



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

SEDE VALLENAR

**ACTUALIZACIÓN DE MODELO DIDÁCTICO Y DIGITALIZACIÓN 3D
CON INTEGRACIÓN DE LABORES DE VENTILACIÓN Y
FORTIFICACIÓN, CARGUÍO Y TRANSPORTE**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Técnico Universitario en Minas

Profesor Guía: Enrique Andrés Veragua Guerra

Pedro Cubillos Painemil

Manuel Vega Rojas

Owen Gonzalez Campillay

Wilson Olivares Madariaga

Vallenar, Chile 2025

DEDICATORIA

Owen Gonzalez: Este trabajo se lo dedico a mi familia, mis padres, mis amigos que siempre estuvieron apoyándome en este camino universitario el cual no ha sido fácil, ayudándome a seguir adelante con mis estudios, diciéndome que no me rindiera, le dedico este trabajo a mi abuela que está en el cielo que quería que siguiera con la universidad y pudiera conseguir un título, a mi mama y mi papá que nunca dejaron que me faltara nada, le doy las gracias en todo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, dar gracias a nuestros padres por apoyarnos siempre por confiar en nosotros, gracias a ustedes este camino no fue tan difícil de superar, igualmente agradecer a nuestros amigos y compañeros que nos apoyaron en clases y gracias a ellos esta etapa pudo ser más llevadera y no tan aburrida. Finalmente agradecer a nuestro profesor de corte al igual que los demás profesores que nos brindaron sus enseñanzas.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1 Introducción	10
1.2 Objetivo general:	11
1.3 Objetivo específico:	11
1.4 Planteamiento del problema:	12
1.5 Antecedentes:	13
1.6 Justificación:	15
1.7 Alcances:	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1 Introducción a la minería subterránea	17
2.1.1 Riesgos en minería subterránea	18
2.2 Fortificación es fundamental para un trabajo seguro en minería subterránea	19
2.3 ventilación en minería subterránea	21
2.3.1 Sistemas de ventilación en minería subterránea	22
2.4 Carguío y transporte en minería subterránea	23
2.5 Realidad Virtual/Aumentada	24
2.5.1 Usos de la realidad aumentada	25
2.5.2 Beneficios de la realidad aumentada en la educación	26
2.6 Modelos físicos y virtuales para enseñanza en la minería	27
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	28
3.1 Tipos de metodologías	28
3.3 Rediseñar el modelo de perforación y tronadura para que complemente la información de las labores restantes como carguío y transporte, ventilación y fortificación	28
3.3.1 Investigación de tesis de ambiente simulado	29
3.3.2 Método de carguío y transporte adecuado	30
3.3.3 Método de ventilación y fortificación adecuado	31
3.3.4 Rediseño del modelo mediante boceto	33
3.4 Reunir los materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado	35
3.4.1 Selección de los nuevos materiales	36

3.4.2 Mantenición y limpieza del modelo didáctico	37
3.5 Construcción del modelo siguiendo el nuevo diseño para implementar información sobre carguío y transporte, ventilación y fortificación	38
3.5.1 Construcción de vagón minero	39
3.5.2 Instalación de la malla de fortificación	40
3.5.3 Creación de la manga de ventilación	42
3.6 Diseñar el modelo digital para que pueda ser vista desde un celular haciendo uso de la realidad aumentada	43
3.7 Incorporar información al modelo 3D sobre Carguío y transporte, ventilación y fortificación, esto con el fin de que pueda ser utilizado por futuros alumnos de Tec. minas	45
CAPÍTULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	46
4.1 Resultado del rediseño integrando labores de carguío y transporte, ventilación y fortificación	46
4.2 Resultado limpieza y selección de materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado	47
4.3 Resultado de la construcción del modelo basándose en el rediseño	48
4.3.1 Construcción de vagón minero y manga de ventilación	49
4.3.2 Resultado de instalación de malla y pernos	51
4.4 Resultado construcción final del modelo físico	52
4.5 Resultado del modelo 3D en realidad aumentada incorporando información de carguío y transporte, ventilación y fortificación	53
4.5.1 Manual de uso del modelo 3D	54
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	55
5.1 Conclusión	55
5.3 Recomendaciones	58
BIBLIOGRAFÍA	59

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. 1 Mina subterránea	17
Ilustración 2. 2 Fortificación con malla	19
Ilustración 2. 3 Mangas de ventilación mina subterránea	22
Ilustración 2. 4 Carguío y transporte	23
Ilustración 2. 5 Realidad aumentada	24
Ilustración 3. 1 Tesis elaborada por estudiantes de la carrera de Técnico en Minas en el año 2023.	29
Ilustración 3. 2 Parámetro de seguridad	30
Ilustración 3. 3 Manga de ventilación	31
Ilustración 3. 4 Diseño anterior cara de perforación	33
Ilustración 3.5 Rediseño modelo didáctico	34
ilustración 3. 6 Inspección del modelo didáctico	35
Ilustración 3. 7 Selección de materiales	36
Ilustración 3.8 Limpieza del modelo	37
Ilustración 3.9 Forrado del modelo	38
Ilustración 3.10 Forrado de modelo	38
Ilustración 3.11 Construcción del vagón	39
Ilustración 3. 12 Instalación de malla	40
Ilustración 3.13 Representación de pernos de fortificación	41
Ilustración 3. 14 Recreación manga de ventilación	42
Ilustración 3. 15 Escaneo del modelo	43
Ilustración 4.1 Rediseño del modelo	46
Ilustración 4.2 Limpieza del modelo didáctico	47
Ilustración 4.3 Forrado completo del modelo	48
Ilustración 4. 4 Representación vagón minero	49
Ilustración 4. 5 Representación manga de ventilación	50
Ilustración 4. 6 Instalación de malla y pernos	51
Ilustración 4. 7 Modelo didáctico	52
Ilustración 4. 8 Incorporación de la realidad aumentada al modelo didáctico	53
Ilustración 4.9 Manual de uso maqueta de ambiente simulado	54

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Clasificación final de resistencia	20
Tabla N° 3. 1 Clasificación resistencia de la roca	32

RESUMEN

Este proyecto aborda la recuperación y actualización integral de un modelo didáctico de galería subterránea ubicada en la Universidad de Atacama Sede Vallenar, el cual se encontraba en estado de abandono y deterioro. El objetivo principal fue transformar esta maqueta, que originalmente se limitaba a representar la perforación y tronadura, en una herramienta educativa completa que integrara las labores fundamentales de carguío, transporte, ventilación y fortificación, además de modernizar su experiencia de aprendizaje mediante realidad aumentada.

La metodología de trabajo comenzó con una profunda restauración física del modelo, utilizando papel Kraft para recuperar la textura rocosa y reparar los daños estructurales causados por la intemperie. Sobre esta base renovada, se fabricaron e implementaron los nuevos sistemas utilizando materiales accesibles y soluciones ingeniosas: se construyó un vagón minero sobre rieles para representar el ciclo de transporte, se confeccionó una manga de ventilación con papel diamante para simular la inyección de aire, y se instaló una malla de acero con réplicas de pernos para ejemplificar la seguridad y fortificación del túnel.

Simultáneamente, el proyecto dio un salto tecnológico al digitalizar el modelo terminado mediante el software Polycam. Esto permitió generar un modelo digital accesible vía códigos QR, donde los estudiantes pueden visualizar información técnica detallada desde sus celulares, haciendo el aprendizaje más interactivo.

En conclusión, el trabajo logró rescatar un recurso educativo en desuso y convertirlo en una herramienta moderna y funcional que facilita la comprensión. El proyecto cumplió sus objetivos satisfactoriamente, aunque se establece como recomendación crítica la necesidad de ubicar el modelo en un espacio protegido y techado para garantizar su conservación y evitar que las condiciones climáticas vuelvan a dañarlo en el futuro.

PALABRAS CLAVES: MINERÍA SUBTERRÁNEA, REALIDAD AUMENTADA, MODELO FÍSICO

ABSTRACT

This project addresses the comprehensive recovery and update of a didactic underground gallery model located at the University of Atacama, Vallenar campus, which was in a state of abandonment and deterioration. The main objective was to transform this scale model—originally limited to representing drilling and blasting—into a complete educational tool. It now integrates fundamental operations such as loading, haulage, ventilation, and ground support, in addition to modernizing the learning experience through Augmented Reality.

The work methodology began with a deep physical restoration of the model, using kraft paper to recover the rock texture and repair structural damage caused by weathering. On this renewed base, new systems were fabricated and implemented using accessible materials and ingenious solutions: a mine cart on rails was built to represent the haulage cycle; a ventilation duct was crafted using tracing paper to simulate air injection; and a steel mesh with rock bolt replicas was installed to exemplify tunnel safety and ground support.

