

Ignacio Maine

Análisis y optimización de Simulador en Realidad Virtual de Estación Transformadora 132 kV.



UNRaf

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
RAFAELA

Materia: Taller de Trabajo Final de Carrera

Profesores: Priscila Fernández - Facundo Curbelo -
Soledad Ayala

Lic. En Producción de Videojuegos y Entretenimiento Digital

03/7/2023

Índice

Índice	2
Palabras claves	3
Introducción	4
Problema	6
Justificación	7
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Estado del arte	10
Realidad Virtual	10
Serious Games	11
Simulaciones en realidad virtual	12
Capacitación	13
Estación Transformadora	14
Marco Teórico	14
Realidad virtual y simulaciones	15
Estación transformadora	17
Configuración óptima para el empaquetado del proyecto	19
Estado actual	19
Depuración de fallas en el proceso de buildeo	22
Oportunidades de mejora en el apartado gráfico	32
Proceso y tecnicas de optimizacion	37
Optimización del Campo de Línea	40
Estrategia metodológica	44
Conclusión	45
Referencias Bibliográficas	47

Palabras claves

Realidad virtual, Simulador RV, Capacitación, Serious Games, Estación transformadora

Introducción

El simulador de operaciones en una estación transformadora de 132 kV es un proyecto iniciado en el año 2022 llevado a cabo durante 8 meses para la Empresa Provincial de la Energía en Santa Fe (en adelante EPE). La propuesta inicial y posterior desarrollo del proyecto fue realizada en el Laboratorio de Experiencia de Usuario de UNRaf Tec con el objetivo de mejorar la calidad y modernizar la capacitación que reciben los empleados ingresantes a la empresa aplicando el uso de tecnologías novedosas.

El simulador es una herramienta que tiene como objetivo permitir a los empleados practicar diversas maniobras comunes en un entorno virtual seguro. Realizar operaciones en una estación transformadora puede ser peligroso si no se cuenta con la capacitación y la experiencia adecuada. Por eso, se busca brindar a los usuarios la oportunidad de practicar estas acciones en un entorno controlado y seguro.

Uno de los puntos claves del simulador es el uso de un casco de realidad virtual que proporciona una experiencia inmersiva y realista. Una vez que el usuario se coloca el casco, se transporta a una sala virtual donde puede seleccionar qué maniobra desea practicar. Actualmente, se cuenta con dos maniobras principales cuyos objetivos son desenergizar una sección de la estación transformadora y poder realizar trabajos de mantenimiento: la apertura de campo de barras y la apertura de campo de línea. En estas prácticas, el usuario puede apreciar los diferentes componentes de la estación transformadora, qué procedimientos realizar para lograr completar sus tareas y cómo las estructuras interactúan entre sí.

Además de las maniobras mencionadas anteriormente, también se cuenta con un modo libre donde los usuarios pueden moverse por la estación transformadora con el único objetivo de explorar y familiarizarse con su entorno y las estructuras sin tener que preocuparse por la ejecución de maniobras. Este modo puede ser útil para nuevos empleados que nunca tuvieron la oportunidad de explorar una estación transformadora real o para aquellos que deseen repasar sus conocimientos.

Si bien el simulador desarrollado ofrece una oportunidad de entrenamiento virtual, su nivel de optimización y rendimiento técnico se encuentran en un estado poco favorable, ya que estos errores en el desempeño del rendimiento son debidos a la falta de experiencia a la hora de desarrollar simuladores para entornos de realidad virtual por parte del equipo encargado del desarrollo. En este trabajo se propone indagar en las oportunidades de mejora técnicas y buscar formas de optimizar el trabajo ya realizado en el marco del Laboratorio de Experiencia de Usuario del UNRaf Tec, para obtener una experiencia fluida y estable. Este objetivo requiere la integración e implementación de diferentes saberes desarrollados a lo largo de la carrera Lic. en Producción de Videojuegos y Entretenimiento Digital.

Problema

El propósito del simulador es permitir que los empleados ingresantes practiquen el conocimiento teórico adquirido, durante la capacitación previa que lleva adelante EPE, en un ambiente seguro y tolerante a errores. Esto surge como respuesta a diversos problemas planteados por la Empresa Provincial de Energía, como la falta de un medio seguro para demostrar el conocimiento adquirido en las prácticas teóricas, la susceptibilidad a accidentes de los operarios ingresantes al manipular las estructuras de la estación transformadora por primera vez, la necesidad de métodos modernos de aprendizaje, los altos costos de capacitación y las limitaciones en la calidad de las capacitaciones.

En la actualidad, el simulador cuenta con problemas de optimización y errores a la hora de generar empaquetados del proyecto, lo que se conoce con el nombre de Builds, tales como el bajo rendimiento de fotogramas por segundo y la imposibilidad de empaquetado del proyecto en diversos ordenadores. Estos problemas conllevan grandes fallas en el rendimiento y dependencias específicas a la computadora en la que se genera el empaquetado normalmente.

Por estas razones, se hace necesario generar un análisis del estado actual del simulador de realidad virtual con el fin de perfeccionar las prácticas y entrenamiento de los operarios de la EPE, para ofrecer soluciones competentes a los problemas de rendimiento actuales y, de esta manera, ofrecer una experiencia mucho más fluida, facilitando en el futuro desarrollo de nuevas versiones.

Justificación

El mal uso de las estructuras y la incorrecta ejecución de maniobras dentro de una estación transformadora incrementa significativamente el riesgo de que un operario cometa errores críticos, poniendo en grave peligro su salud y seguridad. El mantenimiento de líneas de alta tensión conlleva procedimientos de alto riesgo, y los accidentes pueden ser mortales (Ayala et al., 2016).

Además de la reducción de riesgos que implica el uso de un simulador de esta naturaleza, también debemos tener en cuenta las ventajas educativas que aporta. Una de las principales aplicaciones de la realidad virtual en la actualidad es en el área educativa ya que la misma aporta un medio interactivo-inmersivo para generar un aprendizaje experimental. De esta forma es más fácil para los estudiantes sentir una conexión personal con el tema de enseñanza ya que pueden experimentar conceptos que antes no eran posibles de vivenciar (Kumari & Polke, 2018).

En el trabajo *Virtual Reality in the Classroom: Transforming the Teaching of Electrical Circuits in the Digital Age* (Albarracin et al., 2024) se explora la eficacia de los videojuegos de realidad virtual (VR) en la enseñanza de circuitos eléctricos de corriente continua para estudiantes universitarios. Los resultados de la investigación indican que la implementación complementaria de la realidad virtual mejoró significativamente la comprensión de los estudiantes sobre los circuitos eléctricos y aumentó su participación, demostrando la utilidad de las tecnologías inmersivas en entornos educativos.

Si bien la realidad virtual trae muchas ventajas al campo educativo existe una a destacar para nuestro proyecto: la capacidad de garantizar acceso a una réplica virtual de cualquier locación deseada desde cualquier lado, en nuestro caso una réplica virtual de una estación transformadora. La tecnología de realidad virtual permite a los usuarios reemplazar su realidad actual con un entorno virtual que puede ser cualquier ubicación, real o imaginada. En muchos contextos, ciertas actividades -como las excursiones- son lógicamente complicadas y tienen un costo prohibitivo (Lege & Bonner, 2020).

En resumen, la implementación de un simulador de realidad virtual es una medida importante para garantizar la seguridad, la calidad y la rentabilidad en la capacitación de los empleados de estaciones transformadoras.

Objetivo general

Analizar el estado actual del simulador de realidad virtual en la estación transformadora de 132 kV de la EPE para proponer métodos y buenas prácticas para optimizarlo.

Objetivos específicos

- Recopilar configuraciones usadas en la versión actual del simulador.
- Reconocer las oportunidades de mejora en la configuración del motor.
- Reconocer las oportunidades de mejora de rendimiento gráfico.
- Proponer métodos y buenas prácticas generales para aplicar a proyectos de realidad virtual en empresas de energía eléctrica.

Estado del arte

Realidad Virtual

Existe una extensa cantidad de trabajos de grado que profundizan sobre el uso y aplicaciones actuales de la realidad virtual, si bien la realidad virtual (VR) podría utilizarse en cualquier ámbito de las actividades humanas (Kuts et al., 2019), en este trabajo se centrará específicamente en la aplicación de la VR en el área de la educación y la capacitación.

Abdullah et al. (2023) destacan que el uso de la realidad virtual (VR) en la educación se está volviendo cada vez más frecuente en algunas disciplinas, lo que permite a los estudiantes interactuar de manera inmersiva con su entorno. Esto no solo mejora su compromiso, sino que también les ayuda a comprender mejor los conceptos. Además, con la disminución del costo del hardware de VR, se espera que esta tecnología sea más accesible en el futuro. En el ámbito educativo, la VR está transformando cómo los estudiantes aprenden y se relacionan con el mundo, ofreciendo nuevas posibilidades para interactuar con objetos en 3D y explorar conceptos de forma segura mediante simulaciones interactivas.

La realidad virtual ha sido una herramienta poderosa para el aprendizaje experiencial. La integración de la realidad virtual (VR) ha permitido desarrollar juegos educativos que mejoran la participación de los estudiantes en entornos simulados. Estos juegos están diseñados para facilitar la inmersión y proporcionar experiencias de aprendizaje multisensoriales (Lee et al., 2024).

Por otro lado, el uso de la realidad virtual puede traer complicaciones, este tipo de tecnología es muy costoso en términos de recursos de procesamiento computacional por lo que requieren ordenadores personales (PC) muy potentes y de última generación, junto con auriculares y estaciones, como HTC Vive o Oculus Rift, que pueden ser muy costosos para

pequeñas y medianas empresas (PYMES) y desarrolladores independientes (Kuts et al., 2019). Si bien el costo de los dispositivos está disminuyendo, con el avance de las tecnologías portátiles aplicadas a RV, los precios aún siguen siendo una inversión significativa que se espera que disminuya en un futuro. En sumatoria, los dispositivos de realidad virtual requieren de personas capacitadas en los aspectos básicos de su uso para poder ponerlos en funcionamiento y hacer correcto uso de los mismos, esto implicaría que en determinadas empresas se debería capacitar a aquellas personas que se encarguen de manipularlos.

Serious Games

El simulador de realidad virtual de estación transformadora 132 kV califica dentro de la categoría de serious games. Uno de los motivos es que históricamente, la definición de los serious games se limitaba a "un juego diseñado para el aprendizaje y la educación". En el mundo contemporáneo, la educación científica junto con los serious games cubre un terreno extenso. Esto incluye algunas materias básicas como sociología, psicología, antropología, biología, ciencias políticas, economía y políticas públicas (Ullah et al., 2022). Sin embargo en este trabajo nos centraremos en el enfoque educacional de este tipo de juegos.

Según López Raventós (2016) los serious games consisten en diseñar entornos de aprendizaje donde los estudiantes puedan enfrentar problemas reales mediante videojuegos. La finalidad es que estos espacios permitan probar y explorar diversas soluciones a los desafíos presentados en situaciones auténticas, ayudando a descubrir la información y el conocimiento necesarios para intervenir sin miedo a cometer errores. La versatilidad y adaptabilidad de las herramientas y conceptos de los serious games serán importantes para el cumplimiento del objetivo general del proyecto.

Instituciones militares, corporativas, educativas y de salud en todo el mundo se benefician de los resultados positivos al utilizar serious games para cubrir sus necesidades

de aprendizaje. Para garantizar una experiencia de aprendizaje óptima, es fundamental la colaboración entre los diseñadores de videojuegos y los expertos en diseño educativo (Derryberry, 2007).

Simulaciones en realidad virtual

El uso de simuladores de realidad virtual para la capacitación de empleados puede sonar como una idea novedosa, sin embargo existen múltiples ejemplos de implementaciones exitosas de este sistema para mejorar la educación de los trabajadores y profesionales de diferentes áreas. Al respecto, Turriago et al. (2020) habla sobre la creación de su simulador de realidad virtual, denominado simudologo, para la capacitación de la limpieza bucal en el campo de la odontología mediante el uso de las gafas de realidad virtual Oculus rift. El apodado simudologo fue creado con el objetivo de ofrecer al usuario una simulación a través del uso de realidad virtual, con el fin de crear una experiencia inmersiva, permitiéndole llevar a cabo diversas pruebas y aproximaciones antes de tratar a un paciente real.

Otro ejemplo de implementación de simuladores de realidad virtual para capacitación es el de Yois Consultores, una empresa de formación en normas de prevención para industrias y construcción. En relación con este tema, Soto et al. (2017) explica y documenta cómo fue el desarrollo del simulador Gnesis, creado principalmente para evaluar capacitaciones de prevención de riesgos laborales. El simulador recrea situaciones reales de trabajo, evaluando la capacidad de reacción y resolución de problemas de los trabajadores, con el objetivo de reducir accidentes, especialmente en áreas críticas como el trabajo en altura.

