



POSGRADOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN DISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS, HIDRÁULICOS Y TÉRMICOS

RPC-SO-24-NO.540-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

DISEÑO DE UNA BARRICADA DE
CONTENCIÓN PARA TRANSPORTES
TIPO SCOOP UTILIZADOS EN
PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE
MATERIAL PÉTREO EN MINERÍA A
GRAN ESCALA

AUTOR:

CARLOS LUIS ESCUDERO SÁNCHEZ

DIRECTOR:

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

CUENCA – ECUADOR

2024

Autor:**Carlos Luis Escudero Sánchez**

Ingeniero Automotriz.

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño De Sistemas Mecánicos, Hidráulicos Y Térmicos por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

litosescudero@gmail.com

Dirigido por:**Nelson Gustavo Jara Cobos**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Ingeniería, Doctor en Ingeniería.

Docente Titular Agregado de la Universidad Politécnica Salesiana.

Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

njara@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2024 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

CARLOS LUIS ESCUDERO SÁNCHEZ

Diseño de una barricada de contención para transportes tipo SCOOP utilizados en procesos de extracción de material pétreo en minería a gran escala

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico:

A mi familia que ha sido pilar fundamental en brindarme un apoyo incondicional en este momento de mi vida quiero expresar mi profundo agradecimiento y amor hacia todos ustedes, han sido mi apoyo, mi fuente de inspiración y mi refugio en momentos difíciles. Su amor y apoyo incondicional han sido el motor que impulsa a seguir adelante en este emocionante viaje llamado vida.

A mi querida Universidad Politécnica Salesiana, quiero agradecerles por brindarme la oportunidad de crecer como persona y como profesional. Los conocimientos adquiridos y las experiencias vividas han sido fundamentales en mi información por esto y más gracias por ser un faro de conocimiento y excelencia académica.

Con todo cariño y gratitud

Carlos Luis Escudero Sánchez

AGRADECIMIENTO

En este emocionante momento, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al equipo y de ingenieros la Lundin Gold que han hecho esto posible, por su apoyo y colaboración con este proyecto.

Su generosidad al proporcionarme acceso a recursos valiosos, datos, y la oportunidad de trabajar en el campo me han brindado una experiencia inestimable en mi investigación. Además, su orientación y asesoramiento experto fueron cruciales para dar forma a mi trabajo y llevarlo a un nivel de excelencia.

A mi tutor PhD. Nelson Jara Cobos, por dirigir este proyecto con intelecto y bondad.

Una vez más gracias por su apoyo y compromiso con mi investigación. Su contribución ha sido fundamental en la realización de esta tesis

Con gratitud,

Carlos Luis Escudero Sánchez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	14
Abstract	15
1. Introducción	16
2. Determinación del problema	18
2.1 Situación problemática	18
2.2. Formulación del problema	18
2.2.1 Problema general	18
2.2.2 Problemas específicos	19
3. Marco teórico referencial.....	20
3.1 Minería a gran escala	20
3.1.1 Mina Lundin Gold el sector fruta del norte	21
3.2 Desarrollo de minería a gran escala	21
3.3 Desafíos actuales de la minería a gran escala	22
3.4 La intersección con la prevención de derrames y la barricada de contención	22
3.5 Consideraciones de seguridad en la extracción de material pétreo	23
3.5.1 Riesgos laborales en operaciones mineras	23
3.5.2 Medidas de prevención y mitigación	23
3.5.3 Tecnología en la mejora de seguridad.....	23
3.5.4 Relación con la barricada de contención.....	24
3.6 Transportes tipo scoop en minería: características y riesgos.....	24
3.7 SolidWorks como software de modelado.....	26
3.8 Barricadas de contención utilizadas en minería.....	27
3.9 Barricada para zona de descarga segura.	28
3.9.1 Hormigón armado	29
3.9.2 Caucho	29
3.9.3 Barrera de polyetheretherketone (PEEK).....	29
3.9.4 Barreras de acero	30
3.9.5 Barrera de tierra y rocas.....	30
4 Materiales y metodología.....	31
4.1 Diseño de barricadas de contención para equipos mineros	31
4.2 Identificación de requerimientos y normativas.....	31

4.2.1	Requerimientos del diseño de barricada de contención.	32
4.3	Normativas y regulaciones de seguridad minera y ambiental	34
4.3.1	Marco legal y normativas locales	34
4.3.2	Recopilación de datos.....	37
4.3.3	Camión articulado caterpillar AD45B.	38
4.3.4	Cargador subterráneo caterpillar R1600H.	39
4.3.5	Cargador subterráneo caterpillar R1700G	40
4.3.6	Caterpillar R2900G.....	41
4.4	Características del material mineralizado	42
4.5	Análisis de riesgos	43
4.6	Materiales y simulación en el diseño de barricadas.....	43
4.7	Diseño estructural.....	45
4.8	Pruebas de campo	48
5	Resultados y discusión.....	52
5.1	Documentación y planes de implementación	52
5.2	Requerimientos de contención:	55
5.2.1	Capacidad de carga.....	56
5.2.2	Maniobrabilidad	56
5.2.3	Velocidad de operación	56
5.3	Hormigón armado.....	57
5.3.1	Diseño de barricada de hormigón armado.....	58
5.3.2	Durabilidad	58
5.3.3	Resistencia a impactos	58
5.3.4	Estabilidad estructural.....	59
5.3.5	Disponibilidad de materiales	59
5.3.6	Bajo mantenimiento	59
5.3.7	Desventajas de una barricada de hormigón armado	59
5.3.7.1	Peso y volumen	60
5.3.7.2	Rigidez	60
5.3.7.3	Tiempo de construcción	60
5.3.8	Parámetros de evaluación final para elección de material de barricada. 61	
5.3.1	Resultados de la simulación de la barricada de hormigón armado	62
5.4	Caucho	69
5.4.1	Ventajas del caucho.....	69
5.4.1.1	Sostenibilidad.....	69

5.4.1.2	Durabilidad.....	70
5.4.1.3	Peso ligero.....	70
5.4.1.4	Visibilidad.....	70
5.4.1.5	Versatilidad.....	70
5.4.2	Desventajas del caucho.....	70
5.4.2.1	Resistencia limitada a impactos severos.....	71
5.4.2.2	Menos resistencia a la intemperie que el acero o el hormigón.....	71
5.4.2.3	Menos peso y estabilidad que las barreras de hormigón.....	71
5.4.3	Parámetros de evaluación final para elección de material de barricada.....	71
5.4.4	Resultados de la simulación de caucho.....	73
5.4.5	Resultado de las fuerzas aplicadas en la barricada de caucho.....	77
5.4.6	Análisis de resultados de la barricada de caucho.....	77
5.5	Barreras de tierra y rocas.....	79
5.5.1	Ventajas de las barreras de tierra y rocas.....	79
5.5.1.1	Disponibilidad.....	80
5.5.1.2	Efectividad en la absorción de energía.....	80
5.5.1.3	Costo-efectividad.....	80
5.5.1.4	Facilidad de construcción.....	80
5.5.1.5	Integración con el entorno:.....	80
5.5.2	Desventajas de las barreras de tierra y rocas.....	81
5.5.2.1	Limitaciones en la altura y la longitud.....	81
5.5.2.2	Capacidad de carga limitada.....	81
5.5.2.3	Requisitos de espacio.....	81
5.5.2.4	Desafíos de control de erosión.....	82
5.6	Barrera de polyetheretherketone (PEEK).....	82
5.6.1	Ventajas de las barreras de polyetheretherketone (PEEK).....	82
5.6.1.1	Ligereza.....	82
5.6.1.2	Resistencia a la corrosión.....	82
5.6.1.3	Resistencia a productos químicos.....	83
5.6.1.4	Facilidad de moldeo.....	83
5.6.2	Desventajas de las barreras de neumáticos.....	83
5.6.2.1	Menor resistencia a la tracción y compresión.....	83
5.6.2.2	Menor resistencia al calor.....	83
5.6.2.3	Desgaste y abrasión.....	83
5.6.2.4	Sensibilidad a la luz ultravioleta.....	84

5.6.3	Parámetros de evaluación final para elección de material de barricada	84
5.6.4	Resultados de la simulación	85
5.6.5	Información del modelo	86
5.6.6	Propiedades de estudio	87
5.6.7	Cargas y elementos	87
5.6.8	Información de la malla	88
5.6.9	Análisis de resultados	89
5.7	Barreras de acero	90
5.7.1	Ventajas de las barricadas de acero	91
5.7.1.1	Resistencia superior	91
5.7.1.2	Durabilidad extensa	91
5.7.1.3	Estabilidad estructural	91
5.7.1.4	Bajo mantenimiento	92
5.7.1.5	Versatilidad en el diseño	92
5.7.2	Desventajas de la barricada de acero	92
5.7.2.1	Costo Inicial	92
5.7.2.2	Peso y volumen	92
5.7.2.3	Tiempo de construcción	93
5.7.2.4	Impacto ambiental	93
5.7.2.5	Limitaciones estéticas	93
5.7.3	Parámetros de evaluación final para elección de material de barricada	93
5.7.4	Resultados de la simulación	94
5.7.5	Información del modelo	96
5.7.6	Propiedades de estudio	97
5.7.7	Propiedades del material	98
5.7.8	Cargas y elementos	99
5.7.9	Información de la malla	99
5.7.10	Resultado de las fuerzas	100
5.7.11	Estudio de resultados	100
5.8	Factor de seguridad de las simulaciones de las barricadas	102
5.9	Riesgos laborales y medidas de mitigación para operadores de transportes tipo cuchara en minería a gran escala:	105
6	Conclusiones	107
7	Recomendaciones y discusión de resultados	109
8	Referencias	112
9	Anexos	115

9.1	Instalación de barricada en campo.....	116
9.2	Esquemas de construcción de la barricada	117
9.3	Vistas de la barricada	118
9.4	Planos de sujeción de la barricada	119
9.5	Plano de medidas de neumáticos con respecto a la barricada.	120
9.6	Plano de medidas de neumáticos con respecto a la barricada y la elevación	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Minera Lundin Gold Inc.	20
Figura 2 Caterpillar AD45B, Caterpillar R1700G, Caterpillar R2900G	25
Figura 3 Muro de contención	32
Figura 4 Camión articulado Caterpillar AD45B.....	38
Figura 5 Cargador subterráneo Caterpillar R1600H	39
Figura 6 Cargadora minera subterránea Caterpillar r1700G.....	40
Figura 7 Cargador bajo perfil Caterpillar R2900G.....	41
Figura 8 Esquema de funcionamiento de la barricada interior mina.....	42
Figura 9 Primer boceto.	45
Figura 10 Medidas primer boceto.	46
Figura 11 Vistas laterales	46
Figura 12 Bocetos de soportes.	47
Figura 13 Boceto para primeras construcciones.	47
Figura 14 Prueba 1 de concreto.....	48
Figura 15 Estándar de anclaje.....	49
Figura 16 Segunda barricada en estado de prueba en la mina	49
Figura 17 Distancia de barricada hacia tajo vacío	50
Figura 18 Distancia de barricada hacia tajo vacío.	50
Figura 19 Bloqueo y señalización	51
Figura 20 Diseño de barricada en hormigón armado en SolidWorks	58
Figura 21 Barricada de hormigón armado.....	61
Figura 22 Barricada de hormigón armado.....	62
Figura 23 Distribución de fuerzas aplicadas al dominio computacional	63
Figura 24 Diseño de la barricada de caucho.....	73
Figura 25 Contornos de esfuerzos Von Mises en la barricada de caucho.....	74
Figura 26 Diseño de barricada de polyetheretherketone (PEEK).....	85
Figura 27 Cargas aplicadas sobre la barricada de polyetheretherketone (PEEK)	86
Figura 28 Diseño de la barricada de acero	95
Figura 29 Cargas aplicadas y mallado sobre la barricada de acero	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones del Camión Articulado Caterpillar AD45B.....	38
Tabla 2	Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H	39
Tabla 3	Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H	40
Tabla 4	Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H	41
Tabla 5	Resultados numéricos de la aplicación de fuerzas en la barricada	63
Tabla 6	Simulación de Hormigón Armado	64
Tabla 7	Unidades de la Simulación de Hormigón Armado	65
Tabla 8	Propiedades del Material - Hormigón Armado.....	65
Tabla 9	Tabla de Cargas - Simulación Hormigón	65
Tabla 10	Mallas a utilizar en la simulación	66
Tabla 11	Tabla mallado - Simulación Hormigón	66
Tabla 12	Tabla de Fuerzas - Resultado - Simulación de Hormigón	66
Tabla 13	Informe de Resultados - Simulación de Hormigón	67
Tabla 14	Información del Modelo – Simulación del Caucho	75
Tabla 15	Tabla de cargas aplicadas - Simulación del Caucho	75
Tabla 16	Tabla de mallado - Simulación del Caucho	76
Tabla 17	Tabla de mallado - Simulación del Caucho	77
Tabla 18	Tabla de resultado de Simulación de Caucho	78
Tabla 19	Tabla de información del modelo - Simulación PEEK	86
Tabla 20	Propiedades de estudio - Simulación PEEK.....	87
Tabla 21	Tabla cargas aplicadas a la barricada - Simulación PEEK.....	88
Tabla 22	Tabla información del mallado - Simulación PEEK.....	88
Tabla 23	Tabla de resultado de estudio - Simulación PEEK.....	89
Tabla 24	Tabla de información del Modelo - Simulación de Acero.....	97
Tabla 25	Tabla propiedades de estudio - Simulación Acero	97
Tabla 26	Tabla propiedades del material - Simulación Acero	98

Tabla 27	Tabla cargas aplicadas a la barricada - Simulación Acero.....	99
Tabla 28	Tabla información del mallado - Simulación del Acero	99
Tabla 29	Tabla fuerzas Resultados - Simulación Acero	100
Tabla 30	Tabla resultados del estudio - Simulación Acero.....	100

Diseño de una barricada de contención para transportes tipo scoop utilizados en procesos de extracción de material pétreo en minería a gran escala.

AUTOR:

CARLOS LUIS ESCUDERO SÁNCHEZ

RESUMEN

La investigación se basa en un enfoque multidisciplinario que combina ingeniería de seguridad, diseño estructural y consideraciones ambientales. Se examinan los factores influyentes en la seguridad minera y se analizan las características únicas de los transportes tipo Scoop. El objetivo central es proponer un diseño innovador de barricada de contención que minimice los riesgos de derrame de material pétreo y proteja tanto a los trabajadores como al entorno.

El estudio ofrece un enfoque integral, considero aspectos técnicos, operativos y de gestión en el desarrollo de la barricada de contención. La intersección entre la ingeniería, la seguridad laboral y la protección ambiental se explora para brindar soluciones prácticas y sostenibles. La relevancia de este trabajo reside en su potencial para reducir incidentes, mitigar costos asociados con derrames y mejorar la sostenibilidad en la minería a gran escala.

A través de este proyecto, se busca contribuir tanto al ámbito académico como a la industria minera, proporcionando recomendaciones concretas para mejorar las prácticas y los estándares en esta industria. El diseño propuesto de la barricada de contención busca equilibrar la productividad con la responsabilidad ambiental, lo que impactaría positivamente en la seguridad de los trabajadores y en la protección del medio ambiente en las operaciones mineras.

Palabras clave: Barricada de contención, Minería a gran escala, Seguridad laboral, riesgos ambientales, sostenibilidad, scoop.

ABSTRACT

The research is based on a multidisciplinary approach that combines safety engineering, structural design and environmental considerations. The factors influencing mining safety are examined and the unique characteristics of Scoop transports are analyzed. The central objective is to propose an innovative design of a containment barricade that minimizes the risks of spilling stone material and protects both workers and the environment.

The study offers a comprehensive approach, considering technical, operational and management aspects in the development of the containment barricade. The intersection between engineering, workplace safety and environmental protection is explored to provide practical and sustainable solutions. The relevance of this work lies in its potential to reduce incidents, mitigate costs associated with spills and improve sustainability in large-scale mining.

Through this project, we seek to contribute to both the academic field and the mining industry, providing concrete recommendations to improve practices and standards in this industry. The proposed design of the containment barricade seeks to balance productivity with environmental responsibility, which would positively impact worker safety and environmental protection in mining operations.

Keywords: Containment barricade, Large-scale mining Occupational safety, environmental risks, sustainability, scoop.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo contemporáneo, la industria minera desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y tecnológico de las naciones. Sin embargo, este progreso no está exento de desafíos, especialmente en lo que respecta a la seguridad laboral y la protección del medio ambiente. Uno de los aspectos más críticos en las operaciones mineras a gran escala es la extracción de material pétreo mediante equipos de transporte tipo cuchara. Estos vehículos especializados son esenciales para la eficiencia de las operaciones mineras, pero también conllevan riesgos significativos tanto para los trabajadores como para el entorno.

La seguridad en las operaciones mineras no se limita únicamente a la prevención de accidentes, sino que también abarca la mitigación de los posibles impactos ambientales adversos. En este contexto, el diseño de una barricada de contención específicamente adaptada para los transportes tipo Scoop se presenta como una solución crucial para minimizar los riesgos y consecuencias asociadas con los posibles derrames de material pétreo durante su desplazamiento y manipulación en zonas mineras.

La presente tesis se centra en abordar este desafío mediante un enfoque multidisciplinario que combina principios de ingeniería de seguridad, diseño estructural y tecnologías de contención ambiental. A lo largo de los siguientes capítulos, se explorarán los factores que influyen en la seguridad de las operaciones mineras, se analizarán las características y requerimientos específicos de los transportes tipo Scoop, y se propondrá un diseño innovador de barricada de contención que maximice la prevención de derrames y la protección tanto de los trabajadores como del ecosistema circundante.

Esta investigación no solo busca contribuir al ámbito académico y científico, sino también ofrecer recomendaciones prácticas a la industria minera en su búsqueda continua para alcanzar un equilibrio entre la productividad y la responsabilidad ambiental. La relevancia de este estudio radica en su potencial para reducir incidentes,

minimizar costos asociados con derrames y, en última instancia, mejorar la sostenibilidad y seguridad de las operaciones mineras a gran escala.

En los siguientes capítulos, se analizarán detalladamente los desafíos y oportunidades en la concepción y desarrollo de esta barricada de contención, considero tanto las características técnicas como los aspectos operativos y de gestión. La intersección entre la ingeniería, la seguridad laboral, se presenta como un terreno fértil para la innovación, y esta tesis aspira a contribuir de manera significativa a la mejora de las prácticas y estándares en la industria minera a nivel global.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La extracción de material pétreo en la minería a gran escala es una actividad crítica para el desarrollo económico, pero plantea desafíos significativos en términos de seguridad laboral y protección ambiental. Los transportes especializados, conocidos como "Scoop", desempeñan un papel esencial en estas operaciones, pero enfrentan dificultades sustanciales en cuanto a la prevención de derrames de material pétreo y la garantía de la seguridad de los trabajadores.

Estos transportes tipo cuchara deben operar en entornos peligrosos y con materiales pesados, lo que aumenta la probabilidad de derrames y accidentes laborales. Además, la falta de soluciones efectivas de contención de derrames específicas para estos equipos agrega un elemento de riesgo adicional a la operación minera. Por lo tanto, la situación problemática radica en la necesidad de abordar de manera efectiva y segura los riesgos de derrame de material pétreo y los problemas de seguridad asociados con los transportes tipo cuchara en la minería a gran escala.

Esta tesis se enfoca en diseñar una barricada de contención específicamente adaptada a estos transportes para mitigar los riesgos de derrames y mejorar la seguridad laboral y ambiental en las operaciones mineras. La situación problemática se centra en encontrar una solución integral que combine ingeniería de seguridad, diseño estructural y consideraciones ambientales para lograr un equilibrio entre la productividad y la responsabilidad ambiental en el contexto de la minería a gran escala.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo abordar de manera efectiva los riesgos laborales y asociados con las barricadas de transportes tipo cuchara en la minería a gran escala, con el propósito de garantizar la seguridad de los trabajadores y prevenir derrames de material mineralizado durante las operaciones mineras?

2.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a. ¿Cuáles son los parámetros iniciales necesarios para el diseño de una barricada de contención adecuada para maquinaria minera pesada, y cómo se pueden establecer para garantizar la aplicabilidad de la misma?
- b. ¿Cuáles son las alternativas de materiales que pueden utilizarse en el diseño de la barricada de contención para maquinaria minera pesada, y cómo pueden aumentar la confiabilidad del diseño?
- c. ¿Cuál es el tiempo de vida estimado de los diseños propuestos de la barricada de contención, y cómo se puede garantizar una dinámica segura de trabajo durante ese período?
- d. ¿Cuáles son los principales riesgos laborales a los que se enfrentan los operadores de transportes tipo cuchara en la minería a gran escala, y cómo pueden mitigarse de manera efectiva?

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

La industria minera, como pilar del desarrollo económico, ha impulsado avances tecnológicos y prácticas innovadoras para garantizar la eficiencia y la seguridad en sus operaciones. En este contexto, el diseño de soluciones de contención para maquinaria tipo Scoop en la extracción de material pétreo en minería a gran escala ha sido objeto de atención y esfuerzos de investigación. El presente estado del arte resume las contribuciones más relevantes en esta área, contextualizó los avances y las tendencias actuales en la prevención de derrames y la seguridad en la operación de estos equipos.

3.1 MINERÍA A GRAN ESCALA

La minería a gran escala, como un componente fundamental del desarrollo económico global, ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas. Este capítulo se adentra en el desarrollo histórico de la minería a gran escala y analiza los desafíos que esta industria enfrenta en la actualidad. Además, se explora cómo estos desafíos han impulsado la necesidad de abordar aspectos críticos como la seguridad laboral y la protección ambiental. En la Figura 1 se muestra la minera Lundin Gold fruta del norte donde se va a desarrollar este proyecto

Figura 1

Minera Lundin Gold Inc.



Nota. Adaptado de Torres, W. (2021). Lundin Gold. [Fotografía]. Primicias.
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/lundin-gold-oro-mineria-ecuador/>

3.1.1 MINA LUNDIN GOLD EL SECTOR FRUTA DEL NORTE

Lundin Gold es una compañía minera canadiense que opera en el sector de la minería de metales preciosos. Su principal activo es la mina Fruta del Norte, ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, en el sureste de Ecuador.

La ubicación de la mina Fruta del Norte está ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, en la cordillera de los Andes, cerca de la frontera con Perú.

(Sánchez y Cisneros, 2018)

La principal operación de la mina que es la extracción y procesamiento de minerales preciosos ha generado empleo en la región, contribuyendo al desarrollo económico local. La minería a gran escala suele requerir diversos roles, como ingenieros, geólogos, operadores de maquinaria, personal administrativo, entre otros.

Una de la característica de Fruta del Norte es uno de los yacimientos de oro más grandes del mundo. La mina tiene reservas significativas de oro y plata. La extracción se realiza utilizando métodos convencionales de minería a tajo abierto y procesos de lixiviación para recuperar los metales preciosos.

Con Inversión y Desarrollo la explotación de la mina ha involucrado una considerable inversión en infraestructura, equipo y tecnología. El desarrollo de la mina implica no solo la extracción del mineral, sino también la implementación de medidas ambientales y sociales para minimizar el impacto en la comunidad y el entorno.

3.2 DESARROLLO DE MINERÍA A GRAN ESCALA

La minería ha sido una actividad humana esencial durante siglos, impulso la extracción de minerales y recursos que han alimentado el progreso industrial y tecnológico. Con el advenimiento de la Revolución Industrial, la demanda de minerales creció exponencialmente, llevó a la expansión de la minería a gran escala en todo el mundo. Esta expansión ha sido acompañada por mejoras en la tecnología de extracción, maquinaria y técnicas de procesamiento, lo que ha permitido una mayor eficiencia en la obtención de recursos.

(Sánchez y Cisneros, 2018)

3.3 DESAFÍOS ACTUALES DE LA MINERÍA A GRAN ESCALA

A pesar de los avances tecnológicos y el crecimiento económico que la minería a gran escala ha brindado a muchas naciones, esta industria no está exenta de desafíos significativos. Uno de los desafíos más apremiantes es la seguridad laboral. Según estudios recientes, los accidentes y lesiones en la minería a gran escala siguen siendo una preocupación importante (Romero, Smith, Mendoza, Méndez., 2013). La exposición a entornos peligrosos, maquinaria pesada y condiciones climáticas extremas contribuyen a un riesgo considerable para los trabajadores mineros.

Además de los riesgos laborales, la minería a gran escala enfrenta críticas relacionadas con su impacto ambiental. La extracción y el procesamiento de minerales pueden resultar en la degradación del suelo, la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. (Cumbicus, 2022). La necesidad de abordar estos impactos ambientales y adoptar prácticas más sostenibles ha ganado terreno en el discurso global sobre la minería.

(Gómez, 2020).

3.4 LA INTERSECCIÓN CON LA PREVENCIÓN DE DERRAMES Y LA BARRICADA DE CONTENCIÓN

La prevención de derrames y la protección del medio ambiente en la minería a gran escala se han vuelto prioridades cruciales para la industria. La implementación de medidas preventivas, como el diseño de barricadas de contención, busca mitigar los posibles impactos negativos de los derrames de materiales durante las operaciones mineras. Esta necesidad de proteger el entorno y los recursos naturales ha llevado a una mayor investigación y desarrollo en soluciones de contención y prevención.

(García y Saavedra, 2018)

3.5 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD EN LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO

La extracción de material pétreo, dentro de la minería, conlleva consideraciones importantes en términos de seguridad tanto para los trabajadores como para el medio ambiente. Para seguir estructurando el proyecto vamos a tener consideraciones clave dentro del ambiente laboral en donde se va utilizar la barricada:

3.5.1 RIESGOS LABORALES EN OPERACIONES MINERAS

La extracción de material pétreo en minería a gran escala conlleva riesgos sustanciales para la seguridad de los trabajadores. Los operadores de maquinaria, como los transportes tipo Scoop, están expuestos a una variedad de peligros que incluyen colisiones, vuelcos y atrapamientos. Además, las condiciones de trabajo extremas, como la presencia de polvo, ruido y vibraciones, pueden tener un impacto en la salud y el bienestar de los trabajadores. (Cumbicus, 2022).

3.5.2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Para abordar los riesgos laborales en la extracción de material pétreo, se han implementado diversas medidas de prevención y mitigación. Esto incluye la capacitación adecuada de los trabajadores, la implementación de protocolos de seguridad y el uso de equipo de protección personal. Sin embargo, es crucial reconocer que la prevención no debe limitarse a la respuesta a incidentes; También debe incorporar un enfoque proactivo que anticipe y mitigue posibles peligros.