Simultaneously, the project took a technological leap by digitizing the finished model using Polycam software. This allowed for the generation of a digital model accessible via QR codes, where students can visualize detailed technical information from their mobile phones, making learning more interactive.

In conclusion, the work succeeded in rescuing a disused educational resource and converting it into a modern, functional tool that facilitates comprehension. The project met its objectives satisfactorily; however, it is established as a critical recommendation that the model be located in a protected and covered space to guarantee its preservation and prevent climatic conditions from damaging it again in the future.

KEYWORDS: UNDERGROUND MINING, AUGMENTED REALITY, PHYSICAL MODEL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La implementación de material didáctico para una mejor enseñanza es fundamental para el buen desarrollo de los alumnos, el modelo realizado por exalumnos de la carrera propone un mejor entendimiento de qué es una galería y cuál es la labor a realizar en trabajos subterráneos, pero dado el tiempo pasado, poco uso y la mala ubicación posee un mal estado.

La mejora de este modelo de perforación y tronadura desea agregar un mayor contenido relacionado a las asignaturas de ventilación, fortificación y carguío y transporte para la obtención de un modelo e información más completa de los laboreos mineros realizados en una galería minera con el fin de ayudar a los alumnos en una mejor enseñanza y un entendimiento más didáctico en su aprendizaje.

A la vez se incorpora una actualización a la realidad aumentada en 3D que fue agregada el año anterior 2024 por alumnos de la carrera Técnico en Minas, con el propósito de hacer más inmersiva la experiencia de este mismo modelo, además de contar con una información más completa en lo general y poder darle un nuevo uso y una nueva cara a la maqueta de perforación y tronadura.

1.2 Objetivo general:

Aplicar mejoras en modelo didáctico con realidad aumentada de perforación y tronadura, aplicando otras áreas de la minería como la fortificación y ventilación, carguío y transporte, para que pueda ser utilizada por futuros estudiantes de Téc.Minas.

1.3 Objetivo específico:

- Rediseñar el modelo de perforación y tronadura para que complemente la información de las labores restantes como carguío y transporte, ventilación y fortificación.
- Reunir los materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado.
- Construcción del modelo siguiendo el nuevo diseño para implementar información sobre carguío y transporte, ventilación y fortificación.
- Diseñar el modelo digital para que pueda ser vista desde un celular haciendo uso de la realidad aumentada.
- Incorporar información al modelo 3D carguío y transporte, ventilación y fortificación, esto con el fin de que pueda ser utilizado por futuros alumnos de Téc.Minas.

1.4 Planteamiento del problema:

Dada a la evidente falta de espacio y ambientes de aprendizajes proporcionada por la universidad, las herramientas de aprendizajes del área de minería suelen encontrarse en mal estado ya que no poseen un buen almacenamiento o directamente no lo poseen, esto lleva a que se degraden con el tiempo y su uso sea irrelevante para los nuevos alumnos que van ingresando a la carrera.

Dado este problema presente en la sede es que se propone la limpieza y renovación del modelo de perforación y tronadura dado el mal estado que posee, debido al abandono por la falta de un buen ambiente y almacenamiento y una poca ocupación por parte de alumnos.

Se propone realizar una limpieza completa de la galería hecha por exalumnos y una renovación, con el fin de otorgar una zona más didáctica, además de realizar una actualización del modelo en 3D aportando una mayor cantidad de información de la que esta posee con el fin de poder darle nuevos usos y aprovechar para otorgarles conocimientos simples de lo que es una galería subterránea y cuáles son los labores que se deben de realizar.

1.5 Antecedentes:

Alumnos de la carrera Técnico en Minas del año 2023 realizaron un modelo de gran tamaño de una galería subterránea con el fin de otorgar un entorno más educativo que simulara la experiencia en un frente de operaciones mineras facilitando el entendimiento de las labores.

En el año 2024 los alumnos realizaron una investigación donde desearon entregarles una experiencia más realista de lo que es estar en terreno. La incorporación de una realidad aumentada dada las actuales tecnologías puede favorecer el aprendizaje y entendimiento de los nuevos alumnos y darles una mejor experiencia y participación mediante la modernización incorporada en el modelo didáctico.

Actualmente estudiantes del presente año 2025 desean realizar una limpieza, reparación y el poder agregar una actualización de esta maqueta dado el mal estado, además de incorporar una información más completa en cuanto a los labores a realizar en una galería subterránea ayudando a próximos alumnos en poder poseer un mejor entendimiento en cuanto a las operaciones realizadas en el interior de una mina subterránea.

En varias partes del mundo se está incorporando la realidad aumentada especialmente en temas académicos.

La Universidad de Chile cuenta con 4 lentes de realidad aumentada. Este proyecto investiga el uso de la realidad aumentada en simulaciones clínicas para formar nuevos especialistas. Durante julio y agosto, se recopilaban datos sobre su efectividad en estudiantes de salud, centrado en residentes de Anestesiología y Pediatría de la Universidad de Chile. Liderado por el doctor Marcos Rojas de Stanford, este esfuerzo destaca la importancia de la tecnología en la educación médica chilena.

En la Universidad Católica de Murcia se estudió el potencial de la tecnología RA. Tras dos años de investigación, se ha concluido que el alumnado que realizó las prácticas con estas tecnologías obtuvo un 70% de mejores resultados en comparación con aquellos que realizaron las clases de forma ordinaria.

El uso de realidad aumentada (RA) como también modelos físicos son de gran ayuda para un mejor entendimiento en fines educativos.

1.6 Justificación:

Al no poseer espacios con un buen ambiente donde se puedan almacenar trabajos realizados por alumnos del área de minería es que muchos de estos se pueden hoy en día encontrar en estados deplorables dada a la exposición del ambiente, es por eso que se propone una reparación y actualización del modelo de perforación y tronadura.

Es fundamental darles la mejor enseñanza y experiencias a los alumnos para que se logre observar y entender lo que se debería realizar en una operación minera real, de esta forma los alumnos puedan entender cómo se debe proceder con una buena perforación, tronadura, carguío y transporte, ventilación y fortificación.

Este trabajo de renovación ayudará como guía de aprendizaje para que puedan entender el funcionamiento del trabajo minero y además de darles más espacio interactivo donde poder acercarlos a una mínima pero esencial experiencia de lo que es estar en terreno.

Además de poder visualizar en buen estado cada uno de las labores realizadas en minería subterránea por medio de este modelo y la realidad aumentada que entrega una experiencia inmersiva.

1.7 Alcances:

Esta investigación abordará temas como el carguío y transporte, ventilación y fortificación como también la realidad aumentada, dejando afuera el tema de la perforación y tronadura ya que no se indagará mucho en ello.

Este trabajo tiene como propósito llegar a futuros alumnos de Técnico en Minas, para poder facilitar el aprendizaje de estos y darles un mayor entendimiento de una galería subterránea.

Se busca que los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos utilizando una tecnología innovadora como la realidad aumentada.

Además, este material puede ser enseñado a estudiantes de distintos establecimientos y acercarlos al mundo de la minería.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la minería subterránea

La minería subterránea es aquella se dedica a la explotación de recursos debajo de la superficie de la tierra. En la mayoría de las ocasiones, se llevan a cabo estas explotaciones subterráneas cuando la extracción de los minerales a cielo abierto no es posible, sea por motivos ambientales o económicos.

Las explotaciones mineras surgen del descubrimiento de una concentración de mineral bajo tierra, en el caso de la minería subterránea, con un valor económico suficiente como para compensar la construcción de una mina.

Las minas subterráneas son la alternativa a las minas de superficie.

Todas las minas subterráneas tienen algunos componentes cruciales en común: los ejes de ventilación para eliminar los humos tóxicos de las perforaciones, rutas de escape, ejes de acceso para bajar trabajadores y equipos; túneles de transporte de mineral y pozos de recuperación para llevar el mineral excavado a la superficie.

(“MINERÍA SUBTERRÁNEA.” INGEOEXPERT, 2019,)

Ilustración 2. 1 Mina subterránea



Fuente: Minería chilena

2.1.1 Riesgos en minería subterránea

La minería se ha considerado una profesión de riesgo. Son muchas las causas de accidentes, pero entre las más comunes se encuentran las siguientes:

1. Fugas de gases tóxicos.

Cuando los mineros se adentran en las profundidades de la corteza terrestre suelen encontrar gases tóxicos que pueden poner en grave peligro su salud. El sulfuro de hidrógeno es un ejemplo típico de este tipo de gas, ya que tiene un efecto devastador en el sistema nervioso.