Por otro lado, la corporación multinacional Walmart emprendió una iniciativa de capacitación masiva con realidad virtual, con el objetivo de entrenar a cada empleado para desempeñar la tarea específica para la que fue contratado dentro de la empresa y preparándolos para reaccionar de manera más eficiente a las situaciones de alto estrés que

se puedan presentar a lo largo del desempeño de su actividad. Dicha empresa, desea capacitar a su personal de manera que les sea permitido ingresar a un entorno virtual y aprender sobre distintos procedimientos internos de la organización sin necesidad de incurrir en altos gastos o riesgos para la persona, lo que les facilita el proceso de integración de nuevos colaboradores (Fade, 2019).

A su vez, la cadena de comidas rápidas KFC implementó un sistema de capacitación con realidad virtual para empleados con el fin de fortalecer su método tradicional conocido como "Chicken Mastery". A partir de un juego los empleados aprenden el proceso de cocción de pollo que se realiza en cinco pasos: inspeccionar, enjuagar, empanar, trasladar y freír a presión, con este nuevo sistema de simulación mediante la realidad virtual, se disminuye el desperdicio de materia prima y la empresa logró minimizar el tiempo de entrenamiento de 25 a solo 10 minutos (Filloon, 2017).

Capacitación

La capacitación es un proceso continuo, planificado y estructurado que tiene como objetivo principal preparar, desarrollar e integrar al personal en el proceso productivo. Esto se logra a través de la transmisión de conocimientos, el desarrollo de habilidades y actitudes necesarias para mejorar el rendimiento de los trabajadores, tanto en sus roles actuales como en futuros, adaptándolos a las demandas cambiantes del entorno.

Según Madera et al. (2021), la mayoría de los daños a la salud de los trabajadores tienen como origen los accidentes que sufren al ejercer su profesión. Los accidentes causados por actos inseguros, actos relacionados con el comportamiento inadecuado del trabajador, mala orientación, prematura introducción, poca experiencia y falta de capacitación práctica. Estos causantes de accidentes surgen a consecuencia de fallas en el proceso de capacitación de los empleados. Al igual que un trabajador de mantenimiento de línea en una estación transformadora de 132 kV, el manipular estructuras de contacto

directo a corriente eléctrica de tal voltaje puede tener consecuencias graves en la salud si no se capacita correctamente.

Estación Transformadora

La totalidad de la experiencia de nuestro simulador se desarrolla en el entorno de una estación transformadora, por lo que es fundamental entender a grandes rasgos el concepto y la función de estas instalaciones. Según EDEA (s.f.), las estaciones transformadoras actúan como epicentros de energía en el sistema de suministro eléctrico, desempeñando un papel crucial en el abastecimiento seguro y eficiente de electricidad. Su función principal es reducir los niveles de tensión que provienen de las líneas de transporte de alta tensión con el fin de ajustarlos a valores adecuados para su distribución en cada localidad. Gracias a este proceso, la electricidad se entrega en condiciones seguras y útiles para empresas, comercios, centros de salud y hogares.

Para poder cumplir con su principal función la estación transformadora cuenta con distintos dispositivos y estructuras. Los transformadores son unas de las estructuras principales, su trabajo comienza cuando la energía llega a la estación, se encargan de reducir la alta tensión a media o baja para que sea apta para la distribución local. Los equipos auxiliares como disyuntores, seccionadores y relés de protección proporcionan seguridad y confiabilidad al sistema, permitiendo el control remoto y automatizado de la energía (Neoenergía, s.f.).

Marco Teórico

A continuación se exponen los fundamentos teóricos que enmarcan el presente desarrollo del proyecto. Es preciso considerar que este trabajo se nutre de conceptos provenientes de dos áreas del conocimiento. En primer lugar, las categorías de realidad virtual y simulación en los que se apoya la propuesta de desarrollo. En segundo lugar, es

crucial dar cuenta de nociones básicas sobre la estructuración de las estaciones transformadoras que es central para comprender los escenarios y situaciones a simular. Asimismo, se revela el panorama, los antecedentes y ejemplos relacionados con la temática de interés.

Realidad virtual y simulaciones

El concepto de serious games se utiliza en el mundo de los videojuegos para definir aquellos juegos que se separan de su fin único como productos de entretenimiento lúdico para tomar un enfoque de herramientas de aprendizaje que poseen en sí mismos y en su uso objetivos pedagógicos, didácticos, autónomos, autosuficientes y reutilizables, que posibilitan a los jugadores a obtener un conjunto de conocimientos y competencias predominantemente prácticos (Sánchez Gómez, 2007). Este tipo de juegos ofrece una ventaja significativa a la hora del aprendizaje y resulta ser un factor clave para el desarrollo de este proyecto, ya que disminuye ampliamente la posibilidad de cometer errores sin que las consecuencias sean las equivalentes a las que podrían llegar a tener lugar en una situación real. El experimentar errores en circunstancias virtuales toma un papel principal a la hora de transmitir conocimiento. El jugador no pierde ni arriesga nada, ya que se encuentra en una situación simulada en un entorno virtual y se siente menos presionado al reaccionar ante situaciones que puedan significar un riesgo en la salud o integridad de la persona. De esta manera, se pretende que los usuarios puedan reforzar su conocimiento teórico y práctico a través de situaciones basadas en pruebas de ensayo-error, pero manteniendo la seguridad ante que aporta una simulación.

Dentro del amplio abanico de contenido que ofrecen los serious games se encuentran las simulaciones que refieren a una forma de aprendizaje que se basa en recrear situaciones y entornos reales con la intención de reproducirlos con fidelidad, incluso con sus consecuencias, para que el jugador pueda ejercitarse en su manejo y llegar a

dominarlos. En este tipo de actividades, se busca que el jugador tenga una experiencia de aprendizaje inmersiva que le permita enfrentar y resolver desafíos de manera segura y práctica, lo que puede resultar especialmente útil en situaciones que requieren un alto grado de destreza y habilidad. La verdadera potencia de esta herramienta se puede encontrar cuando se combina una simulación con un entorno de realidad virtual; esto abre la puerta a nuevas posibilidades educativas y a un aprendizaje experiencial y significativo. La realidad virtual se destaca por su capacidad para adaptarse a los diferentes contenidos a enseñar y por emplear elementos que son utilizados en videojuegos, lo que puede presentar mayor interés en los estudiantes (Magallanes et al.,2021).

La realidad virtual es un entorno, construido con tecnologías digitales, en el cual le es posible a las personas interactuar con un mundo que, aun siendo artificial, puede ser percibido como altamente real a través del uso de una computadora (Sánchez Botero, 2013). Actualmente esta tecnología cuenta con una amplia variedad de aplicaciones, ya que permite que el ser humano interactúe con el entorno que ha sido simulado, logrando así la activación de varios sentidos. Esto permite experimentar las sensaciones propias de realizar determinada actividad solo con el hecho de estar en un ambiente artificial (Lorenzo et al., 2018) La novedad de la realidad virtual es su capacidad de inmersión y de interacción, es por esto que en la actualidad el concepto de realidad virtual se ha convertido en algo de uso cotidiano para muchas empresas siendo de gran importancia en varios de sus procesos. Aún así, no deja de ser una propuesta llamativa y con futuro (Montero Ayala, 2018), propensa a mejoras en cuanto a calidad de imágenes, sonidos y demás factores relacionados con la estimulación de los sentidos (Valencia et al., 2021).

La realidad virtual puede ser clasificada en dos grupos: inmersiva y no inmersiva. La inmersiva requiere dispositivos más sofisticados y desarrollados, estos se centran en reproducir un entorno tridimensional dentro del visor del dispositivo; algunos ejemplos de estos pueden ser Oculus Rift, HTC Vive o, el utilizado en este desarrollo, Oculus Quest 2. Estas interfaces especiales aíslan al jugador del mundo físico y logran un mayor grado de inmersión. A pesar de que la realidad virtual inmersiva ofrece un gran nivel de interactividad

y realismo tienen un alto coste por la necesidad de equipos de hardware muy avanzados con grandes limitaciones gráficas. Por otro lado, la realidad virtual no inmersiva es más simple y económica, ya que usualmente solo consiste de una pantalla de computadora estándar para visualizar y diversos hardware como lo pueden ser mouse, teclado, mandos (Ayala García et al., 2016).

Para el desarrollo de este proyecto se optó por tecnologías de realidad virtual inmersiva para priorizar el gran nivel de realismo que ofrecen estos dispositivos y su capacidad de crear escenarios con aspecto y comportamientos lo más reales posibles (Covarrubias Madera et al., 2021). Ya que de esta manera, las características técnicas del dispositivo de realidad virtual permiten reproducir, casi de manera exacta, aquellas de la estación transformadora de la EPE.

Este tipo de tecnología enfocada a capacitaciones permite a los usuarios acceder a entornos virtuales aptos para el desarrollo de habilidades psicológicas e incluso físicas. Las simulaciones permiten eliminar el riesgo, transformando escenarios peligrosos en entornos seguros y controlados. El aprendizaje basado en prueba y error adquiere mayor relevancia ya que permite practicar procesos delicados cuyas consecuencias serían inaceptables en situaciones reales. De este modo, los estudiantes pueden experimentar y corregir errores sin temor a consecuencias graves, lo que facilita una comprensión más profunda y segura de tareas complejas. El uso de simulaciones de realidad virtual es una solución eficaz para complementar la capacitación y para ofrecer mucha más experiencia al usuario (Covarrubias Madera et al., 2021).

Estación transformadora

Según el “Manual Técnico de Materiales y Operaciones” de la Empresa Provincial de la Energía (EPE) una estación transformadora es

una infraestructura eléctrica que se utiliza para transformar la energía eléctrica de alta tensión (132 kilovoltios) que se transmite desde las centrales eléctricas a una tensión más baja para su distribución a través de las líneas de transmisión y distribución a los hogares, comercios e industrias. s/p

La estación transformadora de 132 kV consta de diversos equipos como lo son los transformadores, interruptores, seccionadores, protecciones, equipos de control y monitoreo. El transformador es el equipo principal de la estación transformadora, ya que convierte la energía eléctrica de alta tensión a una tensión más baja para su distribución. Los interruptores y seccionadores se utilizan para controlar el flujo de energía en la estación y en las líneas de transmisión y distribución.

Existen tres tipos de clasificaciones de estaciones transformadoras (ET) según su función dentro de la red de transporte de energía eléctrica:

- De interconexión: No existe transformación de energía eléctrica, su única labor es la interconexión de varias líneas correctamente.
- De transformación: Estación cuya labor es la de reducir los valores de muy alta tensión a valores aptos para la distribución eléctrica.
- Interconexión con transformación: Resulta de la combinación de ambos modelos anteriormente explicados.

Aunque la Empresa Provincial de Energía (EPE) cuenta con 75 estaciones transformadoras, no todas son iguales. El simulador se enfoca, por decisión de EPE, exclusivamente en aquellas de 132 kV, tomando como modelo la distribución de los elementos de la estación transformadora de la ciudad de Las Parejas, provincia de Santa Fe. Si bien es posible que existan variaciones mínimas en la distribución de las estructuras que componen las estaciones transformadoras de 132 kV, EPE seleccionó el modelo de distribución que posee la estación transformadora de Las Parejas debido a su moderna y

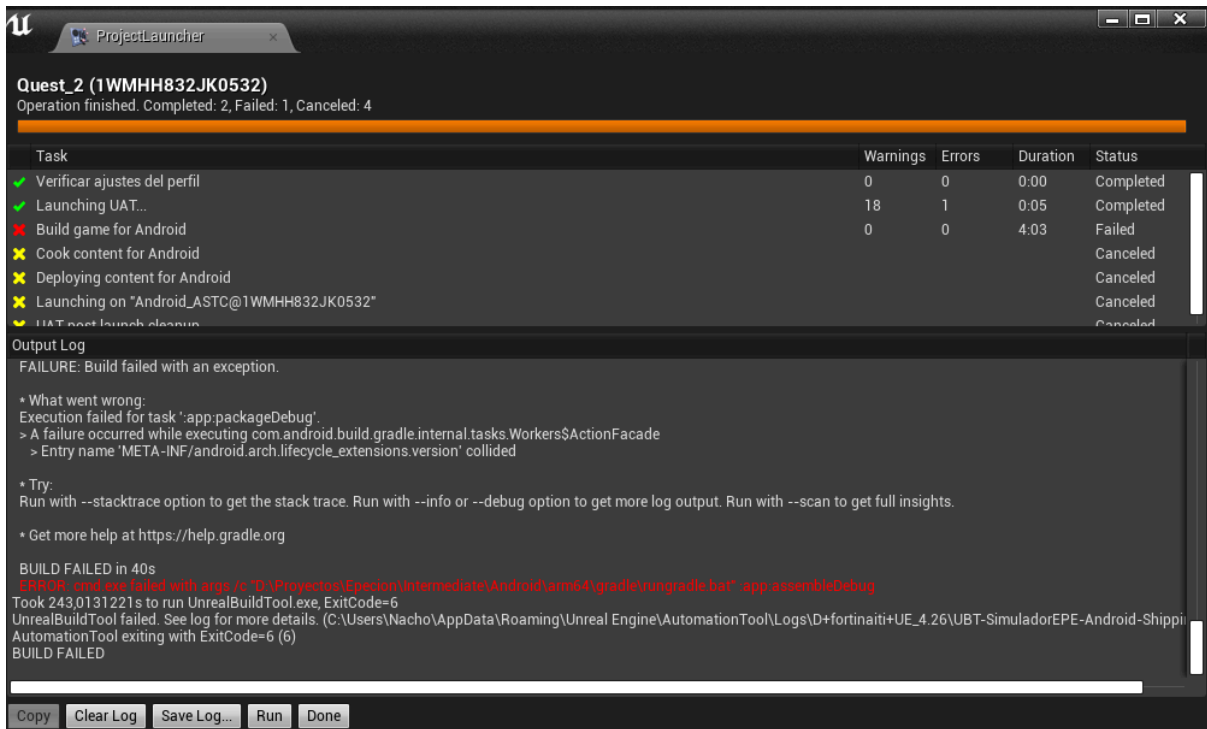
prolija distribución que poseen las estructuras, lo que permite una representación más clara y ordenada en el simulador.

