

Simulador de realidad virtual para entrenamiento de tareas operativas en Subestación de Trasmisión

Premio CIER de Innovación 2023

1er puesto Categoría DESCENTRALIZACIÓN

Autores

Ing. Melissa Caraballo, MBA, MSc,
Ing. Ismael Rodriguez

Empresa

UTE Trasmisión
Montevideo, Uruguay

Resumen ejecutivo

El artículo describe el proyecto del simulador de realidad virtual para el entrenamiento especializado en una Subestación De Trasmisión en 150kV de UTE (Montevideo M 150kV). Esta solución inmersiva permite a los usuarios realizar una experiencia de recorrida en Realidad virtual por una instalación de Trasmisión, practicar procedimientos específicos y comprender el funcionamiento de la subestación utilizando un casco de realidad virtual.

Financiado por el Fondo Sectorial de UTE y desarrollado en colaboración con Studio 4D este proyecto innovador marca un hito en la capacitación del sector eléctrico al ofrecer una experiencia realista y segura, evitando riesgos en entornos reales. Además, su adaptabilidad a ubicaciones remotas y su escalabilidad transforman el paradigma de la capacitación tradicional.

El simulador integra la representación de la Subestación en modelado 3D con actividades

de simulación que se realizan a través de la realidad virtual, complementando la experiencia del usuario y asegurando un entrenamiento realista. Su capacidad de proyección en entornos físicos preparados amplía las posibilidades de colaboración y aprendizaje grupal.

En resumen, esta plataforma propone un enfoque innovador a la capacitación del personal en la industria eléctrica, ofreciendo una solución adaptable, segura y de alto realismo, redefiniendo los estándares de entrenamiento en entornos de alto riesgo.

Introducción

La formación efectiva y segura del personal en industrias de alto riesgo, como el sector eléctrico, ha sido históricamente un desafío. Tradicionalmente, la capacitación práctica ha estado restringida por limitaciones de seguridad y alcance, presentando riesgos potenciales para el personal y la infraestructura en entornos reales de operación. En este contexto, surge la necesidad de una solución innovadora que trascienda las barreras de la formación convencional y ofrezca un entrenamiento altamente efectivo y seguro.

El presente artículo aborda el desarrollo y la implementación de un simulador de realidad virtual pionero en el entrenamiento específico de procedimientos y tareas críticas dentro de las subestaciones de transmisión eléctrica. Esta iniciativa surge como respuesta a la demanda de una formación más dinámica y segura, al tiempo que preserva la integridad de los trabajadores y la infraestructura. La esencia de este proyecto radica en su enfoque integral, que combina

la potencia de la simulación de realidad virtual con elementos físicos, proyectando nuevas alternativas a la capacitación del personal del sector eléctrico.

En primer lugar, desde Trasmisión se plantea el desafío de desarrollar un simulador con estas características y se presenta al equipo de I+D+i quienes a través del Fondo Sectorial de Energía plantean el desafío en el sector Privado. Es así que se escoge a Studio 4D para realizar este desarrollo.

A lo largo de varios meses, se trabajó con estrecha colaboración entre el equipo técnico de UTE (Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas) de Uruguay y la empresa Studio 4D. Esta asociación estratégica ha permitido no solo la creación de un modelo digital 3D de alta fidelidad de la subestación Montevideo M 150kV, sino también la integración de una experiencia de usuario auténtica y completa.

El proyecto se alinea con la visión de transformación digital en la industria energética al ofrecer una solución que va más allá de la simulación convencional. Esta plataforma no solo busca mejorar la eficiencia y la seguridad en el entrenamiento, sino que también establece un precedente en las prácticas seguras y efectivas en un entorno altamente especializado y crucial para la operatividad del sector eléctrico.

Materiales y Métodos

La idea

El concepto fundamental de este proyecto se forjó con la visión de crear un entorno educativo envolvente. Más allá de la simulación convencional, se buscó una sinergia con el mundo virtual.