3.5.3 TECNOLOGÍA EN LA MEJORA DE SEGURIDAD

La tecnología ha desempeñado un papel fundamental en la mejora de la seguridad en las operaciones mineras. Sistemas de detección de colisiones, monitoreo en tiempo real y tecnologías de control automatizado están siendo implementadas para reducir los

riesgos para los trabajadores y prevenir situaciones potencialmente peligrosas (Romero et al.,2013). Estas innovaciones han demostrado su capacidad para mejorar la eficacia operativa al tiempo que reduce los riesgos.

3.5.4 RELACIÓN CON LA BARRICADA DE CONTENCIÓN

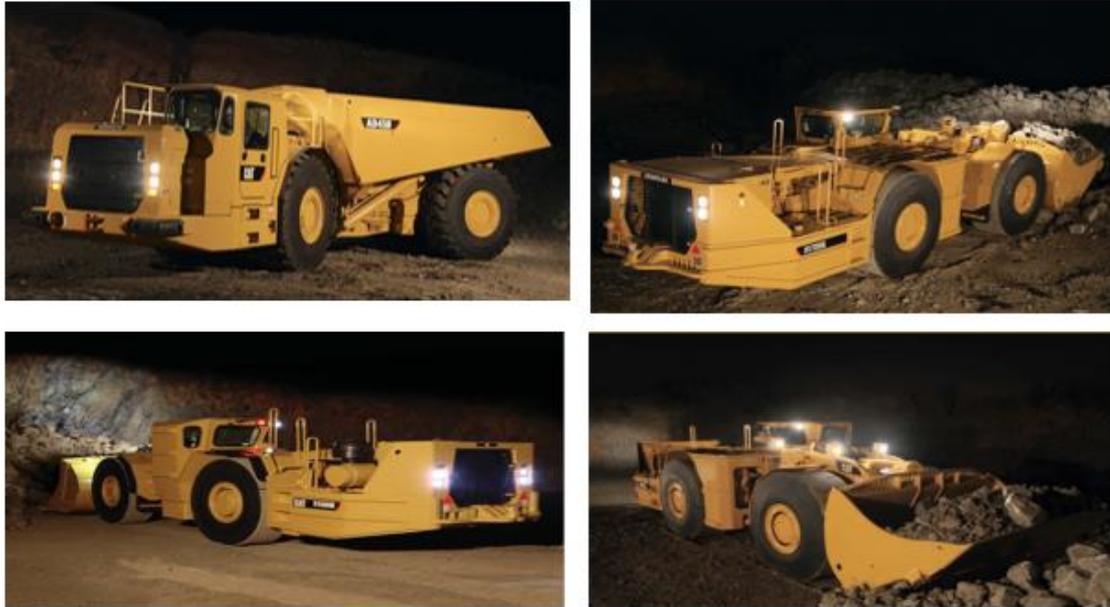
La necesidad de prevenir derrames de material pétreo durante las operaciones mineras se alinea con los objetivos de seguridad laboral. La implementación de una barricada de contención específica para los transportes tipo Scoop se considera un paso importante en la prevención de derrames y la reducción de riesgos. La barricada actúa como una medida preventiva adicional, evitó que los derrames se propaguen y minimizando la posibilidad de accidentes derivados de la presencia de materiales sueltos en el entorno minero.

3.6 TRANSPORTES TIPO SCOOP EN MINERÍA: CARACTERÍSTICAS Y RIESGOS

Para realizar los primeros dibujos de barricadas a utilizar y hacer pruebas se debe saber cuáles son los vehículos y sus características para detener dentro de la empresa minera en este caso son: Caterpillar AD45B, Caterpillar R1600H, Caterpillar R1700G, Caterpillar R2900G como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Caterpillar AD45B, Caterpillar R1700G, Caterpillar R2900G



Nota. Adaptado de Caterpillar AD45B, Caterpillar R1700G, Caterpillar R2900G [Fotografía], por Caterpillar. <https://www.caterpillar.com/>

Con esta información se debe de explicar cómo están fabricados estos vehículos: diseño del bastidor, el bastidor utiliza un diseño de sección en caja, con anchas vigas, para resistir las fuerzas de torsión. Los materiales y las soldaduras se adaptan para optimizar la vida útil de la estructura (Copco, A. 2006) Enganche articulado/oscilante, este sistema posibilita la dirección y la oscilación, al tiempo que permite que el camión mantenga todas sus ruedas en contacto con el suelo en terreno irregular. (Rautenstrauch, 2014). Sistema de suspensión con dos cilindros de suspensión de rebote variable independiente, absorben las fuerzas del camino de acarreo para una mayor vida útil del bastidor y un desplazamiento más cómodo; la seguridad del producto Caterpillar ha sido y continúa siendo proactiva en el desarrollo de máquinas de minería que cumplen o exceden los estándares de seguridad que es Parte integral de los diseños de todas las máquinas y sistemas, con Interruptor de parada del motor, más un interruptor secundario de parada del motor ubicado a nivel del suelo. (Carter, 2014).

Brackenbury, J. (1997), describe la cabina ROPS integral que es integrada con la cabina y el bastidor, la estructura ROPS utiliza un montaje amortiguado en el bastidor para

aislar al operador de la vibración y proporcionar un desplazamiento más confortable. Sistemas de frenos enfriados por aceite en las cuatro ruedas proporciona un excelente control. Los frenos de servicio y el sistema de retardo se activan y modulan mediante presión hidráulica, mientras que la función de freno de estacionamiento se aplica por resorte y se libera hidráulicamente, este sistema asegura el frenado en caso de pérdida de presión hidráulica. Sistema de presencia del operador conecta automáticamente el freno de estacionamiento, neutraliza la dirección, el implemento y el control de la transmisión, y apaga el motor si el operador no conecta el freno de estacionamiento antes de salir de la cabina.

Las características estándar de seguridad como superficies antideslizantes, pasamanos en la plataforma superior, tres puntos de acceso a la cabina y a la máquina, vidrio de seguridad de empuje hacia afuera, excelente visibilidad, asiento de suspensión, asiento para el instructor/acompañante, cinturones de seguridad retráctiles con carrete inercial, bloqueo del bastidor de dirección, protector de ventana trasera, pasadores de sujeción de caja, control automático del retardador, estándares de revestimiento de tubos de calor y mampara resistente al fuego, mangueras de enganche hidráulico – mangas de protección contra estallidos incorporadas, pasadores de retención de la compuerta de cola (caja expulsora), salida alternativa a través de las ventanas, compartimento de la mirilla al nivel de la tierra, Partes laterales fría y caliente del motor.(Robles,2018).

3.7 SOLIDWORKS COMO SOFTWARE DE MODELADO

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) utilizado para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo de un producto o análisis de sistemas.

En el ámbito del diseño y la ingeniería, la creación de barreras de contención eficientes y seguras requiere herramientas avanzadas que permitan la visualización precisa y la evaluación detallada de los modelos. SolidWorks, un software líder en el diseño asistido por computadora (CAD), se destaca como una herramienta invaluable en este proceso. Esta introducción explora la relevancia y beneficios de SolidWorks como software de

modelado específicamente diseñado para la concepción y perfeccionamiento de barricadas de contención.

SolidWorks ofrece un entorno virtual donde los ingenieros pueden modelar barricadas de contención con una precisión excepcional. La capacidad de crear formas complejas y detalladas permite una representación fiel de las estructuras, asegurando que cada componente sea diseñado con la exactitud necesaria para cumplir con los estándares de seguridad.

Las simulaciones y análisis estructurales avanzados, proporcionando a los ingenieros la capacidad de evaluar el rendimiento de las barricadas bajo diferentes escenarios y cargas. Esto garantiza que las estructuras diseñadas cumplan con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos.

Este programa facilita la colaboración eficiente entre equipos de diseño y fabricación. La capacidad de compartir modelos en tiempo real y recibir comentarios instantáneos permite una iteración rápida y mejora continua del diseño. El software ofrece herramientas de optimización que permiten a los ingenieros explorar diferentes configuraciones y materiales para maximizar la eficiencia y la funcionalidad de las barricadas de contención. Esto contribuye a la creación de diseños más efectivos y económicos. SolidWorks facilita la creación de documentación completa del diseño, incluyendo planos detallados, listas de materiales y otros documentos esenciales para la fabricación y la instalación. Esto asegura una transición fluida desde el diseño conceptual hasta la implementación práctica. (Hietikko,2023).

3.8 BARRICADAS DE CONTENCIÓN UTILIZADAS EN MINERÍA

En el contexto de la minería, las barricadas de contención pueden referirse a estructuras o medidas diseñadas para contener o controlar situaciones específicas en una mina. En estas pueden existir algunos tipos como: Barricadas para Control de Acceso que, en el ámbito de la seguridad, las barricadas pueden referirse a barreras físicas o controles de acceso utilizados para restringir la entrada a áreas específicas de una mina. Estas barricadas pueden estar diseñadas para prevenir el acceso no autorizado a áreas peligrosas o para garantizar que solo personal autorizado pueda ingresar.

Las barricadas en caso de emergencia que, en situaciones de emergencia, como explosiones, derrumbes u otros eventos peligrosos, las barricadas pueden utilizarse para contener o limitar la propagación de daños. Estas barricadas podrían ser temporales y diseñadas para mantener a las personas a salvo o para evitar la propagación de materiales peligrosos, las barricadas en operaciones de mina a cielo abierto: En minas a cielo abierto, donde se extraen minerales de una gran extensión de terreno, es posible que se utilicen barricadas como parte de las medidas de seguridad para delimitar áreas específicas de trabajo y prevenir accidentes y las barricadas para control de fluidos En operaciones mineras que son especialmente aquellas que involucran líquidos o sustancias químicas, las barricadas pueden utilizarse para controlar y contener fluidos, evitando derrames y minimizando los riesgos ambientales. (Bolaños, 2023)

En nuestro caso vamos a utilizar una barricada específica que se utilizan en la minería en la de detención de maquinaria, que se llama barricada para zonas de descarga segura.

3.9 BARRICADA PARA ZONA DE DESCARGA SEGURA.

La seguridad en operaciones mineras es una prioridad fundamental para salvaguardar la integridad de los trabajadores y garantizar la eficiencia de las operaciones. En este contexto, el diseño de barricadas para zonas de descarga segura desempeña un papel crucial en la prevención de accidentes y en la creación de entornos de trabajo seguros y controlados. La descarga de material pétreo, una fase esencial en la cadena de extracción y procesamiento requiere una planificación meticulosa y medidas específicas para mitigar riesgos asociados con el movimiento de vehículos pesados y la interacción en áreas de trabajo, destacando su importancia en la creación de zonas de descarga segura en operaciones mineras. Desde la delimitación clara de áreas hasta la implementación de tecnologías de seguridad, cada aspecto del diseño de barricadas contribuye a optimizar la seguridad y eficiencia en este crucial proceso minero.

(Tapia, 2017)

Dentro de los materiales que se ha realizado los estudios en este proyecto se detallaran a continuación:

3.9.1 HORMIGÓN ARMADO

En el ámbito de la seguridad, las barreras de contención desempeñan un papel crucial al proporcionar protección y mitigar riesgos asociados con accidentes de tráfico. Entre las diversas opciones disponibles, la barrera de contención de hormigón armado destaca por su resistencia y capacidad para resistir impactos significativos. Esta introducción explora los fundamentos y las características clave de las barreras de contención de hormigón armado, destacando su importancia en la seguridad y protección de la infraestructura. Desde su diseño robusto hasta su capacidad de absorción de energía, estas barreras se han convertido en componentes esenciales para la gestión de riesgos en detención de maquinaria. (Donini y Orlor, 2021).

3.9.2 CAUCHO

En el panorama de la seguridad vial y la gestión de riesgos, la innovación ha llevado al desarrollo de soluciones que buscan no solo eficacia sino también sostenibilidad. En este contexto, la barrera de contención de caucho emerge como una alternativa versátil y eco amigable para la protección en detención de maquinaria. El caucho reciclado o reutilizado se convierte en un componente esencial, no solo por su capacidad para absorber impactos, sino también por su contribución a la reducción de desechos y al impulso de prácticas más sostenibles. Se ha desarrollado las características distintivas y la relevancia de las barreras de contención de caucho en el contexto de la utilidad de material en el entorno minero y la sostenibilidad ambiental. (Chávarri y Falen, 2020).

3.9.3 BARRERA DE POLYETHERETHERKETONE (PEEK)

En el ámbito de la ingeniería avanzada y la seguridad estructural, las barreras de contención desempeñan un papel fundamental para salvaguardar vidas y proteger infraestructuras críticas. Una innovación destacada en este campo es la utilización de materiales de alta tecnología, y entre ellos, el Polyetheretherketone (PEEK) ha surgido como un material excepcionalmente resistente y versátil. Esta introducción se centra en explorar las características únicas y la aplicabilidad de las barreras de contención fabricadas con PEEK. Desde su resistencia a condiciones extremas hasta su capacidad

para absorber impactos de manera eficiente, las barreras de PEEK representan una evolución significativa en la búsqueda de soluciones de seguridad de vanguardia.

(Rigby,2020).

3.9.4 BARRERAS DE ACERO

las barreras de contención de acero destacan por su robustez, durabilidad y capacidad para resistir impactos significativos. Esta introducción explora los fundamentos y las características clave de las barreras de contención de acero, resaltando su importancia en la mitigación de riesgos en entornos viales y la preservación de la integridad de la infraestructura. Desde su diseño estructural hasta su capacidad de absorción de energía, las barreras de acero han demostrado ser elementos esenciales para la seguridad en las carreteras y áreas urbanas. En un entorno donde la eficiencia operativa es esencial, las barreras de acero requieren un mantenimiento mínimo mientras ofrecen un rendimiento máximo. Su resistencia a la corrosión y durabilidad a largo plazo las convierte en una inversión sólida para la seguridad continua en operaciones mineras.

3.9.5 BARRERA DE TIERRA Y ROCAS

Las barreras de tierras y rocas son una forma efectiva de detener la maquinaria tipo scoop en entornos mineros. Estas barreras se construyen con el propósito de detener vehículos pesados, como los scoop, en caso de que pierdan el control o se desplacen fuera de su ruta prevista proporcionando una capa adicional de seguridad para proteger tanto a los trabajadores como a la infraestructura. Su diseño resistente, capacidad de absorción de impactos y adaptabilidad las convierten en una opción para tener en cuenta a la hora de la seguridad en la industria minera.

4 MATERIALES Y METODOLOGÍA

La presente investigación se enfoca en abordar estos desafíos mediante un enfoque multidisciplinario que combina la ingeniería de seguridad, el diseño estructural y las consideraciones ambientales. Esta sección introductoria tiene como objetivo proporcionar una visión general de la metodología que se realizó para el diseño y evaluación de la barricada de contención específica para maquinaria tipo Scoop.

4.1 DISEÑO DE BARRICADAS DE CONTENCIÓN PARA EQUIPOS MINEROS

La necesidad de prevenir derrames y garantizar la seguridad en la minería ha impulsado investigaciones que abordan el diseño de barricadas de contención específicas para equipos mineros. Estudios previos, destacó la importancia de la adaptación del diseño a las características únicas de la maquinaria utilizada. Estos trabajos resaltan la necesidad de considerar aspectos como la resistencia estructural, la facilidad de instalación y el mantenimiento, así como la capacidad de contener derrames de manera efectiva.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS Y NORMATIVAS

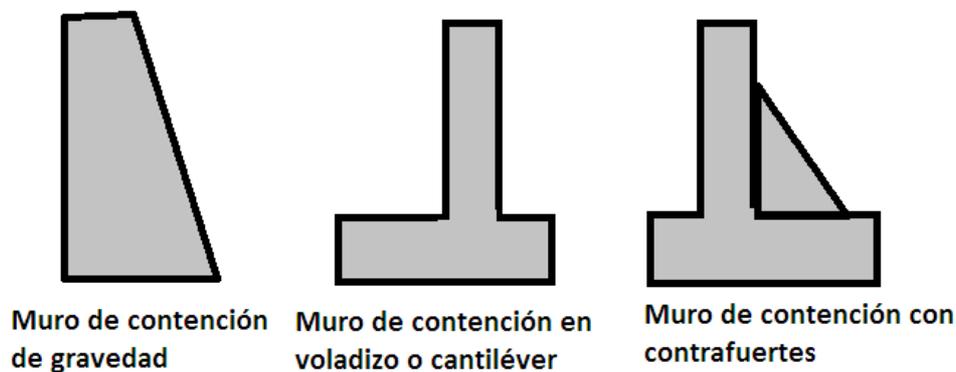
En el diseño de barricadas de contención para equipos mineros es fundamental garantizar la seguridad en el lugar de trabajo y prevenir accidentes graves. Estas barricadas están diseñadas para contener y proteger contra posibles riesgos, como el deslizamiento de rocas, derrumbes, caída de equipos o materiales, entre otros. Aquí hay algunos de los requerimientos y normativas claves a considerar en el diseño de barricadas de contención para equipos mineros:

4.2.1 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO DE BARRICADA DE CONTENCIÓN.

La identificación precisa y exhaustiva de los requisitos del diseño es esencial para el éxito de cualquier solución de prevención de derrames en la minería a gran escala. Estos requisitos abarcan una variedad de aspectos que deben ser considerados en el diseño de la barricada de contención. Entre ellos se encuentran la capacidad de contención adecuada para el Volumen de material manejado por los transportes tipo Scoop, la resistencia estructural para soportar impactos y cargas, la facilidad de instalación y mantenimiento, la compatibilidad con el equipo existente y la adaptabilidad a diferentes condiciones operativas. y geográficas. La creación de diseños ingenieriles de barricadas busca proporcionar soluciones efectivas para gestionar las necesidades de la detención de maquinaria pesada tipo scoop y garantizar la estabilidad de terrenos en diversas condiciones, en la Figura 3 se presenta las formas más básicas de muros de contención. (Bautista, 2020).

Figura 3

Muro de contención



Nota. Adaptado de muro de contención [Fotografía], por Geotecnia y Mecánica suelos.

<https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/>

A continuación, se detallará una lista específica de las necesidades que debemos tomar en cuenta para el diseño de la barricada debido a las condiciones especiales en donde tendrá su trabajo:

- **Capacidad de Contención Específica:** La barricada debe estar diseñada para contener de manera eficiente el material pétreo específico que se maneja en las operaciones de la mina Lundin Gold en el sector Fruta del Norte.
 - **Compatibilidad con Equipos Lundin Gold:** La barricada debe ser perfectamente compatible con los vehículos tipo pala utilizados en la mina Lundin Gold, considerando sus dimensiones y sistemas de operación.
 - **Cumplimiento Normativo Local y de Lundin Gold:** La barricada debe ser perfectamente compatible con los vehículos tipo pala utilizados en la mina Lundin Gold, se consideró sus dimensiones y sistemas de operación.
 - **Adaptabilidad a las Condiciones de Fruta del Norte:** La barricada debe ser diseñada teniendo en cuenta las condiciones específicas del sector Fruta del Norte, incluyendo las variaciones de terreno, clima y topografía.
 - **Resistencia a Condiciones Extremas:** Dado que la región puede experimentar condiciones climáticas variadas, la barricada debe ser resistente a lluvias intensas, temperaturas extremas y otros factores climáticos adversos.
 - **Instalación y Mantenimiento en el Entorno Lundin Gold:** La instalación y el mantenimiento de la barricada deben ser prácticos y eficientes en el entorno de la mina, minimizando el tiempo de inactividad.
 - **Visibilidad Óptima para Operadores Lundin Gold:** La barricada no debe afectar la visión de los operadores de los vehículos tipo Scoop de Lundin Gold, asegurando que maniobrar puedan con seguridad.
 - **Seguridad del Personal Lundin Gold:** La barricada debe garantizar la seguridad de los trabajadores de Lundin Gold, minimizando los riesgos de derrames y accidentes relacionados con el material mineralizado.
 - **Durabilidad en el entorno Lundin Gold:** Dado el entorno minero, la barricada debe ser resistente al desgaste, la vibración y otros desafíos presentes en las operaciones de Lundin Gold.
 - **Mantenimiento Mínimo:** La barricada debe ser diseñada para requerir un mantenimiento mínimo, reduciendo la necesidad de interrupciones en las operaciones de Lundin Gold.
- (Guamunshi, Banshuy 2024).

4.3 NORMATIVAS Y REGULACIONES DE SEGURIDAD MINERA Y AMBIENTAL

La minería a gran escala está sujeta a un conjunto de normativas y regulaciones tanto en términos de seguridad laboral como de protección ambiental. Estas normativas varían según la región y la jurisdicción, pero su propósito es establecer estándares y directrices para garantizar la seguridad de los trabajadores y la minimización del impacto ambiental. En este sentido, es esencial que el diseño de la barricada de contención se ajuste a las regulaciones vigentes en la industria minera para garantizar la operación segura y sostenible de los transportes tipo Scoop y la prevención de derrames, cumpliendo con la norma DS N°024-2016-EM Reglamento de Seguridad Y Salud Ocupacional en Minería.

En la industria minera, las leyes y regulaciones son esenciales para regular la extracción de recursos naturales. Este capítulo se centra las obligaciones de los propietarios de minas, particularmente las establecidas en el Capítulo 4 de la legislación ecuatoriana vigente. Este título es esencial para delinear las responsabilidades específicas de los poseedores de minerales. Comprender y cumplir estas obligaciones es fundamental para la viabilidad económica, la sostenibilidad ambiental y la equidad social a medida que aumenta la demanda de minerales estratégicos. Este apartado cubre diferentes aspectos del Capítulo 4, desde deberes básicos hasta deberes más especializados, como seguridad ocupacional y medidas de gestión ambiental. Su objetivo es proporcionar una visión integral de las responsabilidades de los propietarios de minas y pretende promover prácticas responsables y sostenibles en esta área crítica del desarrollo humano. (Vargas, 2020).

4.3.1 MARCO LEGAL Y NORMATIVAS LOCALES

La operación minera de Lundin Gold en el sector Fruta del Norte se encuentra sujeta a un marco legal que regula la seguridad de las operaciones mineras y la protección ambiental en la región de Zamora. Este marco legal incluye regulaciones emitidas por las autoridades mineras y ambientales locales, que establecen estándares para la prevención de accidentes laborales, la gestión de riesgos y la minimización del impacto ambiental. Cumpliendo con las siguientes referencias y normas, así como lo dice el artículo 68 de la Ley Minera Ecuatoriana:

- *Art. 68.- Seguridad e higiene minera-industrial.- Los titulares de derechos mineros tienen la obligación de preservar la salud mental y física y la vida de su personal técnico y de sus trabajadores, aplicando las normas de seguridad e higiene minera-industrial previstas en las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes, dotándoles de servicios de salud y atención permanente, además, de condiciones higiénicas y cómodas de habitación en los campamentos estables de trabajo, según planos y especificaciones aprobados por la Agencia de Regulación y Control Minero y el Ministerio de Trabajo y Empleo. Los concesionarios mineros están obligados a tener aprobado y en vigencia un Reglamento interno de Salud Ocupacional y Seguridad Minera, sujetándose a las disposiciones al Reglamento de Seguridad Minera y demás Reglamentos pertinentes que para el efecto dictaren las instituciones correspondientes. (Ley Minería Ecuador, 2009).*
Cumplimiento de estándares de Lundin Gold

Además de las regulaciones locales, la Mina Lundin Gold tiene estándares y políticas internas que definen los requisitos de seguridad y sostenibilidad. Es importante que el diseño de la barricada de contención cumpla con estos estándares para asegurar una operación armonizada con la filosofía de seguridad y responsabilidad ambiental de Lundin Gold.

Las regulaciones son:

- *Comprometerse a lograr daño cero. Nos esforzamos por garantizar que la salud y la seguridad de nuestros empleados y contratistas sean lo primero y lo más importante en todo lo que hacemos. Como líder en salud y seguridad, Lundin Gold promueve el bienestar de las personas en nuestras comunidades anfitrionas.*
- *Identificar y tomar medidas para reducir el potencial de accidentes y situaciones de emergencia, e implementar planes de respuesta a emergencias para proteger la salud y seguridad de nuestros trabajadores, contratistas, el público y el medio ambiente. (Lundin Gold, 2017)*

En Salud y Seguridad:

- ***Comprometidos con el daño cero:*** *Lundin Gold está comprometido a tener una sólida cultura de salud y seguridad en nuestras operaciones y en las comunidades locales. Nos esforzamos por lograr cero daños mediante medidas eficaces de prevención y respuesta. Con ello buscamos ser un referente positivo en prácticas de seguridad en la industria minera ecuatoriana. Priorizamos la dotación de recursos, la gestión, la innovación continua y el seguimiento de la eficacia de nuestros sistemas y prácticas de salud y seguridad.*
- ***Fomento de una cultura de prevención de accidentes y lesiones:*** *Nuestras prácticas de salud y seguridad cumplen con estándares internacionales y están impulsadas por nuestro Principio Fundamental de Trabajo Seguro y nuestra Política de Minería Responsable. A través de la implementación de múltiples iniciativas, como las Reglas de Oro y el Programa de Liderazgo Visible, buscamos fomentar continuamente una cultura de prevención de accidentes y lesiones. Fomentamos y potenciamos el liderazgo en seguridad en la fuerza laboral y brindamos capacitación a supervisores, empleados y contratistas. Además, el programa "Go/No-Go" es un componente vital de nuestro sistema de gestión de riesgos críticos que permite a los trabajadores decir "no" si se les pide que realicen cualquier actividad de riesgo crítico sin contar con los controles adecuados establecidos de acuerdo con procedimientos establecidos. Lundin Gold se centra en mitigar los riesgos y se compromete a implementar controles y*

operar de manera segura. Eche un vistazo a nuestro Informe de Sostenibilidad donde se analizan estas iniciativas con más detalle.

- **Salud ocupacional:** *una máxima prioridad: Lundin Gold está comprometido a promover la salud mental y el bienestar como parte de nuestros programas de salud ocupacional. Con la aparición del COVID-19 y sus desafíos asociados, se lanzó la iniciativa “Cuidémonos para estar bien”. Este programa de bienestar tiene como objetivo apoyar la salud mental de los empleados, a través de consultas directas, grupos de apoyo y seminarios web. También proporcionamos acceso a trabajadores sociales. A través de este apoyo, buscamos fomentar un ambiente de trabajo positivo y cuidar la salud mental de todos los empleados. lugar de acuerdo con los procedimientos establecidos. Lundin Gold se centra en mitigar los riesgos y se compromete a implementar controles y operar de manera segura. Eche un vistazo a nuestro Informe de Sostenibilidad donde se analizan estas iniciativas con más detalle. (Lundin Gold, 2017)*

Es así como todos los operadores de equipos scoop deberán contar con la autorización vigente de operación de equipos en interior mina según los estándares de seguridad de la operación:

- Orden de trabajo debidamente rellena y firmada por todos los involucrados.
- Chequeo de lista de equipo a operar.
- Chequeo de lista de labor.
-

4.3.2 RECOPIACIÓN DE DATOS

Los vehículos a utilizados en la mina para lo cual se diseñó la barricada son:

- Camión Articulado Caterpillar AD45B.
- Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H.