Configuración óptima para el empaquetado del proyecto

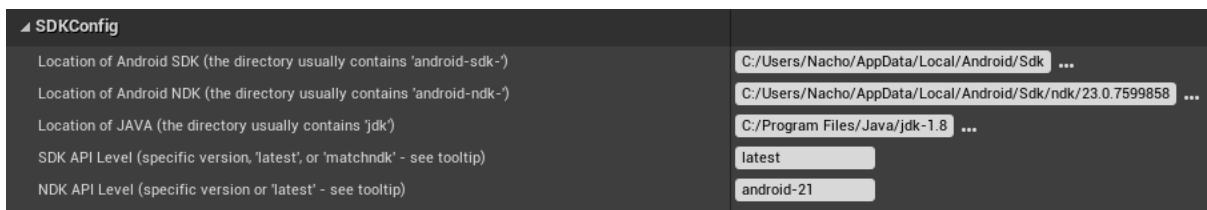
La configuración actual de empaquetado del proyecto presenta inestabilidad y graves inconvenientes que requieren resolución antes de poder seguir realizando modificaciones en el proyecto. Uno de los problemas más significativos radica en la limitación de las computadoras capaces de realizar el empaquetado, debido a la configuración actual del editor. En el siguiente apartado, se detalla la configuración actual del proyecto y se exploran posibles combinaciones para lograr un proceso de empaquetado más sólido y fiable.

Estado actual

Uno de los desafíos principales que enfrentamos en el estado actual es que al intentar compilar el proyecto en una computadora nueva, se genera inevitablemente un error en la build. Esto puede verse en las siguientes imágenes.



El error que aparece en la ventana de compilación está relacionado con la configuración de SDK, NDK y Java.



De la misma forma, los errores también están relacionados con la configuración de APK del editor:

APK Packaging



El proyecto no está configurado para la Android plataforma

Note to users from 4.6 or earlier: We now GENERATE an AndroidManifest.xml when building, so if you have customized your .xml. Additionally, we no longer use SigningConfig.xml, the settings are now set in the Distribution Signing section.

NOTE: You must accept the SDK license agreement (click on button below) to use Gradle if it isn't grayed out.

Accept SDK License

Build Folder

Android Package Name ('com.Company.Project', [PROJECT] is replaced with project name)

Store Version (1-2147483647)

Store Version offset (armv7)

Store Version offset (arm64)

Store Version offset (x86_64)

Application Display Name (app_name), project name if blank

Version Display Name (usually x.y)

Minimum SDK Version (19=KitKat, 21=Lollipop)

Target SDK Version (19=KitKat, 21=Lollipop)

Install Location

Enable Lint depreciation checks

Package game data inside .apk?

Generate install files for all platforms

Disable verify OBB on first start/update.

Force small OBB files.

Allow large OBB files.

Allow patch OBB file.

Allow overflow OBB files.

Use ExternalFilesDir for UE4Game files?

Make log files always publicly accessible?

Orientation

Maximum supported aspect ratio.

Use display cutout region?

Restore scheduled notifications on reboot

Enable FullScreen Immersive on KitKat and above devices.

Enable improved virtual keyboard

Preferred Depth Buffer format

Validate texture formats

Open Build Folder

com.unraf.EPESimulador

1

0

0

0

1.0

21

29

Internal Only

Sensor Landscape

2,1

Default

Depuración de fallas en el proceso de buildeo

Con el objetivo de encontrar una configuración de compilación funcional, se han establecido los siguientes tres pasos:

1. Configuración de compilación para un proyecto en blanco

La primera medida que se tomó para comenzar a depurar los errores de buildeo que se presentaron en nuestro proyecto fue encontrar, en primer lugar, una configuración óptima para un proyecto en blanco. Al referirnos a un proyecto en blanco, hablamos de un proyecto base generado por Unreal Engine sin modificaciones de terceros.

Se comenzó identificando la versión de Android más estable para compilar en Unreal Engine 4.26 para Oculus Quest 2.

2. Configuración de compilación para un proyecto con Advanced VR Framework

Luego de haber establecido una configuración exitosa para un proyecto en blanco, se procedió a aplicar la misma configuración al proyecto que utilizaba el plugin Advanced VR Framework, este es un plugin pago que agrega varias funcionalidades útiles para crear un proyecto en realidad virtual pero que, a su vez, pueden generar errores o incompatibilidades a la hora de empaquetar el proyecto. Este paso permitió verificar si el framework causaba problemas adicionales durante la compilación y, en caso contrario, resultó útil para localizarlos.

3. Configuración de compilación para el proyecto final

Una vez aplicada la configuración óptima de compilación, se aplicaron al proyecto final. El proyecto final cuenta con la combinación de las configuraciones bases que se generan en un proyecto de Unreal Engine, Advanced framework VR y las funcionalidades específicas que se agregaron para diseñar el simulador. Estos pasos se llevaron a cabo con

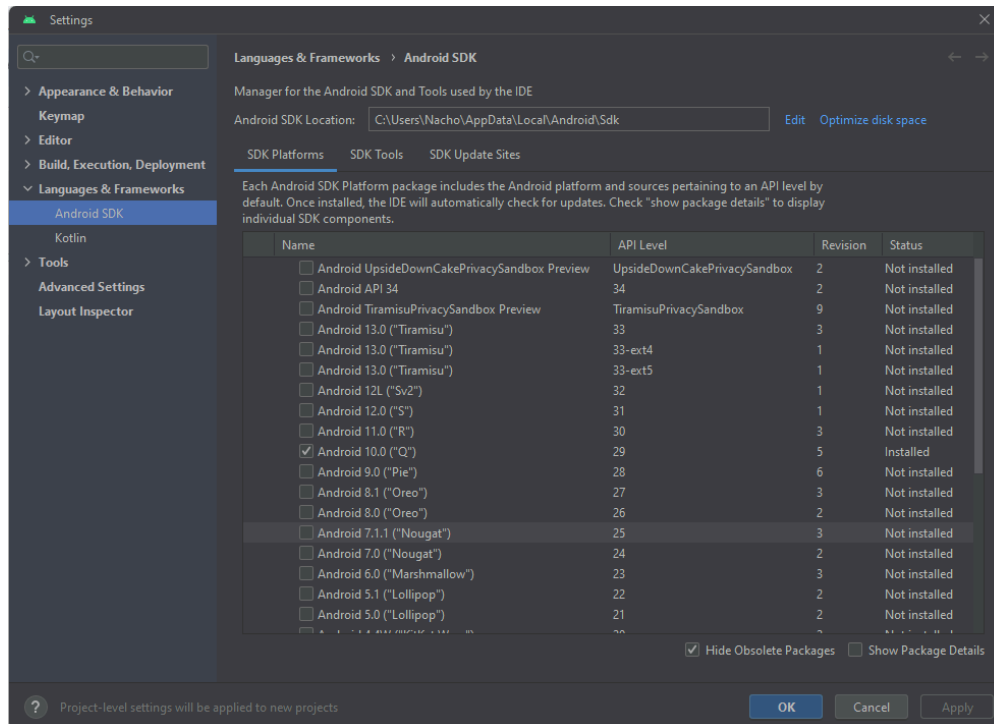
el propósito de depurar y detectar posibles problemas, lo que simplificó la detección de errores en el proceso de compilación y garantizó la correcta ejecución de todos los pasos.

El objetivo de cada uno de estos pasos es identificar el origen de los errores o incompatibilidades que surgen al empaquetar el proyecto. En el primer paso, nos aseguramos de que no haya errores relacionados con el empaquetado de un proyecto base. Si encontramos errores en este paso, podemos deducir que los problemas están relacionados con incompatibilidades en el editor base. En el segundo paso, se intenta localizar errores relacionados con el framework utilizado en el proyecto final, ya que existe la posibilidad de que algunas de las funcionalidades agregadas por este plugin estén causando conflictos en el proceso de empaquetado. Por último, el tercer paso nos indica si los errores de empaquetado se originan a partir de las funcionalidades específicas que creamos para el proyecto.

Siguiendo estos tres pasos, se buscó establecer una configuración de compilación sólida y asegurarse de que todos los elementos estuvieran en su lugar antes de avanzar en el proyecto.

1. Configuración de compilación para un proyecto en blanco

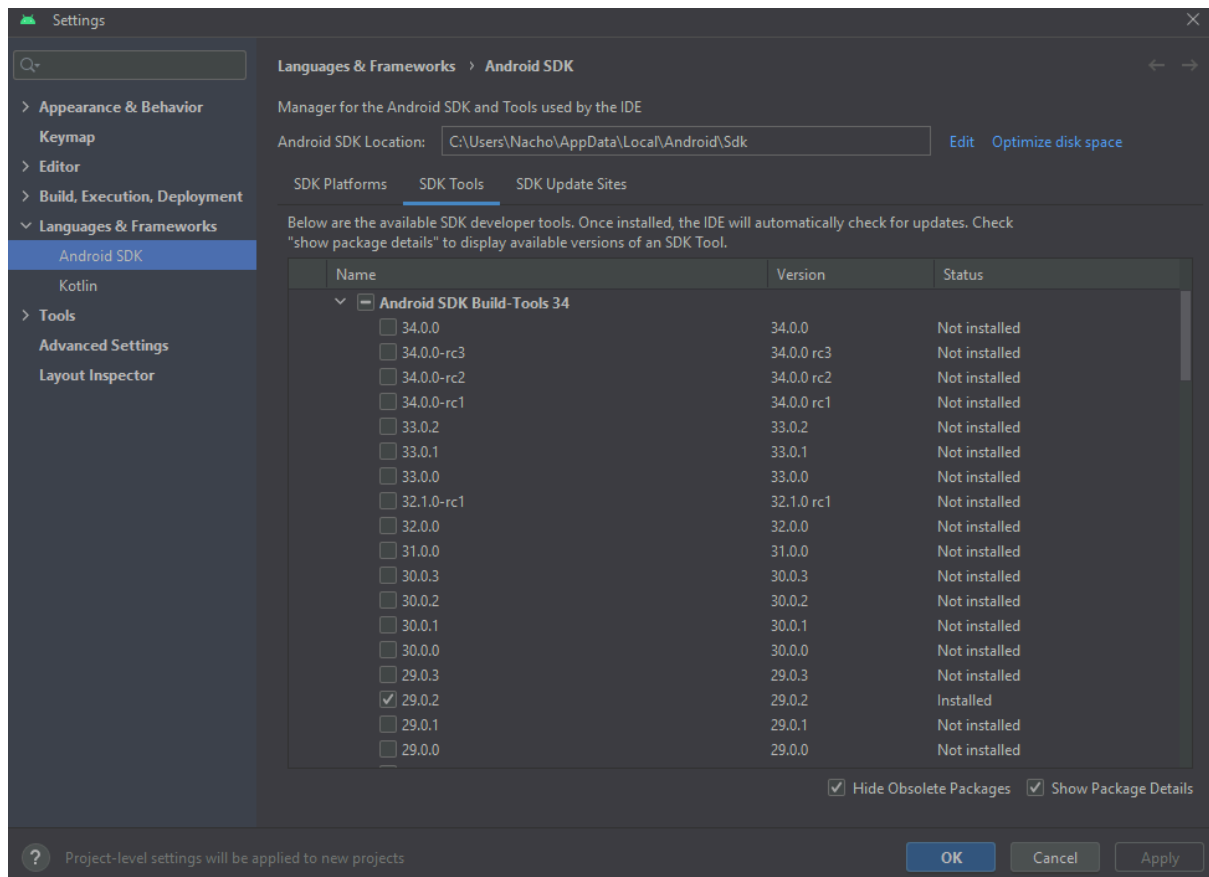
Se tomó como base Android 10.0, ya que esta versión permitió una compilación exitosa en proyectos base. Fue importante tener en cuenta que se debió desinstalar otras versiones de Android para evitar conflictos durante el proceso de compilación.

