

Luis Angel Arias Copacandori, Luis Alfredo Ramirez Oscco

Investigación y Tecnología Minera

---

## RESUMEN

La implementación de entornos virtualizados, está cada vez generando mayor expectativa rumbo a la digitalización industrial, debido a la escala evolutiva de la tecnología haciendo uso de la realidad virtual y el metaverso.

En este artículo presentamos el entorno comunitario virtual LabVR, cuyo objetivo temático está enfocado a desarrollar el conocimiento en el sector industrial-minero, mostrando un nuevo punto de vista en la manera de aprender. LabVR ha sido diseñado para optimizar las relaciones sociales a distancia y el aprendizaje, a través de diversas salas especializadas de aplicación a nivel industrial.

La inteligencia artificial ofrece beneficios de aprendizaje, en el presente artículo se adentra en la implementación y sus usos. La ingeniería de control es matemáticamente desarrollada para la optimización de un proceso industrial haciendo uso de un controlador neuronal y difuso en un tanque, el cual es usual en operaciones mineras.

En conclusión, se presenta un enfoque tecnológico (plataforma virtual) y un enfoque científico (Inteligencia Artificial).

**Palabras Clave**—Realidad Virtual (VR), Metaverso, SocialVR, Inteligencia Artificial (IA), Redes y Comunicación.

## 1. Introducción

La realidad virtual es una tecnología que nos sumerge dentro de un nuevo mundo alternativo, haciendo uso de cascos VR para una experiencia inmersiva. Desde el 2016 al presente existen muchas clases de cascos VR disponibles en el mercado.

En los años 80s, VR solo tuvo popularidad en el campo de los videojuegos, pero ahora es usado en diferentes áreas de la ingeniería, medicina, biología, etc. Aprender usando VR es ahora una realidad para los usuarios que se adentra en la nueva experiencia (Whyte, 2002).

En setiembre del 2021 Mark Zuckerberg CEO de Facebook (ahora llamado Meta) introdujo el metaverso como el futuro del mundo, pensando que el metaverso

(Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Inteligencia Artificial y Realidad Mixta) cambiará el mundo. Eso está alentando a otras compañías a invertir en esta nueva tecnología. Compañías tecnológicas como *Google*, *Microsoft*, *Apple* están invirtiendo para la creación del nuevo mundo virtual que cambiará nuestra forma de pensar. El mundo de las criptomonedas usa la tecnología blockchain para la creación de metaversos descentralizados. Por esta razón hoy en día la realidad virtual es una de las tecnologías más remarcadas (Stephen, 2022).

En este artículo introducimos a LabVR (Fig. 1) como la nueva plataforma metaversa tecnológica desarrollada para la educación y aprendizaje, solventando las limitaciones de la educación cotidiana.

Esta plataforma está dividida en ambientes: *Meeting Room*, *Lab Automation Room*, *Lab Chemical Room*, *Mining Industrial Process Room* (Fig. 2).

LabVR nos permite reunirnos virtualmente entre colegas, amigos, socios, compañeros de trabajo, etc. Compartir información gráfica (imágenes, videos) como los programas de meeting: *Google meet* y *Zoom*, pero LabVR usa los recursos gráficos del ordenador para realizar interacciones, redes, inteligencia artificial, etc.

Para compañías industriales LabVR es usado para entrenar personal en áreas específicas.

La plataforma está planteando el uso de gemelos digitales, realidad mixta, inteligencia artificial, control inteligente y blockchain para afrontar soluciones a las problemáticas, siempre basándose en la tecnología.

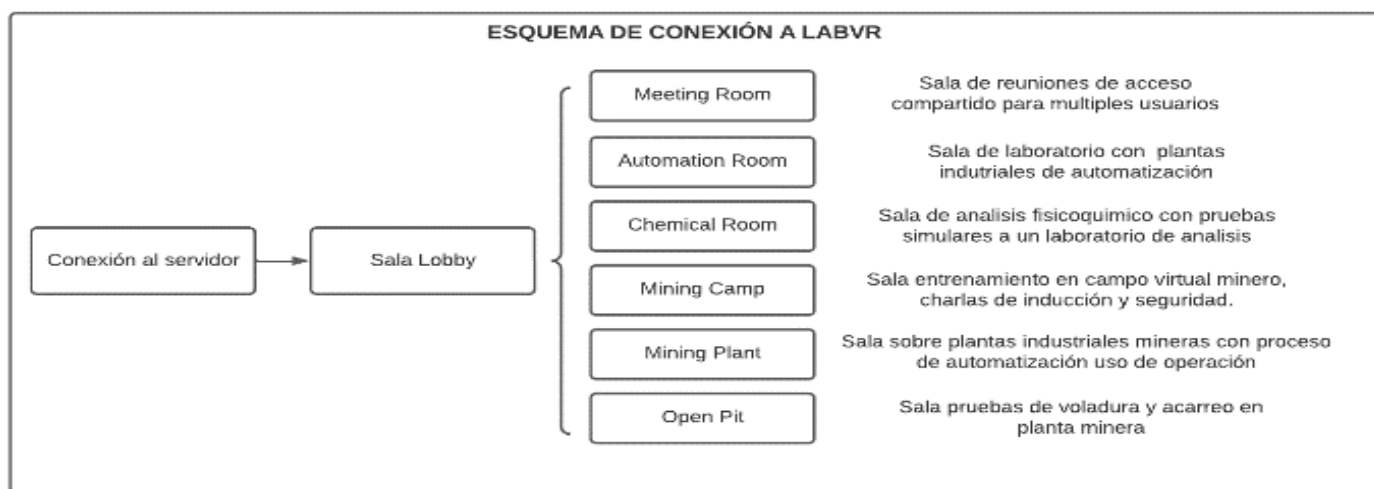
<https://www.youtube.com/watch?v=8XbwrDdCx8&list=PLCC0H6a1HygpywhXRNxLyQW0SXdiRC2n4>

### Figura 1

Ventana principal de LabVR (Propio).



**Figura 2**  
Esquema de Conexión a LabVR (Propio).



## 2. El Metaverso y la Realidad Virtual

La palabra metaverso fue contextualizando en 1992 por Neal Stephenson en su novela de ciencia ficción "Snow Crash". Es un término cuyo significado es la inmersión en un mundo virtual, donde humanos viven fuera del mundo físico (Stephen, 2022).

El metaverso tiene como base tecnológica la realidad virtual, aumentada, extendida y la mixta, cuyo enfoque especializado es motivo de desarrollo para nuevas aplicaciones.

La realidad virtual es el marco tecnológico más antiguo en mención, cuyas aplicaciones vienen desarrollándose con gran crecimiento en distintos sectores (Park, 2021).

### 2.1. Realidad Virtual

La realidad virtual permite sumergirnos en un mundo totalmente aparente, lejos del mundo real, haciendo uso de lentes VR y simuladores. Gracias a la evolución computacional esta tecnología hoy en día está en pleno apogeo y promete un futuro alentador en la era digital.

### 2.2. Línea de tiempo del desarrollo de la Realidad Virtual

- Desde 1985 los cascos VR fueron creados por compañías de videojuegos para atraer la atención de los usuarios.
- En los 90s, compañías como Nintendo y Atari mejoraron la inmersión en el mundo virtual para propósitos de gaming.
- Luego de las épocas de los 90s, la innovación de la realidad virtual fue truncada debido a las limitaciones de las tarjetas gráficas.

- Desde el 2016, compañías como Oculus, HT Vive están fomentando el renacer de la realidad virtual y el uso de dispositivos gráficos.