2. Explosiones.

En las minas de carbón subterráneas puede formarse una acumulación de metano, que crea una mezcla altamente explosiva cuando se combina con finas partículas de carbón. Además, las explosiones utilizadas durante las detonaciones controladas para ampliar la zona de explotación minera también pueden ser origen de accidentes.

3. Derrumbamiento de galerías

El derrumbamiento de pozos mineros puede suponer una seria amenaza para los mineros, ya sea debido a errores humanos, desastres naturales o actividades sísmicas.

4. Inundaciones

Muchas de las minas existentes se hallan en zonas remotas donde las precipitaciones y las condiciones acuíferas no están estudiadas con detalle. El riesgo de inundación también se incrementa porque la actividad minera modifica constantemente la fisonomía del terreno. (Ilić)

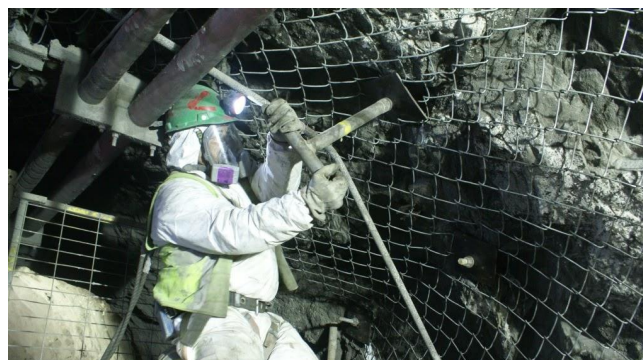
2.2 Fortificación es fundamental para un trabajo seguro en minería subterránea

Uno de los riesgos más importantes de accidentes en las labores mineras subterráneas, es la caída de rocas desde el techo de las galerías o de sus cajas o costados, y en las minas a rajo abierto el deslizamiento de terrenos. Al construir labores subterráneas, se extrae un volumen de masa rocosa que provoca cambios en las condiciones naturales de equilibrio. Se crean espacios en los cuales las caras libres quedan sometidas a fuerzas que quedan sin oposición y convergen hacia el espacio vacío, provocando grietas en el techo y las cajas, pudiendo generar el desprendimiento de rocas sueltas o planchones.

Para evitar esto se utiliza la fortificación que es el conjunto de procedimientos que permiten mantener estable las labores cuando su condición no es auto soportante en una mina subterránea. Existen varios métodos de fortificación, siendo la enmaderación el más empleado en la pequeña minería. Si el caso lo amerita, eventualmente se podría considerar la utilización de pernos de anclaje, mallas de acero, hormigón proyectado o shotcrete, y marcos de acero.

El reconocimiento y tratamiento oportuno del terreno peligroso mediante fortificación, es vital para evitar que se produzcan accidentes, pérdidas en la producción o daños en los equipos, solamente podrán quedar sin fortificación los sectores en los cuales su comportamiento sea conocido en cuanto a su condición de autosoporte, previo informe de un especialista. (“FORTIFICACIÓN Y ACUÑADURA.” *SONAMI*, 2016)

Ilustración 2. 2 Fortificación con malla



Fuente: Fortificación minera

Para realizar la fortificación en la minería se establece la tabla del ingeniero Z.T. Bieniawski la cual se basa en la clasificación geomecánica de los macizos rocosos ya sea mediante la toma de datos y/o la toma de testigos. Este sistema se basa en la clasificación del macizo en base a números del <20 hasta el 100. (Enrique Veragua Guerra, 2024)

La clasificación se calcula basándose en los siguientes parámetros:

- Resistencia de la roca matriz
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Estado de las diaclasas
- Presencia de agua freática

Tabla N° 2.1 Clasificación final de resistencia

Tabla de clasificación final de resistencia			
Descripción de la calidad	R.M.R	Clase	Tipos de Sostenimiento Referencial
Muy Bueno	81-100	I	Sin sostenimiento, solo pernos puntuales en caso de evidenciar cuñas. El largo del perno dependerá del peso de la cuña
Bueno	61-80	II	Pernos Puntuales en sistemas estructurales afectados por el diseño minero
Regular	41-60	III	Pernos espaciados entre 1 a 1,5mts, especialmente en sectores de producción. Si es que se requiere, debe agregarse 50 mm de espesor de shotcrete
Malo	21-40	IV	Fortificar a 1 disparo del frente. Uso de perno espaciado a 1 mts, shotcrete con espesor de 100 mm y malla si se requiere. Considerar Bypass
Muy Malo	<20	V	No usar zona de esta clasificación como acceso permanente. Reforzar con hormigón, Pernos, shotcrete 150mm, Arcos, Pernos y cables. Según sea requerido

2.3 ventilación en minería subterránea

Un sistema de ventilación mal instalado o inapropiado a las condiciones de una mina tiene serias repercusiones en la salud de sus trabajadores y, además, conlleva unos costes económicos considerables; sin olvidar que puede originar un problema de seguridad laboral. Todos estos son motivos suficientes para prestarle la máxima atención a las decisiones que tengan que ver con la ventilación en la minería.

Y, ¿qué puede considerarse como una correcta ventilación en la minería? Básicamente es aquel sistema que garantiza un paso del flujo de aire suficiente y necesario para asegurar a los trabajadores una atmósfera limpia y libre de gases tóxicos. Es decir, la ventilación en la minería debe:

- Asegurar un porcentaje mínimo de oxígeno, que se debe calcular teniendo en cuenta el número de personas que está ocupando un mismo espacio y sus dimensiones.
- Ser capaz de diluir los gases tóxicos, explosivos o asfixiantes hasta un nivel inferior al marcado por la normativa vigente.
- Incluir un sistema de climatización, ya que a medida que se desciende la temperatura aumenta. Además, los equipos con los que trabajan los mineros contribuyen a aumentar más la temperatura.

(“Aplicación de la ventilación en la minería subterránea | S&P”)

2.3.1 Sistemas de ventilación en minería subterránea

Los sistemas de ventilación se dividen en tres modalidades:

- Ventilación manual: no utiliza ningún equipo mecánico o eléctrico de apoyo. Necesita de dos accesos, uno de entrada y otro de salida del aire para que pueda renovarse. Suele usarse en las instalaciones mineras ubicadas en montañas, porque en ellas se produce el desnivel necesario para mantener un flujo de aire constante circulando; pero se ve afectada por los cambios de temperatura y de presión.
- Ventilación auxiliar: cuenta con un apoyo mecánico (ventilador) para mantener la circulación del flujo de aire. Es el tipo de ventilación en la minería que se suele usar en galerías cortas y horizontales.
- Ventilación principal, la que recorre todas las labores mineras (huecos excavados) mediante un circuito que trabaja con ventilación forzada. Hay que asegurarse de que se calcula bien el caudal de aire que fluye por ese circuito de ventilación. Para hacerlo, se debe tener en cuenta el número de personas que hay en la mina, las dimensiones y la sección de las labores. Pero también, el tipo de maquinaria que se esté usando y las emanaciones de gases propias de esa mina.

(“Aplicación de la ventilación en la minería subterránea | S&P”)

Ilustración 2. 3 Mangas de ventilación mina subterránea



Fuente: HCA Minería

2.4 Carguío y transporte en minería subterránea

El proceso de carguío es parte de la etapa de extracción en minería subterránea y su propósito consiste en retirar el material tronado de la frente y depositarlo en maquinarias de transporte. El inicio de este proceso se efectúa una vez finalizado el proceso de tronadura y luego de haber verificado que la operación es posible ejecutarla de manera segura.

Bajo esas condiciones, se recurren a las maquinarias de trabajo, las que en su conjunto se posicionan en el lugar de operación. Una vez posicionados, los equipos de carguío extraen el material tronado para depositarlo en el equipo de transporte, para lo cual se requiere de un área de trabajo en el que ambos equipos puedan operar sin inconvenientes.