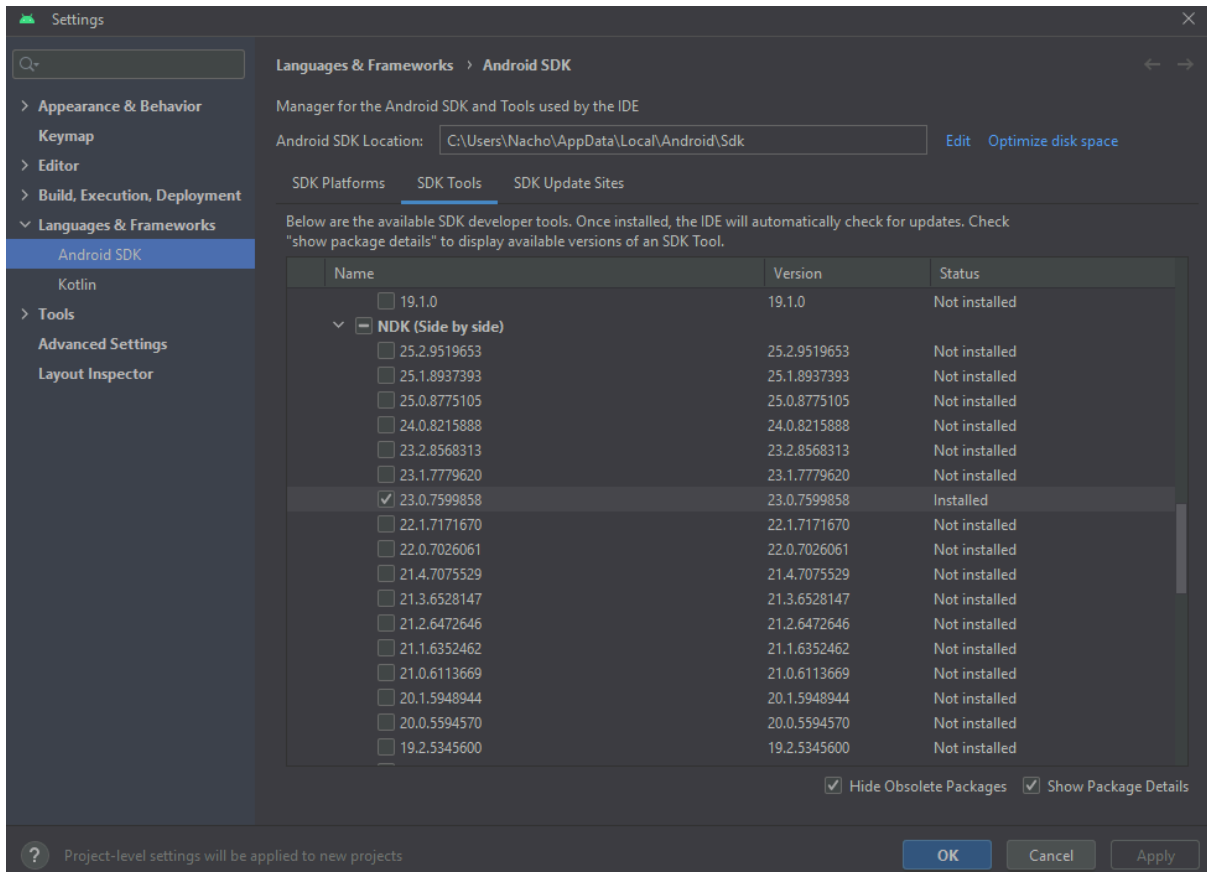


El siguiente paso consistió en determinar las versiones adecuadas de SDK y NDK. Se determinó que las versiones Android SDK 29.0.2 y NDK 23.0.7599858 fueron las ediciones apropiadas para el proceso de compilación. Para identificar las versiones adecuadas para compilar el proyecto, se realizaron pruebas de compilación con diversas configuraciones hasta alcanzar una configuración capaz de realizar un buildeo exitoso del proyecto. Unreal Engine se basaba en ciertas versiones específicas de Android SDK y NDK para funcionar correctamente. Las actualizaciones de Android Studio SDK y NDK introducían cambios que rompían la compatibilidad con Unreal Engine. Las versiones más recientes de Android Studio, en algunos casos, incluían modificaciones que Unreal Engine aún no había incorporado en su sistema de construcción.

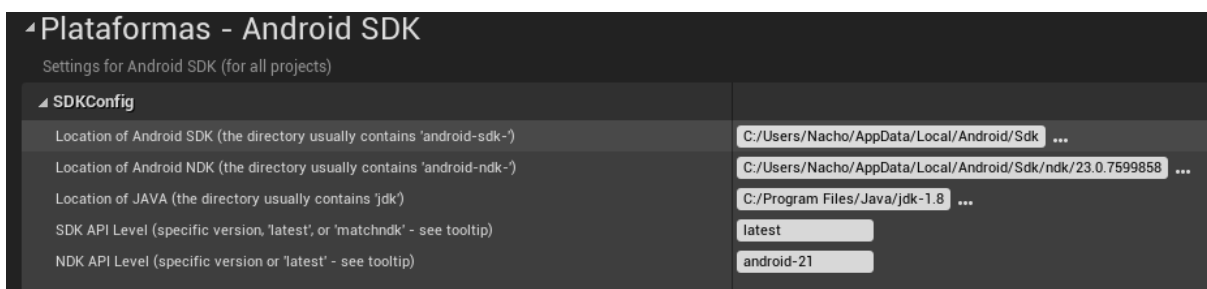
Además de estos problemas de compatibilidad entre Unreal y Android Studio, se tuvo en consideración que Oculus Quest 2 utiliza controladores específicos y hardware de realidad virtual. Las actualizaciones en las versiones de Android afectan la forma en que estos controladores y hardware se comunicaban, lo que también generaba problemas de compatibilidad.

En las siguientes imágenes se puede apreciar cuál es la configuración específica de android studio para realizar un buildeo exitoso en un proyecto base de Unreal Engine 4, Android SDK Build-Tools 34 v29.0.2 y NDK 23.0.7599858.





Una vez dentro de Unreal Engine, fue crucial agregar las rutas de instalación de Android SDK y NDK en la sección de "Ajustes del proyecto" > "Android SDK". Para la configuración de SDK API Level, se recomienda establecerlo en "latest", mientras que para NDK API Level, la opción adecuada es "android-21".



Una vez completada la sección de configuración de Android, fue necesario ajustar las opciones relacionadas con el empaquetado de APK. En este proceso, se recomienda cambiar las versiones mínima y objetivo del SDK a 25. Además, fue importante seleccionar la opción de incluir datos del juego dentro del archivo APK, ya que esta opción generaba

conflictos con versiones anteriores del SDK. Por último, se configuraron los archivos de plataforma para que fueran editables y modificables según fuera necesario.

Los archivos de plataforma son modificables

Note to users from 4.6 or earlier: We now GENERATE an AndroidManifest.xml when building, so if you have customized your .xml. Additionally, we no longer use SigningConfig.xml, the settings are now set in the Distribution Signing section.

NOTE: You must accept the SDK license agreement (click on button below) to use Gradle if it isn't grayed out.

Accept SDK License

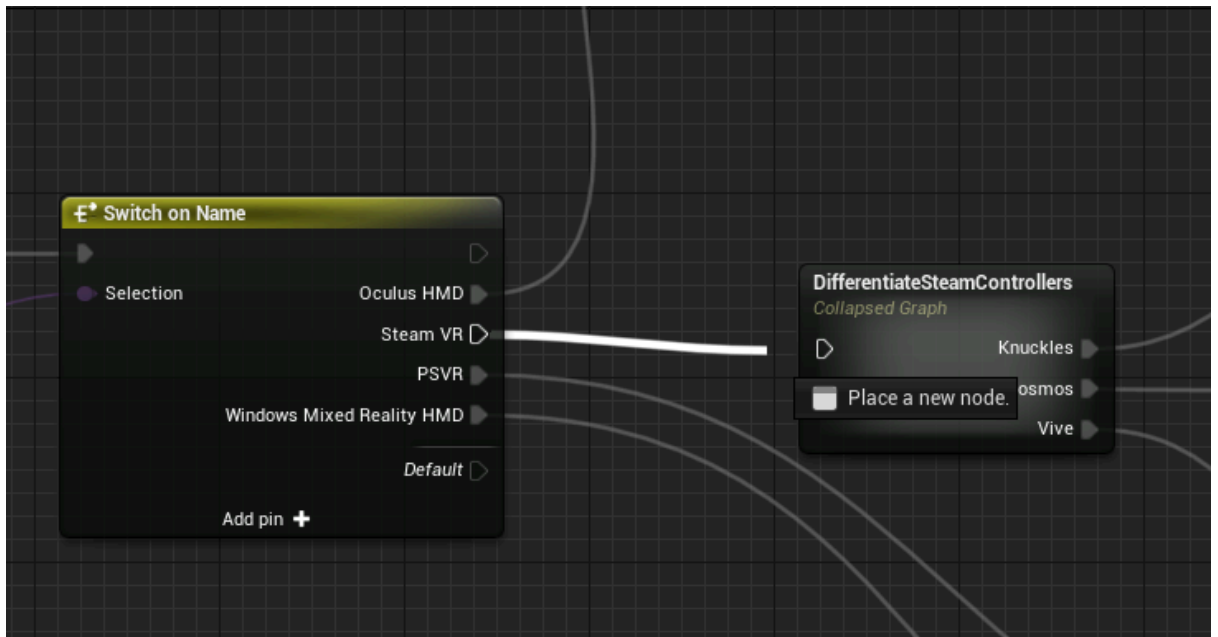
Build Folder	Open Build Folder
Android Package Name ('com.Company.Project', [PROJECT] is replaced with project name)	com.unraf.EPESimulador
Store Version (1-2147483647)	1
Store Version offset (armv7)	0
Store Version offset (arm64)	0
Store Version offset (x86_64)	0
Application Display Name (app_name), project name if blank	
Version Display Name (usually x.y)	1.0
Minimum SDK Version (19=KitKat, 21=Lollipop)	25
Target SDK Version (19=KitKat, 21=Lollipop)	25
Install Location	Internal Only
Enable Lint deprecation checks	<input type="checkbox"/>
Package game data inside .apk?	<input checked="" type="checkbox"/>
Generate install files for all platforms	<input type="checkbox"/>
Disable verify OBB on first start/update.	<input type="checkbox"/>
Force small OBB files.	<input type="checkbox"/>
Allow large OBB files.	<input type="checkbox"/>
Allow patch OBB file.	<input type="checkbox"/>
Allow overflow OBB files.	<input type="checkbox"/>
Use ExternalFilesDir for UE4Game files?	<input type="checkbox"/>
Make log files always publicly accessible?	<input checked="" type="checkbox"/>
Orientation	Sensor Landscape
Maximum supported aspect ratio.	2,1
Use display cutout region?	<input type="checkbox"/>
Restore scheduled notifications on reboot	<input type="checkbox"/>
Enable FullScreen Immersive on KitKat and above devices.	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable improved virtual keyboard	<input checked="" type="checkbox"/>
Preferred Depth Buffer format	Default
Validate texture formats	<input checked="" type="checkbox"/>

2. Configuración de compilación para un proyecto con el plugin Advanced VR Framework, utilizado en el proyecto final

Advanced VR Framework es un plugin desarrollado por terceros que proporciona componentes de código útiles para el desarrollo de proyectos centrados en la realidad virtual. Sin embargo, al compilar para un dispositivo Oculus Quest, es crucial tener en cuenta ciertos detalles que pueden causar errores durante el proceso de empaquetado.