En el desarrollo de aplicaciones Social VR se menciona algunos contenidos bibliográficos.

La creación de un entorno VR multiusuario para un laboratorio tele operado con visualización compartida (Hoyer, 2004). Diseño de una interfaz para un tour virtual por un museo con control háptico, incentivando el aprendizaje y la cultura (Zhao, 2018). Un enfoque VR para el entrenamiento técnico en el sector industrial y el desempeño laboral (García, 2019). Desarrollo virtual de un entorno de ensamblado de equipos industriales para personal mecánico (Hirt, 2019). Laboratorio virtual interactivo 3D para operación de maquinarias (Wang, 2020).

### 3. Entornos Virtuales en LabVR

Los entornos virtuales de LabVR son ambientes de reunión con compañeros, en donde el acceso a las salas es de uso compartido para visores de realidad virtual y

ordenadores. Existen áreas de concentración para los usuarios, donde las personas podrán compartir contacto virtual con sus respectivos avatares.

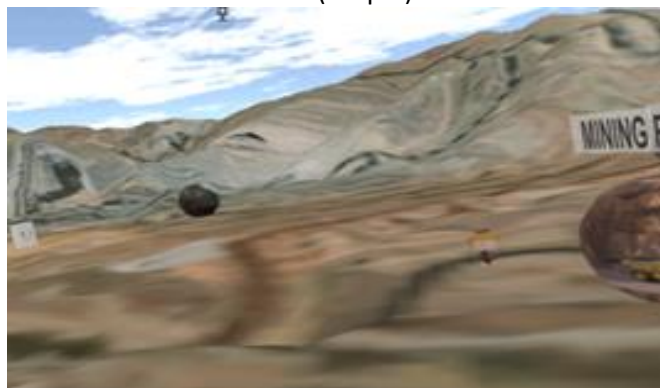
LabVR está compuesto por 3 tipos de salas, con temática aplicada a sectores de aprendizaje industrial.

### 3.1. Sala de Concentración

Es un entorno 3D, diseñado con la geografía minera, donde todos los usuarios conectados estarán reunidos (Fig. 3). La sala cuenta con portales de acceso hacia ambientes especializados en temas de minera y educativas (como descentraland, second life, etc).

**Figura 3**

Portales de acceso a salas (Propio).



### 3.2. Salas educativas

Las salas educativas permiten a los usuarios reunirse, compartir información y aprender mediante el uso de laboratorios virtuales, con entornos relacionados a procesos industriales. El objetivo es desarrollar el aprendizaje virtual de los usuarios mediante didácticas interactivas que simulan situaciones reales.

#### 3.2.1. Meeting Room

Es una sala diseñada para reuniones técnicas, donde se permite compartir la voz de los usuarios, pizarras virtuales, entorno 3D, Pantalla de PCs, etc, todo esto con el propósito de consolidar las facilidades para las presentaciones de planos (2D y 3D), desarrollo de proyectos, intercambio de tecnologías (Know How) a través de animaciones realistas y dinámicas que podrá ver cada usuario conectado.

El usuario es libre de interactuar como si fuera un mundo real. Las animaciones darán la parte realista y la acción dinámica a cada usuario, acción como: levantar la mano, escribir en la pizarra, hablar, gestos en general, que es relevante en el metaverso de LabVR, porque permite entender personalidades y sentimientos del uno al otro (Fig. 4).

**Figura 4**

Compartiendo pantalla y pizarra 3D (Propio).



#### 3.2.2. Automation Room

La automatización cumple un rol fundamental en la optimización de los procesos industriales, es por lo cual se ha desarrollado una sala dedicada con capacidad de conexión con otros softwares como: Matlab, Microcontroladores, PLCs, Internet de las cosas, etc. Donde se presenta el diseño 3D de equipos y/o procesos automatizados, el cual permite la interacción Hombre-Máquina a través de la realidad virtual, una de las principales aplicaciones está en la operación y capacitación del personal en los diferentes procesos industriales.

El entrenador puede hacer uso de los cascos VR para enseñar a los demás. Por ejemplo: El supervisor puede usar el casco VR y los operadores usar cascos u ordenadores. Esta sala tiene incluida una pizarra automática y un panel para proyectar presentaciones, como un laboratorio real para dictar cursos y charlas de enseñanza industrial, etc. Cada planta esta implementada con un HMI virtual para controlar y configurar la ley de control del proceso (Fig. 5).

**Figura 5**

Clases virtuales en la sala (Propio).



#### 3.2.3. Chemical Room

Para poder diseñar una planta industrial, es fundamental conocer el proceso fisicoquímico



involucrado, por ende, se valida a través de pruebas a nivel laboratorio, piloto (plantas piloto), semi industrial e industrial. La presente sala nos permite realizar interacciones didácticas y animadas sobre reacciones químicas y procesos fisicoquímicos a nivel laboratorio involucrados en el proceso industrial. El usuario tendrá al alcance de manera virtual todos los materiales y equipos a usar en las pruebas (Fig. 6).

La plataforma ofrece un entorno colaborativo entre usuarios para el entrenamiento o enseñanza de personal en ambientes industriales personalizados. Es un entorno de simulación de procesos basados en datos, donde se puede validar un proceso antes de su implementación, optimizándose los costos y minimizando las fallas mediante testeos virtualizados.

**Figura 6**  
Chemical Room vista general.



### 3.3. Salas Mineras

Estas salas incluyen una experiencia virtual multisensorial única de los procesos industriales mineros, donde el usuario tendrá la capacidad de interactuar con diferentes equipos, herramientas y/o componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos, etc. La simulación VR muestra el proceso real, permitiendo anticipar y visualizar el entorno del área de trabajo.

#### 3.3.1. Mining Camp

Es una sala que renderiza un ambiente laboral real, donde los usuarios podrán aprender las temáticas mineras, conocer talleres de mecánica, maquinarias, etc. El uso de un vehículo virtual, operado mediante dinámicas de la interfaz permite hacer un recorrido en el tajo abierto y aprender de la geografía minera virtual. Existen asistentes humanos (avatar) que brindan asesoría informativa haciendo uso de la inteligencia artificial, comparten información mediante un chat desplegable (chatbot). La sala cuenta con un panel 3D con vista panorámica para mostrar diapositivas, videos, imágenes, etc (Fig. 7).

**Figura 7**  
Vista general de la sala mining camp (Propio).



#### 3.3.2. Open Pit Mining

Es una sala que simula las operaciones de voladura y acarreo de rocas hacia la chancadora. Esta sala tiene como objetivos, el aprendizaje de operación de equipos pesados y voladura. Mediante animaciones el usuario VR podrá aprender en forma interactiva el uso de una excavadora, cargador frontal, etc. Existen paneles 3D para dar charlas de seguridad y enseñanza (Fig. 8).

