

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Optimización de la gestión del depósito de relaves en
una unidad minera a través de la implementación de un
sistema de filtración: propuesta de mejora para
incrementar la eficiencia en la operación
minera en Cerro de Pasco - 2021**

Myrelli Del Pilar Muñoz Hilarion

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Ximena Michell Cuadros Prado
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 15 de abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES EN UNA UNIDAD MINERA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN: PROPUESTA DE MEJORA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LA OPERACIÓN MINERA EN CERRO DE PASCO-2021", perteneciente los estudiante(s) MYRELLI DEL PILAR MUÑOZ HILARION , de la E.A.P. de Ingeniería Industrial; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO

- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
(Nº de palabras excluidas: 20) SI NO

- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

ASESOR

Ing. Ximena Michell Cuadros Prado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Ingeniera Ximena Michell Cuadros Prado, quién gracias a sus conocimientos compartidos pude desarrollar la tesis, a la Universidad Continental por permitirme hacer uso de sus herramientas de información y a los ingenieros validadores quienes me guiaron y fueron una fuente de inspiración para mí.

Sobre todo, agradezco a mis padres y hermanos quienes me apoyaron, guiaron y confiaron en mí.

DEDICATORIA

A nuestro Señor, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí, en toda la etapa de mi vida académica y mi formación profesional.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Pregunta general.....	2
1.2.2 Preguntas específicas	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación	3
1.4.1 Justificación económica	3
1.4.2 Justificación social	3
1.4.3 Justificación ambiental.....	3
1.5 Importancia	3
1.6 Delimitación.....	4
1.6.1 Delimitación temporal.....	4
1.6.2 Delimitación espacial.....	4
1.7 Hipótesis	5
1.7.1 Hipótesis general.....	5
1.7.2 Hipótesis específicas	5
1.8 Variables	5
1.8.1 Descripción de variables	5
1.8.2 Operacionalización de variables	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	6

2.1.2	Antecedentes nacionales	6
2.1.3	Antecedente local.....	7
2.2	Bases teóricas.....	7
2.2.1	Instalación de un sistema de filtro.....	7
2.2.2	Funcionamiento del sistema del filtro de relave	13
2.3	Definición de términos básicos.....	17
CAPÍTULO III.....		20
METODOLOGÍA		20
3.1	Método y alcance de la investigación	20
3.1.1	Método de la investigación	20
3.1.2	Alcance de la investigación.....	20
3.2	Diseño de la investigación	20
3.3	Población y muestra.....	21
3.3.1	Población.....	21
3.3.2	Muestra	21
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	21
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	26
3.5	Identificación de los problemas	26
3.5.1	Diagrama causa – efecto	26
3.5.2	Diagrama de Pareto.....	28
3.5.3	Diagrama de Pareto de problemas identificados.....	30
3.5.4	Cuadro de clasificación de problemas identificados	31
3.6	Conclusión de análisis de problemas	32
3.6.1	Instrumentos de recolección de datos	37
CAPÍTULO IV		38
DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS		38
4.1	Descripción de la minería polimetálica en el Perú.....	38
4.1.1	Reseña histórica de la minería polimetálica en el Perú.....	38
4.1.2	Proceso del mineral.....	40
4.1.3	Pasivos ambientales en el Perú	41
4.1.4	Cantidad de PAM de riesgo “muy alto” por regiones 2020	41
4.1.5	Manejo de relaves	41
4.2	Descripción de la empresa	42
4.2.1	Misión	42
4.2.2	Valores	42