- Cargador Subterráneo Caterpillar R1700G
- Cargador Subterráneo Caterpillar R2900G.

4.3.3 CAMIÓN ARTICULADO CATERPILLAR AD45B.

En la siguiente Figura, se muestra un camión articulado usado en minería a gran escala, principalmente subterráneo.

Figura 4

Camión articulado Caterpillar AD45B.



Nota. Adaptado de Camión Articulado Caterpillar AD45B. [Fotografía], por Caterpillar.

<https://www.caterpillar.com/>

Tabla 1

Especificaciones del Camión Articulado Caterpillar AD45B.

Caterpillar AD45B		
Dimensiones	Longitud	10,92 metros
	Ancho	2,63 metros
	Altura	3,33 metros (con la cabina)
Peso	Peso en vacío	Aproximadamente 23.500 kg
	Peso máximo de carga	Hasta 45.000 kg
Capacidad de carga	Volumen de la caja	19,4 metros cúbicos
	Capacidad máxima de carga	45 toneladas
Sistema de Frenos	Frenos de servicio	Discos en las ruedas delanteras
	Frenos de estacionamiento	Freno multidisco en el eje de salida
Motorización	Motor	Caterpillar C18 ACERT
Neumáticos	Tamaño de los neumáticos	29.5R25
Suspensión	Suspensión delantera	Eje rígido

Potencia	535 caballos de fuerza (400 kW) a 1.900 rpm
Transmisión	Automática de seis velocidades

4.3.4 CARGADOR SUBTERRÁNEO CATERPILLAR R1600H.

En la siguiente Figura se muestra un cargador subterráneo Caterpillar modelo R1600H, tipo scoop.

Figura 5

Cargador subterráneo Caterpillar R1600H



Nota. Adaptado de Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H. [Fotografía], Caterpillar <https://www.caterpillar.com/>

Tabla 2

Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H

Caterpillar R1600H		
Dimensiones	Longitud	9,87 metros
	Ancho	2,65 metros
	Altura	2,92 metros (con la cabina)
Peso	Peso en vacío	Aproximadamente 24.295 kg
	Peso máximo de carga	Hasta 31,751 kg
Capacidad de carga	Volumen de la caja	10,8 metros cúbicos
	Capacidad máxima de carga	13,6 toneladas
Sistema de Frenos	Frenos de servicio	Discos en las ruedas delanteras
	Frenos de estacionamiento	Freno multidisco
Motorización	Motor	Caterpillar C11 ACERT
	Potencia	257 kW (345 CV) a 1.700 rpm
Neumáticos	Tamaño de los neumáticos	20.5 R25
Suspensión	Suspensión delantera	Eje rígido
Transmisión	Automática de seis velocidades	

4.3.5 CARGADOR SUBTERRÁNEO CATERPILLAR R1700G

En la siguiente Figura se muestra un cargador subterráneo Caterpillar modelo R1700H, tipo scoop.

Figura 6

Cargadora minera subterránea Caterpillar r1700G



Nota. Cargadora Minera Subterránea Caterpillar r1700G. [Fotografía], Caterpillar <https://www.caterpillar.com/>

Tabla 3

Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H

Caterpillar R1700G		
Dimensiones	Longitud	9,89 metros
	Ancho	2,72 metros
	Altura	2,95 metros (con la cabina)
Peso	Peso en vacío	Aproximadamente 24.494 kg
	Peso máximo de carga	Hasta 28.750 kg
Capacidad de carga	Volumen de la caja	9,6 metros cúbicos
	Capacidad máxima de carga	15,5 toneladas
Sistema de Frenos	Frenos de servicio	Discos en las ruedas delanteras
	Frenos de estacionamiento	Freno multidisco en el eje de salida
Motorización	Motor	Caterpillar C13 ACERT
	Potencia	287 kW (385 CV) a 2.000 rpm
Neumáticos	Tamaño de los neumáticos	26.5 R25
Suspensión	Suspensión delantera	Eje rígido con muelles helicoidales y amortiguadores
	Suspensión trasera	Eje rígido con muelles helicoidales y amortiguadores
Capacidad de combustible	Capacidad del tanque de combustible	353 litros
Transmisión	Automática de seis velocidades	
Velocidad Máxima	Aproximadamente 50 km/h	

Características adicionales

- Diseñado para operaciones subterráneas en minas.
- Cabina ergonómica y segura para el operador.

4.3.6 CATERPILLAR R2900G

En la siguiente figura se muestra un cargador subterráneo Caterpillar modelo R2900G, tipo scoop.

Figura 7

Cargador bajo perfil Caterpillar R2900G



Nota. Cargador Bajo Perfil Caterpillar R2900G. . [Fotografía], Caterpillar
<https://www.caterpillar.com/>

Tabla 4

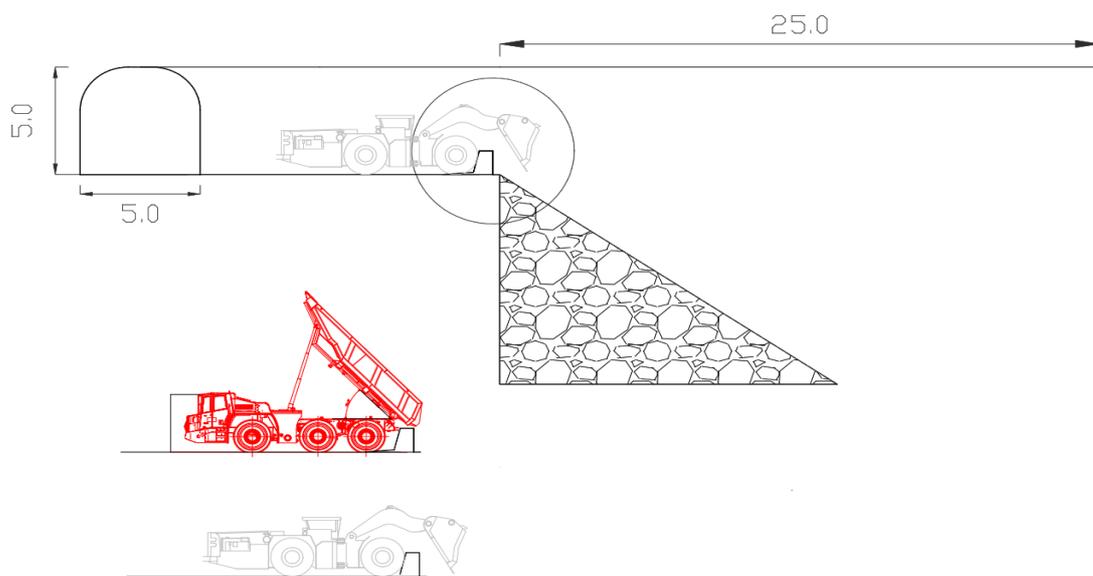
Cargador Subterráneo Caterpillar R1600H

Caterpillar R2900G		
Dimensiones	Longitud	10,86 metros
	Ancho	2,68 metros
	Altura	3,07 metros (con la cabina)
Peso	Peso en vacío	Aproximadamente 35.946 kg
	Peso máximo de carga	Hasta 42.000 kg
Capacidad de carga	Volumen de la caja	12,3 metros cúbicos
	Capacidad máxima de carga	18 toneladas
Sistema de Frenos	Frenos de servicio	Discos en las ruedas delanteras
Motorización	Motor	Caterpillar C15 ACERT
	Potencia	343 kW (460 CV) a 2.000 rpm
Neumáticos	Tamaño de los neumáticos	29.5 R25
Suspensión	Suspensión delantera	Eje rígido con muelles helicoidales y amortiguadores
	Suspensión trasera	Eje rígido con muelles helicoidales y amortiguadores
Capacidad de combustible	Capacidad del tanque de combustible	450 litros
Transmisión	Automática de seis velocidades	

En la Figura 8 nos muestra el funcionamiento proporciona una visión general de cómo opera una barricada en el interior de un entorno minero, brindando una capa adicional de seguridad para proteger al personal y los equipos contra posibles accidentes y garantizar un flujo de trabajo eficiente y seguro en la mina.

Figura 8

Esquema de funcionamiento de la barricada interior mina



4.4 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL MINERALIZADO

El material Mineralizado extraído en la Mina Fruta del Norte es un recurso geológico esencial que consiste en rocas y minerales valiosos. Este material puede incluir diferentes tipos de minerales metálicos y no metálicos, como oro, plata, cobre, zinc y otros. Se examinarán las propiedades físicas y químicas de estos minerales, así como su composición geológica en la región.

El material mineralizado extraído en la mina Fruta del Norte desempeña un papel crucial en la industria minera. Estos minerales son fundamentales para la fabricación de productos y componentes industriales, desde dispositivos electrónicos hasta equipos de transporte. Además, minerales como el oro y la plata son valiosos en la industria de la joyería y tienen un alto valor económico en los mercados internacionales.

La extracción y procesamiento del material mineralizado en la Mina Fruta del Norte tienen un impacto significativo en la economía local y en el desarrollo del sector minero en la región de Zamora. La industria minera puede generar empleo, inversiones y oportunidades de desarrollo en comunidades cercanas. Se analizarán los efectos económicos y sociales de esta actividad minera en la zona.

4.5 ANÁLISIS DE RIESGOS

En un escenario de derrame en una operación minera como la Mina Fruta del Norte, es esencial tomar medidas inmediatas y efectivas para mitigar los riesgos asociados. Aquí hay una guía sobre qué hacer en caso de un derrame y cómo abordar los riesgos:

- **Notificar a las Autoridades y al Equipo de Emergencia:** Informar a las autoridades de la mina y al equipo de respuesta a emergencias sobre el derrame. Comunicar rápidamente la situación es fundamental para coordinar una respuesta adecuada como medidas de contención. Si es posible, implemente de contención para evitar medidas que el derrame se propague. Esto puede incluir la colocación de barreras físicas, la construcción de diques o la utilización de absorbentes para capturar el material derramado.
- **Evacuación y Rescate:** Si la situación lo requiere, hay que iniciar la evacuación segura de las áreas afectadas y coordinar los esfuerzos de rescate si es necesario.

4.6 MATERIALES Y SIMULACIÓN EN EL DISEÑO DE BARRICADAS

La elección de materiales adecuados es fundamental para la eficacia de una barricada de contención. Investigaciones como la de (Roberts, R. D., Johnson, M. S., & Hutton, M. 1978) han explorado alternativas de materiales que maximizan la confiabilidad y la durabilidad del diseño, sin comprometer la seguridad. Además, la simulación numérica se ha vuelto esencial en la evaluación de la resistencia y el comportamiento de las barricadas propuestas. Trabajos como el de Belda, C. F., & Grye, E. U. (2009). resaltan la

importancia de las simulaciones para predecir la respuesta de las estructuras en situaciones de derrame y carga.

Para seleccionar los materiales a utilizar en la barricada primero debemos elegir dentro de una lista sobre cuáles serían los materiales más adecuados y resistentes a la corrosión, duraderos en el entorno minero, a continuación, una lista de ellos:

- **Acero Inoxidable:** Este material es conocido por su alta resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para ambientes mineros donde puede haber exposición a sustancias químicas agresivas.
- **Acero al Manganeso:** Se utiliza combinado en equipos de movimiento de tierras debido a su resistencia al desgaste y la abrasión, lo que lo hace ideal para aplicaciones mineras.
- **Hierro Fundido Dúctil:** Es duradero y resistente a la corrosión, lo que lo hace útil para componentes de maquinaria en ambientes mineros.
- **Aluminio:** Aunque no es tan fuerte como algunos otros materiales, el aluminio es ligero y resistente a la corrosión, lo que lo hace adecuado para componentes que necesitan ser livianos y resistentes a la intemperie.
- **Bronce y Latón:** Estos materiales son resistentes a la corrosión y se utilizan en aplicaciones que requieren resistencia a la humedad y al desgaste, como rodamientos y componentes de válvulas.
- **Polímeros de Ingeniería:** Materiales como el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno son resistentes a la corrosión y se utilizan para revestimientos de tuberías, revestimientos de tanques y otros componentes en la industria minera.
- **Recubrimientos de protección:** Los recubrimientos epoxi y de poliuretano pueden aplicarse a superficies metálicas para proporcionar una capa adicional de protección contra la corrosión y la abrasión.
- **Fibra de Vidrio:** Utilizada para construir componentes resistentes a la corrosión y duraderos, como cubiertas, revestimientos y plataformas.

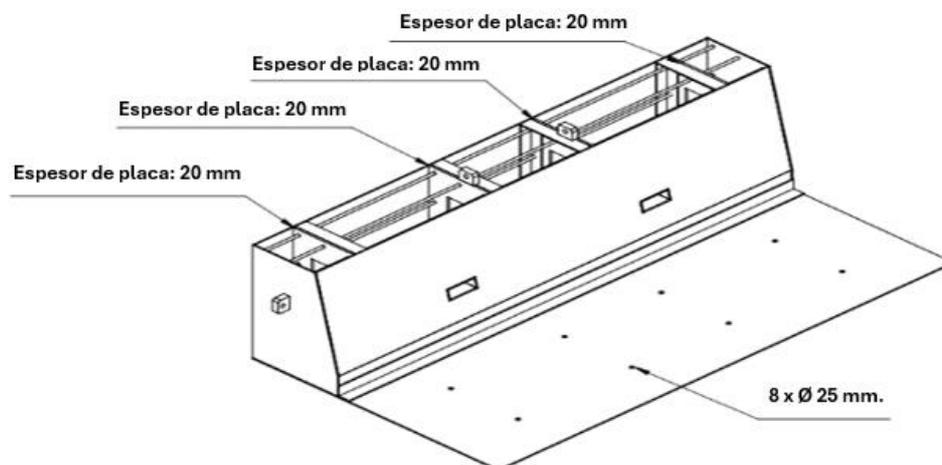
- **Cerámicas Técnicas:** Materiales cerámicos resistentes al desgaste y la corrosión, que se utilizan en aplicaciones de alta temperatura y ambientes corrosivos.
- **Revestimientos de Goma:** Utilizados para revestir superficies que estarán en contacto con materiales abrasivos o corrosivos, proporcionando protección adicional.

4.7 DISEÑO ESTRUCTURAL

Utilizando un software de modelado y simulación para crear un diseño estructural de la barricada se consideró aspectos como la forma, dimensiones, puntos de anclaje y puntos de unión al equipo minero, se procedió a realizar el bosquejo de la barricada tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

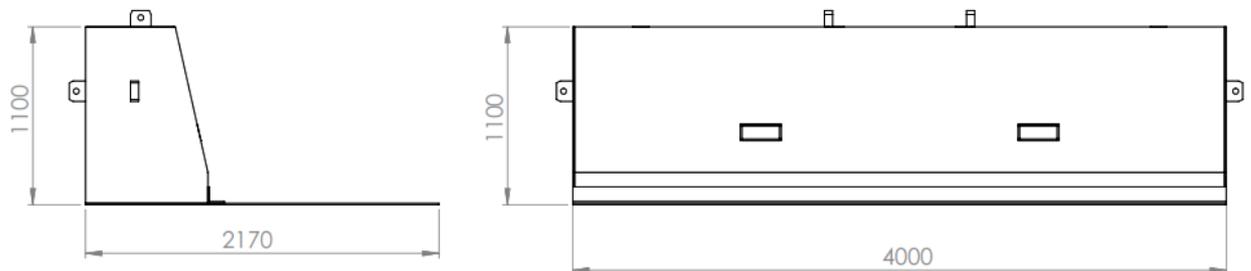
Primer boceto.



El primer boceto de la barricada representa una estructura rectangular de aproximadamente 2 metros de altura y 4 metros de ancho. Está compuesta principalmente por paneles verticales interconectados que forman una barrera sólida para contener posibles derrames de material mineralizado. En la parte superior de la barricada, se observan refuerzos diagonales que proporcionan estabilidad estructural mostrados en la Figura 10.

Figura 10

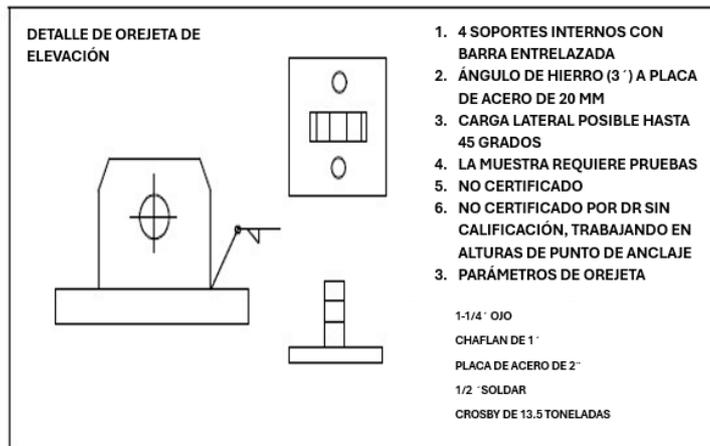
Medidas primer boceto.



En el diseño, se han incorporado materiales resistentes y duraderos, como acero y concreto, para garantizar la robustez de la barricada. Además, se han previsto aberturas estratégicas en la parte inferior para permitir el drenaje de agua y otros fluidos, evitando así la acumulación de presión en la Figura 11 y 12 está en detalle.

Figura 11

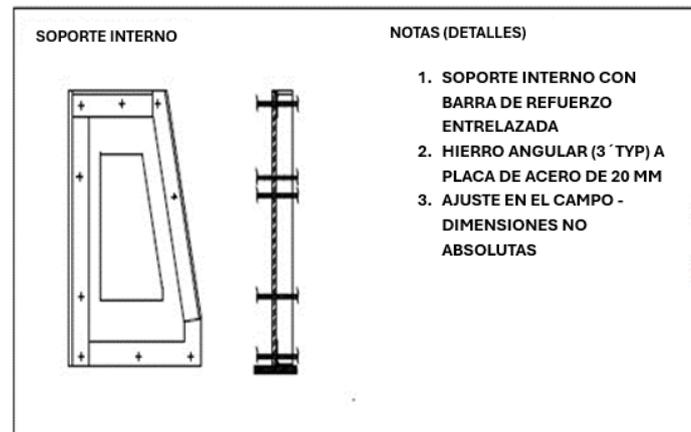
Vistas laterales



Los soportes de la barricada son elementos esenciales que proporcionan la resistencia y la estabilidad necesarias para mantener en pie la estructura de contención. Estos soportes consisten en pilares verticales colocados a intervalos regulares a lo largo de la barricada. Cada soporte está firmemente anclado al suelo para garantizar una base sólida.

Figura 12

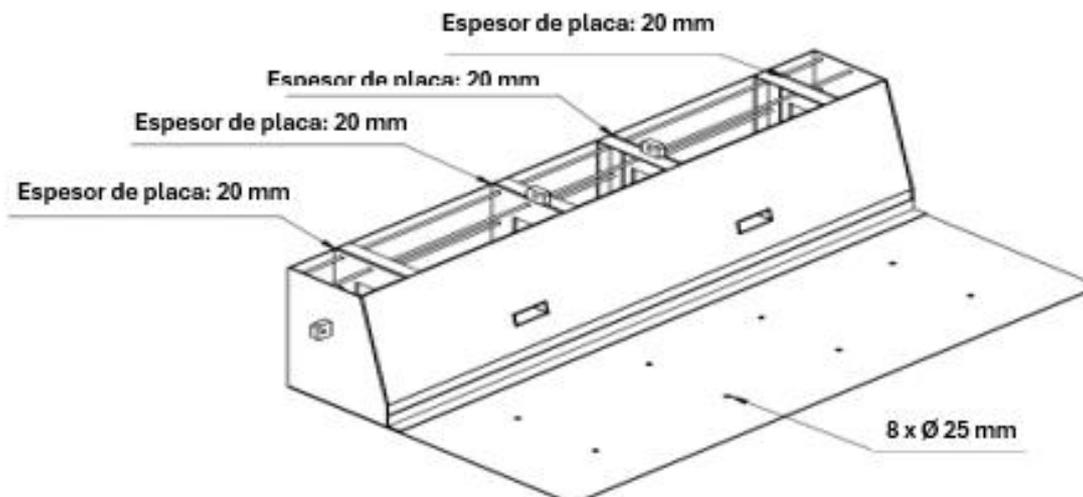
Bocetos de soportes.



Estos soportes cumplen una función crucial al mantener la barricada en posición vertical y asegurar que pueda resistir las fuerzas externas, como la presión del material mineralizado detrás de ella. Además, se han diseñado teniendo en cuenta consideraciones de seguridad para minimizar cualquier riesgo de colapso o inestabilidad, mostrándose el boceto en la Figura 13 en una vista isométrica.

Figura 13

Boceto para primeras construcciones.



4.8 PRUEBAS DE CAMPO

Las pruebas de campo son un componente esencial en la validación de los diseños de barricadas de contención para equipos mineros. Estas pruebas se realizan para asegurarse de que las barricadas cumplan con los requisitos de seguridad y funcionamiento esperados antes de su implementación en el sitio minero.

Comenzamos realizando pruebas con cemento para poder establecer medidas y maniobrabilidad de la barricada, en la Figura 14 se muestra la primera prueba de funcionamiento de la barricada.

Figura 14

Prueba 1 de concreto.



Las siguientes pruebas en realizar ya fueron con el prototipo en metal y hormigón ya incluyendo normas y factores de seguridad ya en una situación de funcionamiento normal, Algunos de los aspectos importantes a considerar durante las pruebas de campo en relación con los requisitos del diseño de la barricada de contención incluyen pruebas dentro de la mina como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Estándar de anclaje



- **Anclaje de la Barricada metálica:**

El anclaje de una barricada metálica es un aspecto crítico del diseño y la instalación para garantizar su estabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, por esta razón se detalló como fue realizado el anclaje de la barricada metálica.

Se muestra en la Figura 16, la prueba dentro de la mina donde se hace las pruebas ya en funcionamiento y describiendo como seria su trabajo.

Figura 16

Segunda barricada en estado de prueba en la mina



Esta deberá ser anclada a los hastiales en 06 puntos de anclaje (03 a cada lado) con Pernos helicoidales de 7 pies inyectados con lechada de cemento considero un tiempo de fraguado de 24 horas; se deberá utilizar cable de acero de ½" con sus respectivas grapas Crosby ½" (3 grapas por cable) y deberá ser colocada a 1.60 m del tajo vacío hacia

eje de la barricada. En la Figura 17 se muestra la barricada de en estado de prueba dentro de la mina.

Figura 17

Distancia de barricada hacia tajo vacío



En la Figura 18 muestra como es la instalación con distancia de la barricada.

Figura 18

Distancia de barricada hacia tajo vacío.



Para el bloqueo y señalización, se colocó una soga de 1/2" con cinta reflectiva de color rojo, separada cada 50 cm y se realizó una señalización prohibitiva e Informativo: "Prohibido el ingreso Tajo Vacío" y "Tajo en Relleno" respectivamente.

Asimismo, se colocó bastones reflectivos a ambos extremos de la ventana de relleno para darle referencia al operador del scoop.

La señalización adecuada desempeña un papel crítico en la prevención de accidentes y la promoción de un entorno de trabajo seguro en la industria minera, especialmente al operar maquinaria y al acercarse a barricadas u otras áreas de riesgo dentro de la mina.

Las señales colocadas estratégicamente cerca de las barricadas advierten a los conductores sobre la necesidad de reducir la velocidad y prestar atención adicional. En entornos mineros, donde la visibilidad puede ser limitada debido al polvo, la oscuridad o la presencia de obstáculos, la señalización clara y bien ubicada sirve como una guía importante para los conductores, ayudándoles a navegar de manera segura en áreas de alta actividad. En la Figura 19 muestra como ponemos la señalización dentro de los túneles de la mina

Figura 19

Bloqueo y señalización



5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DOCUMENTACIÓN Y PLANES DE IMPLEMENTACIÓN

Dentro de este capítulo, se llevará a cabo un análisis detallado del proceso de diseño de la barricada, utilizando un enfoque basado en simulaciones computacionales. Este método nos permitirá explorar exhaustivamente las diversas configuraciones y materiales posibles, evaluando su rendimiento y comportamiento frente a diferentes escenarios de carga y condiciones ambientales, se empleará un programa de simulaciones para modelar el comportamiento estructural de la barricada bajo diversas condiciones de carga, como la presión ejercida por el terreno circundante o el impacto de posibles deslizamientos de rocas. Esto nos proporcionará información crucial sobre las principales deformaciones y tensiones que experimentará el diseño final, permitiéndonos optimizar su resistencia y durabilidad.

Además, este enfoque nos permitirá analizar en profundidad las especificaciones técnicas de los materiales utilizados en la barricada. Mediante simulaciones numéricas, podremos evaluar el desempeño de diferentes opciones de materiales, considerando factores como su resistencia, ductilidad, y capacidad para absorber energía. Esto nos permitirá seleccionar el material más adecuado en términos de rendimiento y costo, asegurando así una solución óptima desde el punto de vista técnico y económico.

Por último, este análisis integral nos permitirá abordar de manera efectiva las cuestiones principales planteadas al inicio del proyecto. Estos pueden incluir la optimización de la seguridad en el lugar de trabajo, la prevención de accidentes graves y la maximización de la eficiencia operativa en entornos mineros. Al comprender mejor el comportamiento y las limitaciones de la barricada a través de simulaciones, estaremos en una posición sólida para diseñar una solución que cumpla con estos objetivos de manera efectiva y sostenible.

Con la intención de desarrollar un análisis de los resultados obtenidos se establece una dinámica de escribir la respuesta a nuestra interrogante.

¿Cuáles son los parámetros iniciales necesarios para el diseño de una barricada de contención adecuada para maquinaria minera pesada, y cómo se pueden establecer para garantizar la aplicabilidad de la misma?

En el ámbito de la minería, la seguridad es una prioridad indiscutible. Las operaciones mineras, especialmente aquellas que involucran maquinaria pesada, están expuestas a riesgos significativos que deben ser gestionados de manera rigurosa para prevenir accidentes catastróficos y daños ambientales. Una de las medidas cruciales en este contexto es el diseño y la implementación de barricadas de contención adecuadas.

Estas barricadas no solo actúan como salvaguardias físicas contra el impacto de la maquinaria pesada, sino que también protegen contra la dispersión de materiales peligrosos, derrames de sustancias tóxicas y otros peligros potenciales en las operaciones mineras. Su diseño y construcción requieren una comprensión exhaustiva de los parámetros críticos y un enfoque meticuloso para garantizar su eficacia.

En este contexto, la identificación y el establecimiento de los parámetros iniciales son el punto de partida esencial para el diseño de barricadas de contención. Estos parámetros, que abordan la naturaleza de la maquinaria, el entorno, los riesgos potenciales y las normativas aplicables, sientan las bases para una solución de seguridad sólida y adaptada a las necesidades específicas de la operación minera. La importancia de este proceso inicial radica en su capacidad para garantizar que la barricada diseñada cumpla con los estándares de seguridad requeridos y proteja eficazmente tanto a los trabajadores como al entorno circundante.