Este enfoque pretende ofrecer una alternativa de capacitación en etapas tempranas de la inserción laboral a la UTE y minimizar riesgos asociados con la formación en entornos reales, al tiempo que maximiza la efectividad de la capacitación. De esta forma se pretende hacer llegar la capacitación a todos los nuevos ingresos en el área de Trasmisión de UTE, de esta forma podrán conocer una subestación ya sea si trabajarán en el área operativa como en otras tareas como ser ingeniería, administrativas, contables, entre otras.

Tecnología

El desarrollo de este simulador de realidad virtual se apoyó en un enfoque multidimensional que abarcó desde la captura de datos hasta la creación de una experiencia inmersiva. La base de este proyecto radicó en la generación de un modelo 3D preciso y detallado de la subestación eléctrica y sus elementos asociados. Este proceso comenzó con visitas técnicas para recabar información de primera mano sobre los equipos y configuraciones presentes en las subestaciones, acompañadas de fotografías y escaneos 3D con drones especializados. La recolección de datos fue solo el primer paso; la verdadera magia radicó en la transformación de estos datos en modelos digitales realistas. Se emplearon herramientas avanzadas de modelado 3D como Revit, 3DS Max y Houdini, aprovechando al máximo la información recopilada para construir representaciones altamente precisas de la infraestructura y equipos eléctricos. Este proceso meticuloso no solo consideró la geometría, sino que también integró texturas y materiales para recrear un entorno visualmente impactante y auténtico.

La experiencia inmersiva se gestó a través del motor gráfico Unreal Engine, reconocido por su capacidad para crear ambientes interactivos de alta calidad.

Esta plataforma permitió no solo la visualización detallada de la subestación, sino también la interacción en tiempo real con los elementos simulados, garantizando un nivel óptimo de realismo y precisión. Gracias a su versatilidad y potencialidad, se expandieron las fronteras de la simulación de realidad virtual más allá del entretenimiento, incursionando en el ámbito de la formación industrial.

El Oculus Quest 2, casco de realidad virtual es la puerta de entrada a esta experiencia. Este dispositivo, conocido por su precisión y capacidad de rendimiento, ofreció a los usuarios una ventana a un mundo digital extremadamente realista. Esta elección cuidadosa del hardware fue esencial para garantizar no solo una visualización inmersiva, sino también una interacción fluida y precisa con el entorno simulado.

Este proyecto pionero no solo incorporó tecnología avanzada, sino que también amalgamó de manera innovadora lo virtual con lo tangible, redefiniendo la formación en la materia.

Organización del proyecto

El desarrollo fue el resultado de una colaboración sinérgica entre el estudio tecnológico Studio 4D y el equipo técnico de UTE. Esta alianza estratégica marcó el inicio del desarrollo.

La iniciativa comenzó con una fase inicial dedicada a la recolección exhaustiva y clasificación de la información técnica. Esta fase primordial involucró la identificación y análisis de planos de equipos, diseños CAD y protocolos operativos relevantes. Además, se pusieron a disposición las nubes de puntos escaneadas con drones representativas de la instalación a modelar. Adicionalmente se llevaron a cabo

entrevistas detalladas con el personal de UTE, sentando así las bases fundamentales para la confección del simulador por parte de Studio 4D.

Tras esta fase inicial de inmersión en la información, el equipo de Studio 4D se sumergió en un arduo proceso de modelado, texturización e iluminación. Este período de aproximadamente tres meses fue crucial para la creación del modelo 3D altamente preciso que capturara cada detalle de la subestación eléctrica, enriqueciendo la experiencia virtual con gran autenticidad.

La etapa de desarrollo no se limitó solo a la creación de entornos visuales. Se abordó la programación de interacciones, la lógica interna y la toma de decisiones para ofrecer una experiencia inmersiva de alta

calidad. Esta fase, de aproximadamente dos meses, representó la columna vertebral del proyecto, integrando todos los aspectos técnicos y estéticos para alcanzar un alto nivel de realismo.

Sin embargo, la excelencia técnica no se logró sin la contribución vital del equipo de UTE, cuya retroalimentación y perspectiva operativa fueron esenciales para el perfeccionamiento del simulador. Durante un período de dos meses, se llevaron a cabo seis sesiones de intercambio y pruebas conjuntas. Estos encuentros presenciales permitieron que ambas partes compartieran visiones, aportaran recomendaciones valiosas y ajustaran cada detalle del simulador para garantizar su coherencia con los procedimientos operativos reales.



