de diseño y modelación Autodesk 3ds Max para la generación objetos en tres dimensiones, y ZBrush para la creación de texturas de cada objeto y el entorno. Adicionalmente, los cuestionarios presentados al ususario fueron otorgados y revisados por la Compañía Minera Poderosa S.A..

3.2.1. Unreal Engine 4

Es un motor de videojuegos desarrollado por la empresa de Epic Games. Actualmente es uno de los motores con licencia libre (de acuerdo a las políticas de uso) para el desarrollo de proyectos interactivos con el beneficio de utilizarlo libremente en aplicaciones educativas de forma gratuita. Tiene un soporte nativo para el desarrollo de aplicaciones en realidad virtual como también compatibilidad con un gran número de dispositivos disponibles en el mercado. El lenguaje de

programación utilizado en este motor es C++ y el paradigma es la programación orientada a objetos. Una característica importante del motor es la generación de código utilizando los *blueprint scripting*[23] que consiste en el uso de bloques unidos por líneas que representan el flujo de las líneas de código de un archivo *script* convencional. Esta herramienta es muy útil para aquellas personas no programadoras presentando el funcionamiento del código para los objetos y componentes de forma muy intuitiva.

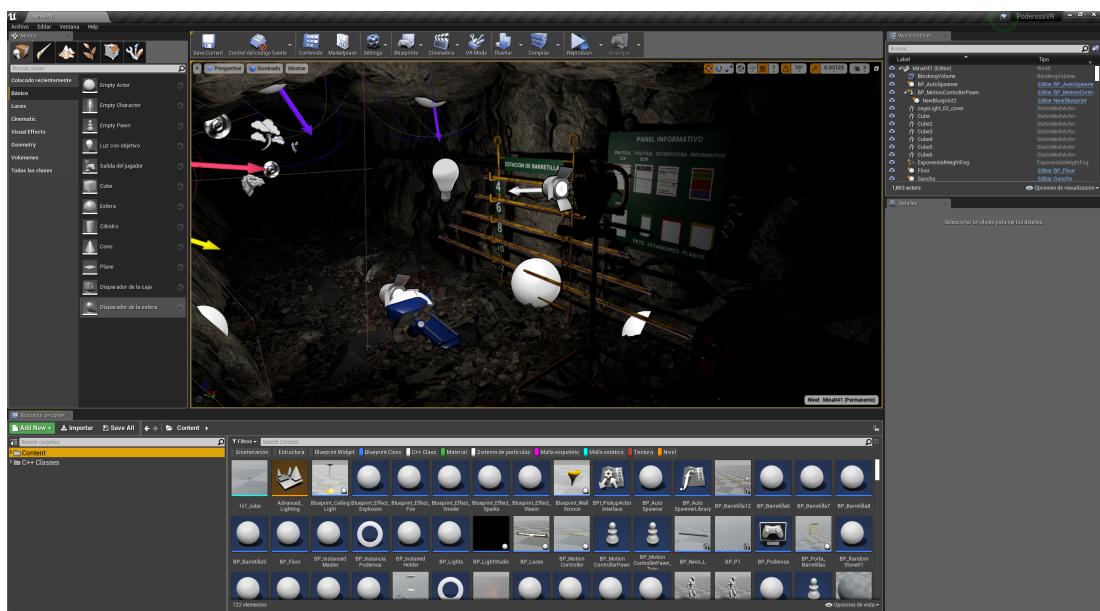


Figura 5: Editor de niveles en el motor de videojuegos Unreal Engine 4

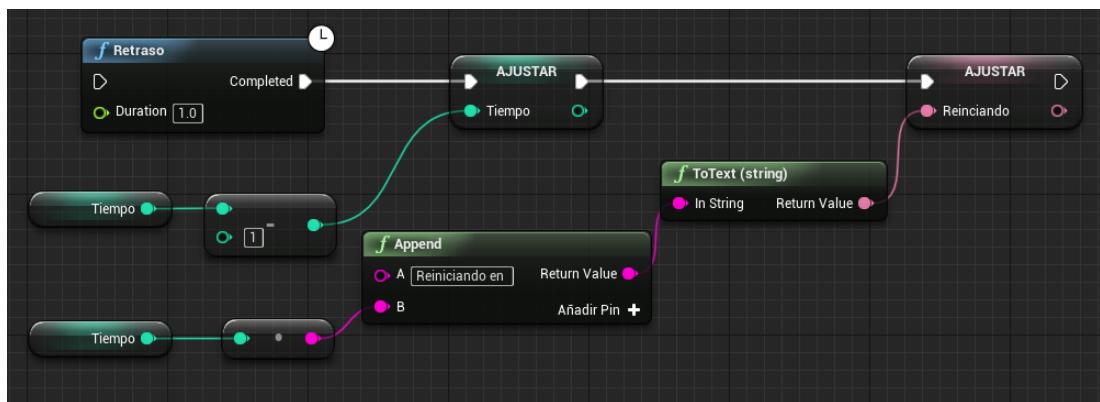


Figura 6: Ejemplo de código en Blueprint scripting



Figura 7: Ejemplo de cuestionario implementado en la aplicación

3.2.2. C++

El lenguaje de programación C++ es muy conocido por el rendimiento que ofrece en las aplicaciones. Esta es la principal razón por las que muchas empresas que desarrollan motores de videojuego propios optan por la utilización de dicho lenguaje pues otorga una mayor cantidad de cuadros por segundos en las aplicaciones interactivas que se desarrollan. Unreal Engine 4 hace uso de este lenguaje para la programación de eventos y registro de datos ingresados por el usuario.