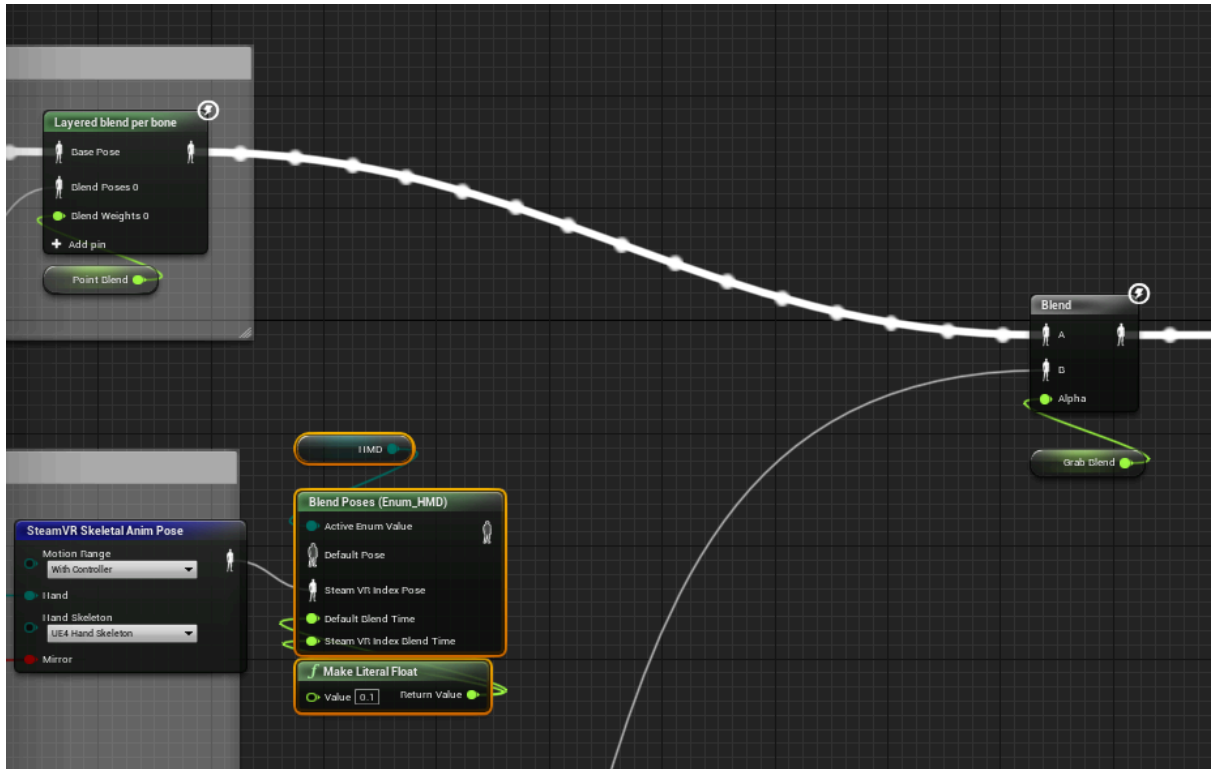
Los creadores del plugin informaron a los usuarios sobre diversos problemas de compatibilidad entre el casco Oculus Quest y el código. La mayoría de los errores de empaquetado están relacionados con estos problemas, por lo que es esencial abordarlos antes de continuar con el proceso de empaquetado.

El primer error de código se encontró en la blueprint BP_GameInstance_Main. En esta blueprint, se detectó un problema de conexión entre nodos causado por las funciones de Oculus Quest, las cuales desactivan automáticamente el plugin de SteamVR. Esto provocaba que todas las funciones asociadas devolvieran un valor de error, impidiendo el proceso de compilación. Para resolver este problema, fue necesario acceder a la blueprint mencionada y desconectar previamente las funciones relacionadas con SteamVR para evitar errores futuros.



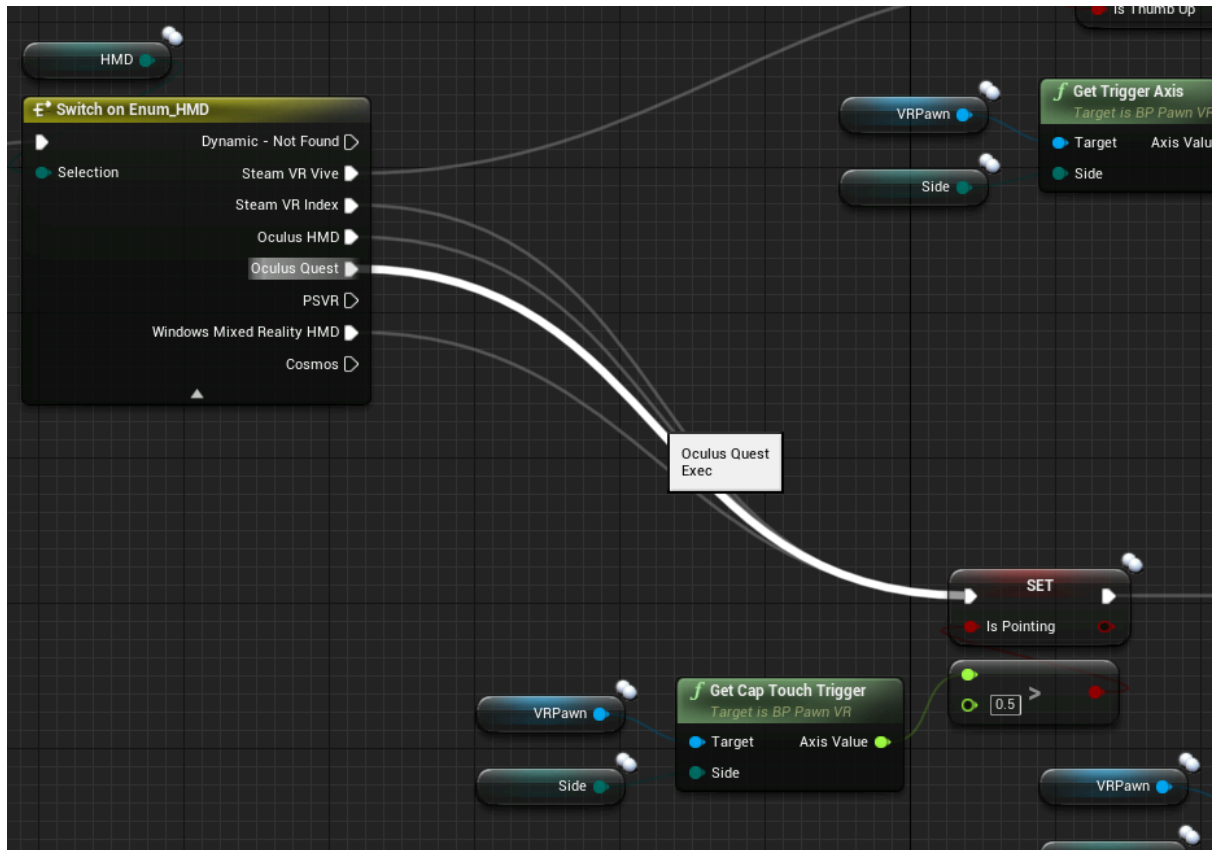
Después de haber resuelto los errores relacionados con SteamVR, se identificó un problema vinculado a la variable HMD al utilizar su función de seguimiento automático del entorno de desarrollo. Este problema parecía estar relacionado principalmente con la incapacidad de distinguir entre dispositivos Oculus Rift y Oculus Quest. Para solucionar este error, fue necesario asignar manualmente la opción de Oculus Quest a la variable HMD, asegurándose de que siempre se enfocara en ese entorno de desarrollo.

El siguiente problema que se presentó al compilar se encontraba ubicado en la Blueprint de animación "AnimBP_Hand_Epic_Right". Dentro de esta misma blueprint, se identificó otro inconveniente relacionado con las funciones de SteamVR, que fue solucionado al desconectar el nodo de código asociado a dicho problema.



El último error común que se presentó al realizar la compilación con este plugin se hizo evidente una vez que el programa logró empaquetar el proyecto, pero, lamentablemente, resultó en la creación de una Build no funcional. Este error impedía al usuario utilizar los controles de movimiento.

El problema asociado a este error se encontraba en la blueprint "BP_MotionController_Hands". Al igual que muchos de los errores previamente mencionados, su origen estaba relacionado con dificultades para determinar si el dispositivo en uso era un Oculus Rift o un Oculus Quest. Para solucionarlo, fue necesario realizar una conexión manual entre la configuración de Oculus Quest y el nodo correspondiente en dicha blueprint.



3. Configuración de compilación para el proyecto final

Al llevar a cabo el último paso, se observó que ya no existían errores de compilación en el empaquetado. Por lo tanto, se concluyó que los problemas de empaquetado se debían a una combinación incorrecta de configuraciones del proyecto, además de errores en el código proporcionado por terceros que estaba presente en el proyecto final. Asimismo, se dedujo que los problemas de rendimiento estaban relacionados con el contenido específico creado para el proyecto. El siguiente paso consistió en identificar áreas de bajo rendimiento y detectar los modelos con alta densidad poligonal que estaban causando problemas. Además, no se descartó la posibilidad de lograr una configuración de proyecto que no solo garantizara una construcción exitosa, sino también una mejora en el rendimiento del proyecto.

Oportunidades de mejora en el apartado gráfico

Al desarrollar para dispositivos de realidad virtual, resulta fundamental mantener un óptimo rendimiento gráfico. La falta de optimización en el aspecto visual de un proyecto destinado a Oculus Quest 2 no solo impacta negativamente la calidad visual sino que, también, afecta directamente la comodidad y la inmersión del usuario en la experiencia de realidad virtual.

Cuando trabajamos en un dispositivo Quest, nos enfrentamos a limitaciones técnicas aún más rigurosas. Por lo tanto, es esencial que seamos extremadamente meticulosos en la optimización de modelos, texturas y la carga gráfica en general.

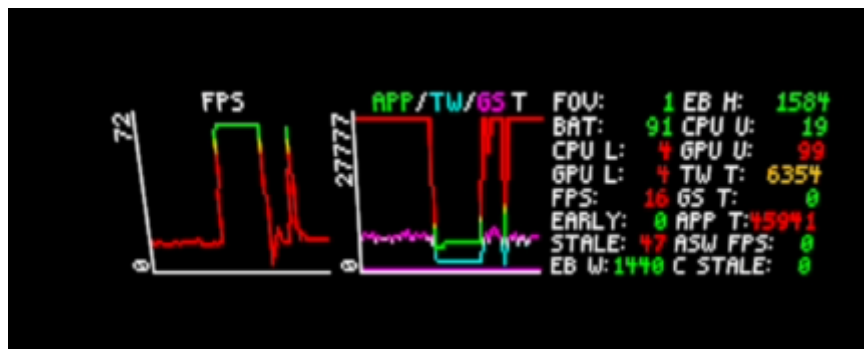
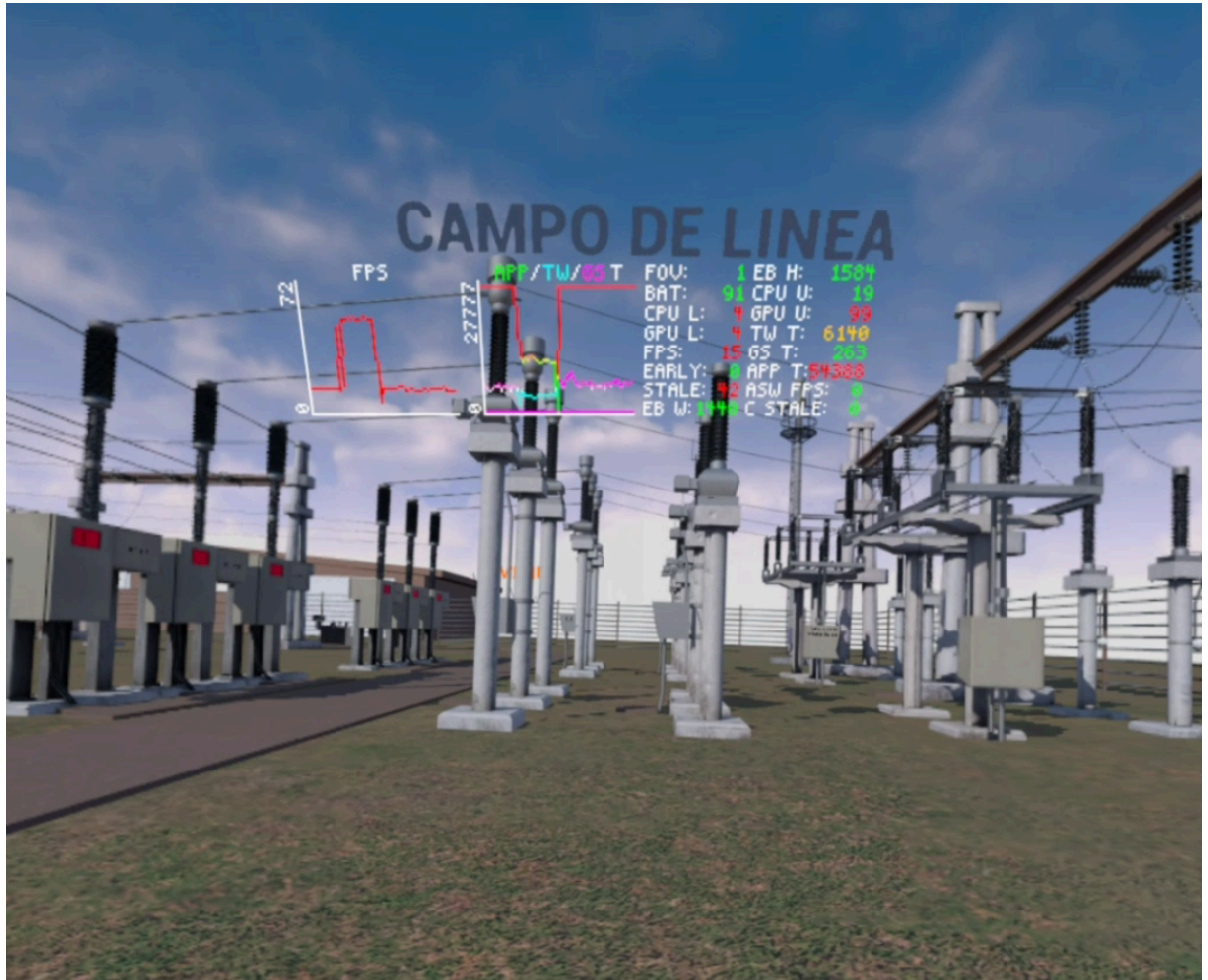
Los FPS, o cuadros por segundo (frames per second, su denominación en inglés), son una métrica que mide la velocidad a la que una imagen en movimiento se muestra en una pantalla o dispositivo de visualización. En el contexto de la realidad virtual (VR), los FPS cobran una importancia crucial, ya que tienen un impacto directo en la experiencia del usuario. La cantidad de FPS recomendados para VR puede variar según el dispositivo y las preferencias individuales pero, en general, una tasa de FPS más alta se traduce en una experiencia más fluida y confortable.