Para comenzar con los parámetros Iniciales para el diseño se requiere definir el tipo de maquinaria a usar: La maquinaria usada en este proyecto son los Camiones Articulados

Caterpillar AD45B, Caterpillar R1600H, Caterpillar R1700G, Caterpillar R2900G y esta maquinaria específica va a ser determinante en el diseño de la barricada de contención para operaciones mineras pesadas, claro esto es un proceso intrínsecamente relacionado con el tipo de maquinaria utilizada en la zona de trabajo. La elección y especificación de la maquinaria, en este caso, la maquinaria Caterpillar, desempeña un papel crítico en la determinación de los requisitos necesarios para garantizar la seguridad y la eficacia de las barricadas de contención.

La primera maquinaria *Caterpillar AD45B* se caracteriza por su capacidad de acarreo de alta tonelaje y es ampliamente utilizada para el transporte de materiales pesados en entornos mineros. Su robustez y potencia hacen que sea esencial comprender y abordar las necesidades de contención relacionadas con su operación. El *Caterpillar AD45B* suele tener una capacidad de carga nominal de aproximadamente 32 toneladas métricas (35 toneladas cortas). La velocidad máxima en operación de este camión subterráneo varía según las condiciones específicas y la configuración. En general, la velocidad máxima típica en operación está en el rango de 45 a 50 kilómetros por hora (aproximadamente 28 a 31 millas por hora).

Caterpillar R1600H: El modelo R1600H es un equipo de carga frontal resistente, diseñado para excavar y cargar materiales en camiones de transporte. Su capacidad de carga y maniobrabilidad lo convierten en una parte esencial de las operaciones mineras, pero también plantea desafíos significativos en términos de contención.

El *Caterpillar R1600H* suele tener una capacidad de carga nominal que varía, pero puede estar en el rango de aproximadamente 9 a 10 toneladas métricas (alrededor de 10 a 11 toneladas cortas).

La velocidad máxima en operación de un *Caterpillar R1600H* también depende de las condiciones y configuraciones específicas. Sin embargo, la velocidad máxima típica en operación puede oscilar entre 35 y 40 kilómetros por hora (aproximadamente 22 a 25 millas por hora).

Caterpillar R1700G: Similar al R1600H, el R1700G es una máquina de carga frontal que se utiliza para cargar y transportar material en entornos mineros. Su tamaño y peso requieren una consideración meticulosa en el diseño de barricadas de contención, esta maquinaria suele tener una capacidad de carga nominal que varía según las especificaciones y configuraciones particulares de la máquina. En general, se encuentra en el rango de aproximadamente 15 a 20 toneladas métricas (alrededor de 16.5 a 22 toneladas cortas). Esta capacidad de carga puede variar según la versión y las opciones seleccionadas. La velocidad máxima en operación del Caterpillar R1700G también depende de las condiciones específicas y la configuración de la máquina. Por lo general, la velocidad máxima en operación se encuentra en un rango de alrededor de 30 a 35 kilómetros por hora (aproximadamente 19 a 22 millas por hora).

Caterpillar R2900G: Esta máquina, de características similares a las anteriores, es un equipo de carga frontal versátil que se utiliza en una variedad de aplicaciones mineras. Su capacidad de maniobra y elevación la convierten en un elemento crítico en la cadena de producción, pero también en un desafío para la seguridad. Esta maquinaria es conocida por su capacidad de carga considerable. Su capacidad de carga nominal suele oscilar entre 17 y 18 toneladas métricas, lo que equivale a aproximadamente 18.7 a 19.8 toneladas cortas. Sin embargo, es importante destacar que la capacidad de carga puede variar según la configuración específica de la máquina y las opciones seleccionadas. La velocidad máxima en operación del Caterpillar R2900G depende de las condiciones y configuraciones específicas. En general, la velocidad máxima en operación se encuentra en un rango de aproximadamente 40 a 45 kilómetros por hora (aproximadamente 25 a 28 millas por hora).

5.2 REQUERIMIENTOS DE CONTENCIÓN:

Cada tipo de maquinaria minera Caterpillar mencionado anteriormente plantea las específicas en términos de contención. Para el diseño de esta barricada en específico tuvimos en cuenta varios aspectos los cuales los detallaremos a continuación.

5.2.1 CAPACIDAD DE CARGA

Las barricadas deben diseñarse para resistir el impacto de estas máquinas y soportar su peso sin ceder ni colapsar.

Por ende, en este proyecto al utilizar una maquinaria Caterpillar como la *AD45B*, *R1600H*, *R1700G*, *R2900G* la barricada estará en un requerimiento de contención con aproximadamente 9 a 10 toneladas métricas (alrededor de 10 a 11 toneladas cortas), hasta carga completa en un rango de 32 toneladas métricas (35 toneladas cortas) dentro de este rango el diseño debe satisfacer todos los requerimientos de contención.

5.2.2 MANIOBRABILIDAD

La capacidad de maniobra de estas máquinas implica que las barricadas deben ser lo suficientemente amplias cubriendo los espacios del ancho de los ejes de estas maquinarias que es una medida de 4 metros, también resistentes donde probamos con diferentes técnicas y materiales que van desde una barricada de hormigón armado hasta una de acero y haciendo análisis exhaustivos de diseño y pruebas de simulación en campo y computadora para evitar que las máquinas las desborden durante las operaciones.

5.2.3 VELOCIDAD DE OPERACIÓN

Se tuvo en cuenta la velocidad de estas máquinas al calcular las fuerzas de impacto y diseñar la barricada de contención adecuada, solo para los vehículos Caterpillar *AD45B*, *R1600H*, *R1700G*, *R2900G* los cuales tienen una velocidad máxima en operación de estas maquinarias subterráneas, la velocidad máxima típica en operación está en el rango de 15 a 20 kilómetros por hora (aproximadamente 9 a 12 millas por hora).

La consideración de parámetros iniciales precisos en el diseño de una barricada de contención para transportes tipo Scoop en minería a gran escala es esencial para la seguridad y aplicabilidad del proyecto. Un diseño personalizado basado en datos

precisos como los presentados nos asegura que la barricada sea efectiva y específica en la protección de los operadores y en la prevención de accidentes, al tiempo que garantiza la eficiencia de las operaciones mineras. No solo es un paso crítico en el proceso de diseño, sino también una inversión en la seguridad y el éxito a largo plazo de la operación minera.

Siguiendo con las respuestas a las preguntas planteadas en el inicio del proyecto vamos a desarrollar la siguiente:

¿Cuáles son las alternativas de materiales que pueden utilizarse en el diseño de la barricada de contención para maquinaria minera pesada, y cómo pueden aumentar la confiabilidad del diseño?

El diseño de barricadas de contención para maquinaria minera pesada requiere una cuidadosa consideración de los materiales a utilizar, ya que estos desempeñan un papel fundamental en la confiabilidad y eficacia del diseño. Las cuales vamos a ver alternativas de materiales disponibles y cómo su elección puede aumentar la confiabilidad del diseño, garantizando la seguridad de las operaciones mineras y la protección del entorno circundante.

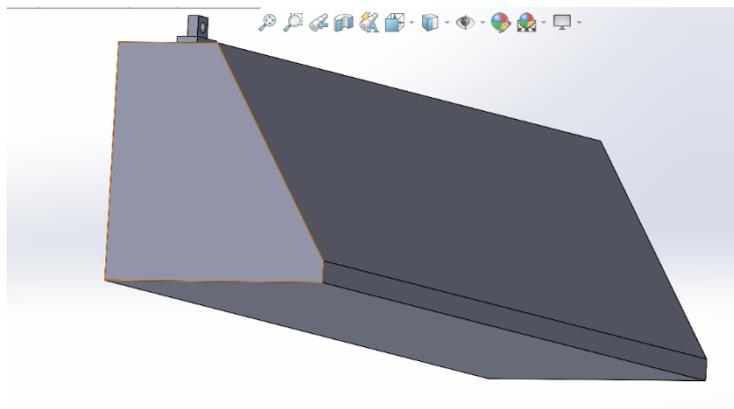
Aquí presento las alternativas de materiales que pueden utilizarse en el diseño de barricadas de contención para maquinaria minera pesada, de los cuales vamos a elegir la barricada que cumpla mejor las exigencias que tenemos para este proyecto:

5.3 HORMIGÓN ARMADO

El hormigón armado es una opción robusta y ampliamente utilizada. Su durabilidad y capacidad para resistir impactos son considerables. La adición de barras de refuerzo de acero aumenta su resistencia estructural. Desarrollare un modelo en SolidWorks para este tipo de barrica de contención y la probaremos en campo para determinar las ventajas y desventajas del uso de este modelo.

Figura 20

Diseño de barricada en hormigón armado en SolidWorks



5.3.1 DISEÑO DE BARRICADA DE HORMIGÓN ARMADO

El diseño de una barricada de hormigón armado implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos positivos de este modelo.

5.3.2 DURABILIDAD

El hormigón armado es conocido por su durabilidad a largo plazo. Resiste la erosión, la intemperie y las condiciones ambientales adversas, lo que garantiza una vida útil prolongada de la barricada.

5.3.3 RESISTENCIA A IMPACTOS

El hormigón armado es capaz de soportar impactos significativos, lo que lo hace adecuado para proteger contra colisiones de maquinaria minera pesada y otros eventos violentos.

5.3.4 ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

La adición de barras de refuerzo de acero aumenta la resistencia estructural del hormigón armado, lo que lo convierte en una opción aún más robusta para contener la maquinaria y garantizar la seguridad.

5.3.5 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

El hormigón es un material ampliamente disponible dentro de la mina, lo que facilita su adquisición en muchas ubicaciones de nuestro proyecto.

5.3.6 BAJO MANTENIMIENTO

Las barricadas de hormigón armado tienden a requerir poco mantenimiento a lo largo del tiempo, su mantenimiento es principalmente mediante un proceso de curado adecuado. Los principales métodos de curado de hormigón son: curado con agua, uso de agentes químicos de curado, mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas, sellado de la superficie, control de la contracción del hormigón.

5.3.7 DESVENTAJAS DE UNA BARRICADA DE HORMIGÓN ARMADO

Las barricadas de hormigón tienen varias desventajas las cuales deben ser consideradas, estas son:

- El peso y la dificultad de movimiento, estas son difíciles de mover, de hecho, se deben usar equipos para moverlas y empotrarlas en el piso siguiendo las normas de seguridad de la empresa.
- Inflexibilidad: al ser una barricada sólida, esta barricada es menos flexible y no se podrá deformar fácilmente.
- Instalación, al ser una barricada de peso considerable, la instalación precisa de la barricada denota una labor de alto riesgo ya que debe ser anclada al piso o a los hastiales de la labor.

5.3.7.1 PESO Y VOLUMEN

El hormigón armado es pesado y voluminoso, lo que puede dificultar su transporte e instalación en ubicaciones remotas o de difícil acceso. El peso de esta barricada será de 19775 kg.

5.3.7.2 RIGIDEZ

La rigidez del hormigón puede ser una ventaja en términos de resistencia, pero también puede representar un desafío en situaciones donde se requiere cierta flexibilidad o absorción de impactos como es el caso de la mina en que la vamos a utilizar.

Existen algunos aspectos para medirla utilizando sus propiedades físicas y mecánicas, los cuales son:

- Módulo de elasticidad: 30 GPa.
- Coeficiente de Poisson: varía entre 0,2 a 0,3

5.3.7.3 TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de barricadas de hormigón armado puede llevar más tiempo que algunas soluciones más ligeras, lo que puede retrasar el inicio de las operaciones mineras.

El curado del material deberá ser el óptimo de 28 días, esto con el afán de llegar a la resistencia de hormigón de 4,5 MPa, a esto se le debe sumar el tiempo de mano de obra que en promedio es de 2 días, esto quiere decir que el tiempo de construcción de una barricada es de 30 días. En la Figura 21 se muestra la barricada de hormigón armado.

Figura 21

Barricada de hormigón armado



5.3.8 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINAL PARA ELECCIÓN DE MATERIAL DE BARRICADA

- **Resistencia a la tracción:** encuentra en el rango de 1.5 a 2.5 Mega pascales (MPa) o alrededor de 217 a 362 psi, es importante tener en cuenta que el acero de refuerzo en el armado de hormigón proporciona la mayor parte de la resistencia a la tracción en la estructura. Las barras de acero de refuerzo, comúnmente conocidas como barras de refuerzo, tienen una resistencia a la tracción mucho mayor, generalmente en el rango de 400 MPa (58,000 psi). El acero de refuerzo absorbe las fuerzas de tracción en la estructura, mientras que el concreto proporciona resistencia a la compresión.
- **Resistencia a la compresión:** está en el rango de 20 a 40 Mega pascales (MPa) o aproximadamente 2,900 a 5,800 psi. Esta resistencia se refiere a la cantidad de carga que el armado del concreto puede soportar antes de que comience a deformarse y romperse bajo compresión.
- **Módulo de elasticidad:** es de 25 a 35 Giga pascales (GPa) o 3,600 a 5,000 ksi. En general, el módulo de elasticidad del hormigón armado tiende a ser más bajo que el del acero de refuerzo, que tiene un módulo de elasticidad mucho más alto, alrededor de 200 GPa (29,000 ksi) o más.

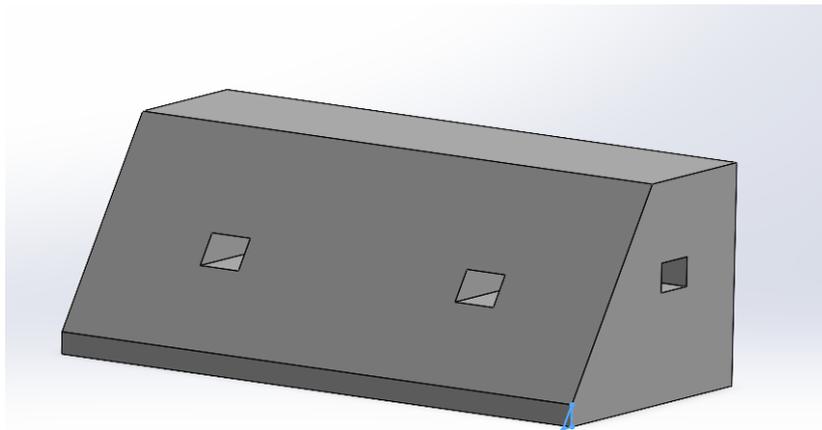
- **Peso específico:** se multiplica la densidad del material por la aceleración debida a la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$ en la Tierra). En nuestro caso, si la densidad del hormigón armado es de 2.400 kg/m^3 , el peso específico sería $2.400 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 23544 \text{ N/m}^3$.
- **Costo:** El valor metro cubico de hormigón armado que se utiliza en la mina de este proyecto es de 129.48 dólares americanos

5.3.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA BARRICADA DE HORMIGÓN ARMADO

En esta sección, se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la simulación, destacando los aspectos clave que influyen en la resistencia estructural, la estabilidad y la capacidad de prevención de derrames de la barricada. Estos hallazgos son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre el diseño final y para garantizar su idoneidad en entornos mineros a gran escala.

Figura 22

Barricada de hormigón armado



Para la iniciación de la simulación en SolidWorks nos va a permitir analizar el comportamiento del modelo en condiciones específicas de carga, presión, entre otras. En el caso de una barricada de hormigón armado, la simulación puede proporcionar

información valiosa sobre la resistencia estructural y el rendimiento bajo diversas circunstancias que nos ayudara en la toma de decisiones para la elección de la barricada. Las cargas aplicadas sobre la barricada de hormigón armado son las que da la suma de la maquinaria más pesada y su capacidad de carga a su lleno máximo sobre la cara frontal de la barricada que es 882598,5 N.

Figura 23

Distribución de fuerzas aplicadas al dominio computacional

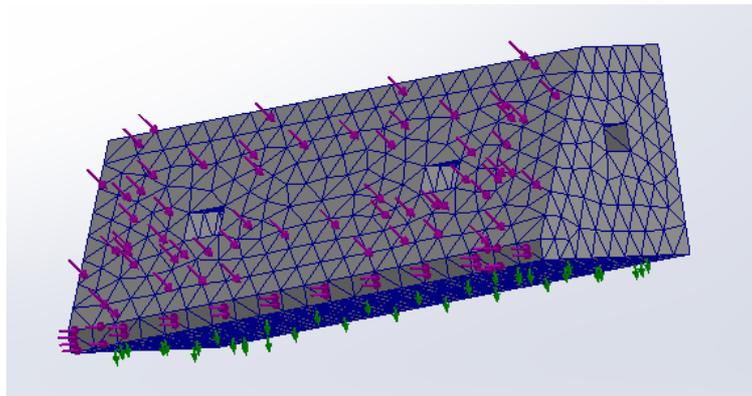
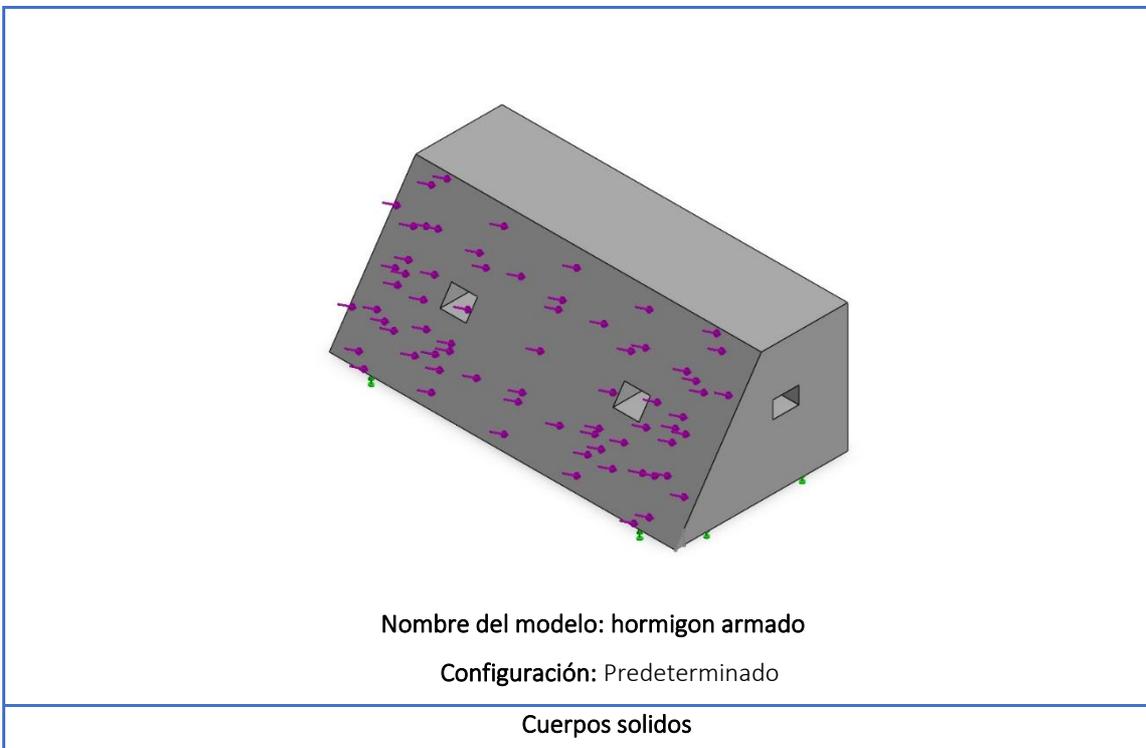
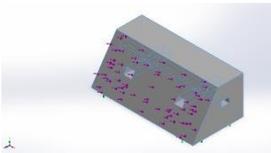


Tabla 5

Resultados numéricos de la aplicación de fuerzas en la barricada



5. Resultados y discusión

Documento nombre y Referencia	Tratado como	Propiedades Volumétricas	Documento dibujo/Datos Modificación
Cut-Extrude3 	Cuerpo Sólido	Masa:19.775,4 kg Volumen:8,598 m ³ Densidad:2.300 kg/m ³ Peso:193.799 N	

La siguiente tabla desarrolla los análisis realizados en el software de diseño SolidWorks.

Tabla 6

Simulación de Hormigón Armado

Nombre del estudio	Hormigon armado
Tipo de analisis	Estático
Tipo de mallado	Malla solida
Efecto termico	On
Opcion termica	Incluir cargas de temperatura
Temperatura de deformacion cero	298 Kelvin
Incluir efectos de presion de fluido solidWorks flow simulation	Off
Tipo de solucion	Automático
Efecto Inplane:	Off
Deformación Suave:	Off
Alivio inercial	Off
Opciones de vinculacion incompatibles	Automático
Desplazamiento largo	On
Calcular las fuerzas del cuerpo libre	On
Fricción	Off
Uso de metodo adaptativo	Off

La siguiente tabla describe las unidades de medidas utilizadas según el sistema internacional:

Tabla 7

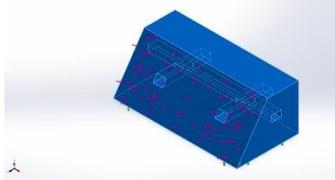
Unidades de la Simulación de Hormigón Armado

Unidad sistema:	SI (MKS)
Longitud / Desplazamiento	Mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad Angular	Rad/sec
Presión/estrés	N/m ²

Las propiedades del hormigón armado son:

Tabla 8

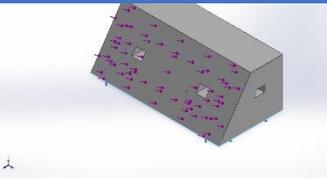
Propiedades del Material - Hormigón Armado

Modelo Referencia	Propiedades	Componentes	
	Nombre:	hormigón armado	SolidBody 1(Cut-Extrude3)(Parte1)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de falla predeterminado:	Desconocido	
	Resistencia a la tracción:	1,7234e+08 N/m ²	
	Fuerza compresiva:	5,5149e+08 N/m ²	
	Módulo Elástico:	2e+11 N/m ²	
	El coeficiente de Poisson:	0,22	
	Densidad de masa:	2.300 kg/m ³	
	Módulo de corte:	9,0407e+10 N/m ²	
	Coeficiente de expansión térmica:	1,1e-05 /Kelvin	
Datos de curva:N/A			

Las tablas de cargas en la simulación y momentos del hormigón armado son:

Tabla 9

Tabla de Cargas - Simulación Hormigón

Nombre del dispositivo	Imagen del accesorio	Detalles del accesorio		
Fixed-1		Entidades:	1 cara(s)	
		Tipo:	Geometría fija	
Fuerzas Resultado				
Componentes	X	Y	Z	Resultado

5. Resultados y discusión

Fuerzas de reacción(N)	0,000579834	489.577	734.366	882.598
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

Las cargas del hormigón armado se mostraron en la Tabla 10:

Tabla 10

Mallas a utilizar en la simulación

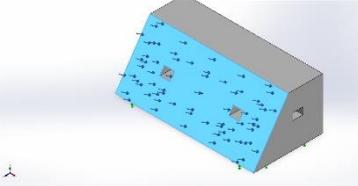
Cargar nombre	Cargar imagen	Cargar detalles		
Force-2		Entidades:	1 caras(s)	Entidades:
		Tipo:	Aplicar fuerza normal	Tipo:
		Valor:	882.599 N	Valor:

Tabla 11

Tabla mallado - Simulación Hormigón

Tipo de malla	Malla solida
Mallado utilizado:	Malla combinada basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máximo del Elemento	204,611 mm
Tamaño mínimo del Elemento	204,611 mm
Calidad de malla	Alta
Total, de nodos	14259
Total, de Elementos	9178
Relación de aspecto máxima	3,2987
% de Elementos con relación de aspecto < 3	99,9
Porcentaje de Elementos con relación de aspecto > 10	0
Porcentaje de Elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla(hh:mm:ss):	00:00:02

Las fuerzas de reacción del hormigón mostraron en la Tabla 12:

Tabla 12

Tabla de Fuerzas - Resultado - Simulación de Hormigón

Fuerzas de reacción					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo Total	N	0,000579834	489.577	734.366	882.598

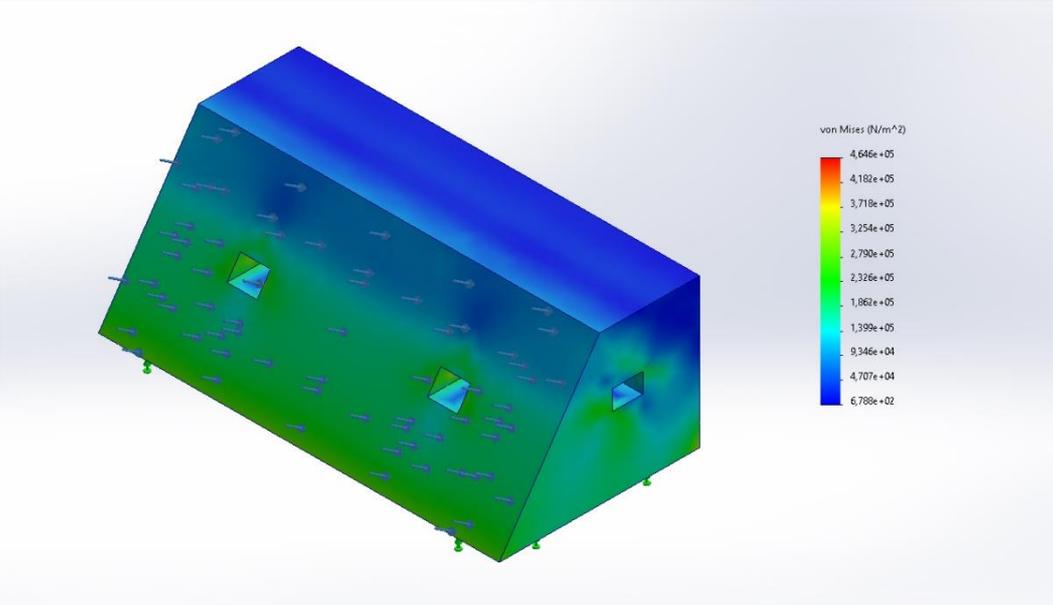
5. Resultados y discusión

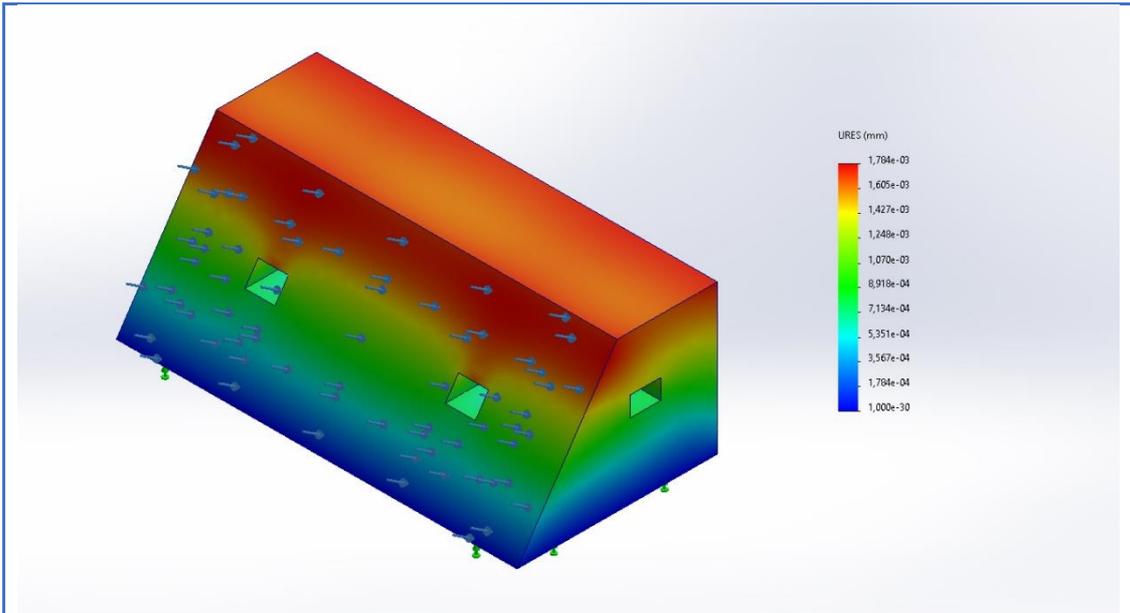
Momento Reacción					
Modelo Total	N.m	0	0	0	0
Fuerzas Cuerpo Libre					
Modelo Total	N	0	0	0	0
Momento Cuerpo Libre					
Modelo Total	N.m	0	0	0	0