(“Energía en Minería | Carguío”)

Ilustración 2. 4 Carguío y transporte



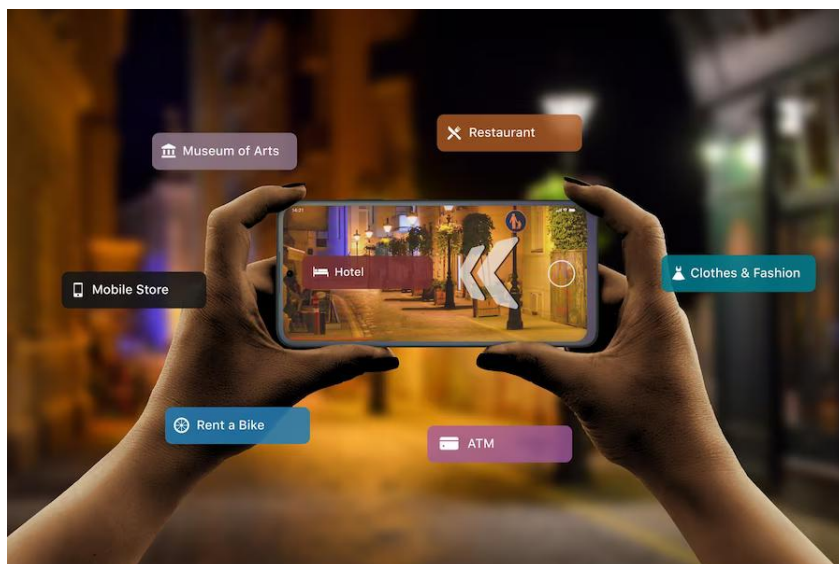
Fuente: BURGOSconecta

2.5 Realidad Virtual/Aumentada

La realidad aumentada (RA) se refiere a la integración en tiempo real de la información digital en el entorno de un usuario. La tecnología de RA superpone el contenido al mundo real, lo que enriquece la percepción de la realidad del usuario en lugar de reemplazarla.

Los dispositivos de RA están equipados con cámaras, sensores y pantallas. Esto puede incluir teléfonos inteligentes y tablets que crean experiencias móviles de RA o "wearables" como gafas inteligentes y auriculares. Estos dispositivos capturan el mundo físico y luego integran contenido digital (por ejemplo, modelos 3D, imágenes o videos) en la escena, mezclando los mundos digital y virtual. (Hayes and Downie)

Ilustración 2. 5 Realidad aumentada



Fuente: Nivelics

2.5.1 Usos de la realidad aumentada

1. Formación

La RA puede proporcionar experiencias de aprendizaje inmersivas para los estudiantes. Esto podría incluir la exploración de modelos 3D interactivos y simulaciones científicas superpuestas a su entorno físico.

2. Gaming

Los juegos de RA como Pokémon GO mezclan criaturas u objetos virtuales en lugares del mundo real, creando experiencias atractivas e interactivas.

3. Atención médica

En el ámbito sanitario, la RA puede utilizarse para la formación médica, la planificación quirúrgica y la educación del paciente. Los cirujanos pueden superponer los datos de los pacientes, los modelos de anatomía y la orientación quirúrgica en su campo durante los procedimientos, lo que mejora la precisión y los resultados de los pacientes.

4. Fabricación e industria 4.0

La RA puede utilizarse en entornos industriales para formar a los trabajadores, ofrecer instrucciones paso a paso durante el proceso de fabricación y crear gemelos digitales de productos o equipos.

5. Navegación

Las aplicaciones de RA de orientación pueden superponer direcciones, puntos de interés e información contextual en la experiencia de la vida real de un usuario, mostrando información de forma intuitiva. (Hayes and Downie)

2.5.2 Beneficios de la realidad aumentada en la educación

La implementación de la realidad aumentada y la realidad virtual en la educación conlleva unas bondades más que evidentes. Estas tecnologías no solo impactan positivamente en el rendimiento académico, sino que también transforman la experiencia educativa, haciendo que el aprendizaje sea más accesible, interesante y adaptado a las necesidades individuales de los estudiantes.

De este modo, este sistema de aprendizaje ofrece interactividad y elementos en los que se utiliza tanto el sentido de la vista, el auditivo como el táctil, además de trabajar la atención y los contenidos conceptuales.

1. Mejora el rendimiento

La optimización de la tecnología permite que haya una hiperconectividad entre dispositivos y una fluidez a la hora de trabajar con ella. Esto se traduce en una reducción de tiempos a la hora de brindar materiales educativos y recibir una retroalimentación por parte de los estudiantes. Mientras las instituciones educativas cuenten con recursos más veloces y actualizados, mayor será el rendimiento de los procesos pedagógicos y, por ende, mejor desempeño por parte de los estudiantes.

2. Interactividad

La Realidad Aumentada permite involucrar todos los sentidos, esto ayuda a que el proceso de aprendizaje sea más práctico e integral. Estamos hablando de un recurso tecnológico que sucede en el mundo real, es decir, una herramienta que les permite a los estudiantes aprender mientras hacen. Esto representa una ventaja muy importante, pues

Cuando hablamos de nativos digitales, hablamos de una generación de estudiantes que se siente cómoda con las actividades y las prácticas constantes a la hora de aprender. El aprendizaje ya no puede quedarse solo en la teoría, sino que debe ir más allá hasta desarrollar la capacidad para crear de los alumnos. (Reyes, 2023)

2.6 Modelos físicos y virtuales para enseñanza en la minería

En Chile, los modelos físicos se emplean en laboratorios universitarios y proyectos de minerías reales, como es el caso de nuestra universidad, ya que en el laboratorio de geominería existe un modelo físico que ayuda a los estudiantes a entender de manera visual estructuras, maquinaria, equipos y el modo de operación a Rajo abierto. Como también la mina escuela ubicada en Copiapó perteneciente a esta misma universidad. Otros ejemplos de estos modelos son:

- El de la Universidad de Chile que incluye un laboratorio de mecánica de rocas para experimentos físicos en estabilidad de excavaciones y deformaciones (Universidad de Chile),
- Modelo Físico para el método Block Caving en la Universidad de Chile que son grandes modelos a escala para estudiar interacciones en altas columnas de extracción con materiales finos y gruesos enfocados en flujos de gravedad y estabilidad. (Universidad de Chile)

En caso de los modelos de RA ejemplos claves de empresas son:

- Yoy Simulators: como su nombre dice ofrecen experiencia VR personalizada para la minería incluyendo operación de camiones CAEX, protocolos de seguridad subterránea, entrenamiento en espacios confinados, voladuras y respuestas a emergencia (Yoy Simulators)
- VR Enaex: Programa de entrenamiento VR con 6 módulos para procesos de explosivos y voladuras en minas que simula operaciones reales, mide desempeño y se lleva directamente a faenas mineras para maximizar el tiempo de capacitación (Enaex Academy)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Tipos de metodologías

Para llevar a cabo este proyecto se usó un tipo de metodología cualitativa, se justifica el uso de esta metodología ya que permitió recopilar la información restante del modelo de ambiente simulado y de esta manera agregarla al modelo actualizado de realidad aumentada

la naturaleza cualitativa fue esencial para entender qué elementos eran críticos y cómo deberían ser representados y agregados al modelo actualizado de realidad aumentada para garantizar su fidelidad y funcionalidad

3.3 Rediseñar el modelo de perforación y tronadura para que complemente la información de las labores restantes como carguío y transporte, ventilación y fortificación

Para poder rediseñar el modelo didáctico se tuvo que investigar qué medio de carguío y transporte, ventilación y fortificación sería el más adecuado para el modelo ya hecho, al igual que se investigaron las tesis de alumnos de los años 2024 y 2023 para poder tener un mejor entendimiento del modelo.

3.3.1 Investigación de tesis de ambiente simulado

Se inició una investigación a partir de una tesis creada por estudiantes de la carrera de técnico en minas en el año 2024, con el fin de poder tener un mejor entendimiento sobre el modelo didáctico, el documento se encuentra disponible de forma digital y física en la biblioteca de la Universidad de Atacama.

Se obtuvo el material de forma digital para agilizar el proceso de análisis.

Ilustración 3. 1 Tesis elaborada por estudiantes de la carrera de Técnico en Minas en el año 2023.



Fuente: Biblioteca Universidad de Atacama Sede Vallenar 2025

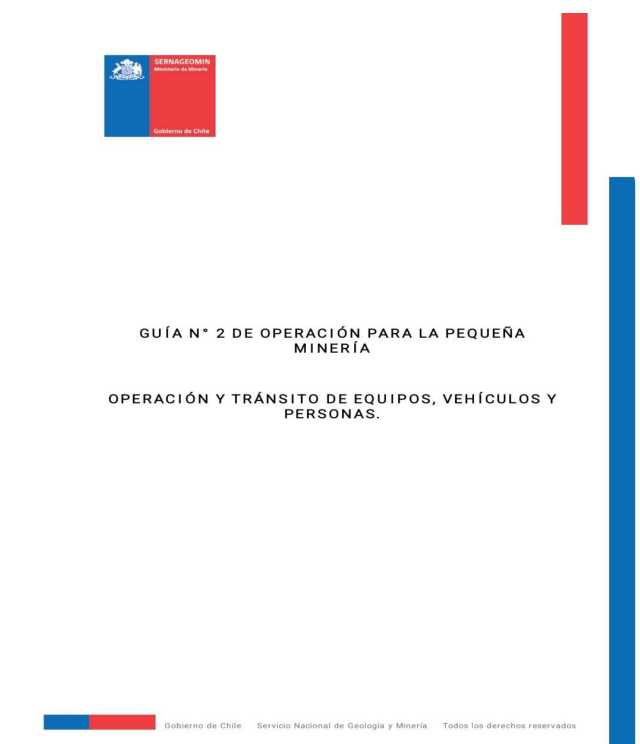
3.3.2 Método de carguío y transporte adecuado

Para el modelo que representa una galería subterránea de pequeña minería se midió y se determinó que no podrían trabajar equipos muy grandes, y se optó por un vagón minero debido a sus dimensiones, se investigó una guía de operaciones en pequeña minería de Sernageomin que la distancia entre el equipo y las paredes de la galería tienen que ser de

0,5 m siendo el máximo para equipos mecanizados, se utilizó el mismo parámetro para el vagón minero.