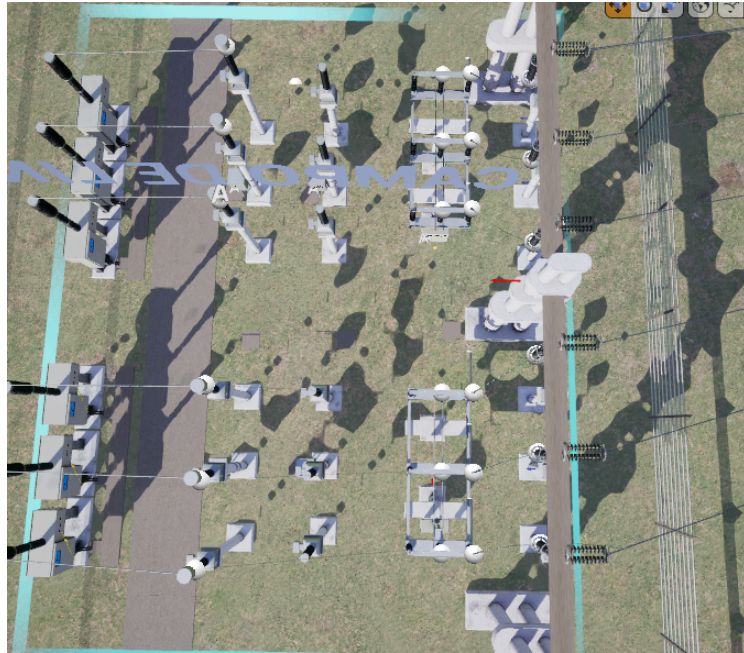
En lo que se refiere a realidad virtual, la cantidad mínima recomendada de FPS suele ser de al menos 60 FPS, aunque algunos sistemas y usuarios pueden preferir tasas aún más altas, como 120 o incluso 144 FPS. Un mayor número de FPS en la VR es esencial, ya que contribuye a reducir la posibilidad de mareos o náuseas vinculadas al movimiento, que pueden surgir cuando la imagen en VR no se actualiza lo suficientemente rápido para seguir el movimiento de la cabeza del usuario. Cuanto más alta sea la tasa de FPS, más realista y cómoda será la experiencia de realidad virtual.

El simulador elaborado para la EPE presentó una media de 45 fps a 15 fps al ejecutarse, lo que derivó en una mala experiencia para el usuario y un pobre rendimiento. A

continuación, se procedió a identificar cuáles eran las zonas que presentaban un bajo rendimiento (pocos fps) dentro del mapa usado para el Modo Libre:

- **Campo de Línea**





El campo de línea es por donde comienzan las maniobras dentro de la estación transformadora, resultó ser la menos performante en términos de FPS (15 FPS), está comprendida por un gran conjunto de estructuras en un espacio reducido lo cual implica un alto número de poligonaje en pantalla.

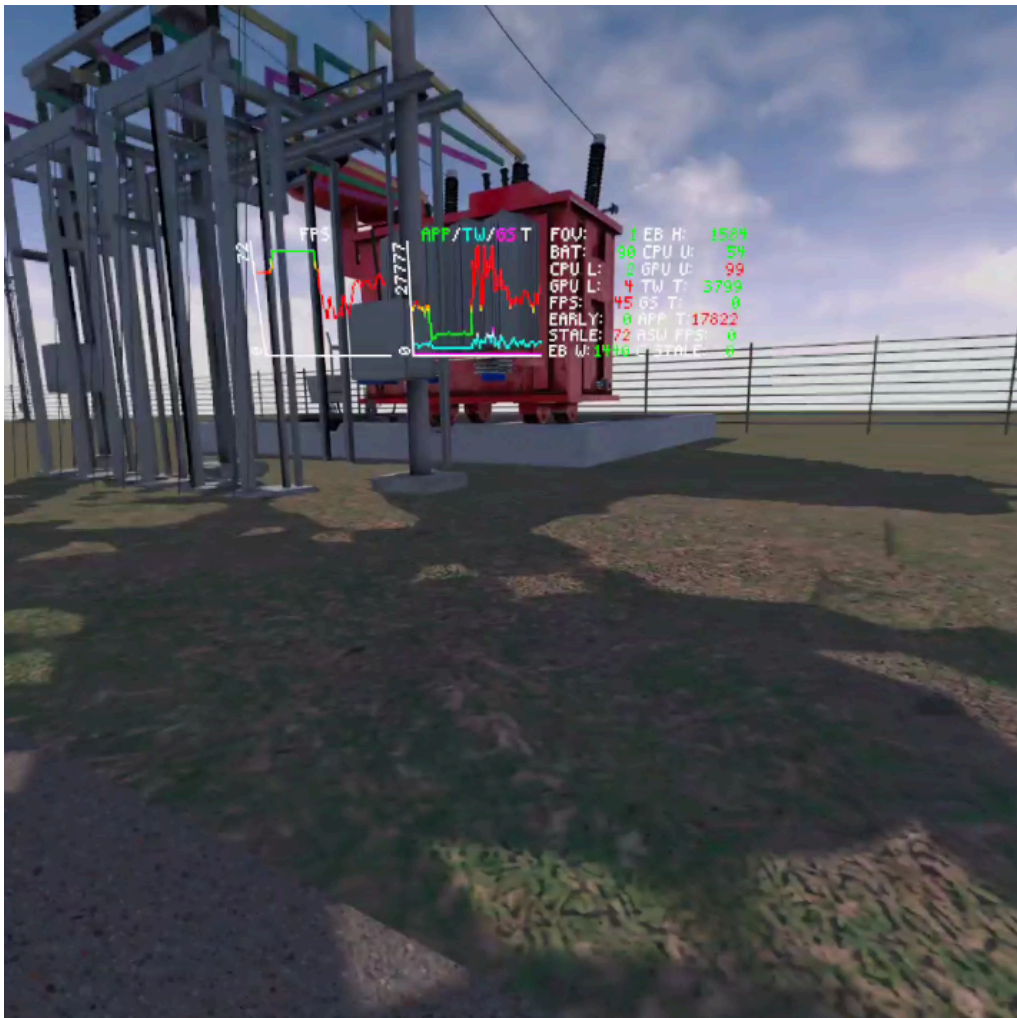
- **Campo de Barra**





Zona estable, la gráfica que se presenta en la imagen indica una media de 30 fps, esta zona se encuentra comprendida por un menor número de estructuras que el campo de línea lo que permitió un alivio al procesamiento gráfico del casco.

- Campo de transformador



Dentro del campo del transformador se identificaron diferentes tipos de rendimiento. Al acercarse a la estructura principal, el transformador, se experimentó una leve baja en el

número de fps (45 fps). Sin embargo, al transitar por las demás áreas del campo, no se presentaron bajas en el rendimiento.

Proceso y técnicas de optimización

Se identificaron tres métodos para mejorar el rendimiento del simulador, específicamente para estabilizar la cantidad de cuadros por segundo (FPS). Estos métodos incluyeron la reducción del poligonaje de los modelos 3D, la disminución de la calidad de las texturas de los modelos 3D y ajustes en las configuraciones del editor. A continuación, se describieron cada uno de los puntos.

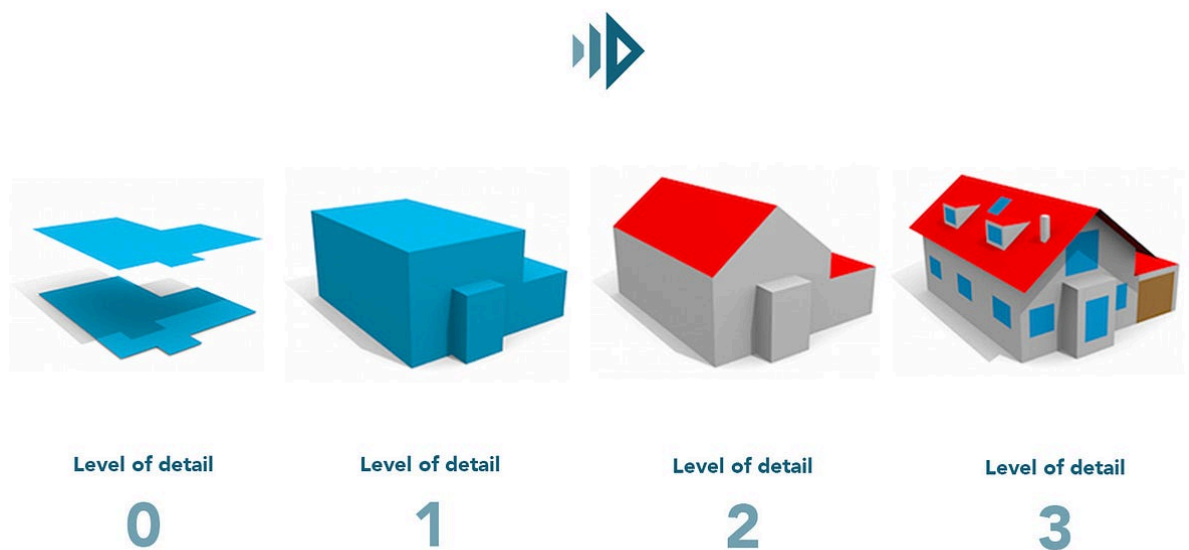
1. Reducción del poligonaje de los modelos 3D, podemos decir que el poligonaje en modelos 3D se refiere a la cantidad de polígonos que componen un objeto 3D, estos son las unidades básicas de construcción en la representación de objetos 3D en la computadora y que cuanto mayor sea el número de polígonos, mayor será la cantidad de detalle y suavidad en la representación visual del objeto. El número de polígonos tiene un impacto significativo en el rendimiento del juego, ya que afecta la carga en la CPU y la GPU, el uso de memoria, la tasa de FPS y los requisitos de hardware. La optimización del poligonaje es esencial para garantizar un rendimiento suave en una amplia gama de sistemas.

Inicialmente, se podría suponer que la reducción del poligonaje de los modelos implicaría la edición manual de las mallas poligonales en un software de modelado 3D, como Blender o Maya. Sin embargo, Unreal Engine 4 ofrece una solución que evita la necesidad de realizar este trabajo manual en cada modelo individual. Esta solución se conoce como 'Niveles de Detalle' o 'LOD' en inglés.

Los LOD son una técnica ampliamente empleada en la industria de los videojuegos y la informática gráfica con el propósito de optimizar el rendimiento y los recursos de hardware, al mismo tiempo que se garantiza que los gráficos continúen siendo visualmente atractivos. La premisa fundamental de los LOD es simple: a medida que un objeto en el juego se aleja del punto de vista del jugador, se reduce el nivel de detalle (poligonaje) de

ese objeto para conservar recursos de procesamiento y memoria. Esto resulta en un rendimiento suave y fluido en una variedad de hardware, sin comprometer la calidad visual cuando el objeto se encuentra cerca del jugador.