El informe de resultados de la simulación se mostró en la Tabla 13:

Tabla 13

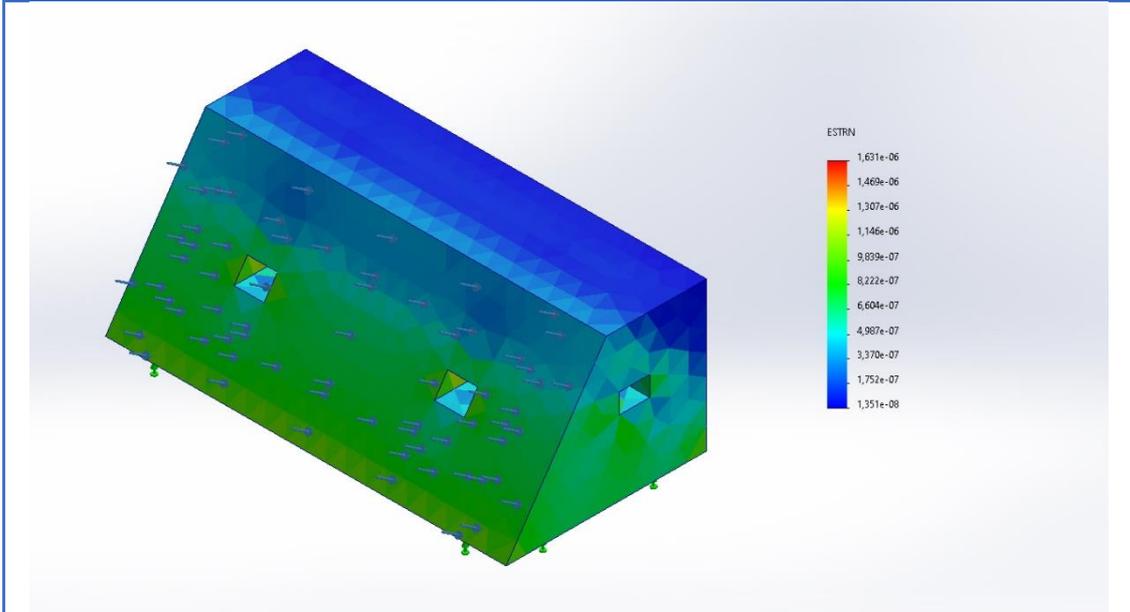
Informe de Resultados - Simulación de Hormigón

Nombre	Tipo	Min	Max
Estrés 1	Criterio de VonMises	6,788e+02N/m ² Nodo: 12	4,646e+05N/m ² Nodo: 12524
 <p style="text-align: center;">Parte1-Estático 1-Stress-Estrés 1</p>			
Nombre	Tipo	Min	Max
Desplazamiento1	URES: Resultado Desplazamiento	0,000e+00mm Nodo: 2	1,784e-03mm Nodo: 13837



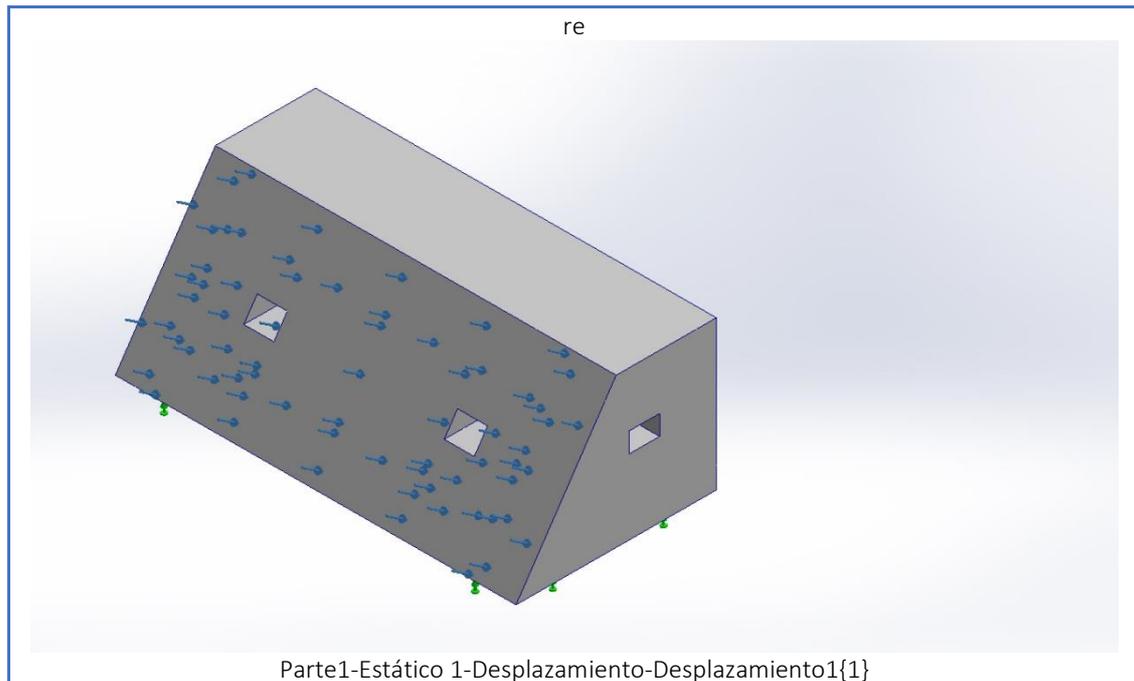
Parte1-Estático 1-Desplazamiento-Desplazamiento1

Nombre	Tipo	Min	Max
Strain1	ESTRN: Tensión Equivalente	1,351e-08 Elemento: 3522	1,631e-06 Elemento: 4208



Parte1-Estático 1-Strain-Strain1

Nombre	Tipo
Desplazamiento1	Forma Deformada



5.4 CAUCHO

El uso del caucho en una barricada de maquinaria minera no es común en la estructura principal de la barrica, pero puede ser utilizada. En este contexto, la barrera de contención de caucho emerge como una alternativa versátil y eco amigable para la protección en detención de maquinaria minera, así como se ha descrito en el inciso 3.9.2 del marco teórico.

5.4.1 VENTAJAS DEL CAUCHO

El diseño de una barricada de caucho implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos positivos de este modelo.

5.4.1.1 SOSTENIBILIDAD

El uso de caucho reciclado en la fabricación de barricadas contribuye a la reducción de residuos y la reutilización de materiales, lo que es beneficioso para el medio ambiente.

5.4.1.2 DURABILIDAD

El caucho es un material resistente a la intemperie y duradero, lo que significa que las barricadas de caucho tienden a tener una vida útil prolongada, incluso en condiciones climáticas adversas.

5.4.1.3 PESO LIGERO

Las barricadas de caucho suelen ser ligeras y fáciles de transportar y desplegar, lo que facilita su manejo y reubicación.

5.4.1.4 VISIBILIDAD

Muchas barricadas de caucho tienen colores brillantes y reflectores que mejoran la visibilidad, lo que es importante en aplicaciones de seguridad vial y control de tráfico.

5.4.1.5 VERSATILIDAD

Estas barricadas pueden utilizarse para diversos propósitos, como desviar el tráfico, marcar áreas de trabajo, o delimitar espacios en eventos y construcciones temporales.

5.4.2 DESVENTAJAS DEL CAUCHO.

El diseño de una barricada de caucho implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos que no benefician a este material.

5.4.2.1 RESISTENCIA LIMITADA A IMPACTOS SEVEROS

Aunque son duraderas, las barricadas de caucho pueden dañarse en colisiones graves o impactos de vehículos, lo que podría requerir reemplazo.

5.4.2.2 MENOS RESISTENCIA A LA INTEMPERIE QUE EL ACERO O EL HORMIGÓN

Aunque son resistentes a la intemperie, el caucho puede degradarse con el tiempo debido a la exposición a la luz solar y condiciones climáticas extremas.

5.4.2.3 MENOS PESO Y ESTABILIDAD QUE LAS BARRERAS DE HORMIGÓN

Las barricadas de caucho son más ligeras y, por lo tanto, pueden ser menos estables en condiciones de viento fuerte o en áreas con tráfico pesado.

5.4.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINAL PARA ELECCIÓN DE MATERIAL DE BARRICADA

- **Resistencia a la tracción:** encuentra en el rango de 1.5 a 4.5 Mega pascales (MPa) o alrededor de 200 a 650 psi, es importante tener en cuenta que el acero de

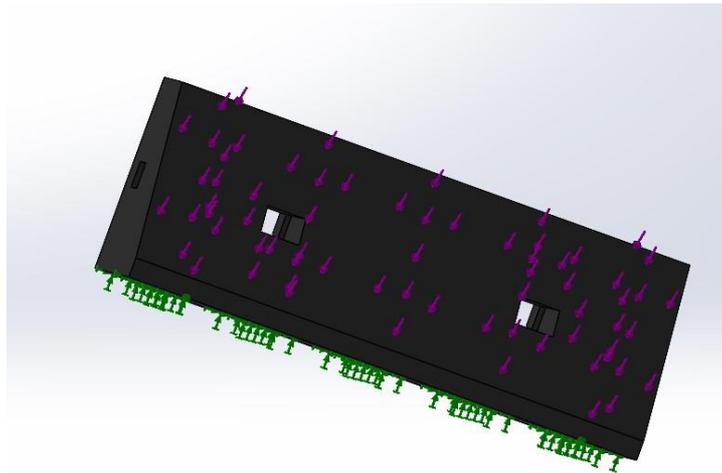
refuerzo en el armado de hormigón proporciona la mayor parte de la resistencia a la tracción en la estructura. Las barras de acero de refuerzo, comúnmente conocidas como barras de refuerzo, tienen una resistencia a la tracción mucho mayor, generalmente en el rango de 400 MPa (58,000 psi). El acero de refuerzo absorbe las fuerzas de tracción en la estructura, mientras que el concreto proporciona resistencia a la compresión. (Jiménez, Aceituno, Suárez, Carazo, 2020)

- **Resistencia a la compresión:** está en el rango de 20 a 40 Mega pascales (MPa) o aproximadamente 2,900 a 5,800 psi. Esta resistencia se refiere a la cantidad de carga que el armado del concreto puede soportar antes de que comience a deformarse y romperse bajo compresión. (Jiménez, Aceituno, Suárez, Carazo, 2020)
- **Módulo de elasticidad:** es de 25 a 35 Giga pascales (GPa) o 3,600 a 5,000 ksi. En general, el módulo de elasticidad del hormigón armado tiende a ser más bajo que el del acero de refuerzo, que tiene un módulo de elasticidad mucho más alto, alrededor de 200 GPa (29,000 ksi) o más. (Jiménez, Aceituno, Suárez, Carazo, 2020)
- **Peso específico:** se multiplica la densidad del material por la aceleración debida a la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$ en la Tierra). En nuestro caso, si la densidad del hormigón armado es de 2.400 kg/m^3 , el peso específico sería $2.400 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 23544 \text{ N/m}^3$. (Jiménez, Aceituno, Suárez, Carazo, 2020)
- **Costo:** 85 CTV, de dólar el kg

5.4.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE CAUCHO

Los resultados de la simulación de la barricada de caucho en SolidWorks destacan varias ventajas significativas. La simulación proporcionó una representación precisa del comportamiento estructural de la barricada, permitiendo una evaluación exhaustiva de su resistencia y durabilidad. Además, SolidWorks facilitó la visualización detallada de las tensiones y deformaciones en la barricada, lo que ayudó a identificar áreas críticas de concentración de esfuerzos. Esta información fue fundamental para realizar ajustes en el diseño y optimizar la seguridad y el rendimiento de la barricada, en la Figura 24 se muestra el diseño de la barricada de caucho para dar inicio a los resultados de la simulación:

Figura 24



Diseño de la barricada de caucho

En la iniciación de la simulación en SolidWorks permitió analizar el comportamiento del modelo en condiciones específicas de carga, presión, entre otras. En el caso de una barricada de hormigón armado, la simulación puede proporcionar información valiosa sobre la resistencia estructural y el rendimiento bajo diversas circunstancias que nos ayudara en la toma de decisiones para la elección de la barricada. En la Figura 25 el software realizó una imagen mostrando donde van las cargas aplicadas sobre la barricada de caucho y realizó las deformaciones que se podrían hacer sobre la barricada original mostrando en un extremo una escala de fuerzas aplicadas en una escala de colores según sea la deformación.

Las cargas aplicadas sobre la barricada de caucho son las que da la suma de la maquinaria más pesada y su capacidad de carga a su lleno máximo sobre la cara frontal de la barricada que es 882598,5 N. La información del modelo utilizado en el software SolidWorks:

Figura 25

Contornos de esfuerzos Von Mises en la barricada de caucho

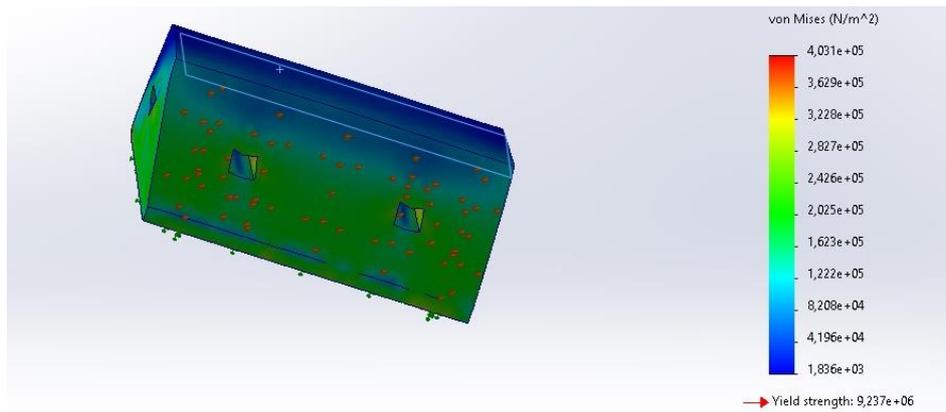
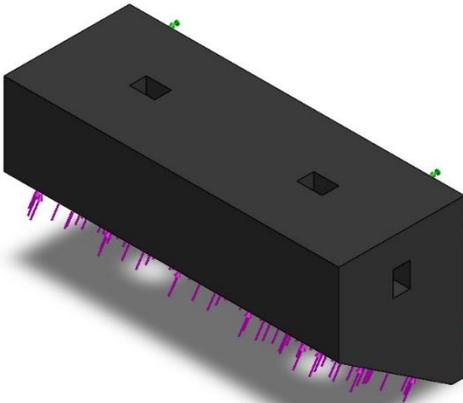
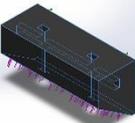


Tabla 14

Información del Modelo – Simulación del Caucho



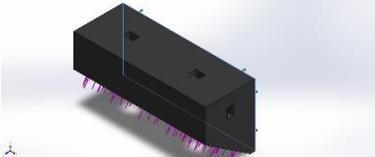
Model Nombre: Parte1
Configuración Actual: Predeterminado

Cuerpos Sólidos			
Documento Nombre y Reference	Tratado como	Propiedades Volumétricas	Documento Ruta/Fecha de Modificación
Cut-Extrude5 	Cuerpo Sólido	Masa:8.586 kg Volumen:8,586 m ³ Densidad:1.000 kg/m ³ Peso:84.142,8 N	

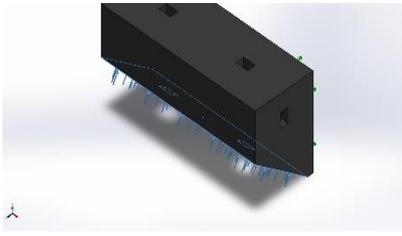
Las cargas aplicadas en la simulación del caucho se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15

Tabla de cargas aplicadas - Simulación del Caucho

Cargas y Elementos			
Nombre del Elemento	Imagen del Elemento	Detalle del Elemento	
Fixed-1		Entidades:	1 cara(s)
		Tipo:	Geometría del Elemento

5. Resultados y discusión

Resultado de las Fuerzas				
Componentes	X	Y	Z	Resultado
Fuerza de Reacción(N)	0,00193787	-734.366	489.577	882.598
Momento de Reacción (N.m)	0	0	0	0
Nombre de la Carga	Imagen de la Fuerza		Detalle de la Carga	
Fuerza-1			Entidades	1 cara
			Tipo	Fuerza Normal Aplicada
			Valor	882.598 N

La información del mallado utilizado en SolidWorks para el caucho se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Tabla de mallado - Simulación del Caucho

Información de la Malla	
Tipo de Malla	Malla Sólida
Malla Usada	Curvatura mixta - Malla Base
Puntos jacobianos de la calidad alta del mallado	16 puntos
Tamaño máximo del elemento	204,754 mm
Tamaño mínimo del elemento	204,754 mm
Calidad de la Malla	Alta
Información de la Malla – Detalles	
Total Nodos	14107
Total Elementos	9116
Ratio de aspecto máximo	3,3286
% de elementos con aspecto ratio < 3	99,9
% de elementos con aspecto ratio > 10	0
% de elementos deformados	0
Tiempo para completar el mallado(hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre del computador:	

5.4.5 RESULTADO DE LAS FUERZAS APLICADAS EN LA BARRICADA DE CAUCHO

El resultado de las fuerzas aplicadas en SolidWorks para el caucho se muestra en la

Tabla 17:

Tabla 17

Tabla de mallado - Simulación del Caucho

Fuerza de Reacción					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo	N	0,00193787	-734.366	489.577	882.598
Total					
Momento Reacción					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo	N.m	0	0	0	0
Total					
Fuerzas Cuerpo Libre					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo	N	0,00146306	0,0143299	-0,0509326	0,0529303
Total					
Momento Cuerpo Libre					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo	N.m	0	0	0	1e-33
Total					

5.4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA BARRICADA DE CAUCHO

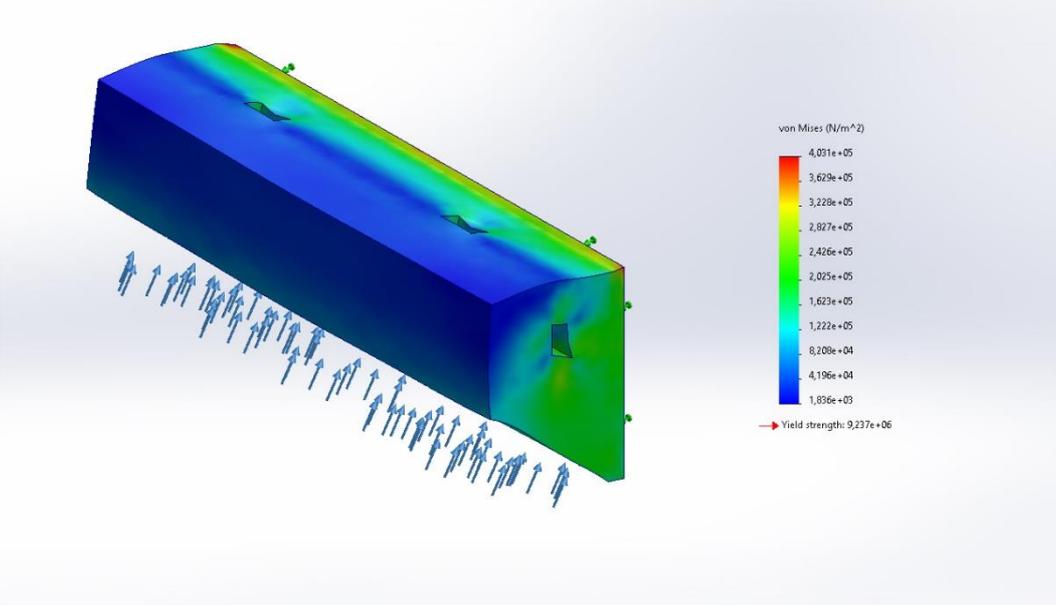
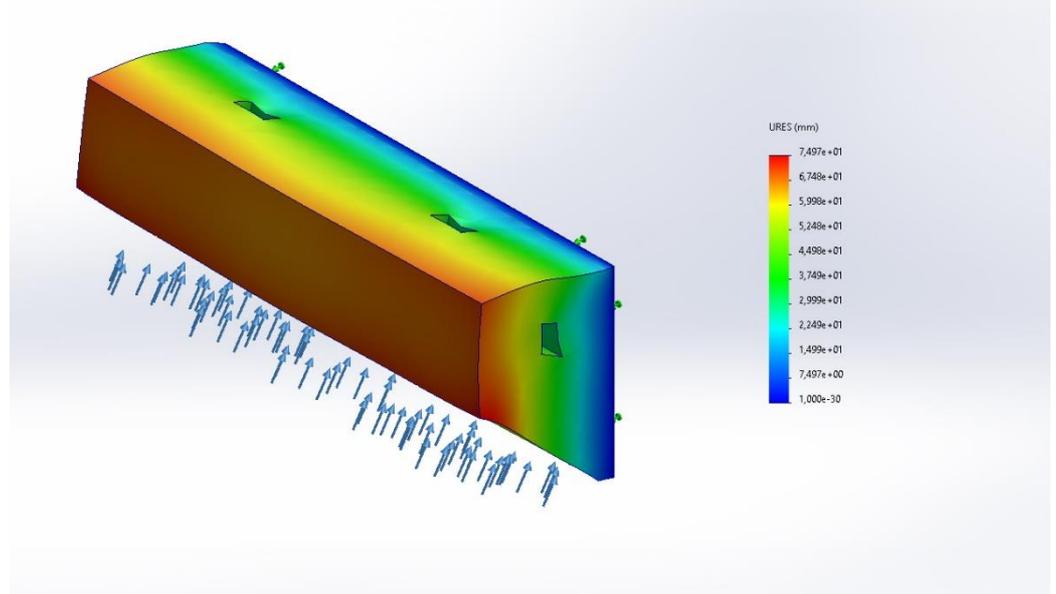
La simulación de la barricada de caucho realizada en SolidWorks proporcionó una visión detallada del comportamiento estructural del componente bajo diferentes condiciones de carga. Utilizando el criterio de Von Mises máximo, se pudo determinar el punto crítico de concentración de esfuerzos en la barricada, lo que permitió identificar áreas susceptibles a la deformación o ruptura, El desplazamiento máximo registrado durante la simulación indica la cantidad máxima de movimiento experimentado por la barricada en respuesta a las cargas aplicadas. Este dato es crucial para evaluar la estabilidad y la

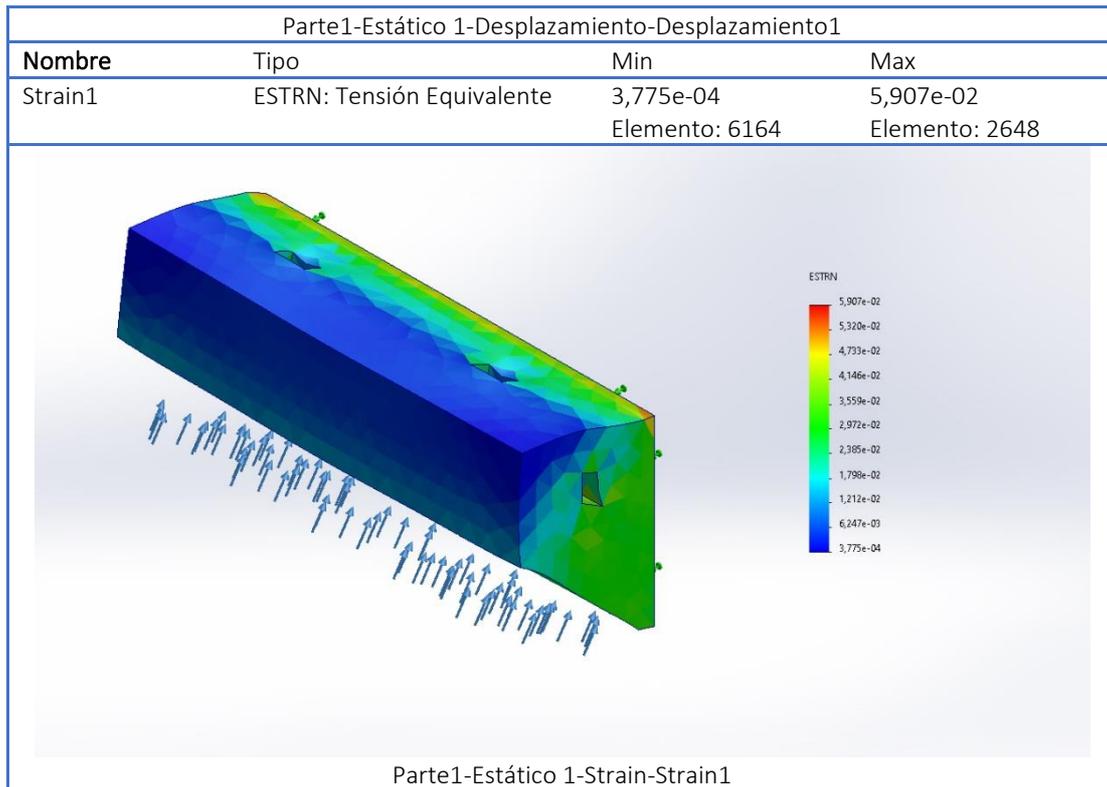
integridad estructural del diseño, así como para garantizar que las deformaciones no superen los límites aceptables

Los resultados de la simulación del caucho en el software SolidWorks se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Tabla de resultado de Simulación de Caucho

Nombre	Tipo	Min	Max
Estrés 1	Criterio de VonMises	1,836e+03N/m ² Nodo: 10357	4,031e+05N/m ² Nodo: 9684
			
Parte1-Estático 1-Stress-Estrés			
Nombre	Tipo	Min	Max
Desplazamiento1	URES: Resultado Desplazamiento	0,000e+00mm Nodo: 17	7,497e+01mm Nodo: 10432
			



5.5 BARRERAS DE TIERRA Y ROCAS

En ciertas situaciones, las barricadas naturales hechas de tierra y rocas pueden ser efectivas. Su ventaja radica en la disponibilidad de materiales en el sitio. Sin embargo, es importante que estén bien diseñadas y compactadas para garantizar la seguridad.