**Figura 8**  
Vista general de la sala open pit (Propio).



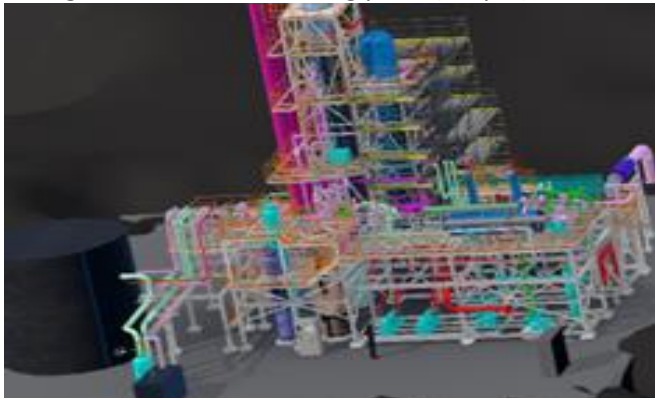
#### 3.3.3. Mining Plant

Es una sala que emula un proceso industrial real con el apoyo de la realidad virtual. Esta elaborado mediante patrones geográficos que se asemejan a los entornos reales de operación. Esta sala es de acceso colectivo con paneles 3D para brindar charlas de inducción, reconocimiento y seguridad industrial (Fig. 9). Un proceso de control de nivel dentro de un tanque de 6 metros de alto está gobernado por un tablero de control con pantalla HMI, controlado por un algoritmo inteligente. Los usuarios podrán ver en tiempo real las variables de control, así como accionar el proceso mediante botones y pulsadores animados de acceso

interactivo. Existe un agente inteligente que brindará una orientación informativa del entorno de trabajo.

**Figura 9**

Vista general de la sala mining plant (Propio).



#### 4. El Avatar

El avatar es una representación del usuario dentro de LabVR. Cualquiera puede crear su propio clone virtual (persona virtual). Gracias al casco de realidad virtual y el avatar designer será posible controlar movimiento de brazos, manos, cabeza y cuello (usando cinemática inversa), como los movimientos corporales de una persona real (Fig. 10).

**Figura 10**

Conexión del avatar en el entorno VR (Propio).



##### 4.1. Avatar PC

El avatar PC es accesible de cualquier ordenador con S.O Windows 10. El avatar es controlador con el teclado y el mouse, donde las acciones de interacción con el entorno virtual son limitadas (Fig. 11).

##### 4.1. Avatar VR

Es accesible a través de gafas de realidad virtual META (Oculus). Para el uso de visores Oculus Rift se requiere un ordenador con especificaciones mínima.

Los avatares VR son inmersivos con movimiento totalmente controlado, que tiene una interacción completa con el entorno virtual (Fig. 12).

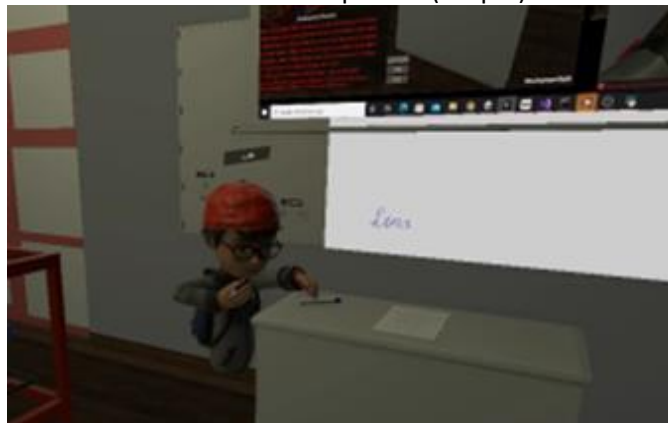
**Figura 11**

Conexión del avatar PC en la sala (Propio).



**Figura 12**

Avatar VR escribiendo en la pizarra (Propio).



#### 5. Inteligencia Artificial

La IA es una rama de la ingeniería que estudia el desarrollo de algoritmo que imitan el aprendizaje humano. En este artículo el uso de IA es muy recurrente en distintas salas interactivas. El uso de agentes inteligentes capaces de aprender en forma autónoma con la interacción humana facilita el aprendizaje del usuario y optimiza los procesos automatizados en LabVR. Entre los algoritmos usados mencionamos: Artificial Neural Network, Fuzzy Logic.

##### 5.1. Algoritmos IA

###### 5.1.1. Neural Network

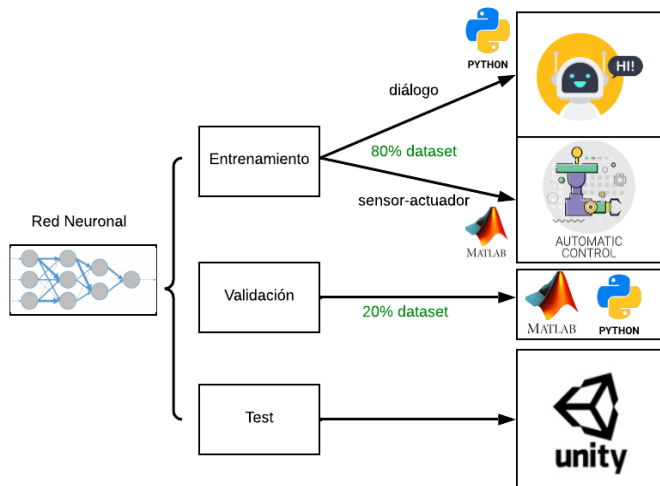
Es un modelo de aprendizaje inteligente que imita las redes neuronas humanas. En la actualidad, gracias a las mejoras tecnológicas de los ordenadores, los modelos neuronales ofrecen mejores resultados. Por esta razón

se plantea el desarrollo de un sistema neuronal con fines de aprendizaje y didáctica inmersiva, afrontando problemas de interacción con el usuario que un simple algoritmo sería incapaz de resolver. Los modelos neuronales profundos (CNNs, RNN, Autoencoder, GANs, etc) ofrecen alternativas de desarrollo en distintos campos de la realidad virtual.

LabVR plantea la implementación de un sistema asistido inteligente usando GRU (alternativa a LSTM) network. La estructura del algoritmo es modelada dependiendo del caso de uso, donde el asistente virtual usa la estructura seq2seq. Para el controlador automático se utiliza un modelo RNN de retro propagación dinámica.

En la figura (Fig. 13) se muestra el flujo esquemático de los modelos IA, para la implementación de los algoritmos en la plataforma LabVR.

**Figura 13**  
Redes Neuronales en LabVR (Propio).



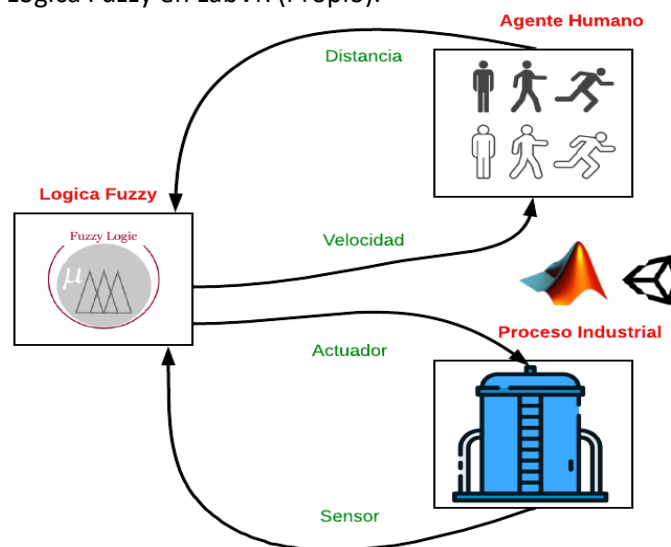
### 5.1.2. Fuzzy Logic

El algoritmo Fuzzy o borroso, es un espacio lógico de funciones difusas que, mediante el ingreso de acciones operacionales al conjunto difuso, este es capaz de calcular la acción de salida, a través de lógicas de inferencia condicional (Fig. 14).

Existen agentes en la plataforma LabVR que dada sus acciones repetitivas (basadas en una programación condicional), no imitan las acciones reales. La lógica difusa es otro algoritmo IA que permite resolver varios casos de una manera inferencista (mediante reglas lógica). El agente Fuzzy puede decidir moverse sobre una trayectoria u otra, mediante reglas difusas y controlar la dirección y velocidad optimizada.