4.2.3	Organigrama	43
4.3	Gestión del Área de Relaves	44
4.4	Evaluación económica	45
4.5	Análisis beneficio/costo	46
CAPÍTULO V		48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		48
5.1	Conclusiones.....	48
5.2	Recomendaciones	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		49
ANEXOS		51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables.	5
Tabla 2.	Cuadro de Análisis de frecuencia por problemas detectados.	29
Tabla 3.	Cuadro de clasificación de problemas identificados.	31
Tabla 4.	Conclusión de análisis de problemas.	32
Tabla 5.	Instrumentos de recolección de datos.	37
Tabla 6.	Pasivos ambientales mineros en el Perú.	41
Tabla 7.	Presupuesto	46
Tabla 8.	Ingresos y egresos.	47
Tabla 9.	Ingresos netos y egresos netos.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descarga de relaves por cabecera y en una sola tubería.	9
Figura 2.	Partes de un depósito de Relaves.	9
Figura 3.	Tipos de relaves.	10
Figura 4.	Elementos del Marco de Gestión de Relaves.	11
Figura 5.	Elementos del Marco de Gestión de Relaves.	12
Figura 6.	Depósito de Relaves Filtrados.....	14
Figura 7.	Vista de un espesador de pasta.....	15
Figura 8.	Procedimiento de procesamiento de minerales.	16
Figura 9.	Diagrama causa – efecto del área de Gestión de relaves de una unidad minera. .	27
Figura 10.	Diagrama de Pareto de problemas identificados.	30
Figura 11.	Prueba de laboratorio planta piloto.	34
Figura 12.	Resultados de filtración vs % de humedad.	36
Figura 13.	Muestra de la torta del relave.	37
Figura 14.	Elaboración del PBI minero neto y variación porcentual..	38
Figura 15.	Etapas de la actividad minera.....	40
Figura 16.	Procesamiento de mineral.	40
Figura 17.	Cantidad de PAM por regiones.	41
Figura 18.	Mejora continua mediante la implementación del marco para el manejoye relaves	42
Figura 19.	Organigrama.	43

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo la optimización de la gestión del depósito de relaves en una unidad minera por medio de la implementación de un sistema de filtro de relaves para incrementar la eficiencia, permitiendo que esta nueva tecnología aporte con el desarrollo sustentable del medio ambiente.

El diseño del estudio es no experimental, debido a que se recopiló información cuantificable; la metodología empleada se basó en utilizar referencias bibliográficas del nuevo filtro, adicionalmente se realizó una simulación de la altura del dique referente a la cantidad de relave.

Como resultado se pudo adquirir datos precisos referentes a la instalación del sistema de filtro de relaves que fue propuesto para realizar dicha operación.

Las conclusiones del trabajo de investigación, indican que este sistema de filtro de relaves será óptimo a un 98%, con un margen de error del 2%, siendo esta la mejor opción para dicha área de la unidad minera Cerro de Pasco, ya que no perjudicará la sustentabilidad ambiental preservando la flora y fauna de su entorno; además, no atacará de manera potencial la salud de los pobladores aledaños y alargará el plazo para continuar con la actividad productiva de la empresa.

ABSTRACT

The objective of the research work was to optimize the management of the tailings deposit in a mining unit, through the implementation of a tailings filter system to increase efficiency, allowing this new technology to contribute to the sustainable development of the environment. atmosphere.

The design of the study is non-experimental, because quantifiable information was collected, the methodology used was based on using bibliographic references of the new filter, additionally a simulation of the height of the dam referring to the amount of tailings was carried out.

As a result, it was possible to acquire precise data regarding the installation of the tailings filter system that was proposed to carry out said operation.

The conclusions of the research work indicate that this tailings filter system will be 98% optimal, with a margin of error of 2%, this being the best option for said area of the Cerro de Pasco mining unit, since it does not It will harm environmental sustainability by preserving the flora and fauna of its environment, in addition, it will not potentially attack the health of the surrounding residents and will lengthen the period for the company to continue its productive activity.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, una de las actividades más influyentes que contribuyen en mayor medida a la economía y es generadora de divisas, es la actividad minera; su crecimiento ha sido constante a lo largo de los años. A nivel mundial, el Perú se ubica como uno de los principales productores de diversos metales como es el oro, plata, cobre, entre otros. La minería en el país actualmente se ha visto afectada por distintos factores, una de ellas son los conflictos sociales con las poblaciones, ya que estas plantas mineras generan desechos tóxicos perjudicando la salud, contaminando el ambiente y, hasta en casos extremos, llegando a la extinción de flora y fauna.

Una de las alternativas que se propone en la presente investigación es el uso de nuevas tecnologías como es el filtro de relaves, que contribuya con el desarrollo sustentable del medio ambiente.

En el capítulo I se detalla el planteamiento del problema, así como la formulación del problema, el objetivo general de la investigación y los objetivos específicos, la justificación tanto económica, social y medioambiental, la hipótesis y, por último, las variables y la operacionalización de variables.