3.2.3. HTC Vive Pro

La versión mejorada para uso empresarial de HTC, HTC Vive Pro se diferencia de su antecesor por la utilización de una cámara interna en el HMD capaz de registrar los movimientos de ambos iris del usuario. Adicionalmente, cuenta con visores de mayor resolución dandole más fidelidad a las texturas, modelos y entornos virtuales colocados en la aplicación. Este dispositivo es compatible con varios motores (incluyendo a Unreal Engine 4) para el desarrollo de aplicaciones interactivas. Adicionalmente, la empresa desarrolla los y *SDKs (Software Development Kit)* para que los desarrolladores puedan utilizar y todas las funcio-

nalidades del dispositivo, los botones y los sensores hápticos de cada control, el sensor de identificación de iris y la tarjeta de sonido integrada en el *headset*.



Figura 8: Dispositivo de realidad virtual HTC Vive Pro

Capítulo 4

4. Resultados y discusión

4.1. Resultados

Se observa en el siguiente cuadro el porcentaje de individuos aprobados utilizando el método tradicional para la capacitación y método propuesto con la utilización de dispositivos de realidad virtual para la capacitación.

Cuadro 1: Resultados utilizando el método tradicional y la aplicación de realidad virtual

Tipo capacitación	Cantidad total	Aprobados	Eficiencia
Tradicional	100	83	83 %
Aplicación RV	17	16	94 %

4.2. Discusión

Los resultados indican que la eficiencia en el método donde se utiliza la realidad virtual es mayor respecto al convencional. Si bien las poblaciones son de tamaños distintos es innegable observar la mejora de la eficiencia. Un factor puede considerarse es que los individuos ya habían recibido el curso de capacitación con métodos tradicionales, sin embargo, es evidente que no fue suficiente para el aprendizaje adecuado de todos los aspirantes a operarios.

Capítulo 5

5. Conclusiones y trabajo futuro

Se logró desarrollar una aplicación en realidad virtual orientada al aprendizaje de los protocolos de seguridad en una mina para aspirantes a operarios, obteniendo una eficiencia mayor respecto a la utilización de métodos tradicionales.

5.1. Conclusiones

- Utilizando herramientas de programación mediante el uso de un motor de videojuegos y de software de modelamiento se logró recrear los espacios donde se desarrollarán las labores correspondientes al desatado de roca y el uso de locomotoras. Estos tuvieron una parte teórico y guiada donde al usuario se les explicaba los protocolos y los pasos que debe hacer para realizar las labores de forma segura y otra práctica donde se evaluaba mediante las acciones y movimientos las decisiones del usuario al realizar las labores en el entorno virtual.
- Los resultados fueron presentados como informes exportados de la aplicación a un archivo de fácil acceso con extensión CSV donde se detallaban los resultados de los errores y aciertos en los cuestionarios y en las partes prácticas de toda la capacitación.
- Se pudo obtener una eficiencia mayor al utilizar el método presentado en el presente trabajo, el cual puede ser reutilizado las veces necesarias sin necesidad de acceder a un socavón ni realizar gastos en transporte de personal

y aspirantes a un lugar de difícil acceso manteniendo a todos en un lugar controlado y fuera de peligros.

5.2. Trabajo futuro

Como trabajo futuro se espera poder realizar capacitaciones utilizando este método en una población más grande de individuos como primera forma de instrucción.

Asimismo realizar más módulos de capacitación para otros tipos de trabajos de riesgos realizados en territorio peruano.

6. Referencias

1. Fisher, S. S., Wenzel, E. M., Coler, C., McGreevy, M. W. (1988). Virtual Interface Environment Workstations. Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting, 32(2), 91–95. <https://doi.org/10.1177/154193128803200219>
2. Bailenson, J. (2019). Experience on Demand: What Virtual Reality Is, How It Works, and What It Can Do (1st ed.) (pp. 7-8). W. W. Norton Company.
3. Thompson, S. (2017, Agosto 2). VR for Corporate Training: Examples of VR already being used. Virtualspeech. <https://virtualspeech.com/blog/how-is-vr-changing-corporate-training>
4. Berg, L. P., Vance, J. M. (2016, Setiembre 12). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. Springerlink. <https://doi.org/10.1007/s10616-016-0293-9>
5. Mazuryk, T., Gervautz, M. (1999, Diciembre 30). Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/2617390_Virtual_Reality_-_History_Applications_Technology_and_Future
6. Virtual Reality for Surgical Training by Johnson Johnson | Oculus for Business. (n.d.). Oculus. <https://business.oculus.com/case-studies/johnson-and-johnson/>
7. Blumstein, G., Zukotynski, B., Cevallos, N., Ishmael, C., Zoller, S., Burke, Z., Clarkson, S., Park, H., Bernthal, N., SooHoo, N. F. (2020). Randomized Trial of a Virtual Reality Tool to Teach Surgical Technique for Tibial