Dentro de Unreal Engine al acceder a la configuración de un modelo podremos establecer el porcentaje de poligonaje a reducir por cada LOD (Unreal engine automáticamente reduce el porcentaje de triángulos establecido por el usuario, de esta manera se evita tener que producir distintas versiones del mismo modelo) y luego la distancia en la que deben cambiar los LOD.



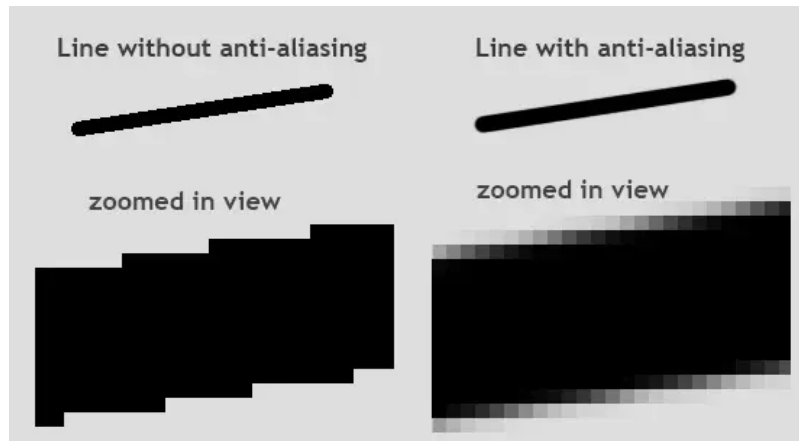
2.Disminución de la calidad de las texturas de los modelos 3D: Las texturas en un modelo 3D son imágenes o patrones aplicados a la superficie de un objeto tridimensional para agregar detalles visuales y mejorar su apariencia. Estas texturas se utilizan para simular diversos atributos visuales, como color, rugosidad, reflectividad, opacidad y otros aspectos que hacen que el modelo 3D parezca más realista y detallado. Actualmente, las texturas de los modelos del simulador poseen una resolución de 4k, tener texturas de esta resolución en un juego de VR puede tener un impacto significativo en el rendimiento ya que aumenta los requisitos de GPU, consume más memoria de video, aumenta la carga de la CPU y puede reducir la tasa de FPS. El objetivo es equilibrar la calidad visual con la

capacidad de rendimiento de la VR para ofrecer una experiencia de juego fluida y cómoda en este entorno inmersivo, para lograr un rendimiento más óptimo se reducirá la resolución de 4K a 2K en las texturas de aquellos modelos que sean secundarios en la escena. Pero, además, se considera secundario a aquellos elementos que no formen parte de la experiencia principal (como lo pueden ser las estructuras principales donde se realizan las maniobras) y no ameriten un nivel de detalle elevado.

En adición a la reducción de calidad en la texturas se implementó la técnica de Mipmapping, esta es utilizada en motores gráficos 3D para mejorar la calidad y el rendimiento de las texturas en diferentes distancias y ángulos de visualización. En lugar de utilizar la textura de resolución completa en todos los casos, se generan versiones más pequeñas de la textura (llamadas "mipmaps") con resoluciones reducidas y se utilizan automáticamente cuando el objeto se visualiza desde lejos o en un ángulo agudo. Esto ayuda a reducir el aliasing y el consumo de recursos, ya que las texturas más pequeñas son menos pesadas en términos de memoria y procesamiento.

3.Optimización de la Configuración del Editor: Aunque hemos logrado configurar el editor para llevar a cabo compilaciones de manera funcional, todavía existen oportunidades de mejora para maximizar el rendimiento de nuestro proyecto. Para lograrlo, debemos dirigirnos a la sección de renderizado dentro de la configuración del proyecto. Es importante destacar que estos ajustes, a diferencia de las modificaciones en polígonos y calidad de imágenes, tienen un impacto en la optimización general del proyecto y requieren menos tiempo para su implementación.

Dentro de las configuraciones para móvil que nos ofrece el editor podemos encontrar los ajustes al MSAA. Son las siglas de "Multisample Anti-Aliasing". Es una técnica utilizada en gráficos por computadora y videojuegos para reducir o eliminar el efecto de aliasing, que es un tipo de artefacto visual que se produce cuando se representan imágenes en forma de píxeles en una pantalla, lo que puede hacer que las líneas diagonales o curvas se vean dentadas o pixeladas.



El MSAA funciona tomando múltiples muestras de cada píxel en una imagen y promediando sus valores de color y profundidad. Esto suaviza los bordes de los objetos en la imagen, lo que resulta en una apariencia más suave y menos dentada. El MSAA es particularmente útil cuando se representan objetos tridimensionales en una pantalla y se desea mejorar la calidad de la imagen al reducir los artefactos visuales.

Sin embargo, es importante destacar que esta técnica puede ser intensiva en términos de rendimiento, ya que requiere más potencia de procesamiento y memoria de video para tomar y procesar las múltiples muestras. Como resultado, en sistemas con recursos limitados como el simulador, es posible que se deba equilibrar la calidad visual con el rendimiento del sistema.

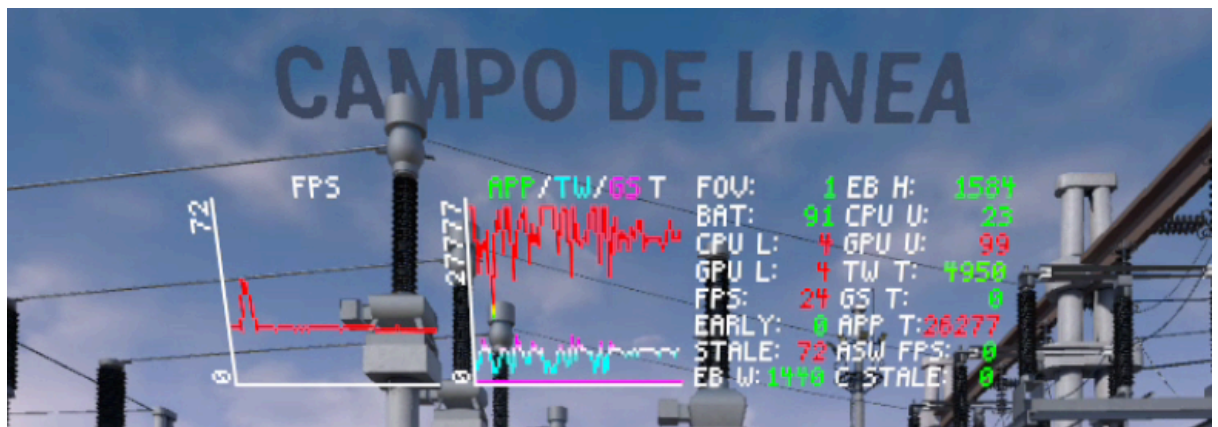
El proyecto previamente estaba configurado con una opción de MSAA x8, lo cual resultaba en una significativa reducción del rendimiento de fotogramas (fps) que caía considerablemente por debajo del umbral mínimo recomendado para una experiencia de realidad virtual de calidad (60 fps).

Optimización del Campo de Línea

Los ajustes mencionados en secciones anteriores se aplicaron específicamente al área del Campo de Línea, ya que se identificó que esta era la que presentaba un

rendimiento más bajo en términos de fotogramas por segundo (fps). La implementación de estos cambios en esta zona alivió, por consiguiente, el rendimiento del resto del simulador.

En la configuración que se utilizaba, esta área operaba a 15 fps cuando el jugador observaba las estructuras. El cambio principal que se aplicó y que generó un aumento significativo en los fps consistió en la reducción del Antialiasing del proyecto. Se redujo el valor de MSAA x8 a MSAA x2, lo que resultó en un aumento considerable de los fps, manteniéndose en 25 fps estables. Esto, sin embargo, implicó un ligero sacrificio en la calidad visual, ya que los bordes de las imágenes mostraron un poco más de pixelación. No obstante, el objetivo era elevar el rendimiento de esta zona a 60 fps estables, que es la cantidad recomendada.



Por esta razón, se tomó la decisión de eliminar por completo la configuración de Antialiasing en el proyecto. Este sacrificio en la calidad visual se justificó plenamente por la necesidad de alcanzar un nivel mínimo de fluidez para el jugador. Al sopesar ambos aspectos, es decir, la fluidez de la experiencia y la calidad gráfica, se decidió priorizar la fluidez, ya que esta tenía un impacto directo en la experiencia del usuario y su comodidad al utilizar el simulador. Al eliminar el Antialiasing del proyecto, los fps dentro del Campo de Línea aumentaron a 50.

Continuando con la optimización de esta zona, se implementaron sistemas de Niveles de Detalle (LOD) en todos los modelos 3D del mapa, lo que resultó en una reducción significativa en el número de triángulos de los modelos base. Los triángulos, en este contexto, se refieren a las unidades que componían los modelos 3D. Al crear un

modelo en UE4 (o al importarlo desde una aplicación de modelado 3D), dicho modelo se descomponía en una malla poligonal compuesta por triángulos. Los triángulos, como forma básica de polígonos en la geometría 3D, se utilizan comúnmente para describir la superficie de los objetos.

Estos triángulos son importantes para el motor de renderizado de UE4, ya que representan la unidad básica para el procesamiento y renderizado de modelos 3D. Cuantos más triángulos haya en un modelo, mayor será la cantidad de poder de procesamiento y recursos necesarios para renderizarlo. Por lo tanto, es importante optimizar la cantidad de triángulos en un modelo para lograr un equilibrio entre la calidad visual y el rendimiento del juego.

Gracias a estos cambios, el proyecto pasó a tener un total de 648,215 triángulos dentro del nivel (700,000 es el valor recomendado dentro de una escena o nivel) a tener más de 2,000,000 de triángulos que presentaba previamente al inicio del proyecto conjunto entre EPE y el Laboratorio de Experiencia de Usuario de UNRaf Tec. En la siguiente imagen podemos ver como la sumatoria de los modelos 3d individuales da un total de 329,962 triángulos y la cantidad total de modelos 3d (contado modelos repetidos que se encuentren dentro del nivel) da un total de 648,215.

Tris	Sum Tris
329,962	648,215

Para aplicar los LOD a los modelos del escenario, primero se particionó la cantidad de LOD que debía tener cada modelo (en este caso, se configuraron 5 niveles de LOD). El siguiente paso fue establecer el porcentaje de triángulos que se reduciría al pasar al siguiente nivel de detalle. Por ejemplo, el modelo base (LOD 0) tenía una cantidad de 28,034 triángulos, que se redujo a 8,298 al pasar al LOD 1. Finalmente, se configuró, para cada nivel de detalle, la distancia necesaria entre el jugador y el objeto para que se

produjera el cambio al modelo correspondiente. Los modelos con mayor nivel de detalle aparecían cuando el jugador estaba más cerca, mientras que aquellos con menos polígonos se mostraban cuando el jugador se encontraba a una distancia considerable.

LOD: 0 Current Screen Size: 1.311029 Triangles: 23,034 Vertices: 33,940 UV Channels: 2 Approx Size: 546x222x521 Num Collision Primitives: 34	LOD: 1 Current Screen Size: 1.311029 Triangles: 3,293 Vertices: 14,193 UV Channels: 2 Approx Size: 546x222x521 Num Collision Primitives: 34	LOD: 2 Current Screen Size: 1.413204 Triangles: 7,626 Vertices: 13,433 UV Channels: 2 Approx Size: 546x222x521 Num Collision Primitives: 34
LOD: 3 Current Screen Size: 1.413204 Triangles: 6,950 Vertices: 12,633 UV Channels: 2 Approx Size: 546x222x521 Num Collision Primitives: 34	LOD: 4 Current Screen Size: 1.413204 Triangles: 5,606 Vertices: 10,933 UV Channels: 2 Approx Size: 546x222x521 Num Collision Primitives: 34	Cantidad de triángulos por LOD

Para optimizar las texturas del simulador se redujo su tamaño a un valor de 2K y se aplicó la funcionalidad de mipmapping, en la siguiente imagen se puede apreciar cómo afecta esta técnica a la textura del suelo, volviéndola más borrosas en aquellas secciones que se encuentran más alejadas del jugador.



Para aplicar esta funcionalidad se configuró el material a un valor de “mipbias” con el fin de comunicarle al editor que ese material en específico cuenta con la funcionalidad de

mipmapping. El siguiente paso fue asignar un valor a la distancia en la que las texturas deben reducir su calidad.

El resultado final derivado de la adecuada resolución de los aspectos problemáticos, junto con la implementación de técnicas de optimización, se traduce en un notable incremento en los cuadros por segundo (72 FPS, límite establecido por el casco de realidad virtual) en la zona correspondiente al campo de línea. Este logro conlleva, de manera simultánea, una mejora sustancial y una disminución en el consumo general en el resto del simulador. De este modo, el simulador ha experimentado una transición significativa, pasando de ser una experiencia de baja eficiencia y escaso rendimiento técnico a convertirse en un trayecto fluido, exento de interrupciones técnicas que pudiesen afectar negativamente la experiencia de los usuarios.