El controlador Fuzzy toma como datos de entrada fuzzificada a los sensores, y genera la salida defuzzificada a la variable manipulada, controlando y estabilizando el proceso de producción.

**Figura 14**  
Lógica Fuzzy en LabVR (Propio).



## 5.2. Uso de la IA en LabVR

Entre los usos, se menciona algunas aplicaciones algorítmicas en el desarrollo de la plataforma virtual:

### 5.2.1. Neuro controlador

Es un modelo de control basado en una red neuronal, capaz de aprender a estabilizar la variable de control de la planta. Basándose en un modelo matemático (lineal o no lineal) de la planta, hace uso de algoritmos recurrentes para ser capaz de controlar el sistema o proceso industrial. La red neuronal recurrente no es retroalimentada mediante el algoritmo de retro propagación tradicional, ya que tiende a perderse información. Dynamic Backpropagation (DBP) es una estrategia de aprendizaje que permite resolver los inconvenientes de pérdida de información que se manifiesta en una red neuronal recurrente.

En este artículo se presenta el modelo haciendo uso de un script en Matlab para el desarrollo del algoritmo de entrenamiento y el testeo, la prueba final validó en la plataforma LabVR (Galan, 2016).

En la sala "mining\_plant", el sistema de control de nivel de un tanque industrial fue implementado a través de un tablero de control con HMI virtual, cuya lógica es validada mediante el neuro controlador. La visualización es dinámica en el tiempo y permite ver la tendencia gráfica y cuantitativa de las variables de control del proceso (Fig. 15).

**Figura 15**  
Tablero de control con HMI virtual (Propio).





### 5.2.2. Navegación Autónoma

Un agente en LabVR es una persona (modelo humano virtual), con capacidad de aprendizaje a tomar decisiones basadas en una lógica cognitiva.

La navegación autónoma es un algoritmo que genera una trayectoria, desde un origen hasta un destino (goal), la cual está controlada por una inteligencia artificial que genera el recorrido óptimo, evitando obstáculos. La trayectoria es mapeada en tiempo real bajo cualquier variante en las condiciones del entorno.

En la sala "mining\_plant" existen personajes animados, estos son avatares que se mueven autónomamente por la planta industrial.

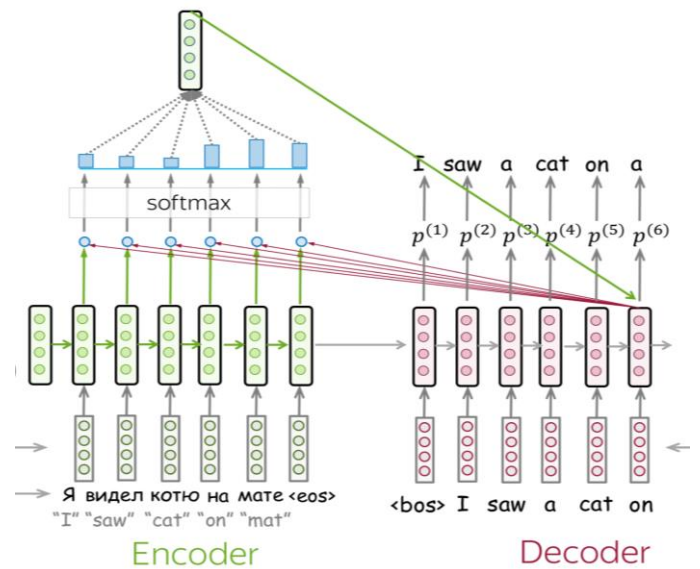
### 5.2.3. Asistente Virtual

Es una entidad inteligente basada en el lenguaje humano, capaz de dialogar con el usuario mediante un chat textual. El algoritmo base está desarrollado mediante el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP), utilizando aprendizaje profundo (Deep Learning).

Seq2Seq with Attention es un algoritmo del procesamiento del lenguaje natural diseñado para dar soluciones en los traductores de idiomas. El modelo "secuencial to secuencial" utiliza un modelo RNN encoder (entrada) y un modelo decoder (salida).

Debido a que la estructura relacional entre entradas y salidas es numéricamente distinta para los traductores, el modelo seq2seq+attention es capaz de generar una estructuración coherente con los resultados en el modelamiento del asistente virtual (Colombo, 2020). Este modelo fue implementado con un dataset de diálogos de preguntas y respuestas para el entrenamiento (80%) y validación (20%) (Fig. 16).

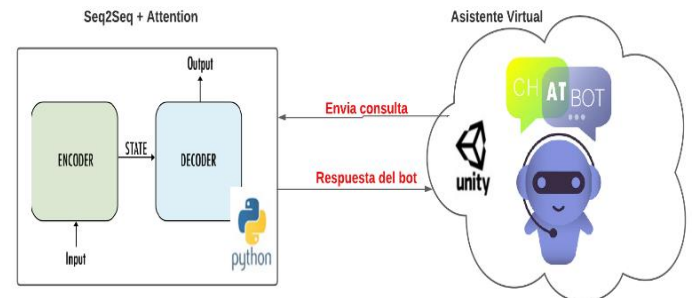
**Figura 16**  
Modelo Seq2Seq+Attention.



El objetivo de la creación de un asistente IA es brindar información y asesoría educativa a los usuarios dentro de LabVR.

Dentro de la sala "mining\_camp", está implementado avatares humanos, que son capaces de brindar asesoramiento informativo asistida de la sala en cuestión (Fig. 17).

**Figura 17**  
Asistente virtual en LabVR (Propio).



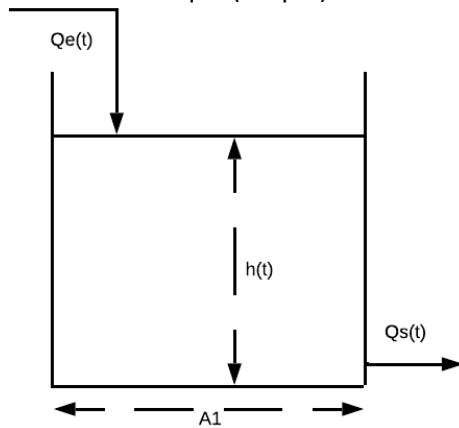
### 5.2.3. Computer Vision

Es una rama de la IA basada en el procesamiento de imágenes, donde mediante el uso del "aprendizaje profundo" es capaz de reconocer patrones en las imágenes. En LabVR se plantea incluir drones de monitoreo en las salas mineras, los cuales haciendo uso de algoritmos de segmentación profunda generan patrones de reconocimiento. Entre algunas aplicaciones de uso se menciona un dron de riego basado en imágenes geográficas del terreno, drones de control de contaminación, etc.

## 6. Sistema de Control

La plataforma LabVR cuenta con módulos de operaciones unitarias, las cuales están automatizadas mediante simuladores que incluyen tableros de control virtuales, por tal razón la lógica de control es punto de investigación y análisis en este apartado (Fig.18). La planta industrial esta implementado bajo un sistema de medición y estabilización de nivel dentro de un tanque industrial (Ulaganathan, 2013).

**Figura 18**  
Modelo del nivel en tanque (Propio).



Por consiguiente, el análisis parte de un enfoque matemático para la planta de nivel (Tabla 1), seguido del desarrollo de un controlador de nivel basado en algoritmos clásico y avanzado, viendo las ventajas analíticas que ofrecen su implementación.