Ilustración 1: Nube de Puntos escaneada con Dron.

Esta estructura organizativa no solo se basó en una colaboración constante, sino que también reflejó un compromiso compartido con la excelencia y la perfección técnica. La coordinación estrecha entre Studio 4D y el equipo de UTE aseguró la precisión y realismo del simulador.

Sobre el Simulador

El simulador permite una experiencia en la subestación de Trasmisión “Montevideo M” de 150kV, en servicio en la red de Trasmisión de UTE desde el año 2016. Provee el servicio a alrededor de 13.000 clientes residenciales, y a algunos grandes clientes industriales de la zona.

Se trata de una instalación de alta tensión a intemperie, aislada en aire, conformada por 9 secciones de maniobra en configuración barra principal – barra auxiliar. Es un nodo de 6 líneas de 150kV que con 2 transformadores de potencia se vincula a la red de Distribución (31,5kV), desde un tren de celdas modulares.

Este tipo de instalaciones funcionan de modo autónomo y solo hay personal durante los mantenimientos o reparaciones. Alrededor de 100 instalaciones similares se controlan remotamente desde tres centros de control distribuidos en el país. Para lograr esto, la información recogida por los equipos en la subestación está cableada a un sistema de protección y control que dispone toda la información en un sistema SCADA.

En cada sección de maniobra se tienen distintos equipos que cumplen funciones específicas:

- **Transformadores de medida:** permiten medir tensiones o corrientes y disponerlas en el sistema de protección y control.
- **Interruptores:** permiten abrir circuitos eléctricos para realizar maniobras o para despejar fallas ante la actuación de los sistemas de protección.
- **Seccionadores:** permiten aislar una parte de la instalación conformando una zona segura para trabajo, o bien redireccionar la corriente otra sección.
- **Descargadores:** limitan la tensión en una zona ante perturbaciones por descargas eléctricas o maniobras en la red.
- **Transformadores de potencia:** permiten intercambiar potencia entre dos redes eléctricas de distinta tensión de servicio.
- **Aisladores soporte:** soporte físico a conductores energizados para mantener las distancias seguras y soportar esfuerzos mecánicos.
- **Paneles de protección:** incorporan sistemas electrónicos que adquieren las medidas de magnitudes eléctricas y en tiempo real toman decisiones para despejar fallas procurando preservar el servicio y la integridad de las instalaciones.
- **Paneles de control:** incorporan sistemas electrónicos que adquieren las medidas de magnitudes eléctricas y en tiempo real y la vuelcan a un sistema SCADA que permite la operación local y remota. También interviene en inhibir maniobras eventualmente peligrosas.

El simulador permite comprender la configuración de las instalaciones recorriendo cada sección de maniobra e interrogando cada equipo de potencia para obtener su identificación y especificaciones principales.

Con una pantalla testigo un instructor puede ver lo mismo que el participante y puede explicarle funcionalidades y contestar curiosidades que surgen de una experiencia inmersiva en un entorno tan particular como una estación de alta tensión.

Ventajas del proyecto

Esta innovadora solución ofrece una serie de ventajas que revolucionan el paradigma tradicional de formación en el sector eléctrico, marcando un hito en la capacitación práctica y segura:

- **Vertiente Lúdica:** La integración de elementos lúdicos dentro del proceso de entrenamiento aporta una alta interacción durante las sesiones de capacitación a nuevos colaboradores. Especialmente entre las generaciones más jóvenes,



Ilustración 2: Modelo 3D Montevideo M 150kV.

familiarizadas con entornos digitales interactivos, se logra una mayor conexión y participación activa en la formación.