El método de carguío utilizado se determinó debido al tamaño y espacio del modelo ya que no es una galería de gran tamaño, como en pequeña minería se optó por utilizar una pala manual siendo lo más adecuado para una labor pequeña.

Ilustración 3. 2 Parámetro de seguridad



Fuente: Sernageomin

3.3.3 Método de ventilación y fortificación adecuado

Se seleccionó un método de ventilación impelente ya que solo suministrara aire limpio dentro de la labor y es lo más utilizado en una mina subterránea, dado la escala del modelo didáctico la manga de ventilación es la mejor forma para poder representar lo que es la ventilación en una galería, la manga de ventilación se combinará con un ventilador capaz de suministrar el caudal necesario para las personas, debido a que no es posible obtener un ventilador para poder representarlo en el modelo didáctico este ventilador será representado en el modelo 3D

Ilustración 3. 3 Manga de ventilación



Fuente: Vitim sac

Para seleccionar el método de fortificación se analizó la primera tesis realizada, donde calcularon el R.M.R de las rocas representadas en el modelo.

Tabla N° 3. 1 Clasificación resistencia de la roca

Tabla de clasificación final de resistencia			
Descripción de la calidad	R.M.R	Clase	Tipos de Sostenimiento Referencial.
Muy Bueno	81-100	I	Sin sostenimiento, solo pernos puntuales en caso de evidenciar cuñas. El largo del perno dependerá del peso de la cuña.
Bueno	61-80	II	Pernos Puntuales en sistemas estructurales afectados por el diseño minero.
Regular	41-60	III	Pernos espaciados entre 1 a 1,5mts, especialmente en sectores de producción. Si es que se requiere, debe agregarse 50 mm de espesor de shotcrete.
Malo	21-40	IV	Fortificar a 1 disparo del frente. Uso de perno espaciado a 1 mts, shotcrete con espesor de 100mm y malla si se requiere. Considerar Bypass
Muy Malo	<20	V	No usar zona de esta clasificación como acceso permanente. Reforzar con hormigón, Pernos, Shotcrete 150mm, Arcos, Pernos y cables. Según sea requerido.

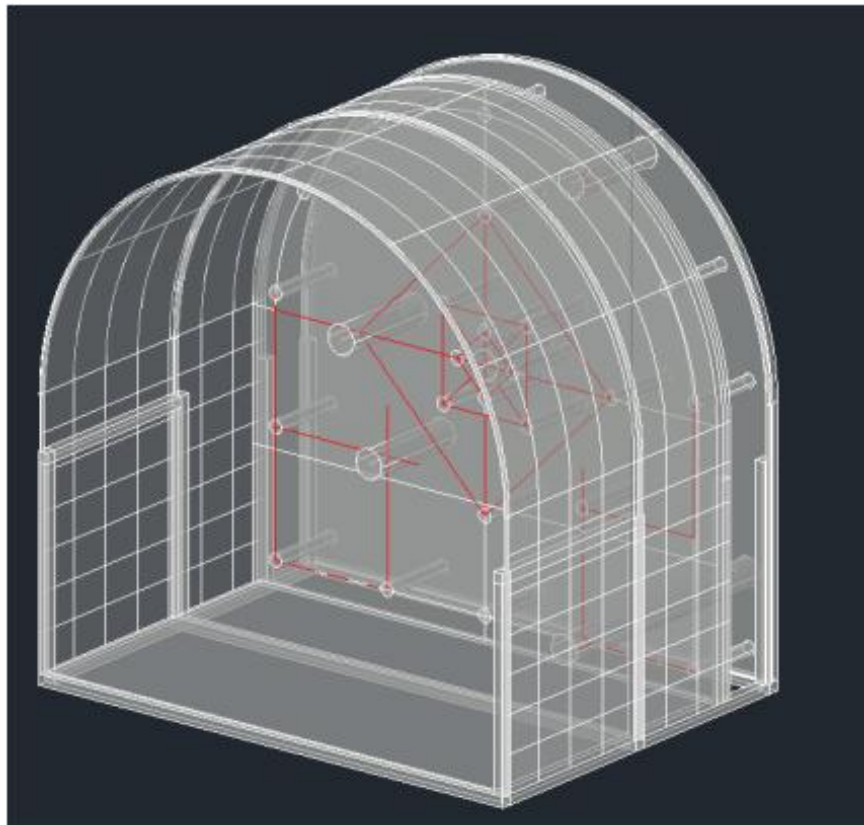
Como resultado del R.M.R la resistencia de la roca es regular, donde se deberán usar pernos espaciados entre 1 a 1,5 m y 50 mm de espesor de shotcrete, pero debido a la reforma del modelo, la rugosidad, espaciamiento y las continuidades aumentaran, debido a esto la mejor opción de fortificación para el rediseño del modelo fue instalar una malla y pernos espaciados a 1 m, siendo también la mejor forma de representar la fortificación en el modelo didáctico.

3.3.4 Rediseño del modelo mediante boceto

Los estudiantes del año 2023 realizaron un diseño de un modelo físico el cual representaba una cara de perforación con su respectiva rainura y pozos de perforación,

Este diseño solo cuenta con la labor de perforación y tronadura, por lo cual se realizó un rediseño de este modelo agregando otras labores que se ven en la minería subterránea.

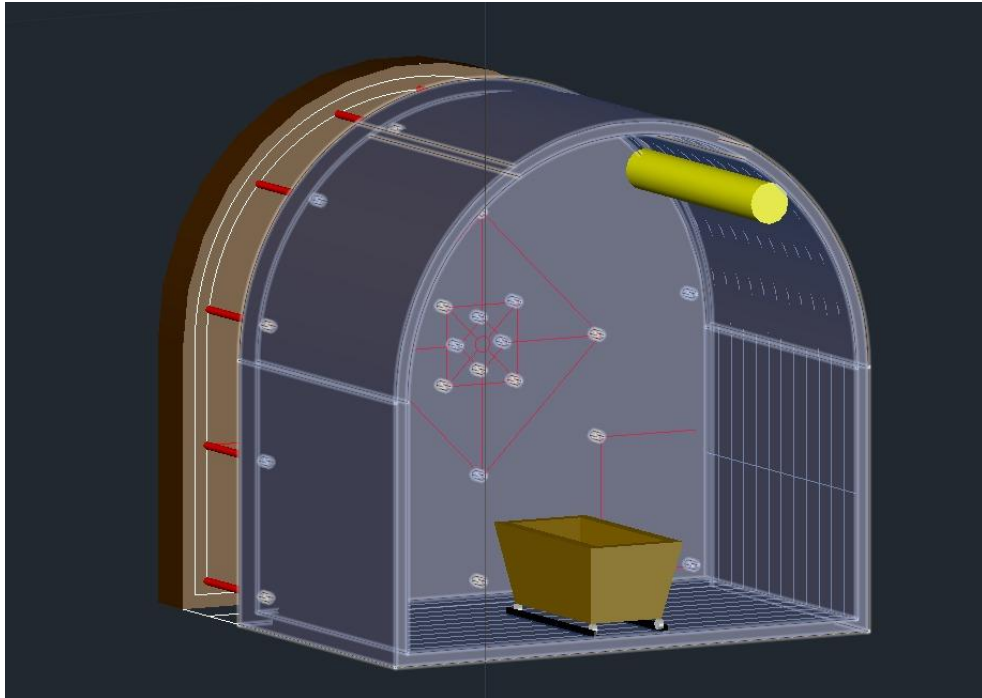
Ilustración 3. 4 Diseño anterior cara de perforación



Fuente: Roa Pérez, Gómez Cortes, Rojas Noveroy, Tapia López 2023

Mediante el diseño anterior se creó un nuevo diseño, implementando labores de transporte, ventilación y fortificación, logrando completar el rediseño del modelo didáctico

Ilustración 3.5 Rediseño modelo didáctico



Fuente: Elaboración propia 2025

3.4 Reunir los materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado

Antes de reunir los materiales para la construcción del modelo se realizó una inspección al entorno donde estaba ubicado el modelo didáctico, está presentaba un gran estado de deterioro, debido al desgaste y la suciedad, las paredes como el modelo en sí mostraba claramente que no se le realizó mantención adecuada en un gran tiempo.