En el capítulo II se precisa el marco teórico, el cual está conformado por los antecedentes internacionales, nacionales y locales. En este mismo acápite se encuentran las bases teóricas en relación a la minería en el Perú y las diferentes alternativas tecnológicas.

En el capítulo III se muestra la metodología empleada para el estudio, el método, alcance y diseño, así como la población y muestra usada y por último las técnicas e instrumentos tanto para la recolección y análisis de los datos.

En el capítulo IV se detalla el diagnóstico y la propuesta de mejora basada en la instalación de un filtro de relaves. En el diagnóstico se muestra la descripción de la minería polimetálica, proceso mineral, pasivos ambientales y se emplearon herramientas como Pareto, Ishikawa y 6M. Por último, en la propuesta se muestra la descripción del filtro de relaves y una simulación ante el incremento del relave con respecto al dique.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

La minería en el Perú es uno de los rubros más influyentes en la economía, con un PBI (Producto Bruto Interno) del 10%, según el Ministerio de Economía y Finanzas (2021). La minería es una actividad extractiva donde se obtiene de manera selectiva los minerales y otros insumos de la corteza terrestre. En el país hay una gran diversidad de minerales como los metales (oro, plata, cobre, hierro, etc.), minerales industriales (potasio, azufre, cuarzo, etc.), materiales de construcción (arena, áridos, arcilla, grava, etc.), gemas (diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas), y combustibles (carbón, lignito, turba, petróleo y gas).

Los relaves son desechos tóxicos provenientes de procesos mineros, los cuales son una mezcla de minerales, tierras, agua y rocas que son agentes altamente contaminantes, según García & Tongombol (2014).

Actualmente la unidad minera cuenta con un sistema de eliminación de relaves del tipo DCT (Espesador de Cono Profundo), este sistema de relaves DCT se encuentra fallando debido a que, si estuviera trabajando al 100%, este proceso permitiría alcanzar hasta el 75 % de sólidos, y la recuperación del agua contenida en los relaves de 87 %.

La causa por el que se sigue utilizando el espesador de cono profundo en la unidad minera de Cerro de Pasco es el factor económico; estos espesadores convencionales se caracterizan porque requieren de grandes áreas de terreno debido a la producción diaria generando grandes cantidades de lodo tipo relave y al no poderse decantar en el DCT se bombea al dique de relaves todo el lodo, por gravedad el lodo suele separarse en tierra húmeda y agua, esta agua es nuevamente utilizada para el proceso.

En consecuencia, recientes eventos indican filtraciones de esta agua a través del dique, al ser esta agua contaminada genera un impacto ambiental y conflictos sociales con la población aledaña.

De mantenerse esta situación, la unidad minera ubicada en Cerro de Pasco enfrentaría el cierre permanente, perjudicando su producción y a todos los colaboradores de la compañía.

Por todo lo expuesto, es necesario optimizar este proceso, gracias a las tecnologías modernas se tiene alternativas de tratamiento de relaves que permiten abordar este problema por medio de absorción de líquidos en el contenido de relave, los cuales son la tecnología de espesado o llamado también filtrado de relave, que ayuda a la recuperación del agua, haciendo que el relave sea captado en polvo. Esta optimización moderna del filtrado de relaves será fundamental para el desarrollo y crecimiento de la minería, ya que las tortas tendrán una humedad del 15% alcanzando una recuperación óptima de aguas frescas en el proceso y permite que las empresas mineras pueden trabajar con tonelajes altas para su mayor productividad, la eficiencia en este rubro es de mayor importancia para el crecimiento socio económico en el Perú, como también los conflictos con la población disminuirán considerablemente aportando un beneficio sostenible con el medio ambiente.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿En qué medida la eficiencia se incrementará por medio de la implementación del sistema de filtrado de relaves en el área de Gestión de relaves en una unidad minera?

1.2.2 Preguntas específicas

- a. ¿Cómo influye la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental?
- b. ¿Con qué frecuencia se presentan defectos por el uso con el antiguo sistema de filtros?
- c. ¿En qué medida la instalación del sistema de filtro de relaves reducirá los costos en la unidad minera?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Incrementar la eficiencia por medio de la implementación de un Sistema de Filtración en el área de Gestión de relaves en una unidad minera.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Reducir la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental.
- b. Determinar la frecuencia de defectos presentadas con el antiguo sistema de filtros.
- c. Determinar la reducción de costos de la instalación del sistema de filtro de relaves en la unidad minera.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación económica

Como justificación en los aspectos económicos se tiene que con la investigación de la propuesta de mejora permitirá incrementar la eficiencia en la unidad minera Cerro de Pasco 2021, permitirá:

- Ahorro de costos a largo plazo en una nueva instalación de filtro de relaves.
- Ahorro de costos al reducir la cantidad de personal en la operatividad.
- Ahorro de costos en el mantenimiento preventivo del sistema de filtro de relave.