- **Deslocalización y Escalabilidad:** La capacidad de acceder al simulador desde diversas ubicaciones geográficas desbloquea nuevas posibilidades. El personal distribuido en diferentes áreas puede interactuar con el simulador. Adicionalmente se planteó durante el problema una versión para PC, potencia en gran medida la escalabilidad del proyecto al no ser obligatorio contar con un casco de Realidad Virtual para la ejecución.
- **Formación Asincrónica y Personalizada:** Al ser una plataforma digital bajo demanda, se elimina la limitación horaria, permitiendo sesiones de formación asincrónicas que se ajusten a la disponibilidad de cada usuario, permitiéndose adaptar a diferentes ritmos de aprendizaje.
- **Seguridad Operativa:** La capacidad de ofrecer un entrenamiento práctico sin exponer al personal a riesgos de accidentes o daños a equipos costosos es una de las grandes ventajas operativas del simulador. Esta herramienta crea una experiencia segura y controlada, vital antes de enfrentarse a situaciones reales.
- **Eficiencia en la Instrucción Grupal:** El enfoque permite la proyección a gran escala del modelo virtual en paredes de un entorno físico, lo que facilita la observación colectiva. Instructores y aprendices pueden visualizar, desde una perspectiva exterior, las experiencias inmersivas de quienes utilizan el casco de realidad virtual, potenciando la colaboración y el aprendizaje grupal.

Estas son algunas de las ventajas que reconocimos en la herramienta que permite una nueva forma de capacitación, respetando la seguridad en el sector eléctrico.

Resultados

El proyecto ha culminado exitosamente con la creación de un simulador de realidad virtual avanzado para el entrenamiento en subestaciones eléctricas. Esta herramienta representa un avance significativo en la capacitación del personal del sector, ofreciendo una experiencia práctica sin riesgos para los trabajadores en una infraestructura virtual. La combinación de modelos 3D detallados, interacciones realistas y una interfaz amigable ha resultado en un ambiente de aprendizaje efectivo y adaptable.

La colaboración estrecha entre Studio 4D y el equipo técnico de UTE ha sido esencial para el éxito del proyecto. Las sesiones de retroalimentación permitieron ajustar y mejorar el simulador para reflejar los estándares y necesidades reales de la industria eléctrica.

Se ha evidenciado el valor pedagógico y operativo del simulador, generando *engagement* a través de gamification y facilitando la comprensión de procedimientos críticos. La capacidad de acceso remoto ha eliminado barreras geográficas, permitiendo a usuarios de diferentes ubicaciones acceder al entrenamiento.

Pasos futuros

Además, se ha identificado un amplio potencial de escalabilidad y aplicabilidad en diversos contextos. La plataforma creada no solo es adaptable y actualizable, sino que también ofrece oportunidades para futuras aplicaciones en otros sectores donde la formación segura y eficaz sea crucial.

Al ser un desarrollo a medida, es posible su evolución mediante desarrollos particulares. Actualmente tenemos detectadas algunas mejoras a futuro como ser la implementación de la experiencia en la nube.

Reconocimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a los siguientes profesionales clave de UTE y Studio 4D, cuyo compromiso, experiencia y dedicación fueron fundamentales para el éxito de este proyecto innovador:

UTE

Pablo Bergalli – Gerente División EST

Elias Carnelli – Gerente Gestión de la Explotación

Melissa Caraballo – Gerente Gestión de Trasmisión

Federico Patrone – Jefe de Formación TRA

Gonzalo Nicoli – Especialista en Seguridad

Ismael Rodriguez – Administración de Sistemas de Trasmisión

Esteban Machado – Especialista en Sistemas

Nicolás Romero – Especialista en Formación

Miguel Romero – Especialista en Formación

José Barattini – Especialista en Formación

Studio 4D

Hilario Canessa - Director General

Alejandro Boccardi - Director de Tecnología

Diego Sosa - Director de Operaciones

Rodrigo Mila - Director Creativo

Florencia Quintana - Directora Financiera

Rodrigo López - Artista Técnico

Matías Pereyra - Artista Técnico

Joaquín Torres - Desarrollador Unreal

María Jesús Bonet - Arquitecta 3D

Lucía Nicotera - Arquitecta 3D

Juan Castillo - Arquitecto 3D

Su liderazgo, experiencia técnica y compromiso con la excelencia fueron esenciales en cada etapa del proyecto, desde la concepción hasta la implementación. Agradecemos su dedicación y colaboración, que han sido fundamentales para alcanzar nuestros objetivos y generar un impacto en la industria mediante esta innovadora herramienta de capacitación.