Se observó que el área donde estaba ubicado el modelo estaba siendo utilizada como almacén lo que dificulta la realización de cualquier tarea.

ilustración 3. 6 Inspección del modelo didáctico



Fuente: Elaboración propia 2024

3.4.1 Selección de los nuevos materiales

Luego de inspeccionar el modelo físico se realizó una selección de materiales necesarios para la construcción del rediseño, estos materiales fueron elegidos mediante el boceto realizado en AutoCAD, se seleccionó una malla de 5x0.9 m, papel Kraft, silicona, bridas, se utilizaron las patas de una silla para darle la forma al vagón, perfiles en L para la representación de los rieles, ruedas plásticas para la movilidad del vagón, se utilizó una máquina de soldar M.I.G con alambre de 1,0.

Ilustración 3. 7 Selección de materiales



Fuente: Elaboración propia 2025

3.4.2 Mantenimiento y limpieza del modelo didáctico

Antes de realizar cualquier tarea en el modelo, se realizó una limpieza completa de las cosas que no eran necesarias en el modelo, se limpió la suciedad con materiales de limpieza que dejaron los alumnos del año pasado, las cajas ubicadas dentro del modelo se ubicaron en un lugar diferente y poder dejar el modelo despejado y así poder darle la mantención adecuada.

Ilustración 3.8 Limpieza del modelo



Fuente: Elaboración propia 2025

3.5 Construcción del modelo siguiendo el nuevo diseño para implementar información sobre carguío y transporte, ventilación y fortificación

Luego de realizar la selección de materiales se empezó la construcción del nuevo diseño, lo primero que se realizó fue el forrado del modelo ya que este estaba en mal estado, se utilizó papel Kraft para realizar la tarea, se fueron pegando papeles por pedazo para poder darle la misma forma que tenían las rocas, se le volvieron a realizar los pozos de perforación que quedaron por debajo del papel, para que queden visibles nuevamente y formen parte del nuevo diseño del modelo.

Ilustración 3.9 Forrado del modelo



Fuente: Elaboración propia 2025

Ilustración 3.10 Forrado de modelo



Fuente: Elaboración propia 2025

3.5.1 Construcción de vagón minero

A la vez que se realiza el forrado del modelo, también se llevó a cabo la construcción de un vagón simulando un vagón minero de pequeña minería, se utilizaron las patas de una silla para darle la forma al vagón y rueditas plásticas para su movilidad, las ruedas fueron soldadas al vagón para evitar que estas se salieran.

Ilustración 3.11 Construcción del vagón



Fuente: Elaboración propia 2025

3.5.2 Instalación de la malla de fortificación

Luego de forrar nuevamente el modelo se realizó la instalación de la malla de fortificación, esta malla cubrió paredes y techo de la galería, para poder afirmar la malla se utilizaron bridas de plástico y alambre así quedando adherida a las paredes.

Ilustración 3. 12 Instalación de malla



Fuente: Elaboración propia 2025

Para la malla de fortificación se necesitan pernos espaciados en 1 m basado en la tabla 3.1, para la representación de los pernos se utilizó como referencia un perno Split set, los cuales fueron creados a mano recreando la forma de estos.

Ilustración 3.13 Representación de pernos de fortificación



Fuente: Elaboración propia 2025

3.5.3 Creación de la manga de ventilación

Para el método de ventilación se construyó una manga de ventilación para así poder representarla en el modelo didáctico. Para la construcción de esta manga se utilizó papel diamante que era lo más cercano que había a una textura real. Se utilizaron 3 carretes de filamento para darle el diámetro y la forma adecuada a la manga.

Ilustración 3. 14 Recreación manga de ventilación

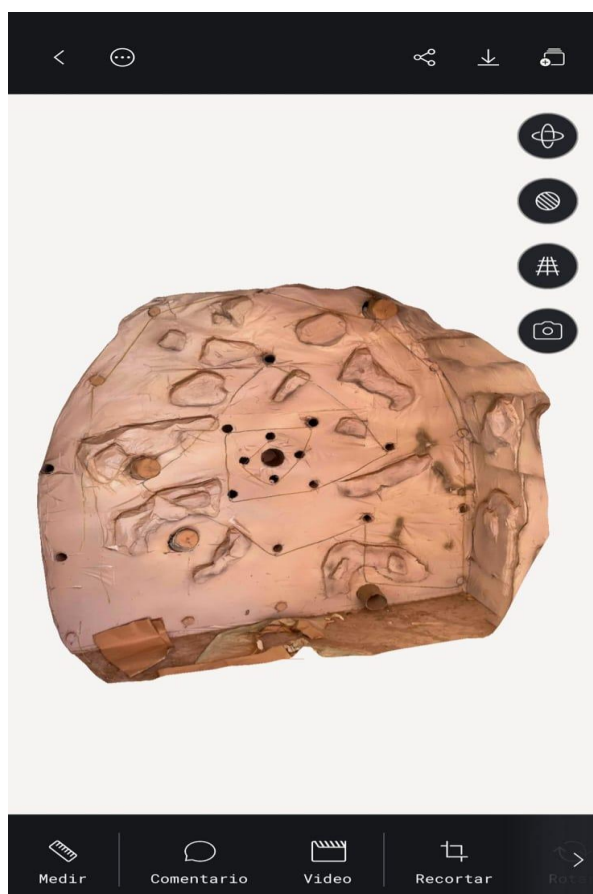


Fuente: Elaboración propia 2025

3.6 Diseñar el modelo digital para que pueda ser vista desde un celular haciendo uso de la realidad aumentada

Para el desarrollo de la realidad aumentada del modelo didáctico se utilizará la aplicación o software polycam en el cual permite el desarrollar una realidad aumentada sin poseer un conocimiento elevado sobre programación además de poseer una buena tecnología para el proceso de escanear el modelo, también posee una manera óptima de compartir de forma online por medio de enlaces para entregar el respectivo código QR.

Ilustración 3. 15 Escaneo del modelo



Fuente: Gómez, Labraña, Cruz, Herrera 2024

El proceso de escaneo se realizará conforme a una guía estudiada por los alumnos que posee cada paso a seguir, para de esta manera tener una forma fácil y rápida del desarrollo de la RA

1. Escaneo del modelo didáctico: se deberá dirigir al modelo para realizar una sesión de fotografías con el fin de poseer varias fotos del modelo, de manera inmediata el software polycam empezará con la creación automática del modelo en 3D digitalizado realista de la galería
2. Exportación del modelo realizado en 3D: luego de que el software procede con la creación del modelo en 3D se deberá exportar el archivo para posteriormente importar
3. Importación de modelo a app de RA: se deberá realizar la importación a la aplicación de preferencia que pueda complementar la información del modelo 3D que pueda poseer la manera de añadir la información necesaria para el desarrollo de la galería
4. Compartir modelo 3d finalizado: Luego de lograr la realización del modelo 3d creado por la aplicación polycam ya se podría poner a disposición de los alumnos

3.7 Incorporar información al modelo 3D sobre Carguío y transporte, ventilación y fortificación, esto con el fin de que pueda ser utilizado por futuros alumnos de Tec. minas

Para lograr la incorporación sobre las asignaturas de carguío y transporte. Ventilación y fortificación se realizó una revisión bibliográfica y documental para obtener la información técnica de cada asignatura.

El desarrollo se realizó en etapas como:

- Recolección de información técnica: Carguío y Transporte, Ventilación y Fortificación.
- Inspeccionar el modelo 3D base: Ya que existía un modelo 3D de la galería se tomó como un referente y guía para realizar la mejora.
- Analizar las zonas donde se integrarán los datos: Dado el rediseño de la galería se integró elementos como mallas de fortificación, pernos de anclajes, vías y vagón.
- Diseño de elementos informativos: Colocación de etiquetas, animaciones o bloques de datos para cada tema de estudio.
- Validación del modelo actualizado: Con ayuda de docentes o compañeros asegurar la claridad y utilidad del contenido.
- Prueba de uso educativo: Otros alumnos accederán al modelo para poder interactuar con la información.
- Ajustes finales: reajustar todas observaciones recibidas por alumnos o docentes.

Cada etapa a realizar fue fundamental para el desarrollo completo de este modelo, ya que al tener un orden de trabajo sobre cada etapa la incorporación de información al modelo se pudo realizar de manera eficiente.