Por consiguiente, en el aspecto económico se conseguirá mayor productividad con la optimización de la gestión del depósito de relaves, generando mayor ganancia a la empresa y mayores impuestos.

1.4.2 Justificación social

Con respecto a la justificación en el aspecto social este estudio permite realizar un diagnóstico real del área de Gestión de relaves en una unidad minera Cerro de Pasco 2021, que involucran a todo un equipo de trabajo, con este estudio se busca realizar una mejora continua con todos los colaboradores de la empresa minera, que permite ser más competentes y eficientes. Es así que en el aspecto social permitirá que las empresas y futuros profesionales se beneficien de este estudio y tendrán conocimiento de cómo realizar una correcta gestión de relaves.

1.4.3 Justificación ambiental

Esta investigación tiene como finalidad preservar el medio ambiente por medio de uso de tecnologías modernas como es el Sistema de filtro de relaves, esta tecnología utiliza el relave como una torta compactada con un porcentaje de humedad permisible, dando como resultado menos impacto medioambiental; por lo cual se podrá lograr la reducción de emisiones tóxicas de los relaves, reutilizar aguas del relave para poder utilizarlas en operaciones alternas, lo cual contribuye de esta manera en el cuidado y preservación del medio ambiente, asegurando así la vida saludable de generaciones futuras en la ciudad Cerro de Pasco.

1.5 Importancia

El Ministerio de Energía y Minas (2021) señala que:

“a nivel mundial y latinoamericano, el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país. Los minerales producidos en el Perú son de gran demanda en el mercado mundial actual, cuyo desarrollo se basa en la producción y la industria. Estados Unidos, China, Suiza, Japón, Canadá y la Unión Europea son los principales demandantes. Según cifras del BCR (2021) se proyecta que el PBI minero metálico crecerá un 14.4%, reflejando una rápida y sostenida recuperación de esta actividad extractiva”.

El Banco Mundial (2007) refiere que:

“la gestión ambiental en el Perú se ha desarrollado de una forma desigual entre los diferentes sectores involucrados. Dentro de la autoridad de cada sector, se han creado unidades responsables de regular el control de la contaminación y del manejo ambiental. Entre los principales, tenemos el sector Energía y Minas, que desarrolla normas sectoriales basadas en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), Gestión Ambiental y Planes de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), que incluyen además a los subsectores de electricidad y de hidrocarburos; y el sector Ambiente, que ha actualizado e implementado los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas con diferente uso, suelos de uso agrícola y aire”.

1.6 Delimitación

1.6.1 Delimitación temporal

Esta investigación se llevó a cabo en los meses de junio hasta diciembre del 2021.

1.6.2 Delimitación espacial

Esta investigación se desarrolló en una unidad minera en el departamento de Pasco, en la capital Cerro de Pasco.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

- Será posible incrementar la eficiencia a través de la implementación del sistema de filtración de relaves en una unidad minera.

1.7.2 Hipótesis específicas

- Será posible reducir la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental.
- La frecuencia con que se presentan los defectos en el antiguo sistema de filtros.
- Será posible reducir los costos al instalar el sistema de filtro de relaves.

1.8 Variables

1.8.1 Descripción de variables

- a. Variable independiente: Instalación de un Sistema de filtro.
- b. Variable dependiente: Gestión de relaves.