**Tabla 1**  
Parámetros del sistema.

	<i>especificaciones</i>
$h$	$6m$
$A_1$	$1m^2$
$Q_e$	$0.01m^3/s$
$A_2$	$0.001m^2$
$g$	$10m^2/s$

### 6.1. Modelamiento Matemático

Los tanques industriales son de vital importancia en procesos de producción y el control de nivel es estudiado en este apartado, para lo cual se modela el sistema y posteriormente valida en LabVR.

Un tanque de 6 metros de alto es gobernado por una bomba de abastecimiento de líquido, medido por un sensor de nivel dentro del tanque y un flujómetro de entrada, controlada por la misma.

$$\rho Q_e(t) - \rho Q_s(t) = \frac{dm(t)}{dt} \quad (1)$$

$$v_{sal} = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A_1} [Q_e - \sqrt{2g}A_2\sqrt{h(t)}] \quad (3)$$

Las ecuaciones (1)(2)y(3) muestran un modelo no lineal que se resuelve haciendo uso de controladores nonlinear como: Función de Lyapunov, Backstepping, Feedback Linearization, etc. También la solución puede darse mediante controladores inteligentes como: Redes neuronales, lógica Fuzzy Mandami, Tagaki-Sugeno, Neuro-Fuzzy y algoritmos evolutivos.

Otra manera es a través de la linealización del modelo en un punto de operación mediante aproximación de Taylor (4).

$$f(Q_e, h) = f(Q_{eo}, h_o) + \frac{\partial f(Q_{eo}, h_o)}{\partial Q_{eo}}(Q_e - Q_{eo}) + \frac{\partial f(Q_{eo}, h_o)}{\partial h}(h - h_o) \quad (4)$$

Con la identificación del modelo usando aproximación no paramétrica, la ecuación de sistema de nivel linealizado queda dado por (5):

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-Ls} = \frac{1.0}{s+0.001} e^{-4s} \quad (5)$$

La ecuación discretizada de sistema viene expresada:

$$h_{k+1} = h_k + \frac{\Delta t}{A_1} [-v_{sal}A_2 + Q_e] \quad (6)$$

De la ecuación (6),  $Q_e$  es la salida del controlador (señal de control).

### 6.2. Controlador de Nivel PID

Un análisis clásico para el modelo linealizado de la planta de nivel, es utilizando un controlador proporcional, integral y derivativo (Wei, 2018).

La acción proporcional permite controlar la velocidad de respuesta al sistema. La parte integradora en régimen transitorio genera una respuesta de amortiguamiento al escalón, reduciendo el error a cero en estado estacionario. La acción derivativa tiene influencia en la velocidad de respuesta actuando como un predictor en estado transitorio (7).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

La ecuación de control en el espacio laplaciano viene dado por (8):

$$U(s) = Kp + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (8)$$

El análisis de Ziegler-Nichols para la sintonización esta dado por la siguiente tabla (Tabla 2):



**Tabla 2**

Reglas Ziegler-Nichols.

Controlador	Kp	Ti	Td
P	$\tau/KL$	$\infty$	0
PI	$0.9\tau/KL$	$L/0.3$	0
PID	$1.2\tau/KL$	2L	0.5L

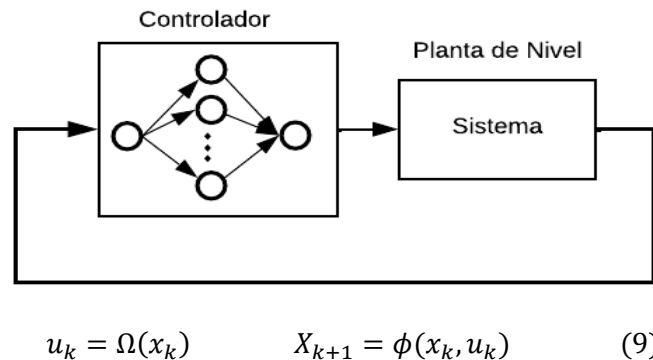
El análisis de sistema de control basado en Ziegler-Nichols es bastante versátil para modelos lineales o linealizados sobre un punto de operación.

### 6.3. Neuro controlador de Nivel

A consecuencia de las limitaciones de un controlador convencionales, se desarrolló una red neuronal capaz de controlar un sistema en un amplio rango de trabajo, mejorando la respuesta ante retardos y sobre impulso, además que el algoritmo recurrente de aprendizaje da robustes al modelo, ante perturbaciones y ruido en el proceso. El controlador planteado es un modelo matemático caja negra (9) cuya función genera una respuesta de control estabilizado en el tiempo (Fig. 19).

**Figura 19**

Neuro controlador de nivel (Propio).

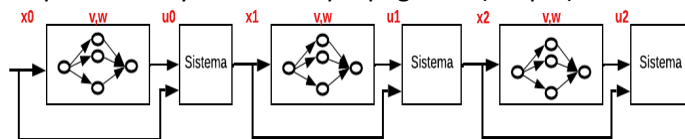


#### 6.3.1. Entrenamiento

El algoritmo de aprendizaje está desarrollado por retro propagación dinámica DBP, permitiendo un aprendizaje sin pérdidas en los pesos (propagación hacia atrás) de las ultimas capas (Fig. 20).

**Figura 20**

Esquema de Dynamic Backpropagation (Propio).



La función de costo del modelo del sistema recurrente tiene la expresión (10):

$$J = \frac{1}{2}(x_1 - X_1)^2 + \frac{1}{2}(x_2 - X_2)^2 + \dots + \frac{1}{2}(x_N - X_N)^2 \quad (10)$$

La actualización de los pesos se da mediante las ecuaciones (11) y (12).

$$v_{ij} = v_{ij} - \eta \frac{dJ}{dv_{ij}} \quad (11)$$

$$w_{ij} = w_{ij} - \eta \frac{dJ}{dw_{ij}} \quad (12)$$

Las derivadas totales parciales para J (13) y (14).

$$\frac{dJ}{dv} = (x_1 - X_1) \frac{dx_1}{dv} + (x_2 - X_2) \frac{dx_2}{dv} + \dots + (x_N - X_N) \frac{dx_N}{dv} \quad (13)$$

$$\frac{dJ}{dw} = (x_1 - X_1) \frac{dx_1}{dw} + (x_2 - X_2) \frac{dx_2}{dw} + \dots + (x_N - X_N) \frac{dx_N}{dw} \quad (14)$$

La derivada total parcial viene expresada por (15):

$$\frac{dX_{k+1}}{dv} = \frac{dx_{k+1}}{du_k} \frac{du_k}{dv} + \left( \frac{dx_{k+1}}{dx_k} + \frac{dx_{k+1}}{du_k} \frac{du_k}{dx_k} \right) \frac{dX_k}{dv} \quad (15)$$

#### 6.3.2. Pseudo código

El algoritmo del sistema de control IA fue entrenado mediante la actualización de los parámetros de control y una analítica recurrente, usando algoritmos matriciales, para el cálculo de los hiper parámetros (Tabla 3).

**Tabla 3**

Pseudo código ANN.

Entrenamiento	Validación
inicialización de parámetros for k = 1 : número de datos forward propagation ANN (u) cálculo del jacobiano (J) salida del modelo linealizado (x) cálculo de la derivadas parciales $e_{rr} = x - x_{deseado}$ actualización de hiperparámetros	cargar parámetros for k = 1 to # de datos forward propagation ANN salida del modelo plan

Los resultados fueron implementados en una planta industrial virtualizada, donde a través de un panel HMI se muestra la tendencia de la variable de proceso y mediante animación se observa el nivel del tanque en tiempo real.