- Shaft Fracture Intramedullary Nailing. Journal of Surgical Education, 77(4), 969–977. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.01.002>
8. Virtual reality in fiction. (2020, Diciembre 14). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_in_fiction
 9. Burdea G., Coiffet P. (2003). Virtual Reality Technology (2nd edition) (pp. 1-10). John Wiley Sons.
 10. Anthes, C., Garcia-Hernandez, R. J., Wiedemann, M., Kranzlmuller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. 2016 IEEE Aerospace Conference, 1–19. <https://doi.org/10.1109/aero.2016.7500674>
 11. Munir, A. (2020, Abril 17). 5 Exciting Uses for Virtual Reality. FDM Group. <https://www.fdmgroup.com/5-exciting-uses-for-virtual-reality/>
 12. Thompson, S. (2020, Diciembre 11). VR Applications: 21 Industries already using Virtual Reality. [Virtualspeech.https://virtualspeech.com/blog/vr-applications](https://virtualspeech.com/blog/vr-applications)
 13. Pedram S. (2018). Evaluating Virtual Reality-based Training Programs for Mine Rescue Brigades in New South Wales (Australia) (Tesis doctoral, Universidad de Wollongong de Australia, Wollongong, Australia). Extraido de <https://ro.uow.edu.au/theses1/441/>
 14. Ford COLLABORATES WITH GRAVITY SKETCH TO EXPLORE NEW TOOL FOR DESIGNING VEHICLES TO MEET CUSTOMERS' NEEDS. (n.d.). Ford. <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2019/01/29/ford-collaborates-with-gravity-sketch.html>
 15. Oxford Medical Simulation. (2020, Agosto 25). Virtual Reality Medical

- Training Archives. <https://oxfordmedicalsimulation.com/category/virtual-reality-medical-training/>
16. Virtual Reality: State of Military Research and Applications in Member Countries(La realite virutelle: L'etat actuel des travaux de recherche et des applications militaires dans les pays membres de l'Alliance). Reporte tecnico, RTO-TR-018, NATORESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANIZATION NEUILLY-SUR-SEINE,FRANCE, February 2003. <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA411978>
 17. Guttentag D. (2010, Octubre). Virtual reality: Applications and implications for tourism. Tourism Management. Volumen 31 (pp 637-651). <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>
 18. R. Navarro, V. Vega, S. Martinez, M. Espinosa, D. Hidalgo B. Benavente (2019). Designing Experiences: A Virtual Reality Video Game to Enhance Immersion. Volumen 973 (pp-233-242). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20476-1_24
 19. Flight simulator. (2021, January 18). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator
 20. Coleman, D. (2019, Enero 21). How NASA uses virtual reality to train astronauts. Space Center Houston. <https://spacecenter.org/how-nasa-uses-virtual-reality-to-train-astronauts/>
 21. Epic Games. (n.d.). Unreal Engine Documentation. <https://docs.unrealengine.com/en-US/index.html>
 22. Epic Games. (n.d.). Blueprints Visual Scripting. Unreal Engine Documentation. <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/index.html>

23. Masie Center, Carlton, B. (2017, Enero). VIRTUAL REALITY: OPPORTUNITIES FOR LEARNING? Elliott Masie.
http://ivrtrain.com/ivrtrain/VR_Learn_Report-2017.pdf
24. Minera, S. (2017, Octubre 24). Procedimiento para el desatado de rocas en la minería subterránea. Revista Seguridad Minera.
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/procedimiento-para-el-desatado-de-rocas-en-la-mineria-subterranea/>
25. Osinergmin. (2016). Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/DS-024-2016-EM.pdf
26. Dredge, S. (2020, Abril 16). The complete guide to virtual reality – everything you need to get started. The Guardian.
<https://www.theguardian.com/technology/2016/nov/10/virtual-reality-guide-headsets-apps-games-vr>
27. Oculus. (n.d.). Guidelines for VR Performance Optimization | Oculus Developers. <https://developer.oculus.com/documentation/native/pc/dg-performance-guidelines/>
28. Wyk, V. E., Villiers, R. (2009, Febrero 04-06). Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry. Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, Afrigraph 2009, Pretoria, South Africa, Afrigraph 2009.
<http://uir.unisa.ac.za/handle/10500/13155>