5.5.1 VENTAJAS DE LAS BARRERAS DE TIERRA Y ROCAS

Una barricada de tierra y rocas implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos positivos de este modelo.

5.5.1.1 DISPONIBILIDAD

Los materiales necesarios para crear barreras de tierra y rocas generalmente están disponibles en el sitio, lo que reduce la necesidad de transporte y compra de materiales adicionales.

5.5.1.2 EFECTIVIDAD EN LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA

Las barreras de tierra y rocas pueden absorber y dispersar la energía de impacto de manera efectiva, lo que las hace adecuadas para proteger contra impactos de maquinaria pesada.

5.5.1.3 COSTO-EFECTIVIDAD

En muchos casos, las barreras de tierra y rocas pueden ser una opción económica en términos de materiales y construcción en comparación con materiales más costosos.

5.5.1.4 FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de estas barricadas es relativamente sencilla y no requiere de equipos de construcción especializados.

5.5.1.5 INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO:

Las barricadas de tierra y rocas pueden integrarse visualmente con el entorno natural, lo que puede ser beneficioso en áreas donde la estética es importante.

5.5.2 DESVENTAJAS DE LAS BARRERAS DE TIERRA Y ROCAS

Mantenimiento Continuo: Estas barricadas requieren mantenimiento regular para garantizar su eficacia a lo largo del tiempo. La erosión y el asentamiento pueden ser problemas.

5.5.2.1 LIMITACIONES EN LA ALTURA Y LA LONGITUD

Las barreras de tierra y rocas pueden tener limitaciones en cuanto a su altura y longitud efectivas, lo que puede requerir la construcción de múltiples barricadas para lograr la protección adecuada.

5.5.2.2 CAPACIDAD DE CARGA LIMITADA

En comparación con materiales más sólidos, las barricadas de tierra y rocas pueden tener una capacidad de carga limitada, lo que las hace menos adecuadas para resistir impactos muy pesados.

5.5.2.3 REQUISITOS DE ESPACIO

La construcción de barreras de tierra y rocas generalmente requiere una cantidad significativa de espacio, lo que puede ser un problema en áreas con limitaciones de espacio.

5.5.2.4 DESAFÍOS DE CONTROL DE EROSIÓN

El control de la erosión puede ser un desafío, especialmente en climas con lluvias intensas o exposición a cambios climáticos extremos.

5.6 BARRERA DE POLYETHERETHERKETONE (PEEK)

El Polyetheretherketone (PEEK) es una familia de plásticos técnicos de ingeniería basados en poliamida (nylon), que se utiliza en diversas aplicaciones debido a sus propiedades mecánicas y térmicas. Considero la construcción de una barrera de contención con Polyetheretherketone (PEEK), vamos a tener en cuenta los pros y contras de este material:

5.6.1 VENTAJAS DE LAS BARRERAS DE POLYETHERETHERKETONE (PEEK)

5.6.1.1 LIGEREZA

El Polyetheretherketone (PEEK) es una familia de plásticos técnicos de ingeniería basados en poliamida (nylon), que se utiliza en diversas aplicaciones debido a sus propiedades mecánicas y térmicas. Considero la construcción de una barrera de contención con Polyetheretherketone (PEEK), vamos tener en cuenta los pros y contras de este material:

5.6.1.2 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

El Polyetheretherketone (PEEK) es resistente a la corrosión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones al aire libre y en entornos húmedos.

5.6.1.3 RESISTENCIA A PRODUCTOS QUÍMICOS

Tiene una buena resistencia a muchos productos químicos, lo que puede ser beneficioso en entornos donde hay exposición a sustancias químicas corrosivas.

5.6.1.4 FACILIDAD DE MOLDEADO

Los plásticos son materiales muy versátiles y se pueden moldear fácilmente en diferentes formas y tamaños para adaptarse a diversas necesidades de diseño.

5.6.2 DESVENTAJAS DE LAS BARRERAS DE NEUMÁTICOS.

5.6.2.1 MENOR RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y COMPRESIÓN

En comparación con el acero u otros metales, el Polyetheretherketone (PEEK) tiene una menor resistencia a la tracción y compresión, lo que podría ser un inconveniente en aplicaciones donde se requiere alta resistencia mecánica.

5.6.2.2 MENOR RESISTENCIA AL CALOR

Los plásticos pueden deformarse a altas temperaturas en comparación con los metales, lo que limita su uso en entornos de alta temperatura.

5.6.2.3 DESGASTE Y ABRASIÓN

Los plásticos pueden ser susceptibles al desgaste y la abrasión en comparación con algunos metales, lo que puede reducir su durabilidad en ciertas aplicaciones.

5.6.2.4 SENSIBILIDAD A LA LUZ ULTRAVIOLETA

Algunos plásticos pueden deteriorarse con el tiempo debido a la exposición a la luz ultravioleta, lo que podría reducir su vida útil si se utilizan en exteriores sin la protección adecuada.

5.6.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINAL PARA ELECCIÓN DE MATERIAL DE BARRICADA

- **Resistencia a la tracción**

En términos generales, la resistencia a la tracción del Polyetheretherketone (PEEK) suele estar en el rango de 50 MPa (Mega pascales) a 100 MPa o más, lo que equivale a aproximadamente 7,000 psi a 14,500 psi.

- **Resistencia a la compresión**

Los plásticos técnicos de ingeniería como el Polyetheretherketone (PEEK) tienen una resistencia a la compresión que suele estar en el rango de 50 MPa (Mega pascales) a 150 MPa o más, lo que equivale a aproximadamente 7,000 psi a 21,750 psi.

- **Módulo de elasticidad**

Los plásticos técnicos de ingeniería, incluido el Polyetheretherketone (PEEK), tienen módulos de elasticidad que suelen estar en el rango de 1,000 MPa (Mega pascales) a 4,000 MPa o más, lo que equivale a aproximadamente 145,000 psi a 580,000 psi.

- **Densidad y peso específico**

En general, la densidad del Polyetheretherketone (PEEK) suele estar en el rango de 1,13 a 1,15 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3), lo que equivale aproximadamente a 1130 a 1150 kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

El peso específico del Polyetheretherketone (PEEK), se encuentra en el rango de 1,13 a 1,15. gramos por centímetro cúbico (g/cm^3)

- **Costo**

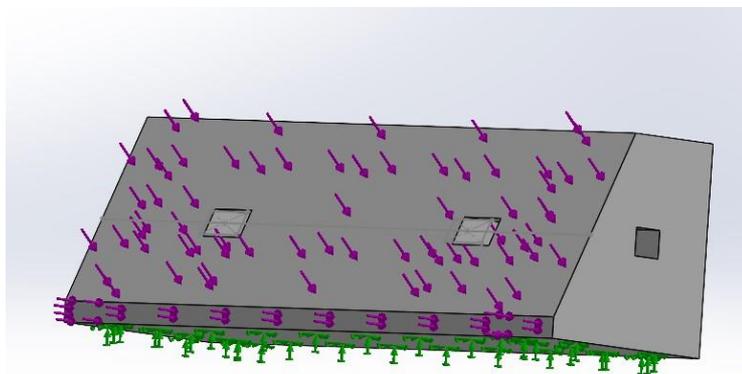
Rollo de Tanza de 10 Metros (1.5 mm) | Polyetheretherketone (PEEK) su valor es \$660 dólares americanos

5.6.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El diseño utilizado en la barricada PEEK se muestra en la Figura 26 donde también están las fuerzas aplicadas en la superficie de la barricada.

Figura 26

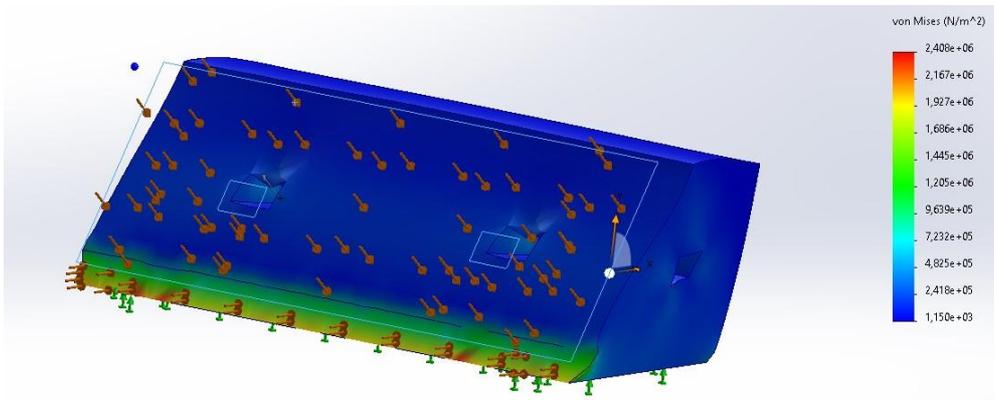
Diseño de barricada de polyetheretherketone (PEEK)



En la iniciación de la simulación en SolidWorks permitió analizar el comportamiento del modelo en condiciones específicas de carga, presión, entre otras. En el caso de una barricada de Polyetheretherketone (PEEK), la simulación puede proporcionar información valiosa sobre la resistencia estructural y el rendimiento bajo diversas circunstancias que nos ayudara en la toma de decisiones para la elección de la barricada, En la Figura 27 se muestra las cargas aplicadas sobre la barricada de Polyetheretherketone (PEEK) y la deformación que harían en el material.

Figura 27

Cargas aplicadas sobre la barricada de Polyetheretherketone (PEEK)



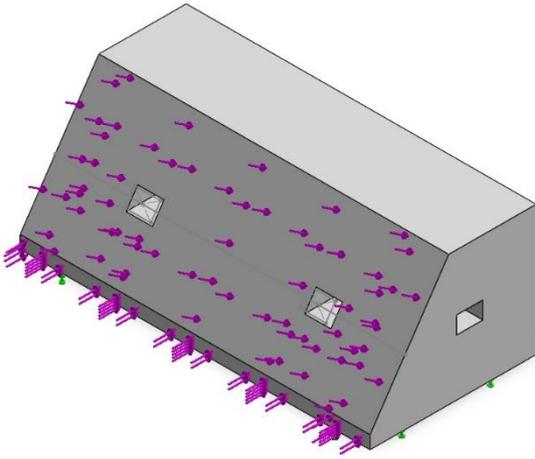
Las cargas aplicadas sobre la barricada de Polyetheretherketone (PEEK) son las que da la suma de la maquinaria más pesada y su capacidad de carga a su lleno máximo sobre la cara frontal de la barricada que es 882598,5 N.

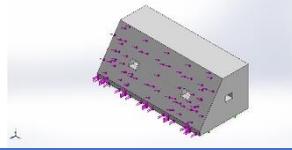
5.6.5 INFORMACIÓN DEL MODELO

La información de la simulación en SolidWorks del PEEK esta detallada en la Tabla 19.

Tabla 19

Tabla de información del modelo - Simulación PEEK

			
Cuerpos Sólidos			
Documento Nombre y Reference	Tratado como	Propiedades Volumétricas	Documento Ruta/Fecha de Modificación
Cut-Extrude5	Cuerpo Sólido	Masa:11.247,7 kg	

	<p>Volumen:8,586 m³ Densidad:1.310 kg/m³ Peso:110.227 N</p>
---	--

5.6.6 PROPIEDADES DE ESTUDIO

Las propiedades del estudio del PEEK para SolidWorks se detalla en la Tabla 20:

Tabla 20

Propiedades de estudio - Simulación PEEK

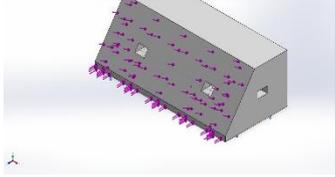
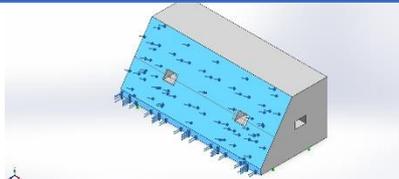
Nombre de Estudio	Estático 2
Tipo de Análisis	Estático
Tipo de Malla	Malla Sólida
Efecto Térmico:	On
Opción Térmica	Incluye cargas de temperatura
Temperatura de tensión cero	298 Kelvin
Incluye efectos de presión de fluidos de SolidWorks Flow Simulación	Off
Tipo de Solución	Automático
Efectos de Rigidización:	Off
Deformación Suave:	Off
Alivio Cinético:	Off
Opciones incompatibles de adhesión	Automático
Largo del Desplazamiento	Off
Fuerzas computarizadas de Cuerpo Libre	On
Fricción	Off
Use método adaptativo	Off
Carpeta de Resultados	SOLIDWORKS Documento (c:\users\alienw~1\appdata\local\temp)
Sistema de Unidades:	SI (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad Angular	Rad/sec
Presión/estrés	N/m ²

5.6.7 CARGAS Y ELEMENTOS

Las cargas aplicadas a la simulación en SolidWorks de la barricada en PEEK son:

Tabla 21

Tabla cargas aplicadas a la barricada - Simulación PEEK

Nombre del Elemento	Imagen del Elemento	Detalle del Elemento		
Fixed-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría del Elemento		
Resultado de las Fuerzas				
Componentes	X	Y	Z	Resultado
Fuerza de Reacción(N)	-0,000518799	489.577	1,61696e+06	1,68945e+06
Momento de Reacción(N.m)	0	0	0	0
Nombre de la Carga	Imagen de la Fuerza	Detalle de la carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s)		
		Tipo:		Fuerza Normal aplicada
		Valor:		882.598 N

5.6.8 INFORMACIÓN DE LA MALLA

El mallado utilizado en la simulación de SolidWorks en el material PEEK se detalla en la

Tabla 22:

Tabla 22

Tabla información del mallado - Simulación PEEK

Tipo de Malla	Malla Sólida
Malla Usada	Curvatura mixta - Malla Base
Puntos jacobianos de la calidad alta del mallado	16 Puntos
Tamaño máximo del elemento	204,754 mm
Tamaño mínimo del elemento	204,754 mm
Calidad de la Malla	Alta
Total Nodos	14374
Total Elementos	9317
Ratio de aspecto máximo	3,7759
% de elementos con aspecto ratio < 3	99,9
% de elementos con aspecto ratio > 10	0
% de elementos deformados	0

Tiempo para completar el mallado(hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre del computador:	

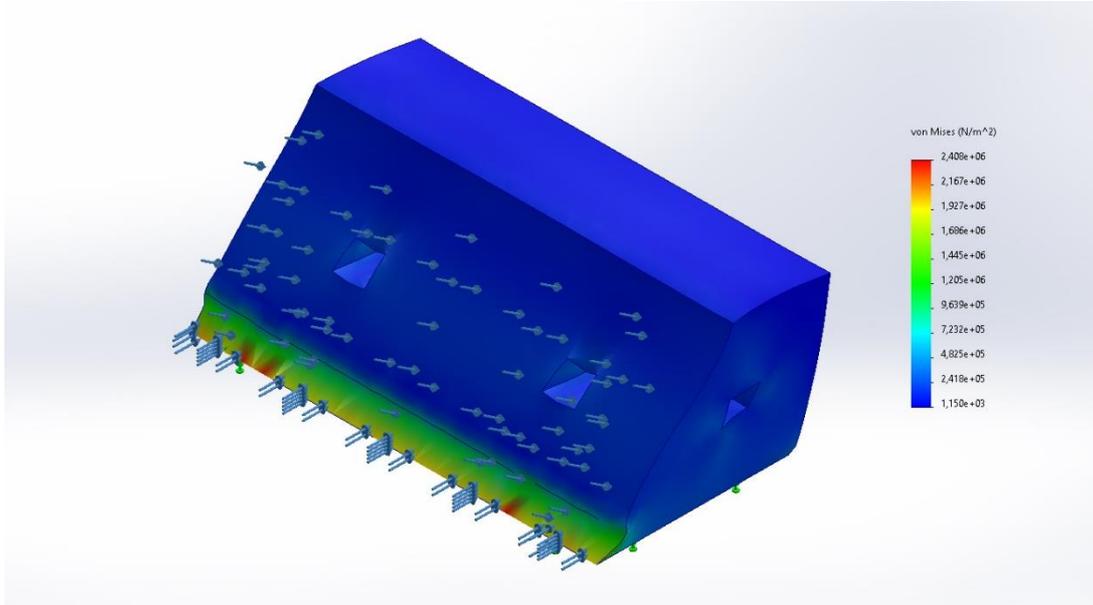
5.6.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

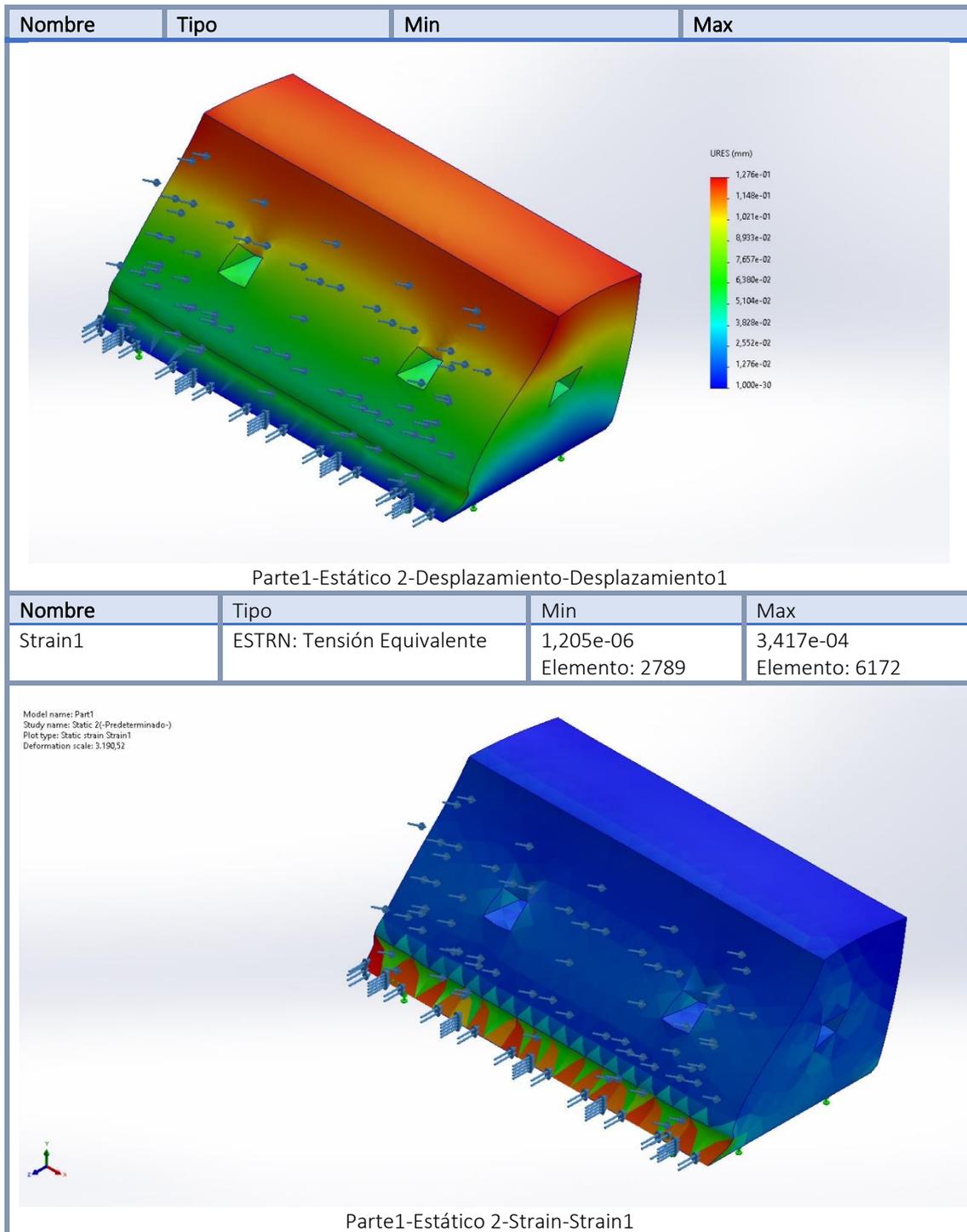
Estos resultados ofrecen una visión detallada del rendimiento del material PEEK en la barricada, incluyendo su resistencia a la deformación, estabilidad bajo carga y capacidad para soportar tensiones máximas. Esta información es crucial para evaluar la idoneidad del material y realizar ajustes en el diseño si es necesario, con el fin de garantizar la seguridad y durabilidad del componente.

Los resultados obtenidos en la en la simulación de SolidWorks en el material PEEK se detalla en la Tabla 23:

Tabla 23

Tabla de resultado de estudio - Simulación PEEK

Nombre	Tipo	Min	Max
Estrés 1	Criterio de VonMises	1,150e+03N/m ² Nodo: 19	2,408e+06N/m ² Nodo: 12753
			
Nombre	Tipo	Min	Max
Desplazamiento1	URES: Resultado Desplazamiento	0,000e+00mm Nodo: 17	1,276e-01mm Nodo: 20



5.7 BARRERAS DE ACERO

Las barreras de acero, como las defensas de carretera, son efectivas para absorber impactos de manera controlada. Pueden ser una elección adecuada cuyo se necesita una respuesta rápida a la protección contra choques.

5.7.1 VENTAJAS DE LAS BARRICADAS DE ACERO.

El diseño de una barricada de acero implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos positivos de este modelo.

5.7.1.1 RESISTENCIA SUPERIOR

Las barreras de acero son altamente resistentes y pueden soportar impactos de maquinaria pesada y colisiones de manera efectiva, lo que las hace ideales para entornos mineros de alto riesgo.

5.7.1.2 DURABILIDAD EXTENSA

El acero es un material duradero y resistente a la corrosión, lo que garantiza una vida útil prolongada de la barricada sin la necesidad de un mantenimiento excesivo.

5.7.1.3 ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

La estructura de acero proporciona una estabilidad estructural sólida, lo que aumenta la confiabilidad de la barricada y su capacidad para resistir cargas significativas.

5.7.1.4 BAJO MANTENIMIENTO

Requieren un mantenimiento relativamente bajo a lo largo del tiempo. Las barreras de acero son resistentes a la degradación y la corrosión, lo que reduce los costos de mantenimiento.

5.7.1.5 VERSATILIDAD EN EL DISEÑO

Las barreras de acero se pueden adaptar a diferentes necesidades de diseño y tamaños de barricadas, lo que permite una mayor versatilidad en su implementación.

5.7.2 DESVENTAJAS DE LA BARRICADA DE ACERO

El diseño de una barricada de acero implica una serie de consideraciones importantes para garantizar su resistencia, durabilidad y efectividad en la contención de riesgos en entornos mineros, para tener unos puntos de comparación con los otros diseños de barricadas se nombrará algunos aspectos en contra de del diseño de una barricada de acero.

5.7.2.1 COSTO INICIAL

El acero es un material más costoso en términos de compra y construcción en comparación con algunas alternativas más ligeras como las barreras de neumáticos.

5.7.2.2 PESO Y VOLUMEN

El acero es pesado y puede requerir equipos de construcción especializados para su instalación, lo que puede aumentar los costos y complicar el proceso.

5.7.2.3 TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de barricadas de acero puede llevar más tiempo que algunas soluciones más ligeras, lo que puede retrasar el inicio de las operaciones mineras.

5.7.2.4 IMPACTO AMBIENTAL

La producción de acero puede tener un impacto ambiental significativo, y la disposición de las barreras de acero al final de su vida útil también debe gestionarse adecuadamente.

5.7.2.5 LIMITACIONES ESTÉTICAS

Las barreras de acero pueden no ser tan atractivas visualmente como algunas alternativas, lo que puede ser un factor importante en áreas donde la estética es relevante.

5.7.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINAL PARA ELECCIÓN DE MATERIAL DE BARRICADA

- **Resistencia a la tracción**

El acero ASTM A36 es un grado de acero estructural de uso común en aplicaciones de construcción. Su resistencia a la tracción típica se encuentra en el rango de 400 MPa a 550 MPa, lo que equivale aproximadamente a 58,000 psi a 80,000 psi, el ASTM A36 es conocido por su facilidad de conformado y soldadura, lo que lo hace adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de construcción. Sin embargo, su resistencia a la tracción lo clasifica como un acero

de resistencia moderada en comparación con otros grados de acero estructural de mayor resistencia

- **Resistencia a la compresión**

Tiene una resistencia a la compresión en el rango de 250 MPa a 400 MPa, lo que equivale aproximadamente a 36,000 psi a 58,000 psi.

- **Módulo de elasticidad:**

El módulo de elasticidad del acero ASTM A36 se encuentra en el rango de 200 GPa a 210 GPa, o alrededor de 29 a 30 millones de psi.

- **Densidad y peso específico:**

Densidad: La densidad del acero ASTM A36 es aproximadamente 7.85 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o 7850 kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Peso específico: El peso específico es la relación entre el peso de un material y el peso del agua en condiciones estándar. Para el acero ASTM A36, el peso específico es aproximadamente 7.85.