Finalmente, la interfaz de control desarrollada con el uso de la realidad virtual permite estimular el aprendizaje tanto científico como a nivel operativo.

### 6.4. Controlador Fuzzy

La implementación de un controlador Fuzzy en el sistema de nivel es un ejemplo de un control experto. Existen trabajos de control difuso enfocado en sistemas industriales, por lo cual se planea incluir en la plataforma un análisis metaheurístico mediante el

diseño de un controlador inteligente Fuzzy, la cual es un modelo que ofrece resultados óptimos.

Asemejándonos a las decisiones que toma una persona operadora de planta, el controlador con las funciones y reglas Fuzzy, permite controlar la planta de forma automática y segura.

$$A = \{(x, \mu_A(x))/x \in X\} \tag{16}$$

Donde A es un conjunto difuso que representa las funciones de entrada al sistema de inferencias.

La función de pertenencia es una función por tramos segmentada en el dominio de las variables de entrada. La entrada del sistema difuso es el error de medición del sensor de nivel, dividido en 3 funciones de tipo trapezoidal (17).

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \vee (x \geq d) \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in (a, b] \\ 1, & \text{si } x \in (b, c) \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } x \in (c, d) \end{cases} \tag{17}$$

Las reglas difusas del controlador de nivel son de tipo Mamdani, cuya estructura de inferencia está dada por la expresión (18).

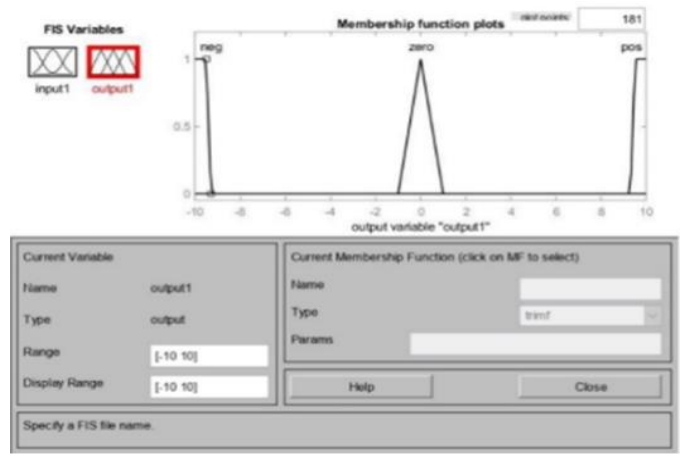
$$\text{if } x_1 \text{ is } A \text{ and } x_2 \text{ is } B \text{ then } u \text{ is } C \\ \min(\mu, \mu_W(z)), \forall z \tag{18}$$

Dado los métodos de inferencia, la señal de salida generada por la etapa de defuzzificación se expresa mediante la ecuación del centro de gravedad (19).

$$y_d = \frac{\int y \mu_Y(y) dy}{\int \mu_Y(y) dy} \tag{19}$$

Las reglas de control Fuzzy generan la salida de control con respecto a la variable de entrada. En la (Fig. 21), se muestra la generación de las funciones de pertenencia, haciendo uso de Fuzzy-toolbox en Matlab.

**Figura 21**  
Funciones de pertenencia (Propio).



### 6.5. Resultados

Las pruebas de entrenamiento se realizaron en un ordenador ACER Aspire A715-72G, Core i7-8750H con tarjeta gráfica Geforce GTX 1050 y 4GBytes incorporadas, memoria RAM de 12 GBytes.

La red neuronal artificial se entrenó usando scripts de Matlab, mediante el algoritmo de optimización descenso de gradiente (gradient descent), por aproximadamente 2 horas, lográndose un error acumulativo de 18.54%. Los datos de entrenamiento son calculados recurrentemente mediante el modelo linealizado de la planta.

El controlador PID es modelado y sintonizado con las reglas Ziegler-Nichols y con un script de Matlab, usando el toolbox PID autotuning (20).

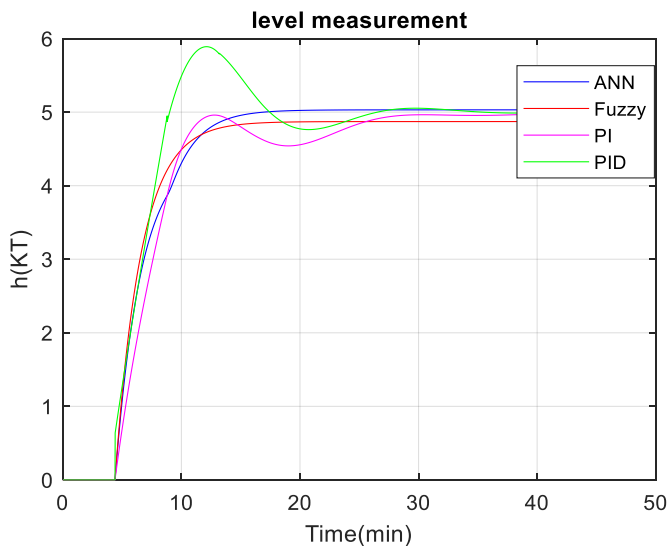
$$PID(s) = 1.2206 + \frac{0.78445}{s} + 0.24903s \tag{20}$$

La red neuronal fue entrenada bajo los parámetros de entrenamiento mostrado en la tabla (Tabla 4), cuyo punto de operación es 5 metros.

**Tabla 4**  
Parámetros de entrenamiento ANN.

	<b>RNN</b>
<b>Capa intermedia</b>	50 neuronas
<b>Función de activación</b>	Sigmoidea
<b>Ratio de aprendizaje</b>	0.001
<b>Ratio de inclinación</b>	0.9
<b>Tiempo de muestreo</b>	1ms

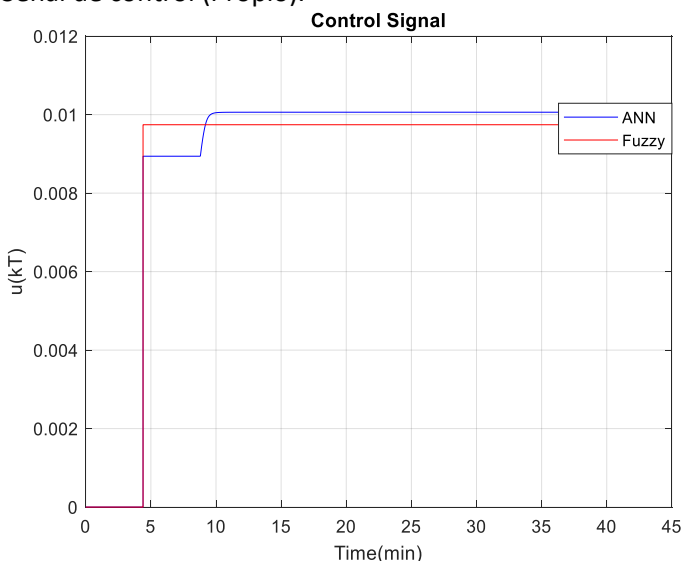
**Figura 22**  
Respuesta a un escalón (Propio).



De la figura (Fig. 22) se puede observar que la respuesta del neuro controlador tiene una constante de tiempo más rápida que el PI y PID. No genera sobre impulso, lo cual en un proceso real evita oscilaciones, generación de espumas y posibles derrames. La ANN tiene un error estacionario de aproximadamente 1.6%.

El controlador Fuzzy tiene un tiempo de respuesta más rápido a comparación de resto de modelos, además que no genera sobre impulso y tiene un error estacionario de 2%. Para este caso se utilizó funciones trapezoidales próximos a un singleton, lo cual genera una señal de control como se muestra en (Fig. 23).