1.8.2 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Instalación de un sistema de filtro	Humedad de los relaves mineros.	<ul style="list-style-type: none">• Muestreo en laboratorio certificado
	Frecuencia de defectos del antiguo sistema de relaves	<ul style="list-style-type: none">• Pareto• Muestreo aleatorio
Gestión de relaves.	Funcionamiento del sistema de filtro	<ul style="list-style-type: none">• Pareto• Muestreo aleatorio simple• Cantidad de paradas no programadas• Cálculo de la eficiencia del sistema
	Fallas del sistema de filtro.	<ul style="list-style-type: none">• Muestreo aleatorio simple

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Rodríguez (2022) realizó la tesis titulada “Caracterización del proceso de filtrado aplicado a la recuperación del agua en tranques de relaves en Chile” cuyo objetivo es la recuperación de agua con tecnología del proceso de filtración donde se recopila información general de los tranques de relave utilizando como instrumento de investigación un diagrama de Ishikawa relacionados al costo en el proceso, el método a realizar es mediante vacío o presión causando la separación del sólido – líquido, en el cual se aprecia que en los procesos mineros se utiliza más la concentración concluyendo que las aguas residuales son recirculadas o no recirculadas.

Salvo (2022) desarrolló la tesis titulada “Rendimiento de nanofiltración para el tratamiento de aguas de cubetas de tranques de relaves de minería de cobre en Chile” con el objetivo principal es reutilizar el tratamiento de aguas claras del relave para el riego agrícola, donde se concluyó que la nanofiltración es eficiente para la eliminación en aguas claras los iones disueltos, pero para la recuperación de agua es deficiente donde puede diferir el proceso real en cada unidad minera.

Díaz y Quintero (2020) elaboró una monografía titulada “Identificación de alternativas de almacenamiento de relaves generados en la minería aurífera en Colombia” con el objetivo determinar qué estrategias mejoran el almacenamiento de relaves mineros en empresas de gran escala dedicadas al mineral aurífero; la investigación que se realiza es por medio de revisión bibliográfica en diversos países, se identifican uso de geo tubos, relaves filtrados, relaves espesados. Donde se concluye la optimización y manejo integral de depósitos de relaves, con la finalidad de la separación del agua con el relave, para que esta agua pueda ser reutilizada en diversas operaciones mineras.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Quispe (2021) desarrolló la tesis denominada “Análisis del relave filtrado como sustituto de relleno estructural para Terraplenes de relaves filtrados, Unidad Cerro Lindo – Chavín – Chíncha” con el objetivo principal de analizar de manera técnica y económica si los relaves filtrados serán un buen sustituto para los rellenos estructurales, donde se determinó que su colocación y compactación es viable, generando menos costos y menos tiempo, ya que este

relave se encuentra en la misma unidad, el tipo de investigación es aplicada con un alcance descriptivo y enfoque cuantitativo, los instrumentos que se usaron fueron una recolección de datos y ensayos estandarizados (análisis granulométricos, compactación de suelos, entre otros).

Por su parte, Ventosilla (2019) publicó un reporte titulado “Como seleccionar correctamente las telas filtrantes para filtros de concentrados y relaves” con el objetivo de abordar todas las especificaciones en la selección de telas para equipos de filtrado concentrado y relaves para una mayor facilidad en la descarga de tortas del filtro, siendo una investigación descriptiva, realizado por una evaluación de criterios dando como resultado reducción en el blinding, sequedad en el queque, mayor vida útil en lonas y deslizamiento de queques. En conclusión, se da conocer cuál es la procedencia, proceso de fabricación y recurrir a proveedores que garanticen el performance de la operación.

Finalmente, Bancayán (2019) desarrolló la tesis “Automatización de una planta de filtrado de relaves mineros” con el objetivo principal de reutilizar el agua provenientes de los relaves mineros para obtener un queque al 85% en sólido, el cuál ocupará un menor espacio optimizando su almacenamiento, siendo una investigación descriptiva por medio de memorias descriptivas en la parte eléctrica e instrumentación, determinando los siguientes resultados: que el sistema SCADA, equipos y válvulas de control operan en conjunto. Como conclusión se comprobó una correcta operación optima en el total de PFR en la sala de control.

2.1.3 Antecedente local

Tasayco (2020) elaboró la tesis titulada “Evaluación y tratamiento del relave en la planta concentradora de la minera aurífera 04 de enero S.A. (MACDESA) – Arequipa 2020” cuyo objetivo es determinar la relación entre evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio MACDESA – Arequipa 2020, el tipo de investigación es explicativo – prospectivo con los siguientes instrumentos ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad física del depósito de relaves, concluyendo que el grosor de la geomembrana debe ser de 1.5mm con un factor de seguridad de 4.12 veces que el grosor.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Instalación de un sistema de filtro

La gestión de riesgos en la actividad minera

Según Motrán (2014) la escala del proyecto debe coincidir con la escala del área de la gestión de relaves. La minería es una de las primeras actividades extractivas de mineral aurífero que

consiste en la selectiva obtención de mineral y otros materiales adquiridos de la corteza terrestre, el cual implica la extracción física de grandes cantidades de material obteniendo solo un pequeño porcentaje de mineral recuperado.