5.7.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

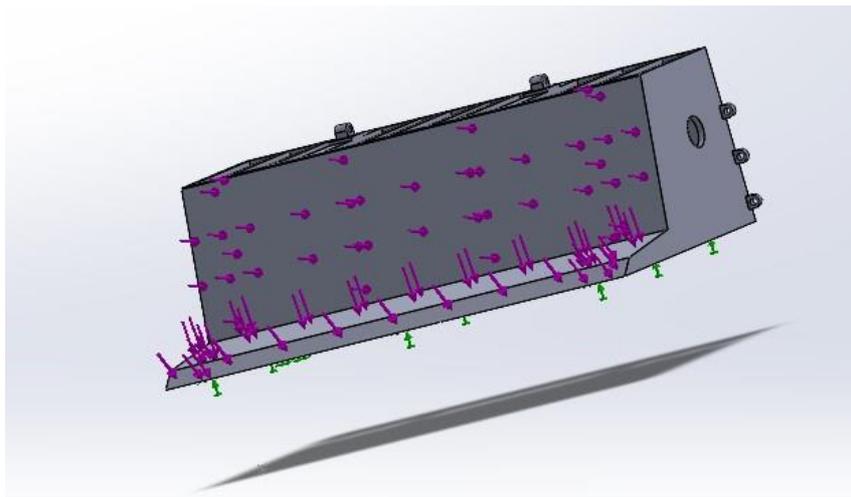
Los resultados de la simulación para el diseño de la barricada de acero revelan una serie de aspectos importantes sobre su comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga. Se observa que el material de acero proporciona una resistencia notable a las fuerzas aplicadas, manteniendo la integridad estructural de la barricada en diversas situaciones de carga. El análisis de los resultados muestra que la barricada de acero es capaz de soportar eficazmente las tensiones y las deformaciones generadas por las cargas simuladas. Se registra un criterio de von Mises máximo dentro de los límites aceptables, lo que indica una distribución equilibrada de esfuerzos en la estructura.

Además, se observa un desplazamiento máximo controlado, lo que sugiere que la barricada de acero mantiene su estabilidad bajo las cargas aplicadas. Esto es fundamental para garantizar la seguridad en el lugar de trabajo y prevenir posibles accidentes graves.

En cuanto al estrés máximo registrado, se encuentra que se mantiene dentro de los niveles seguros para el material de acero utilizado en la barricada. Esto indica que el material posee una resistencia adecuada para resistir las fuerzas externas sin experimentar deformaciones plásticas significativas o fallos catastróficos. En la Figura 28 muestra el diseño de la barricada de acero con las cargas aplicadas:

Figura 28

Diseño de la barricada de acero

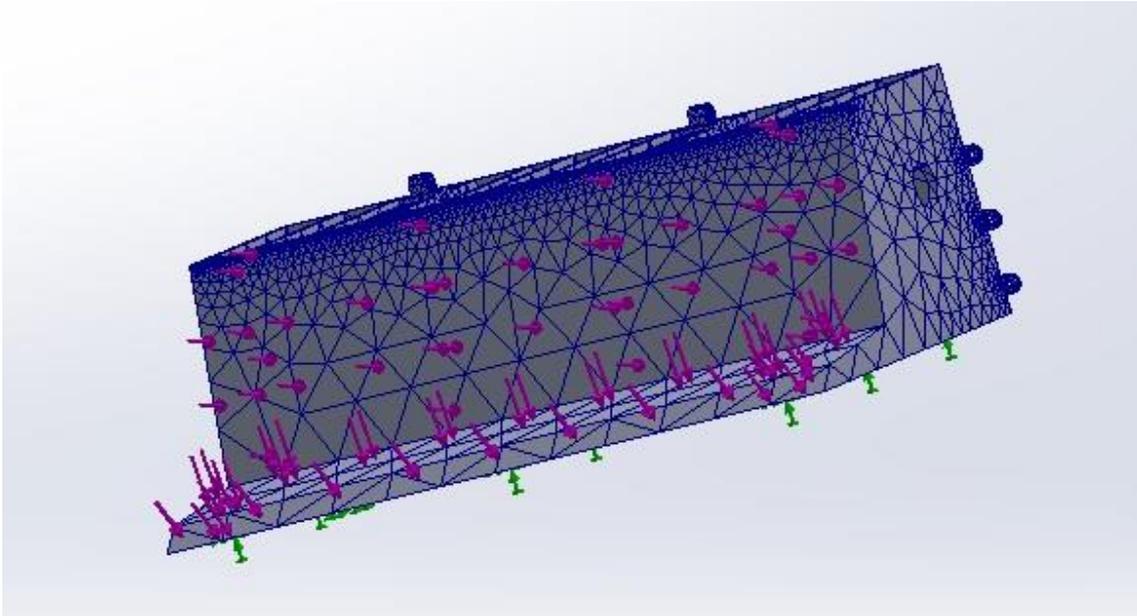


Para garantizar una representación precisa del comportamiento estructural de la barricada de acero, se empleó un mallado adecuado que subdividió la estructura en elementos finitos. Este proceso permitió capturar con precisión las variaciones locales en las tensiones y deformaciones dentro de la barricada, ofreciendo una base sólida para la simulación.

El mallado realizó la discretización en áreas críticas de la barricada, donde se esperaban mayores concentraciones de esfuerzos. Esto aseguró una representación precisa del comportamiento estructural en estas regiones clave, permitiendo una evaluación detallada de la resistencia y la estabilidad de la barricada bajo cargas variables, mostrado en la Figura 29.

Figura 29

Cargas aplicadas y mallado sobre la barricada de acero



Las cargas aplicadas sobre la barricada de acero son las que da la suma de la maquinaria más pesada y su capacidad de carga a su lleno máximo sobre la cara frontal de la barricada que es 882598,5 N.

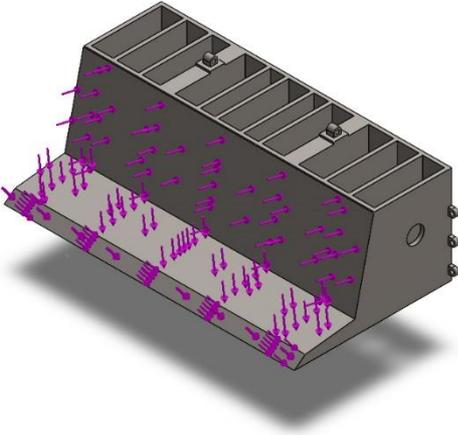
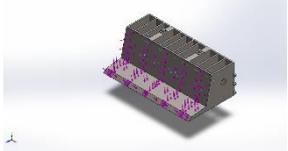
5.7.5 INFORMACIÓN DEL MODELO

Se presenta la información del modelo utilizado en acero para SolidWorks de una barrera de seguridad. Este modelo está diseñado para cumplir con los estándares de calidad y seguridad requeridos en entornos industriales y de construcción.

A continuación, se detallará la información clave del modelo, incluyendo dimensiones, características estructurales, materiales utilizados y cualquier consideración relevante para su diseño y funcionalidad en SolidWorks. Este modelo servirá como una representación precisa y detallada de la barricada de seguridad de acero, mostrado en la Tabla 24.

Tabla 24

Tabla de información del Modelo - Simulación de Acero

			
Cuerpos Sólidos			
Documento Nombre y Referencia	Tratado como	Propiedades Volumétricas	Documento Ruta/Fecha de Modificación
Cut-Extrude21 	Cuerpo Sólido	Masa:25.019,9 kg Volumen:3,18725 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:245.195 N	C:\Users\ALIENWARE\Desktop\TESIS\otra barricada.SLDPRT Sep 17 15:25:28 2023

5.7.6 PROPIEDADES DE ESTUDIO

Las propiedades a utilizar en la barricada de acero son:

Tabla 25

Tabla propiedades de estudio - Simulación Acero

Nombre de Estudio	Estático 2
Tipo de Análisis	Estático
Tipo de Malla	Malla Sólida
Efecto Térmico:	On
Opción Térmica	Incluye cargas de temperatura
Temperatura de tensión cero	298 Kelvin
Incluye efectos de presión de fluidos de SolidWorks FLOW Simulation	Off
Tipo de Solución	Automático
Efectos de Rigidización:	Off

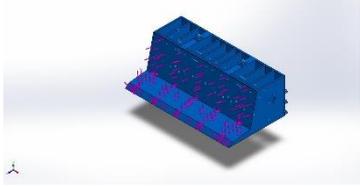
Deformación Suave:	Off
Alivio Cinético:	Off
Opciones incompatibles de adhesión	Automático
Largo del Desplazamiento	Off
Fuerzas computarizadas de Cuerpo Libre	On
Fricción	Off
Use método adaptativo	Off
Carpeta de Resultados	SOLIDWORKS Documento (C:\Users\ALIENWARE\Desktop\TESIS)
Sistema de Unidades:	SI (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad Angular	Rad/sec
Presión/estrés	N/m ²

5.7.7 PROPIEDADES DEL MATERIAL

Estas propiedades del material del acero influyen en su rendimiento en la simulación de la barricada y son consideraciones importantes en el diseño y la selección de materiales para garantizar la seguridad y la eficacia del componente en entornos mineros exigentes, mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26

Tabla propiedades del material - Simulación Acero

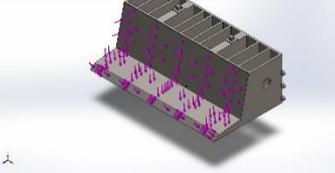
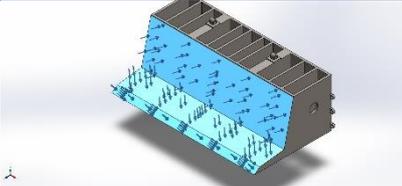
Modelo de Referencia	Propiedades	Componentes
	Nombre:	ASTM A36 Steel
	Tipo de Modelo:	Isotrópico Lineal Estático
	Criterio de falla predeterminado:	Max von Mises Stress
	Límite Elástico:	2,5e+08 N/m ²
	Resistencia a la Tracción:	4e+08 N/m ²
	Módulo Elástico:	2e+11 N/m ²
	Ratio de Poisson:	0,26
	Masa Densidad:	7.850 kg/m ³
	Módulo Cortante:	7,93e+10 N/m ²
	Dato de la Curva:N/A	

5.7.8 CARGAS Y ELEMENTOS

Las cargas aplicadas a la barricada de acero en la simulación son:

Tabla 27

Tabla cargas aplicadas a la barricada - Simulación Acero

Nombre del Elemento	Imagen del Elemento			Detalle del Elemento	
Fixed-1				Entidades:	1 cara(s)
				Tipo:	Geometría del Elemento
Resultado de las Fuerzas					
Componentes	X	Y	Z	Resultado	
Fuerza de Reacción(N)	0,00430632	1,76393e+06	1,5116e+06	2,32301e+06	
Momento de Reacción (N.m)	0	0	0	0	
Nombre de la Carga	Imagen de la Fuerza			Detalle de la carga	
Fuerza-1				Entidades:	3 cara(s)
				Tipo:	Fuerza Normal aplicada

5.7.9 INFORMACIÓN DE LA MALLA

La información del mallado en la barricada de acero para SolidWorks es:

Tabla 28

Tabla información del mallado - Simulación del Acero

Tipo de Malla	Malla Sólida
Malla Usada	Curvatura mixta - Malla Base
Puntos jacobianos de la calidad alta del mallado	16 puntos
Tamaño máximo del elemento	324,106 mm
Tamaño mínimo del elemento	16,2053 mm
Calidad de la Malla	Alta
Total Nodos	38165
Total Elementos	20173
Ratio de aspecto máximo	15,879
% de elementos con aspecto ratio < 3	83,9

% de elementos con aspecto ratio > 10	0,164
% de elementos deformados	0
Tiempo para completar el mallado(hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre del computador:	

5.7.10 RESULTADO DE LAS FUERZAS

Los resultados de la simulación de fuerzas para la barricada de acero son:

Tabla 29

Tabla fuerzas Resultados - Simulación Acero

Fuerza de Reacción					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo Total	N	0,00430632	1,76393e+06	1,5116e+06	2,32301e+06
Momento Reacción					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo Total	N.m	0	0	0	0
Fuerzas Cuerpo Libre					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo Total	N	0,00136328	-0,758575	0,151142	0,773487
Momento Cuerpo Libre					
Set de Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultado
Modelo Total	N.m	0	0	0	1e-33

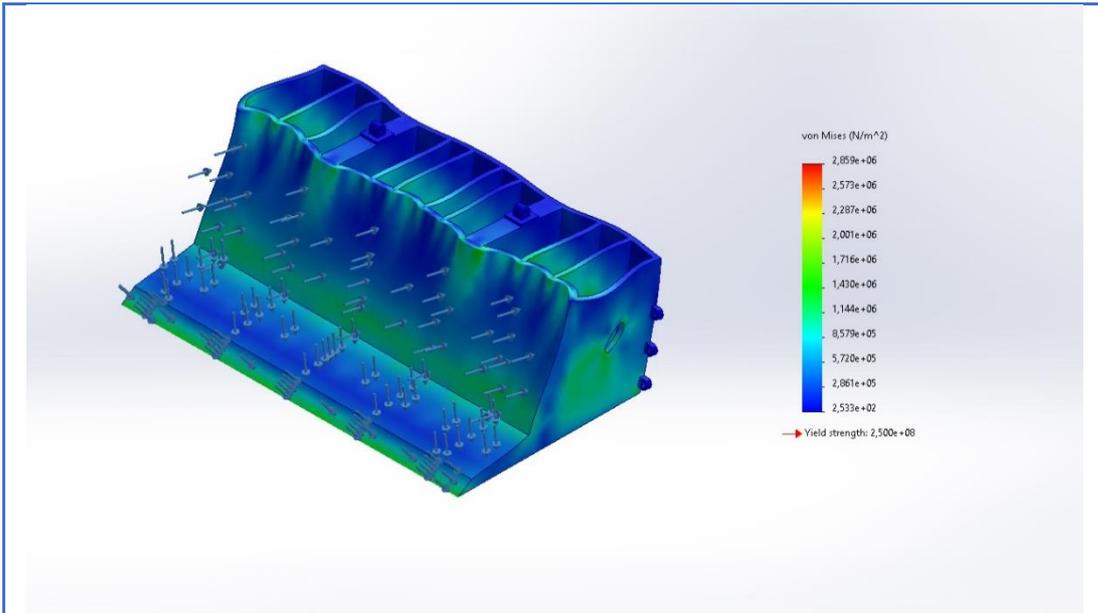
5.7.11 ESTUDIO DE RESULTADOS

Los resultados del estudio en la simulación de la barricada de acero son:

Tabla 30

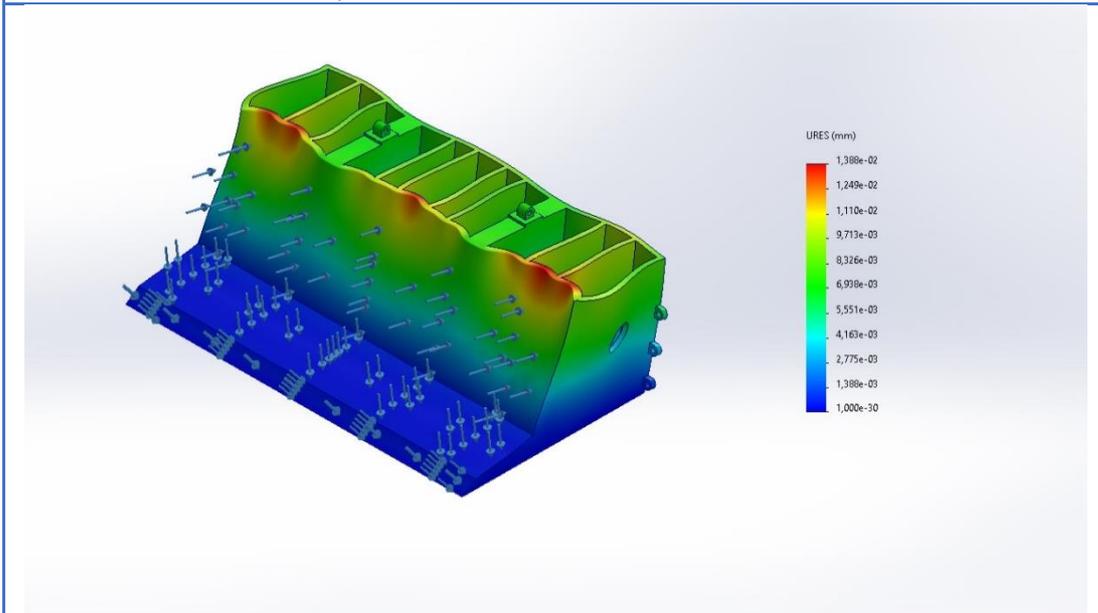
Tabla resultados del estudio - Simulación Acero

Nombre	Tipo	Min	Max
Estrés 1	Criterio de VonMises	2,533e+02N/m ² Nodo: 10861	2,859e+06N/m ² Nodo: 4720



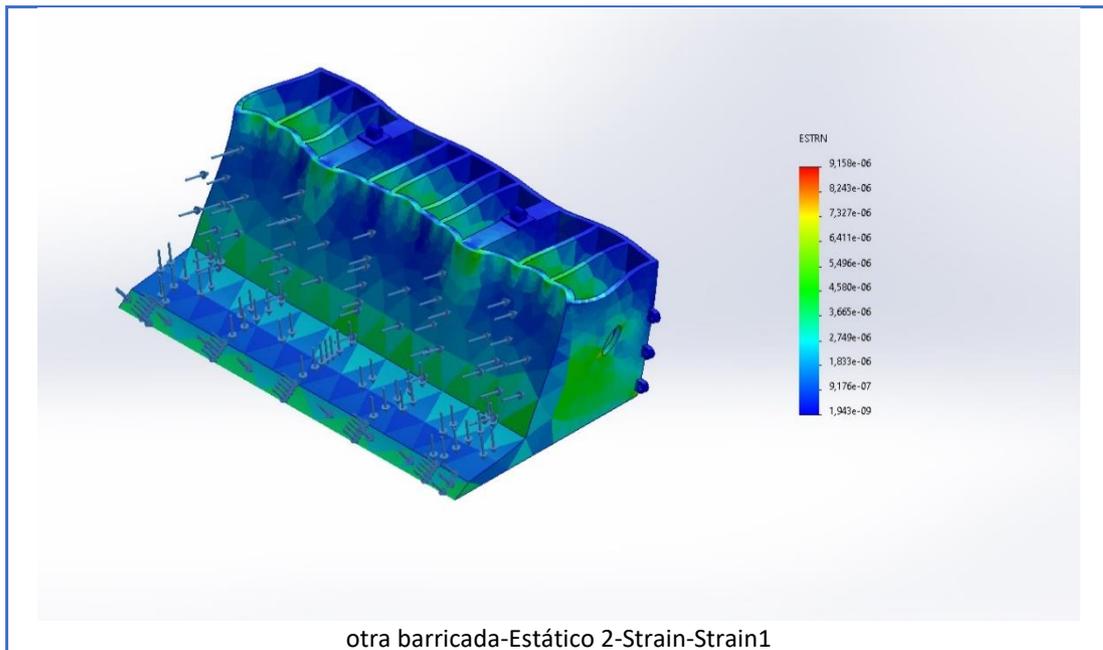
otra barricada-Estático 2-Stress-Estrés 1

Nombre	Tipo	Min	Max
Desplazamiento1	URES: Resultado Desplazamiento	0,000e+00mm Nodo: 16	1,388e-02mm Nodo: 23991



otra barricada-Estático 2-Desplazamiento-Desplazamiento1

Nombre	Tipo	Min	Max
Strain1	ESTRN: Tensión Equivalente	1,943e-09 Elemento: 8312	9,158e-06 Elemento: 12284



5.8 FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS SIMULACIONES DE LAS BARRICADAS

El factor de seguridad es una medida utilizada en ingeniería y diseño para evaluar la capacidad de un componente o sistema para soportar cargas y condiciones de operación sin fallar. Se define como la relación entre la carga máxima que un componente puede soportar y la carga máxima esperada o prevista que experimentará durante su vida útil. En otras palabras, el factor de seguridad es el cociente entre la resistencia del material o estructura y las cargas aplicadas. (Abellán, 2017).

La fórmula básica para el factor de seguridad (FS) es:

$$\text{Factor de Seguridad}(FS) = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo máximo de Vo Misses}}$$

Un factor de seguridad mayor a 1 indica que el componente es capaz de soportar las cargas previstas sin fallar. Cuanto mayor sea el factor de seguridad, mayor será el margen de seguridad incorporado en el diseño.

- Hormigón armado

$$\text{Factor de Seguridad}(FS) = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo máximo de Vo Misses}}$$

$$(FS) = \frac{0,371\text{Mpa}}{0.6788\text{Mpa}}$$

$$(FS) = 0.5$$

- Caucho

$$\text{Factor de Seguridad}(FS) = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo máximo de Vo Misses}}$$

$$(FS) = \frac{9237\text{Mpa}}{403.1\text{Mpa}}$$

$$(FS) = 22$$

- (P.E.E.K)

$$\text{Factor de Seguridad}(FS) = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo máximo de Vo Misses}}$$

$$(FS) = \frac{1927 \text{ Mpa}}{2408 \text{ Mpa}}$$

$$(FS) = 0.8$$

- Acero ASTM32

$$\text{Factor de Seguridad}(FS) = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo máximo de Vo Misses}}$$

$$(FS) = \frac{250000 \text{ Mpa}}{2859 \text{ Mpa}}$$

$$(FS) = 87$$

Para garantizar una dinámica segura de trabajo de la barricada con los datos obtenidos de las simulaciones, evaluaciones de pros y contras de los diferentes materiales y los cálculos del factor de seguridad nos damos cuenta que la mejor opción es el acero común o acero astm36.

Siguiendo a la contestación de las preguntas principales de nuestro proyecto daremos solución a la última de ellas

¿Cuáles son los principales riesgos laborales a los que se enfrentan los operadores de transportes tipo cuchara en la minería a gran escala, y cómo pueden mitigarse de manera efectiva?

Los principales riesgos laborales que tenemos son los Riesgos Ergonómicos, Atrapamiento y Aplastamiento, Exposición a Sustancias Peligrosas, Riesgos Eléctricos, Vuelco y Deslizamiento, Riesgos por Ruido, Capacitación Insuficiente.

Una vez claramente identificados los principales riesgos tendremos que elaborar una guía para que el supervisor que este a cargo de esta operación sepa qué medidas tomar en caso de sufrir algún tipo de riesgo.

5.9 RIESGOS LABORALES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA OPERADORES DE TRANSPORTES TIPO CUCHARA EN MINERÍA A GRAN ESCALA:

- **Riesgos Ergonómicos**

Causas: Posturas incómodas, movimientos repetitivos.

Mitigación: Cabinas ergonómicas, asientos ajustables, programas de rotación de tareas, capacitación en ergonomía.

- **Atrapamiento y Aplastamiento:**

Causas: Operación cercana a maquinaria pesada, manipulación de grandes cargas.

Mitigación: Procedimientos seguros, áreas delimitadas, sistemas de alerta, cámaras de visión trasera, capacitación en seguridad.

- **Exposición a Sustancias Peligrosas**

Causas: Manejo de materiales contaminados.

Mitigación: Equipo de protección personal, prácticas seguras, controles de calidad del aire.

- **Riesgos Eléctricos**

Causas: Uso de equipos eléctricos en entornos adversos.

Mitigación: Inspecciones regulares, medidas de protección, capacitación en seguridad eléctrica.

- **Vuelco y Deslizamiento**

Causas: Terreno irregular, condiciones climáticas adversas.

Mitigación: Mantenimiento, límites de velocidad, sistemas antideslizantes, capacitación en operación segura.

- **Riesgos por Ruido**

Causas: Operación de maquinaria ruidosa.

Mitigación: Protectores auditivos, monitoreo de ruido, mantenimiento para reducir niveles de ruido.

- **Fatiga y Estrés**

Causas: Largas horas de trabajo, ritmo acelerado.

Mitigación: Turnos razonables, descansos adecuados, programas de bienestar, apoyo psicológico.

- **Capacitación Insuficiente**

Causas: Falta de conocimiento sobre la operación segura.

Mitigación: Programas de capacitación, manuales de operación

6 CONCLUSIONES

La realización de esta investigación ha arrojado luz sobre la importancia crítica de abordar los desafíos asociados con la seguridad laboral y la prevención de derrames en la extracción de material pétreo en minería a gran escala, específicamente en relación con los transportes tipo Scoop. El diseño de una barricada de contención adaptada a estas maquinarias ha sido el objetivo central de este estudio multidisciplinario, que ha integrado principios de ingeniería de seguridad, diseño estructural.

A través del análisis exhaustivo de los factores influyentes en la seguridad minera y la evaluación de las características únicas de los transportes tipo Scoop, se desarrolló un sólido fundamento para la concepción de la barricada de contención. La definición de parámetros iniciales de diseño ha permitido garantizar la aplicabilidad de la solución propuesta, asegurándose capacidad para adaptarse a las condiciones operativas y los entornos variables de la minería a gran escala.

La etapa de diseño y simulación ha presentado diversas alternativas de materiales que no solo fortalecen la confiabilidad del diseño, sino que también abordan las necesidades de durabilidad y resistencia a largo plazo. La simulación numérica ha demostrado ser una herramienta invaluable para predecir el comportamiento de la barricada bajo

diferentes escenarios de derrame y carga, permitiendo una evaluación exhaustiva antes de su práctica de implementación.

La evaluación de los diseños propuestos consideró la dinámica segura de trabajo, ha sido esencial para garantizar que la solución no solo sea efectiva en la prevención de derrames, sino que también sea sostenible y rentable a lo largo del tiempo. La intersección entre la ingeniería, la seguridad laboral y la protección ambiental ha resultado en una solución integral que equilibra la productividad con la responsabilidad hacia los trabajadores y el entorno.

En última instancia, esta tesis contribuye tanto al ámbito académico como a la industria minera al presentar un enfoque innovador y práctico para abordar una problemática crítica en la minería a gran escala. El diseño propuesto de la barricada de contención no solo promete reducir incidentes y costos asociados con derrames, sino que también tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad y seguridad en las operaciones mineras, beneficio a los trabajadores de minería a gran escala.

7 RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base de los resultados y hallazgos obtenidos a lo largo de esta investigación sobre el diseño de una barricada de contención para transportes tipo Scoop en la extracción de material pétreo en minería a gran escala, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Adaptación a Condiciones Variables: Dado que las operaciones mineras pueden variar en términos de terreno, clima y tipo de material, se recomienda que cualquier diseño de barricada de contención sea adaptable y modular. Esto permitirá ajustar la solución a condiciones cambiantes y garantizar su efectividad en una variedad de situaciones.
- Investigación de Materiales Avanzados: Continuar investigando y experimentando con materiales avanzados que puedan ofrecer una mayor resistencia, durabilidad y resistencia a la corrosión. Los avances en materiales compuestos, revestimientos protectores y tecnologías de refuerzo podrían mejorar la confiabilidad y longevidad de la barricada, tales como el uso de

caucho reciclado, o el mismo polímero PEEK, que han sido detallados en los incisos 3.9.2 y 3.9.3 del marco teórico.