**Figura 23**  
Señal de control (Propio).



Se observa que el comportamiento de la señal de control (caudal) para el controlador ANN y Fuzzy son próximos a un escalón. En aplicaciones reales el

modelo del controlador minimiza las sobrecargas en el control de velocidad de la bomba.

**Tabla 5**

Parámetros y métodos de sintonización.

	<b>Controlador</b>
<b>Ziegler-Nichols</b>	<i>PI</i>
<b>Toolbox Matlab</b>	<i>PID</i>
<b>Entrada de referencia</b>	<i>escalón</i>
<b>Tiempo de muestreo</b>	<i>1ms</i>

De la tabla (tabla 5), el controlador clásico se validó haciendo uso de las reglas Z-N mencionado en apartados anteriores, haciendo uso del toolbox de Matlab con parámetros discretizados de validación.

En la tabla (Tabla 6) podemos ver que el controlador PI tiene un tiempo de respuesta más lento, con un sub amortiguamiento en un margen de 12 min.

En Fig. 21 podemos ver que el controlador PID tiene un tiempo de respuesta relativamente rápido, con sobre impulso en un margen 6 min.

El error estacionario en ambos casos es mínimo. Los resultados cuantitativos mencionados se muestra en la siguiente tabla comparativa.

**Tabla 6**

Tabla Comparativa.

	<b>ANN</b>	<b>PI</b>	<b>PID</b>	<b>Fuzzy</b>
<b><math>t_r</math> (min)</b>	2.86	3.603	2.75	2.54
<b><math>t_s</math> (min)</b>	14.28	24.63	21.56	11.79
<b><math>e_{ss}</math></b>	1.61%	0.6%	0.26%	2.01%
<b><math>M_p</math></b>	0	0	19.2%	0

## 7. Red y Comunicación en LabVR

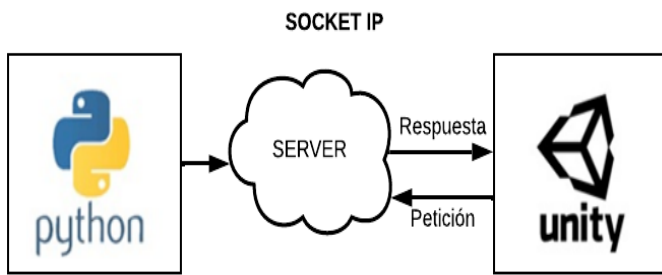
La plataforma metaversa permite una conexión a un servidor local y en la nube (Vitliemov, 2020).

La plataforma LabVR es una interfaz aplicativa de uso colectivo, mediante el uso de redes TCP/IP, la cual permite tomar la información de un servidor remoto hacia la plataforma cliente de manera colectiva (Getchell, 2010). Compartir imágenes, videos, inteligencia artificial, etc.

Para la conexión entre las entidades IA como el asistente IA y la visión artificial, el algoritmo fue desarrollado en código Python, la cual se comunica con Unity 3D mediante socket TCP enviando la información requerida y viceversa (Fig. 24).

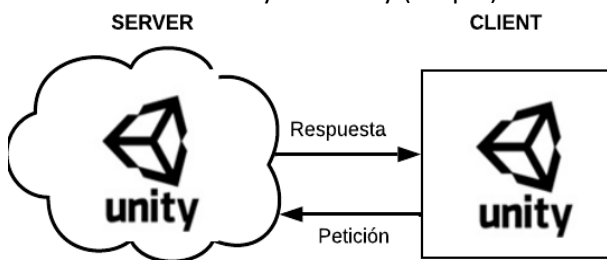
**Figura 24**

Conexión Python y Unity 3D (Propio).



La sala de meeting tiene un acceso compartido de la pizarra virtual mediante socket TCP. La conexión compartida permite enviar “textura” por la red de un servidor Unity a un cliente Unity (Fig. 25).

**Figura 25**  
Conexión socket Unity con Unity (Propio).

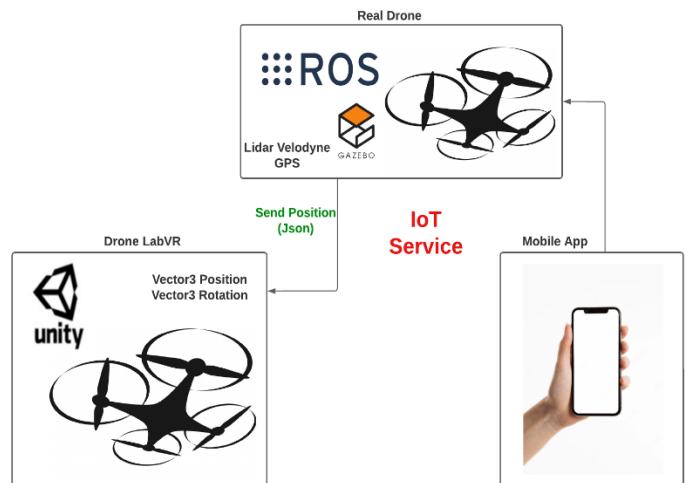


La conexión está limitada en el tráfico de información a datos cortos, ya que la transmisión de imágenes y videos generan una latencia en la red, lo cual limita las prestaciones en uso compartido Real Time.

## 8. Digital Twin y Blockchain

La implementación de un gemelo digital es un sistema informático programado que refleja virtualmente un objeto real. Para este punto se muestra las ventajas que ofrecen una implementación en aplicaciones mineras (Mystakidis, 2022). El entorno LabVR cuenta con un dron UAV tele operado mediante un dispositivo móvil haciendo uso de un “Broker” con tecnología IoT (Fig. 26).

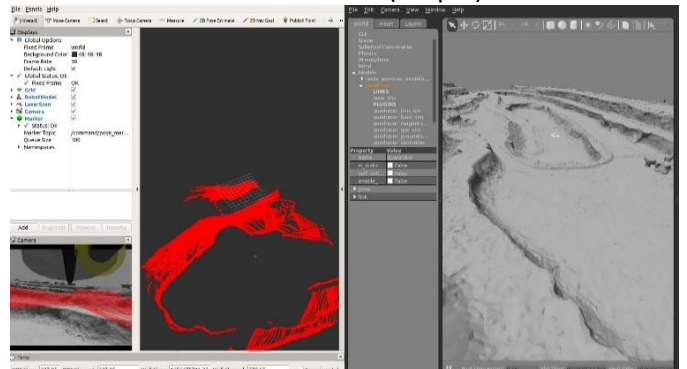
**Figura 26**  
Digital Twin con Tecnología IoT (Propio).



Planteándose la conexión Real Time con un dron real para el monitoreo y tele operación en entornos mineros reales.

En las pruebas experimentales se utilizó el software ROS (Robotic Operating System) y Gazebo para simular el escaneo topográfico en un entorno abierto (Fig. 27), usando IoT para la transmisión de datos entre el simulador y en dron virtual en LabVR.

**Figura 27**  
Simulación del dron en Gazebo (Propio).



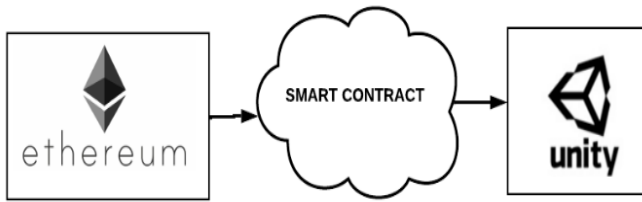
En los resultados obtenidos el gemelo digital (dron en LabVR) se posiciona geográficamente como el simulador (dron en Gazebo), pero se presentaron efectos de latencia en el envío de la información.