Estrategia metodológica

El desarrollo del simulador se basa en un diseño cualitativo y utiliza una metodología participativa como su enfoque principal. Esta se destaca por su enfoque dinámico, que busca aprovechar el conocimiento y las experiencias de todas las partes involucradas, en este caso el equipo desarrollador por parte de UNRaf Tec y los dueños del producto por parte de EPE, proporciona un marco de trabajo colaborativo que facilita la resolución de problemas de manera efectiva y promueve el compromiso y la apropiación de los resultados obtenidos.

Esta metodología se basa en un flujo continuo de comunicación entre los miembros de los dos grupos clave: el equipo de EPE (aunque no se dispone de datos como nombres, cantidad o funciones específicas dentro de la empresa) y el equipo de UNRaf Tec. A través de la participación activa del equipo de EPE en la toma de decisiones y una interacción constante sobre el desarrollo realizado por el equipo de UNRaf Tec, se establece un proceso iterativo con objetivos a corto plazo que permiten hacer ajustes según se considere

necesario. Este enfoque facilita que los participantes se apropien del tema de investigación, enriqueciendo el proceso con sus experiencias y conocimientos previos (Bernal, 2010).

La metodología participativa se empleó debido a su capacidad para integrar las voces de todos los grupos interesados, no solo en la planificación y ejecución, sino también en la evaluación del proyecto (Narvaez, s.f.). En este contexto, el desarrollo del proyecto sólo fue posible gracias a la colaboración entre el equipo de EPE, compuesto por personal capacitado y con experiencia en las estructuras de la estación transformadora, y el equipo de UNRaf Tec, especializado en el desarrollo de experiencias en realidad virtual. La sinergia de estos conocimientos fue esencial para finalizar el proyecto.

Para implementar esta metodología, se trabajó en colaboración con el equipo de capacitación de la EPE y empleados responsables del manejo de estaciones transformadoras. A través de reuniones periódicas realizadas de forma remota, se buscó validar las propuestas de mejora y asegurar que la interpretación del conocimiento técnico, así como su adaptación a la simulación, fueran precisas y adecuadas para los objetivos de la capacitación. Este enfoque permitió mantener un flujo constante de retroalimentación y garantizar que el proyecto estuviera alineado con las necesidades específicas de los trabajadores y los objetivos organizacionales.

Conclusión

El proceso de optimización implementado ha resultado en mejoras significativas en el rendimiento del simulador, focalizándose en la estabilización de los cuadros por segundo (FPS). Tres métodos fundamentales se identificaron como clave para lograr este objetivo, a saber:

1) Reducción del Poligonaje de los Modelos 3D: La disminución del poligonaje en los modelos 3D se reveló como un componente esencial para aliviar la carga en la CPU y la GPU, reducir el consumo de memoria y mejorar la tasa de FPS. La implementación de la técnica de Niveles de Detalle (LOD) en Unreal Engine 4 permitió lograr este propósito sin necesidad de una extensa edición manual de cada modelo.

2) Disminución de la Calidad de las Texturas de los Modelos 3D: La reducción de la resolución de las texturas de 4K a 2K en los modelos secundarios, junto con el uso de Mipmapping, contribuyó de manera significativa a la optimización. Esto se tradujo en un rendimiento mejorado al reducir la carga en la GPU, la memoria de video y la CPU, manteniendo un equilibrio adecuado entre la calidad visual y el rendimiento del juego de realidad virtual.

3) Optimización de la Configuración del Editor: A través de ajustes específicos en la configuración del proyecto, se logró una mejora adicional en el rendimiento general. La eliminación completa del Antialiasing (MSAA) y resultó en un aumento sustancial de los FPS en el área del Campo de Línea.

La optimización se centró especialmente en el Campo de Línea, que previamente operaba a 15 FPS, y a través de los ajustes mencionados, se logró estabilizar los FPS en 72, el límite establecido por el casco de realidad virtual, este límite se establece promediando la cantidad general de fps que opera en el programa, en este caso la media se encuentra alrededor de los 60 fps por ende el casco establece el límite a 72, si la media de fps superará los 70 se establece su límite a un número elevado como 90. Esta optimización no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también tiene un efecto positivo en el

rendimiento global del simulador. En última instancia, el proyecto ha evolucionado de ser una experiencia poco eficiente y de bajo rendimiento técnico a un recorrido fluido y sin interrupciones técnicas, asegurando una experiencia óptima para los usuarios de dispositivos de realidad virtual.

Indudablemente, el proceso de optimización no solo ha culminado en una notable mejora en el rendimiento del simulador, sino que también ha generado un extenso conjunto de conocimientos, buenas prácticas y métodos que deben considerarse en cualquier proyecto de desarrollo. Aunque la piedra angular de este trabajo ha sido la optimización para un dispositivo de realidad virtual, todas estas prácticas son aplicables a desarrollos destinados a otros dispositivos, teniendo siempre en cuenta las particularidades y demandas de cada institución, de los usuarios y de la situación que debe resolverse.

Referencias Bibliográficas

- Abdullah, M., Al-Ansi, M., J., Askar, G., Al-Ansi, A., (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590291123001377>
- Albarracin Acero, D. A., Romero Toledo, F. A., Saavedra Bautista, C. E., & Ariza-Echeverri, E. A. (2024). Virtual Reality in the Classroom: Transforming the Teaching of Electrical Circuits in the Digital Age. *Future Internet*, 16(8), 279.
<https://doi.org/10.3390/fi16080279>
- Ayala García, A., Galván Bobadilla, I., Arroyo Figueroa, G., Pérez, M. & Muñoz, J. (2016). *Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines*. *Virtual Reality* 20, 27–40.
<https://doi.org/10.1007/s10055-015-0280-6>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson. Universidad de la Sabana.
<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Covarrubias Madera, C. G., Hernández Mejía, J. A., Ontiveros Paredes, J. (2021). Análisis costo y beneficio de los software de realidad virtual para la capacitación laboral de alto riesgo. *ReDTIS*. 5 (5)
<http://redtis.org/index.php/Redtis/article/view/78/81>
- Derryberry, A. (2007). *Serious games: Online games for learning*. Adobe Systems Incorporated. Recuperado el 23 de junio, 2023,
<https://iktmandud.files.wordpress.com/2014/09/online-games-for-learning.pdf>
- EPE (2020). *Manual Técnico de materiales y operaciones*.

https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1_nh1h_Ykk_8TE_XDrjXFJhZfOQq_AiSou

-EDEA. (s.f.). *Iniciamos la construcción de una estación transformadora en Sierra de los Padres.*

<https://www.edeaweb.com.ar/iniciamos-la-construccion-de-una-estacion-transformadora-en-sierra-de-los-padres/#:~:text=Las%20estaciones%20transformadoras%20son%20epicentros>

-Fade, L. (2019). *Cómo las empresas de hoy implementan la realidad virtual y aumentada.* Forbes. Disponible:

[https://www.forbes.com/sites/theyec/2019/01/03/how-businesses-today-are-impl
ementing-virtual-and-augmented-reality/#2935221338e5](https://www.forbes.com/sites/theyec/2019/01/03/how-businesses-today-are-implementing-virtual-and-augmented-reality/#2935221338e5)

-Filloon, W. (2017). El nuevo juego de entrenamiento para empleados de KFC es una pesadilla de realidad virtual. EATER.

[https://classroom.google.com/u/0/c/Mjg4NTYwODc5OTBa/p/MzE5NjA0MDI5ND
Va/details](https://classroom.google.com/u/0/c/Mjg4NTYwODc5OTBa/p/MzE5NjA0MDI5NDVa/details)

-Garza, T., Horacio, J., Abreu, L., Garza, E., (2009). Impacto de la capacitación en una empresa del ramo eléctrico. *International Journal of Good Conscience*. 4(1): 194-249.

[http://www.spentamexico.org/v4-n1/4\(1\)%20194-249.pdf](http://www.spentamexico.org/v4-n1/4(1)%20194-249.pdf)

-Kumari S., Polke N. (2018). *Implementation Issues of Augmented Reality and Virtual Reality: A Survey.* Vishwakarma Institutes of Technology.

[https://www.researchgate.net/publication/329825738_Implementation_Issues_of
_Augmented_Reality_and_Virtual_Reality_A_Survey](https://www.researchgate.net/publication/329825738_Implementation_Issues_of_Augmented_Reality_and_Virtual_Reality_A_Survey)

-Kuts, V., Otto, T., Tähemaa, T., & Bondarenko, Y. (2019). Digital twin based synchronised control and simulation of the industrial robotic cell using virtual reality. *Journal of Machine Engineering*, 19(2), 128-144.

<https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.0464>

-Lee, L., Wei, X., Chui, K. T., Cheung, S. K. S., Wang, F. L., Fung, Y., Lu, A., Hui, Y. K.,

- Hao, T., U, L. H., & Wu, N. (2024). A Systematic Review of the Design of Serious Games for Innovative Learning: Augmented Reality, Virtual Reality, or Mixed Reality? *Electronics*, 13(5), 890.
<https://doi.org/10.3390/electronics13050890>
- Lege, R., & Bonner, E. (2020). *Virtual reality in education: The promise, progress, and challenge*. The JALT CALL Journal, 16(3), 167-180.
<https://doi.org/10.29140/jaltcall.v16n3.388>
- López Raventós, C. (2016). El videojuego como herramienta educativa. Posibilidades y problemáticas acerca de los serious games. *Apertura*, 8(1).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-61802016000200010&lng=es&tlng=es.
- Lorenzo, G., Suarez Rivero, J., García Domínguez, M. (2000). *Laboratorio virtual para el estudio y aprendizaje de mecanismos en la ingeniería*. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid, España.
https://www.researchgate.net/publication/228544369_Desarrollo_de_un_Laboratorio_Virtual_para_el_Estudio_y_Simulacion_de_Mecanismos_en_la_Ingenieria
- Magallanes Rodríguez, J. S., Rodríguez Aspiazu, Q. J., Carpio Magallón, Ángel M., & López García, M. R. (2021). Simulación y realidad virtual aplicada a la educación. *RECIAMUC*, 5(2), 101-110.
<https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/651>
- Montero Ayala, R. (2018). Realidad virtual. *ACTAS*. 1
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/001049.pdf
- Narvaez, M.(s.f.) *Metodología participativa: qué es, características, usos y tipos*. QuestionPro.
<https://www.questionpro.com/blog/es/metodologia-participativa/>
- Neoenergía. (s.f.). *¿Qué es una subestación eléctrica y cuáles son sus funciones?*

<https://www.neoenergia.com/es/w/subestaciones-electricas#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20los%20transformadores%2C%20las.y%20automatizado%20de%20la%20energ%C3%ADa>

-Salas Perea, R. S., & Ardanza Zulueta, P. (1995). *La simulación como método de enseñanza y aprendizaje*. Centro Nacional de Perfeccionamiento Médico y Medios de Enseñanza
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21411995000100002&script=sci_artext&tlng=pt

-Sánchez Botero, T. (2018). *Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza de la ingeniería de construcción*. Universidad EAFIT.
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2861/Tatiana_SanchezBotero_2014.pdf?sequence=14

-Sánchez Gómez, M. (2007). *Buenas Prácticas en la Creación de Serious Games (Objetos de Aprendizaje Reutilizables)*. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias de la Comunicación. Málaga. España.
<https://ceur-ws.org/Vol-318/Sanchez.pdf>

-Soto, G., Orlando, C., Gutierrez, L., Hernan, C.,(2017) *Desarrollo de aplicación de realidad virtual para la capacitación de trabajadores industriales*. Universidad del Bio-Bio. Departamento de sistemas de información.
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3159>

-Tanaka, E., Paludo, J., Cordeiro, C., Domingues, L., Gadbem, E., Euflausino, A. (2015). *Using immersive virtual reality for electrical substation training*. International Conference e-Learning 2015. Eldorado Research Institute.
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED562456.pdf>

-Turriago, R., Pinzon, J., Ricardo, J., (2020). *Simulador en realidad virtual para la capacitación de la limpieza bucal en el campo de la odontología mediante el uso de las gafas de realidad virtual oculus rift*. Universidad de Cundinamarca.

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/2923>

-Ullah, M., Ul Amin, S., Munsif, M., Yamin, M. M., Safaev, U., Khan, H., Khan, S., & Ullah, H. (2022). Serious games in science education: A systematic literature review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096579622000201>

-Valencia, K., Joaqui, L., Segura, J., (2021). *Realidad Virtual En La Industria: Capacitación Del Personal*. Fundación Universitaria de Popayán.

<http://unividafup.edu.co/repositorio/items/show/998>