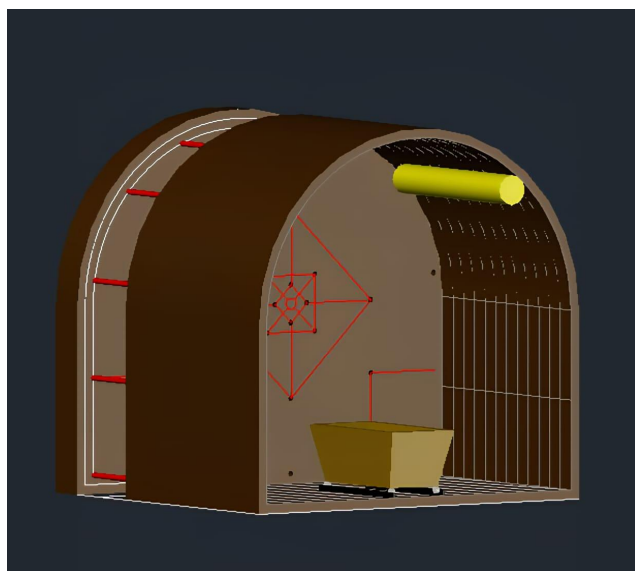
CAPÍTULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Resultado del rediseño integrando labores de carguío y transporte, ventilación y fortificación

Para llevar a cabo el rediseño del modelo didáctico se realizó una investigación a la tesis elaborada por ex alumnos del año 2023 donde se muestra lo relevante que es un modelo físico para un mejor entendimiento de los alumnos en el área de la minería, este modelo al ser solo de perforación y tronadura solo se limitaba a esas 2 labores, por lo que se le realizó un rediseño a este modelo con la finalidad de que pueda abarcar información sobre otras labores de la minería subterránea.

El rediseño realizado en AutoCAD incorpora carguío representado con un vagón minero, incorpora la labor de ventilación y fortificación representado por una malla y una manga de ventilación.

Ilustración 4.1 Rediseño del modelo



Fuente: Elaboración propia 2025

4.2 Resultado limpieza y selección de materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado

Se realizó una limpieza al modelo didáctico retirando cajas y objetos que se encontraban en este logrando unas condiciones óptimas para poder trabajar.

Ilustración 4.2 Limpieza del modelo didáctico



Fuente: Elaboración propia 2025

Al retirar los objetos se pudo visualizar mejor el modelo por lo que basado en el rediseño hecho en AutoCAD y una vista presencial se realizó una selección de materiales que serían necesarios para reformar este modelo, los materiales fundamentales para este rediseño eran el papel Kraft para poder forrar el modelo nuevamente, una malla para poder representar la fortificación, papel diamante para poder construir una manga de ventilación, plancha de madera y ruedas plásticas para construir el vagón minero, estos eran los materiales fundamentales para poder reformar el modelo didáctico.

4.3 Resultado de la construcción del modelo basándose en el rediseño

Lo primero que se realizó para poder construir el rediseño fue forrar completamente el modelo ya que este estaba en un estado muy malo, como resultado el modelo quedó completamente forrado dando paso a poder seguir trabajando con la reforma y seguir implementando las labores restantes.

Ilustración 4.3 Forrado completo del modelo



Fuente: Elaboración propia 2025

4.3.1 Construcción de vagón minero y manga de ventilación

Para poder representar el transporte en el modelo didáctico se procedió a construir un vagón minero a pequeña escala, este vagón se construyó con plancha de madera y para la forma se utilizaron las pallas de una silla, se le soldaron unas ruedas plásticas para su movilidad.

Ilustración 4. 4 Representación vagón minero



Fuente: Elaboración propia 2025

Para la representación sobre la ventilación en el modelo didáctico se construyó una manga de ventilación, esta manga se construyó con papel diamante y para poder darle el diámetro adecuado se utilizaron unos carretes de filamentos, como resultado quedó una manga de ventilación de un diámetro de 20 cm y un largo de 1.18 m

Ilustración 4. 5 Representación manga de ventilación

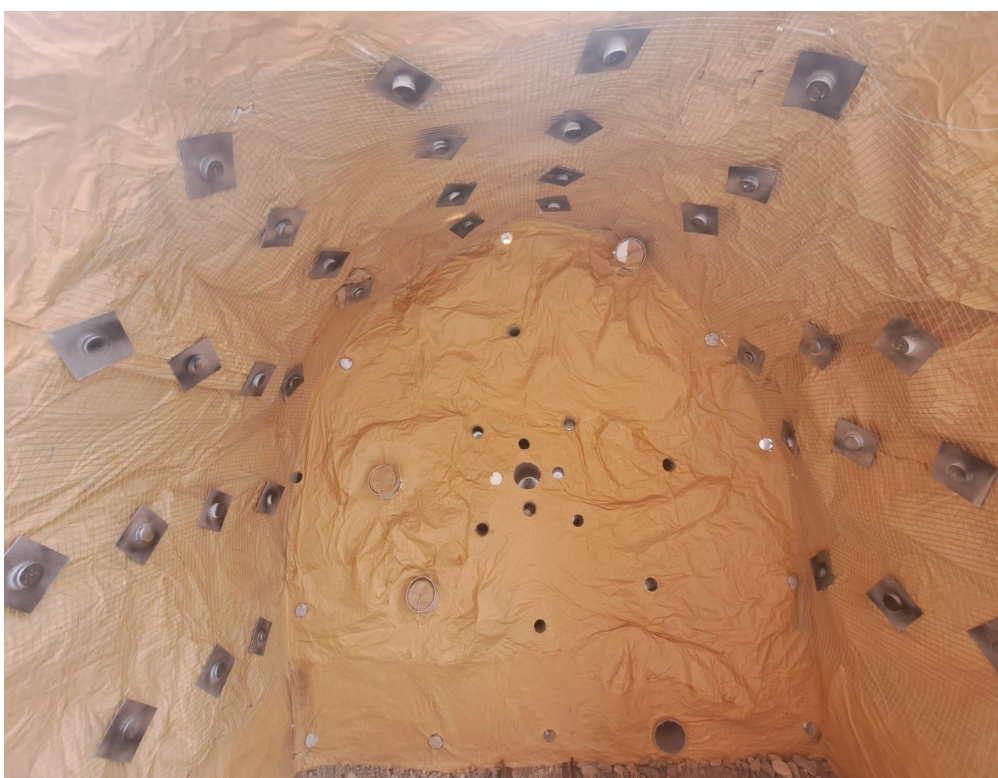


Fuente: Elaboración propia 2025

4.3.2 Resultado de instalación de malla y pernos

Posterior de que el modelo fuera forrado se procedió a instalar la malla de fortificación con sus pernos, estos pernos espaciados entre 1 m a 1,5 m, debido a que este modelo está hecho a una pequeña escala la distancia entre pernos igual se le bajó la escala de 10 a 15 cm, como resultado la malla de fortificación y pernos cubrieron paredes y techo.

Ilustración 4. 6 Instalación de malla y pernos



Fuente: Elaboración propia 2025

4.4 Resultado construcción final del modelo físico

Posterior de forrar completamente el modelo didáctico como también terminar la construcción del vagón minero, se instaló la malla de fortificación y sus pernos, al igual que la manga de ventilación.

Como resultado se completó la construcción del rediseño del modelo didáctico.

Ilustración 4. 7 Modelo didáctico



Fuente: Elaboración propia

4.5 Resultado del modelo 3D en realidad aumentada incorporando información de carguío y transporte, ventilación y fortificación

Después de terminar el modelo didáctico se procedió a realizar un modelo 3D de realidad aumentada, gracias a la implementación de los softwares polycam y assemblr se pudo completar de manera efectiva el modelo 3D incorporando información de las labores faltantes.

ahora los usuarios pueden explorar el entorno de manera interactiva, teniendo una perspectiva tridimensional de cada elemento