- **Capacitación y Concientización:** La implementación exitosa de cualquier medida de seguridad depende en gran medida del conocimiento y la conciencia de los trabajadores. Por lo tanto, se recomienda implementar programas de capacitación regular para los operadores de maquinaria, enfocados en la importancia de la barricada de contención y sus procedimientos de uso.
- **Actualización y mejora continua:** Dada la constante evolución de las tecnologías y las prácticas en la industria minera, se recomienda establecer un ciclo de mejora continua para el diseño de la barricada de contención. La retroalimentación de la experiencia práctica y la implementación permitirán realizar ajustes y optimizaciones a lo largo del tiempo.
- **Evaluación a Largo Plazo:** Una vez implementadas, las barricadas de contención deben ser sometidas a una evaluación y monitoreo a largo plazo. Esto permitirá evaluar su eficacia en situaciones reales, identificar posibles problemas y realizar los ajustes necesarios para mantener su rendimiento óptimo.
- **Comunicación con Stakeholders:** Es importante involucrar a todas las Partes interesadas, incluidos trabajadores, administradores de minas y reguladores, en el proceso de diseño e implementación de la barricada de contención. La comunicación abierta y la retroalimentación constructiva pueden mejorar la aceptación y efectividad de la solución propuesta.

Estas recomendaciones están diseñadas para guiar tanto la implementación práctica como futuras investigaciones en el campo del diseño de barricadas de contención para transportes tipo Scoop en la minería a gran escala. Al adoptar un enfoque holístico y orientado a la mejora constante, se puede lograr un impacto significativo en la seguridad laboral, la prevención de derrames y la sostenibilidad en la industria minera.

8 REFERENCIAS

Abellán López, D. (2017). Desarrollo de nuevas barreras deformables para ensayo de vehículos en distintas configuraciones de choque.

Aguirre Zapata, D. (2014). Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Anleu Bolaños, B. A. (2023). Gestión de riesgos, seguridad y salud ocupacional en las operaciones de obras de infraestructura civil aplicando normas internacionales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Alsina Quintero, H. A. (2019). Desempeño de geometrías de bombas PCP en pozos críticos de alto manejo de flujo de sólidos. Escuela de Química y Petróleos.

Blanco Hernández, M. S. (2018). Cálculo del caudal necesario para el sistema de enfriamiento de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Hanabanilla. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones

Bautista Fernández, C. L. (2020). Estudio minero para el diseño del depósito de desmonte con muro de contención en una mina subterránea, Cajabamba 2020.

Cuenca Cumbicus, J. F. (2022). Historia, situación actual y desafíos de la minería aurífera artesanal y pequeña escala en la región amazónica del Ecuador.

Chávarri Cueva, L. A., & Falen Solis, J. A. (2020). Propuesta de concreto eco-sostenible con la adición de caucho reciclado para la construcción de pavimentos urbanos en la ciudad de Lima.

Donini, H., & Orlor, R. (2021). Análisis de las patologías en las estructuras de hormigón armado: causas, inspección, diagnóstico, refuerzo y reparación. Nobuko.

Canal Sánchez, I. (2014). Análisis de fallos en Elementos mecánicos.

Freire Castelo, M. E. (2014). Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Municipal de Faenamiento de Ganado de Orellana.

Gómez Vilcherrez, J. (2020). Análisis de ciclo de vida al hidroharc, material implementado para el diseño y fabricación de los asientos de las toberas de la central hidroeléctrica cañón del pato.

Guzmán Pérez, E. (2014). Rediseño del sistema de bombeo del cárcamo de la 1a y 2a etapa de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres "chicoasen".

Guamunshi Cali, E. & Bانشuy, J. (2024). Análisis comparativo de la normativa dispuesta en la ACI 318-19 para el diseño de muros a corte, frente a la NEC-15, Universidad Nacional de Chimborazo.

Hietikko, E. (2023). SolidWorks 2023: Tietokoneavusteinen suunnittelu. BoD-Books on Demand.

Jiménez, J., Aceituno, , Suárez, F, & Carazo, J. (2020). Fundamentos de Elasticidad y Resistencia de Materiales.

Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment y Management*, 1(2), 95. https://doi.org/10.1897/IEAM_2004a-015.1

Loayza Montalvan, S. X., & Morocho Navas, D. C. (2019). Desarrollo de la gestión Documental de operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Alazán [B.S. thesis].

López Quintero, N., & Reyes González, L. F. (2018). Evaluación técnica y financiera del uso de la herramienta tubing screen en cinco pozos de campo casabe [B.S. thesis]. Fundación Universidad de América.

Reinoso Zhindón, D. A. (2023). Diseño de un sistema desarenador para retención de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán.

Muñoz Sepúlveda, C. B. (2018). Desarrollo de un modelo de mejora continua para identificar las causas y proyectar el desgaste por abrasión en ductos de transporte de carbón en planta termo-eléctrica (aes gener, central ventanas).

Noon, A. A., Jabbar, A. U., Koteh, H., Kim, M.-H., Ahmed, H. W., Mueed, U., Shoukat, A. A., & Anwar, B. (2021). Strive to Reduce Slurry Erosion y Cavitation in Pumps through Flow Modifications, Design Optimization y Some Other Techniques: Long Term Impact on Process Industry. *Materials*, 14(3), 521. <https://doi.org/10.3390/ma14030521>

Noon, A. A., & Kim, M. H. (2021). Sediment y Cavitation Erosion in Francis Turbines—Review of Latest Experimental y Numerical Techniques. *Energies* 2021, 14, 1516. s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published

Serrano Puente, I. A. (2013). Plan de mejoramiento para la prevención de mermas en la cadena de suministros de una empresa de retail. Rivera, G. (1992). Resistencia del concreto. Universidad del Cauca.

Rigby, RB (2020). Polieteretercetona. En Termoplásticos de ingeniería (págs. 299-314). Prensa CRC.

Polanco, J. Atehortúa, F. Gómez, L. Hernández, B. & Barco, M. (2020). Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos en el valor de una central hidroeléctrica. *Dyna*, 87(213), 232-240.

Rodríguez, D. P. G. (2019). Desarrollo de un sistema de gestión de infraestructura vial de la ruta Miraflores–Sinincay-Racar , Universidad de Cuenca.

Romero Guarín, A., & Soler Rodríguez, L. V. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica.

Serrano, O. de Castro, A, Rico, A. Pinto, A. Viana, E. & Martinez, C. (2018). Efeitos abrasivos dos sedimentos em rotores de bombas utilizadas na captação de água bruta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(9), 591-596.

Pacheco, D. & Mejía, E. (2018). Evaluación de impactos en la vida útil del embalse y la carga solida del rio por retención de sedimentos en el embalse Topocoro Central Hidroeléctrica Sogamoso.

Tapia Campos, F. A. (2017). Análisis y evaluación de potenciales riesgos en la logística de recursos para una operación minera subterránea de gran escala.

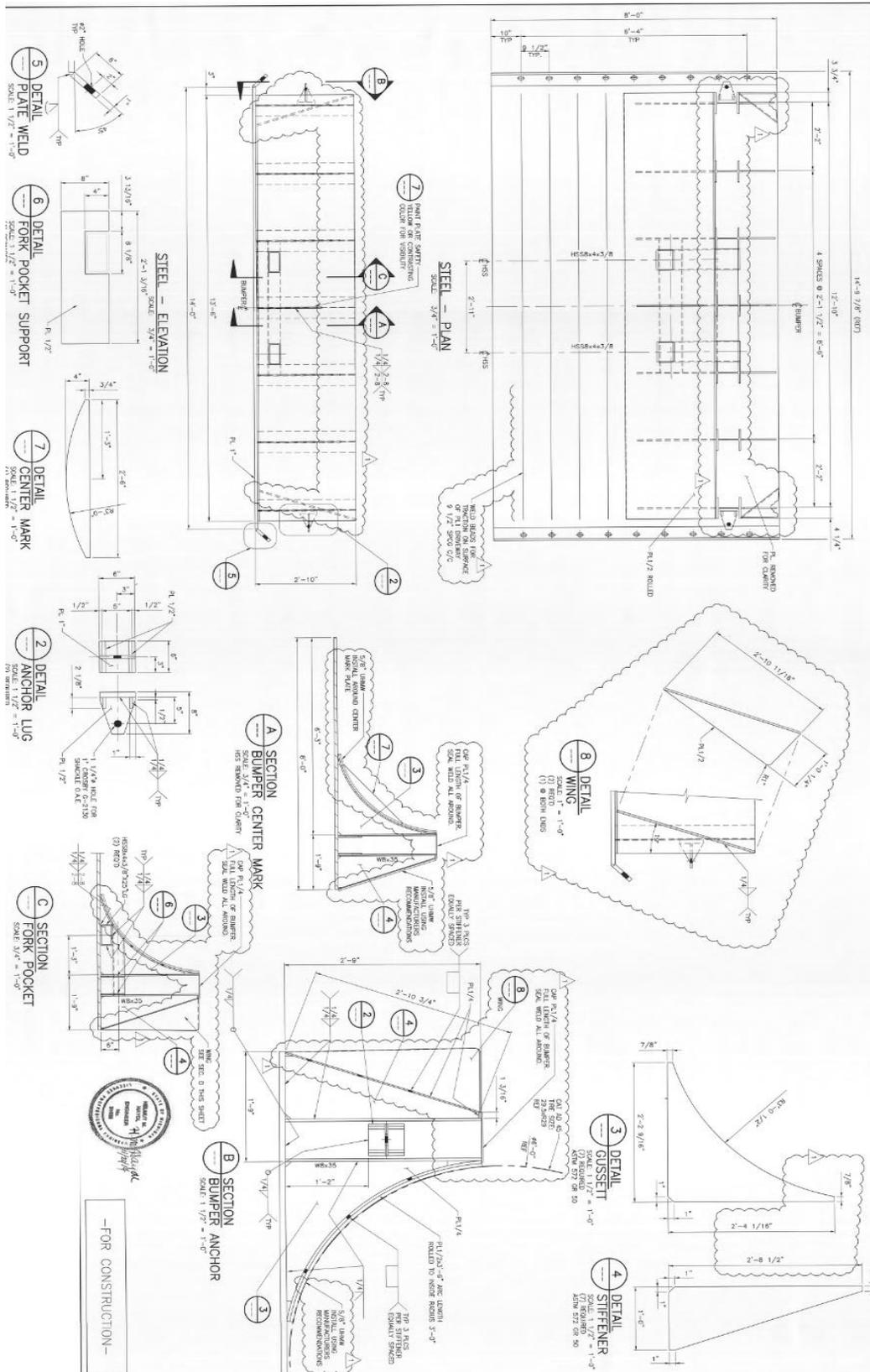
Alarcón, R., Cepeda, C., Fajardo, L., & Medina, E. (1996). Monitoreo de redes eléctricas en baja tensión de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Vivero Condo, C. D., & Merchán Saquipay, H. A. (2019). Análisis de la microestructura en los rodetes pelton de la Central Hidroeléctrica Paute-Molino mediante réplicas metalográficas in-situ [B.S. thesis].

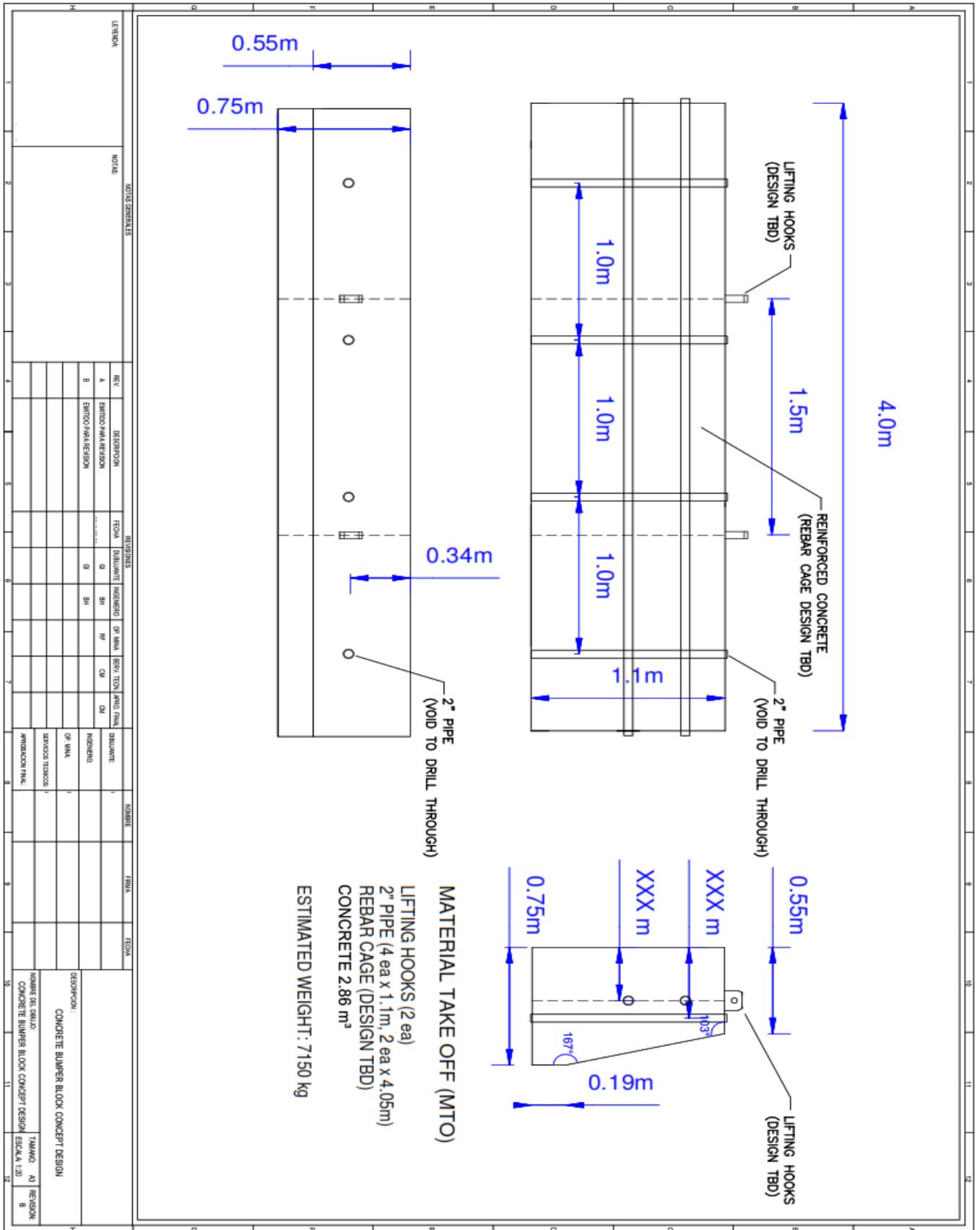
Vargas, A. (2020). literal del artículo 3 del reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental , Universidad del Desarrollo.

9 ANEXOS

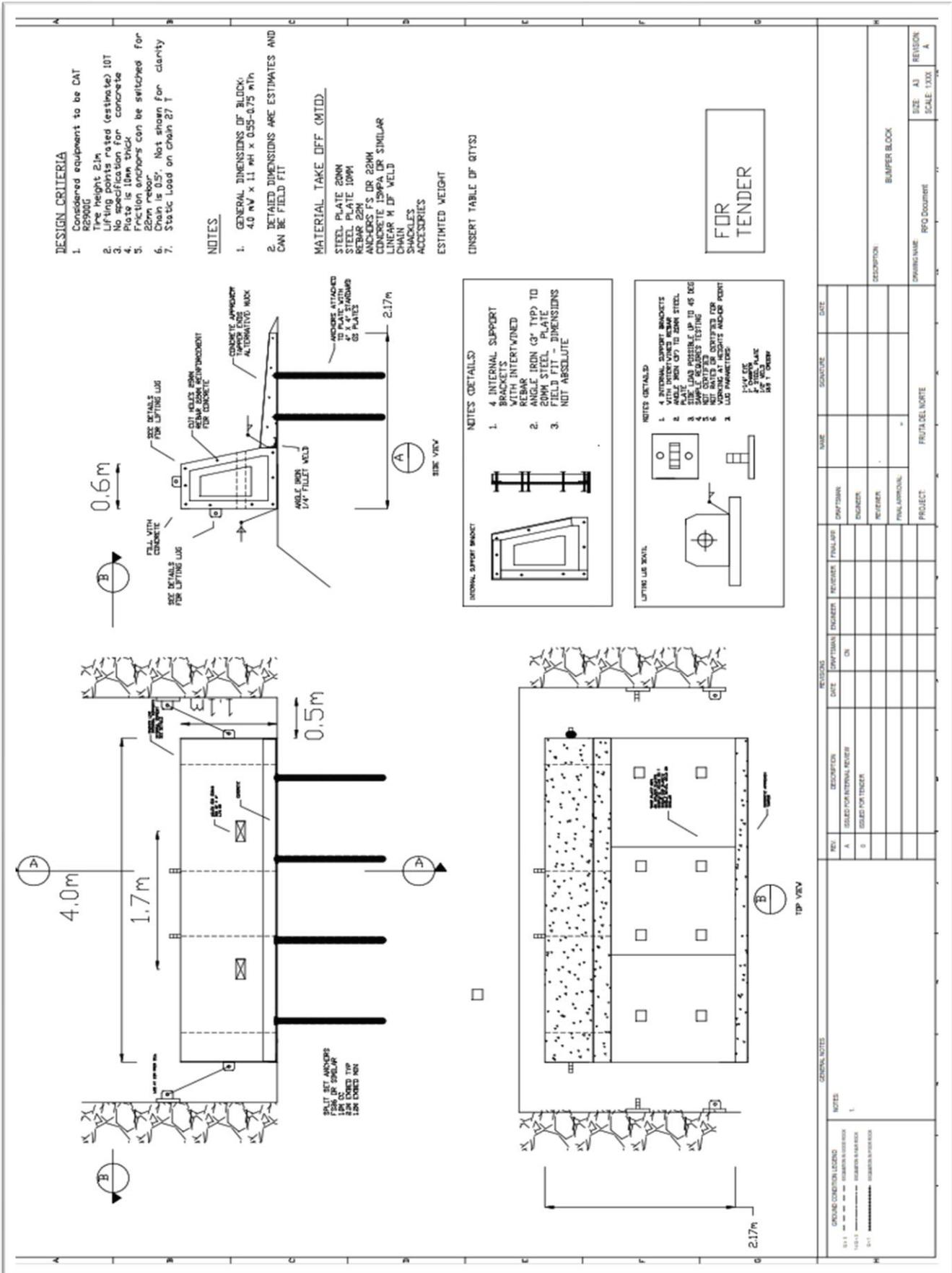
9.2 ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA BARRICADA



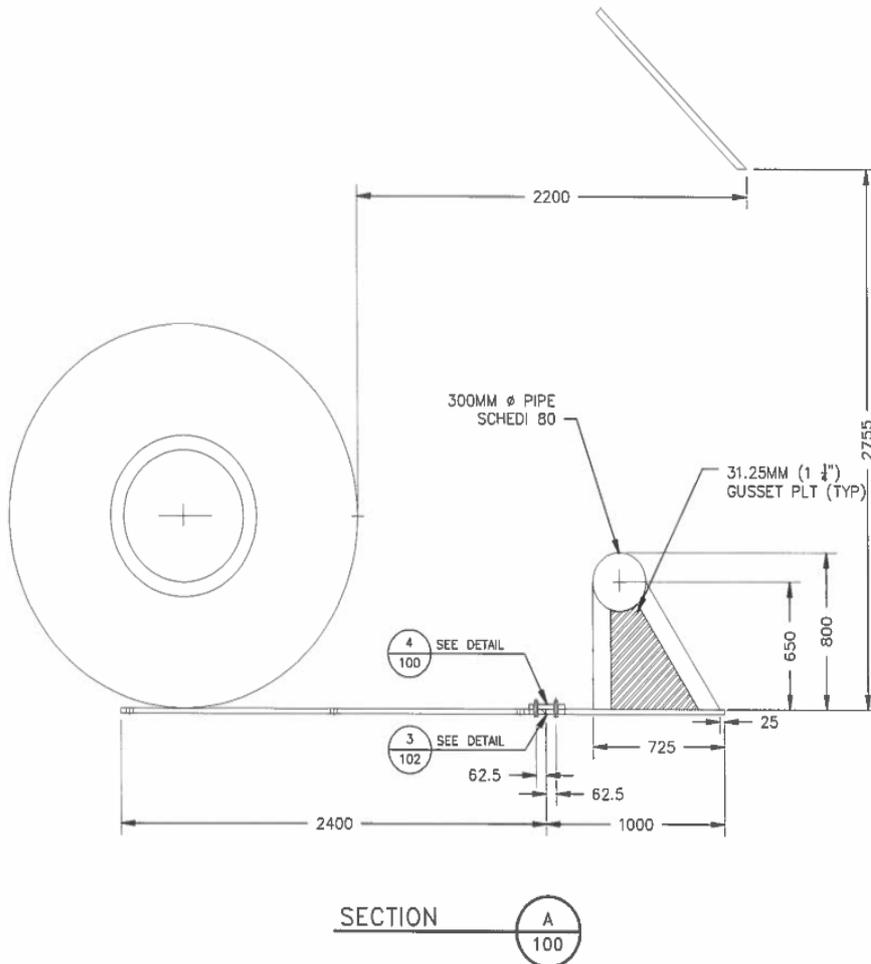
9.3 VISTAS DE LA BARRICADA



9.4 PLANOS DE SUJECIÓN DE LA BARRICADA



9.5 PLANO DE MEDIDAS DE NEUMÁTICOS CON RESPECTO A LA BARRICADA.



NOTES:

1. PAINT SPEC ~ YELLOW SAFETY
2. ALL STRUCTURAL AND MISCELLANEOUS STEEL SHALL CONFORM TO C.S.A. G40.21-M GRADE 350W. ALL PLATE SHALL BE GRADE 300W.
3. ALL HOLLOW STRUCTURAL SHALL CONFORM TO C.S.A. G40.21-M GRADE 350W CLASS H.
4. ALL WELDS ARE TO CONFORM WITH CWB REQUIREMENTS, AS SHOWN OUTLINED IN CSA W59, AND W47.1. OR MOST CURRENT STANDARD.
5. ANCHORS SHALL BE MANSOUR GROUTED 1" REBAR THE ANCHORING SYSTEM IS DESIGNED TO HELP STABILIZE THE BOTTOM PLATE, THE WEIGHT OF THE LOADER SHALL ACT AS THE MAIN ANCHOR FOR THE BUMPER SYSTEM. THE PLATE SHOULD BE INSPECTED FOR BENDING AND MODIFICATIONS.
6. D-PLATE SHALL BE CONNECTED USING 25 MM ϕ WIRE ROPE 6X19 SERIES 620 COMPLETE WITH THIMBLE EYE AT EACH END, AND 1 $\frac{1}{2}$ " CROSBY CR2130 SAFETY BOLT ANCHOR SHACKLE GALVANIZED.

IMPORTANT NOTES:

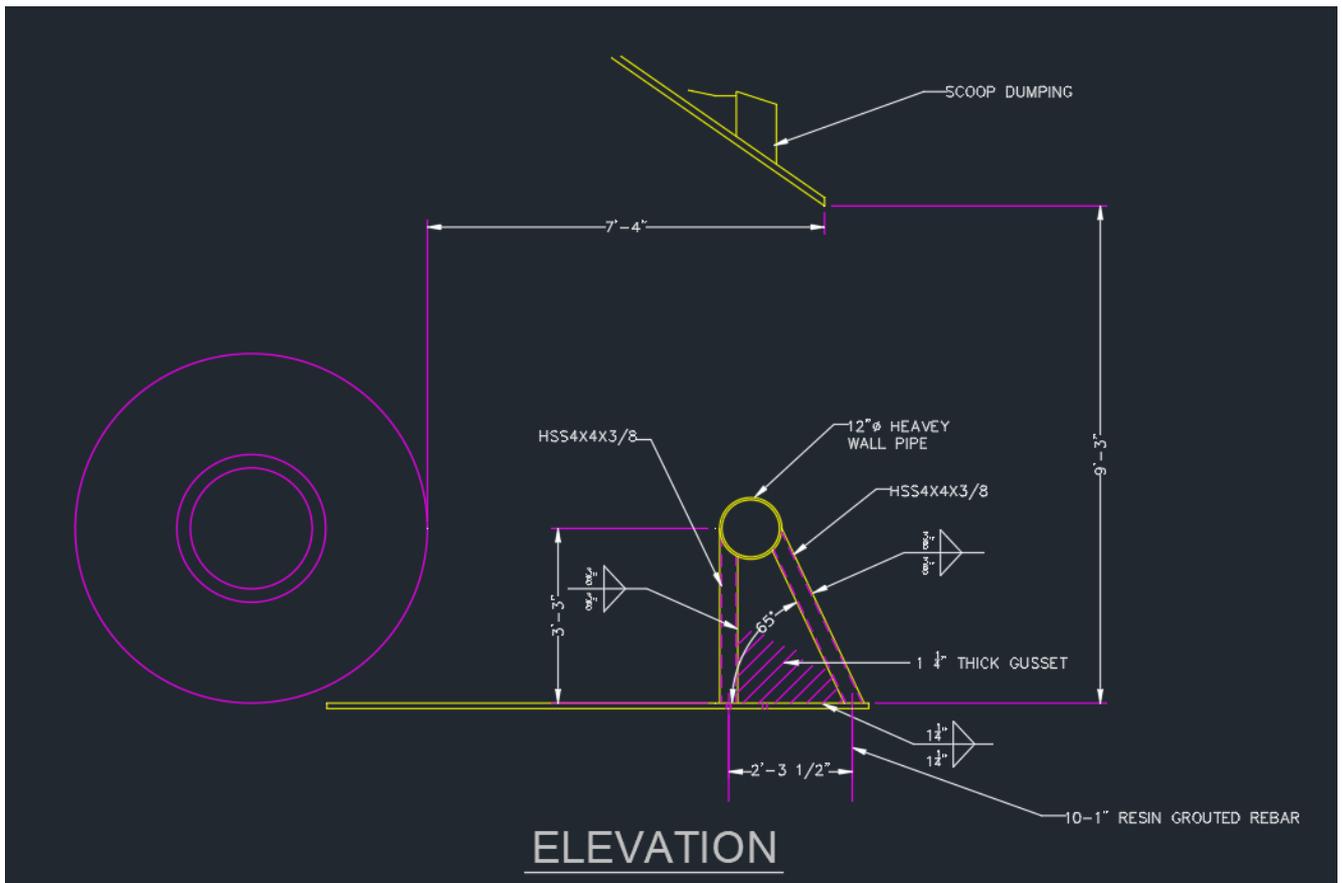
DRAWING LDI-MDI-MD220-0 IS IDENTICAL TO DRAWING NO.07-701. EXCEPT HE CHANGES

- A. LIFTING BOX
- B. D-PLATE REQUIRED FOR 26 TON RATHER THAN 18000 LB
- C. FLOOR PLATE WILL BE IN TWO PIECES RATHER THAN ONE SOLID PIECE.

DESIGN LOADS:

TRUCK GROSS WEIGHT 60,000 KG
 IMPACT SPEED = 3-4 KM/HR

9.6 PLANO DE MEDIDAS DE NEUMÁTICOS CON RESPECTO A LA BARRICADA Y LA



ELEVACIÓN