El Blockchain es un algoritmo cibernético, que genera un Hash que se almacena en bloques, formando una cadena de datos el cual es escalable e inmutable, lo que lo hace invulnerable a ataques cibernéticos. Hoy en día la industrial digital requiere una plataforma altamente segura ante intrusos (Miftachul, 2021). El esquema que se planea hacer es a través de la creación de un smart contract, con un “Token” sobre la red Ethereum (Fig. 28), la cual mediante codificación permite la creación única de acceso, NFTs, DAOs, etc.

**Figura 28**  
Conexión con el Smart contract (Propio).



## BLOCKCHAIN



## 9. Conclusiones

Se presentó LabVR como un entorno desarrollado para incentivar la educación y entrenamiento de personal minero. Al ser esta una plataforma escalable, nos permite la implementación de entornos virtuales personalizables para propósitos específicos a nivel industrial-minero.

La implementación de la inteligencia artificial en LabVR, como plataforma de uso colectivo, permite reforzar la interrelación humano-maquina, mediante el uso de software específicos y analítica, posibilitando el diseño de modelos más sofisticados.

Tomando como referencia parámetros del proceso real en un tanque, se logró modelar usando aproximación lineal. El sistema de control de nivel inteligente tuvo mejores resultados usando ANN, en comparación de los controles clásicos, optimizando el proceso, reduciendo los retardos y errores estables.

La plataforma pretende la expansión de tecnologías como Blockchain, Realidad Aumentada, Realidad Extendida y Digital Twin enfocadas en ambientes industrial-minero.

En conclusión, este artículo presentó LabVR como la plataforma de innovación y tecnología, apalancada de términos como la inteligencia artificial, IoT y Realidad Virtual nos ofrece un entorno metaverso a los usuarios, transportándonos a un mundo virtual que se asemeja al mundo real.

## Referencias

Whyte, J. (2002). *Virtual Reality and the Built Environment*. Architectural Press, SBN:0-7506-5372-8

Hoyer, H., Jochheim, A., Rohrig, C., Bischoff, A. (2004). *A Multiuser Virtual-Reality Environment for a Tele-Operated Laboratory*. IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, v. 47, p. 121-126.

Getchell, K., Miller, A., Allison, C. (2010). *Metaverses as a Platform for Game Based Learning*. 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, p. 1195-1202.

Ulaganathan, M., Abinaya, K., Aarthi, M. (2013). *Level control of horizontal cylindrical tank using intelligent*

*control techniques*. Proceedings of the International Conference on Trends in Industrial Measurements and Automation, p. 137-140.

Deepa, N., Arulsevi, S. (2014). *Design and Implementation of Neuro Controllers for a TwoTank Interacting Level Process*. International Journal of ChemTech Research, v. 6, p. 4948-4959.

Bahdanau, D., Cho, K., Bengio, Y. (2015). *Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate*. International Conference on Learning Representations 2015.

Abdullah, N., Ching Yee, T, Mohamed, A. (2016). *Control of Continuous Stirred Tank Reactor using Neural Networks*. Indian Journal of Science and Technology, v. 9, p. 1-7.

Galan, D., Heradio, R., de la Torre, H. (2016). *Virtual Control Labs Experimentation: The Water Tank System*. International Federation of Automatic Control, p. 87-92.

DelaCruz, D., Mendoza, D. (2018). *Design and Development of Virtual Laboratory: A Solution to the Problem of Laboratory Setup and Management of Pneumatic Courses in Bulacan State University College of Engineering*. Games, Entertainment, Media Conference, p. 20-23.

Wei, Y. (2018). *Study of Double-holding Water Tank Liquid Level Control Base on Neural Networks PID Control*. International Conference on Computer Modeling, Simulation and Algorithm, v. 151, p. 320-323.

Zhao, Y., Forte, M. (2018). *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces. VR Touch Museum*, p. 741-742.

Schild, J., Misztal, S., Roth, B. (2018). *Applying Multi-User Virtual Reality to Collaborative Medical Training*. IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, p. 775 - 776.

Garcia, C., Naranjo, J. (2019). *An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector*. International Federation of Automatic Control, p. 285-291.

Hirt, C., Holzwarth, V., Gisler, J., Schneider, J. (2019). *Virtual Learning Environment for an Industrial Assembly Task*. 9th International Conference on Consumer Electronics, p. 337-342.

Dosoftei, C., Cojocar, A., Apellido. (2020). *Implementation of a Virtual Control Lab to Support Teaching in Engineering Control*. 11th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, v. XXX, p. 699-703.

Vitliemov, P., Bratanov, D., Marinov, M. (2020). *An Approach to Use Virtual and Remote Labs in Mechatronics Education Based on Cloud Services*. 7th

International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, p. 1-4.

Park, S., Kim, Y. (2020). *A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges*. IEEE Access, v. 10, p. 4209-4251.

Colombo, P., Chapuis, E., Manica, M. (2020). *Guiding attention in Sequence-to-sequence models for Dialogue Act prediction*. Association for the Advancement of Artificial Intelligence.

Wang, F., Xu, X., Feng, W., Bueno, J. (2020). *Towards an Immersive Guided Virtual Reality Microfabrication Laboratory Training System*. Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, p. 797-798.

Miftachul, Y., Naufal, M., Nurhayati, H. (2021). *A Scoring System For Multiplayer Game Base On Blockchain Technology*. The 2021 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, p. 200-205.

Rosas, K., Esquicha, J., Manrique, H. (2021). *Usability and Learning Environment of a Virtual Reality Simulator for Laparoscopic Surgery Training*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, v. 12, p. 760-768.

Stephen, M. (2022). *The IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR) Report--Metaverse and Its Governance*. The IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR) Report--Metaverse and Its Governance, p. 1-31.

Mystakidis, S. (2022). *The Industrial Metaverse is "basically" a Digital Twin*. Operational Technologies.

Morgan, J.P. (2022). *Opportunities in the metaverse, How businesses can explore the metaverse and navigate the hype vs. reality*. ONYX.

Huang, J., Sun, P., Zhang, w. (2022). *Analysis of the Future Prospects for the Metaverse*. 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development, v. 648, p. 1899-1904.

Swart, W. (2022). Metaverse. *Encyclopedia 2022*, 2, 486-497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>

Experiencia en instrumentación industrial y desarrollo de proyectos automatización de procesos en industrial minero. Fundador de la empresa AI Solutions S.A.

Nombre del autor. - Luis Angel Arias Copacondori  
 Cargo. - Ingeniero de Software  
 AI Solutions S.A  
 ingenieria@aisolutionsa.com  
 961429586  
 Calle Santa Catalina 118-B, Cercado-Arequipa

Ingeniero Químico

Con experiencia laboral en diseño y supervisión de proyectos de ingeniería en el sector industrial - minero. Desarrollo de investigación aplicada en procesos de recuperación de metales y optimización del recurso hídrico en minería. Actualmente desempeñándose como ingeniero de procesos y consultor.

Nombre del Coautor. – Luis Alfredo Ramirez Oscco  
 Cargo. - Ingeniero de Procesos  
 AI Solutions S.A  
 procesos@aisolutionssa.com  
 996851148  
 Calle Santa Catalina 118-B, Cercado-Arequipa

Ingeniero Electrónico

Con especialidad en Automatización Industrial. Master en Ing. Robótica y Automatización. FreeLancer en desarrollo de softwares tecnológicos.