Ilustración 4. 8 Incorporación de la realidad aumentada al modelo didáctico

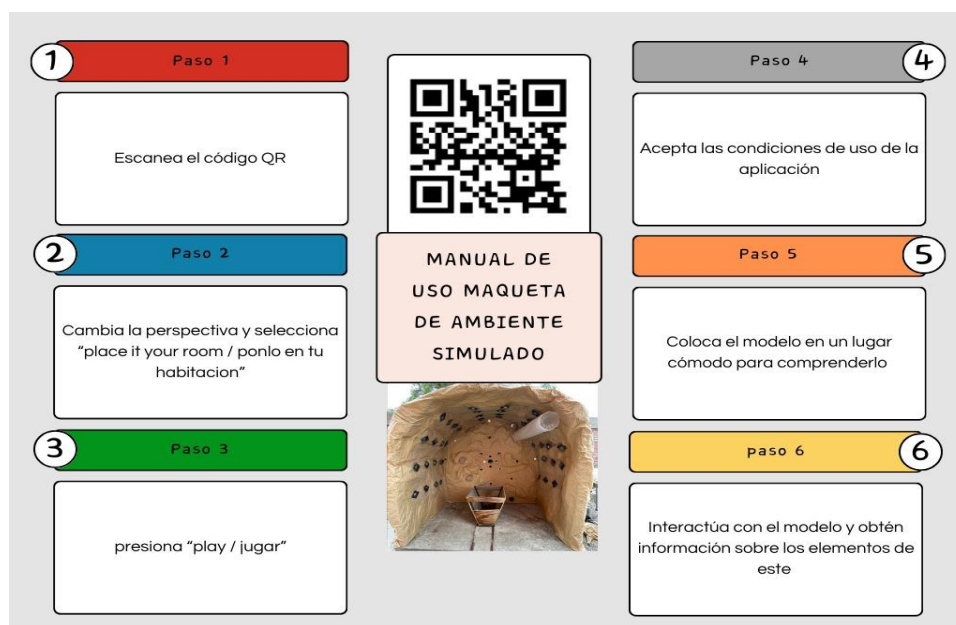


Fuente: Elaboración propia 2025

4.5.1 Manual de uso del modelo 3D

Con el propósito de facilitar el acceso al modelo 3D se desarrolló un manual de usuario en el cual consiste con diferentes instrucciones para acceder a el modelo, este recurso diseñado sirve para que los alumnos se les pueda facilitar la manera de introducirlos a las materias relacionadas con las labores de una galería subterránea con la cual puedan interactuar y desarrollar un aprendizaje didáctico con el entorno minero

Ilustración 4.9 Manual de uso maqueta de ambiente simulado



fuentes: Elaboración propia 2025

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

5.1 Conclusión

Rediseñar el modelo de perforación y tronadura para que complemente la información de las labores restantes como carguío y transporte, ventilación y fortificación

Logro del Objetivo: El rediseño se completó exitosamente mediante la elaboración de un nuevo boceto en AutoCAD, el cual permitió superar la limitación del modelo original centrado únicamente en perforación y tronadura. El diseño incorporó las labores fundamentales de carguío y transporte (vagón minero), ventilación (manga de ventilación) y fortificación (malla y pernos), basándose en la investigación de métodos apropiados para la escala de pequeña minería representada en el modelo.

Reunir los materiales para reformar el modelo y dejarlo en buen estado

Logro del Objetivo: El modelo, que se encontraba en estado de abandono y deterioro, fue puesto en óptimas condiciones para la intervención. La metodología se inició con la inspección y limpieza completa del área, retirando objetos y suciedad. La selección de materiales se realizó conforme al nuevo diseño, asegurando la junta del papel Kraft para la restauración de la textura, malla de fortificación, papel diamante para la manga de ventilación y los componentes necesarios (madera, perfiles en L, ruedas) para la construcción del vagón minero.

Construcción del modelo siguiendo el nuevo diseño para implementar información sobre carguío y transporte, ventilación y fortificación

Logro del Objetivo: La fase constructiva materializó el rediseño con éxito. El modelo didáctico fue forrado completamente con papel Kraft para restaurar su superficie y recuperar la textura rocosa. Posteriormente, se construyó e instaló un vagón minero a pequeña escala, se creó una manga de ventilación con papel diamante y se instaló la malla de fortificación con pernos representativos, en cumplimiento de los parámetros de diseño y el análisis de la resistencia de la roca (R.M.R.).

Diseñar el modelo digital para que pueda ser vista desde un celular haciendo uso de la realidad aumentada

Logro del Objetivo: El modelo físico terminado fue digitalizado para su uso en Realidad Aumentada (RA). La aplicación Polycam fue utilizada para el proceso de escaneo tridimensional del modelo, permitiendo la generación de un modelo 3D digitalizado realista. Este resultado se hizo accesible a través de códigos QR, facilitando la visualización desde dispositivos móviles sin requerir conocimientos avanzados de programación.

Incorporar información al modelo 3D Carguío y transporte, ventilación y fortificación, esto con el fin de que pueda ser utilizado por futuros alumnos de Téc.Minas

Logro del Objetivo: Se logró enriquecer el modelo 3D con la información técnica necesaria para su uso educativo. Tras la revisión bibliográfica y documental, el desarrollo se completó en etapas que incluyeron el análisis de zonas y el diseño de elementos informativos (etiquetas o bloques de datos). El modelo digital actualizado, accesible mediante los softwares Polycam y Assemblr, permite a los futuros alumnos de Téc.Minas explorar el entorno de manera interactiva y adquirir un mejor entendimiento de las labores incorporadas.

Objetivo General: Aplicar mejoras en modelo didáctico con realidad aumentada de perforación y tronadura, aplicando otras áreas de la minería como la fortificación y ventilación, carguío y transporte, para que pueda ser utilizada por futuros estudiantes de Téc.Minas.

Logro del Objetivo: El objetivo general se cumplió satisfactoriamente. El proyecto logró la recuperación, restauración y actualización integral del modelo didáctico de galería subterránea, transformándolo en una herramienta moderna y funcional. Se aplicaron mejoras significativas al expandir el modelo para incorporar los procesos de fortificación, ventilación y carguío y transporte. Asimismo, se consiguió la modernización tecnológica mediante la digitalización del modelo a la Realidad Aumentada, lo cual facilita el entendimiento práctico y el aprendizaje interactivo para los futuros alumnos de la carrera de Técnico en Minas.

5.3 Recomendaciones

Se recomienda continuar con la perfección del exterior del modelo, realizar una buena cobertura de protección por el ambiente ya que al estar expuesta se puede ir degradando el modelo por temas ambientales como posiblemente lo sería el sol, niebla o lluvias en la zona, además sería conveniente poder poseer una mejor ubicación donde poder almacenar el modelo y así conservar la integridad del trabajo realizado por los alumnos

se sugiere la utilización de materiales de mayor resistencia igualmente sería conveniente mejorar el acabado del modelo mediante pintura o un revestimiento de mayor calidad con el fin de lograr una presentación más clara y profesional

BIBLIOGRAFÍA

Works Cited

- “Aplicación de la ventilación en la minería subterránea | S&P.” *Soler & Palau*, 17 May 2021, <https://www.solerpalau.com/blog/es-es/aplicacion-de-la-ventilacion-en-la-mineria-subterranea/>. Accessed 10 October 2025.
- Enaex Academy. “Formación en realidad virtual.” <https://www.enaex.com/cl/es/formacion-en-realidad-virtual/>.
- “Energía en Minería | Carguío.” *Energía en Minería*, <https://www.energiaenmineria.cl/procesos/carguio/>. Accessed 10 October 2025.
- “FORTIFICACIÓN Y ACUÑADURA.” *SONAMI*, 2016, <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/7.fortificacion-acunadura.pdf>. Accessed 25 September 2025.
- Hayes, Molly, and Amanda Downie. “¿Qué es la realidad aumentada?” *IBM*, <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/augmented-reality>. Accessed 10 October 2025.
- Ilić, Vladimir. “Riesgos en la minería y cómo minimizarlos.” *Sirenas electrónicas para intemperie, sistemas de alerta temprana y sistemas de notificación de emergencia*, 30 June 2022, <https://www.sirenaselectronicas.com/riesgos-en-la-mineria-y-como-minimizarlos/>. Accessed 10 October 2025.
- “MINERÍA SUBTERRÁNEA.” *INGEOEXPERT*, 2019, <https://www.google.com/amp/s/ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/amp/>.

Reyes, Isabel Cristina. “Beneficios De La Realidad Aumentada En La Educación.” *CognosOnline*, 7 July 2023,

<https://cognosonline.com/beneficios-realidad-aumentada-educacion/>.

Accessed 13 October 2025.

UCAM. *UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia*,

<https://www.ucam.edu/>. Accessed 20 October 2025.

Universidad de Chile. *Universidad de Chile - Santiago*, <https://uchile.cl/>.

Accessed 20 October 2025.

Universidad de Chile. “Laboratorio de Block Caving.” *Departamento de ingeniería en minas*,

<https://minas.uchile.cl/investigacion/laboratorios/laboratorio-de-block-caving>.

Universidad de Chile. “Laboratorios.” *Departamento de ingeniería en minas*,

<https://minas.uchile.cl/investigacion/laboratorios>.

Yoy Simulators. *Yoy Simulators | Virtual Reality Simulations for Training and Safety*, <https://yoy.cl/>. Accessed 13 October 2025.