En el territorio nacional existe gran variedad de minerales explotados, los cuales son (oro, plata, cobre, etc.), los minerales industriales son (azufre, cuarzo, potasio, etc.), materiales de construcción (arcilla, áridos, arena, etc.), las gemas (diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas), y combustibles (carbón, lignito, turba, petróleo y gas). Mientras que (Hosler, 2005) refiere que toda unidad minera cuyo proceso de concentración es flotación, produce relaves y que corresponden a una “Suspensión fina de sólidos en líquido”. La minería, es una actividad que se ha desarrollado a través del tiempo en la humanidad, sus inicios son identificados a través de las industrias líticas.

Los instrumentos más antiguos vienen de África, por lo menos hace 2.6 millones de años los cuales son guijarros astillados de piedra.

En la etapa de la unidad minera el área de relaves tiene un ciclo de vida donde inicia con su diseño, operación, cierre y rehabilitación; estas etapas tienen que ir con concordancia con las políticas y compromisos de la empresa. Al momento de que esta área de la empresa sea rehabilitada tiene que estar documentada en una serie de reportes indicando en su plan de gestión compromiso con la preservación y sostenibilidad con el medio ambiente. (Gidahatari,2012).

a. Relaves

Para la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2008) un relave es un resultante del proceso de recuperación de los metales, las especificaciones especiales de la etapa productiva dependen del tipo de mineral. El relave es producto de varios procesos químicos donde fue adquiriendo agua; por lo general, esta agua es reutilizada para las actividades productivas para la unidad minera. El relave es similar al lodo de un tamaño muy pequeño, comparado a la arena es mucho menor.

Para la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2008) los relaves después de su procesamiento químico son depositados en geomembranas para que no estén en contacto con la tierra o agua, su tratamiento es continuo ya que una vez que la unidad minera decida finalizar su actividad. En caso sean minas subterráneas estos relaves son reutilizados como relleno que cubren los túneles abiertos garantizando la estabilidad de la estructura de la roca.

Laino (2008) indica que en el sector minero del Perú existen novedosas prácticas para la disposición de los relaves como son los rellenos subterráneos, disposición de relaves deshidratados y el método de descarga espesado. En ingeniería, en el sector minero se va utilizando el método “aguas arriba”, en el cual emplea represas de relave, este método exige una planificación ante futuros desastres naturales, como movimientos sísmicos y corrientes de lodos (huaycos), además es muy importante la ubicación de nuevos embalses de relaves.

Descarga de relaves

Lara (2013) determina el plan para mover el pond del depósito de relave a través de una descarga debe representar un menor riesgo ambiental.

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN (2015) para la descarga del relave es más aceptable construir un muro perimetral de talud interno impermeabilizado, al cual se le denomina como “embalses de relave”, resulta mucho más técnico y aceptable para la sostenibilidad con el medio ambiente.

Se presenta en la figura 1 la descarga de relaves por cabecera y en una sola tubería.

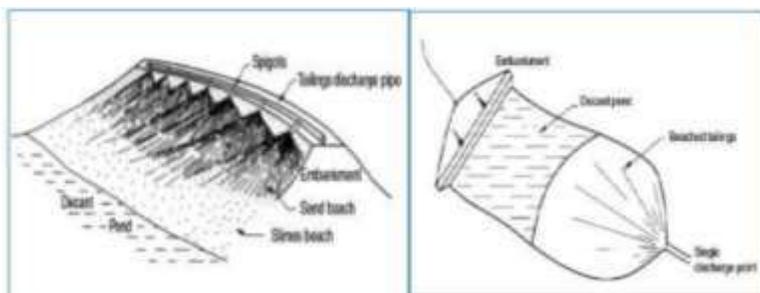


Figura 1. Descarga de relaves por cabecera y en una sola tubería. Tomado de "Geotechnical Engineering of Dams 2nd Edition", 2015.

A continuación, en la fig. 2 se presenta las partes de un depósito de relaves.

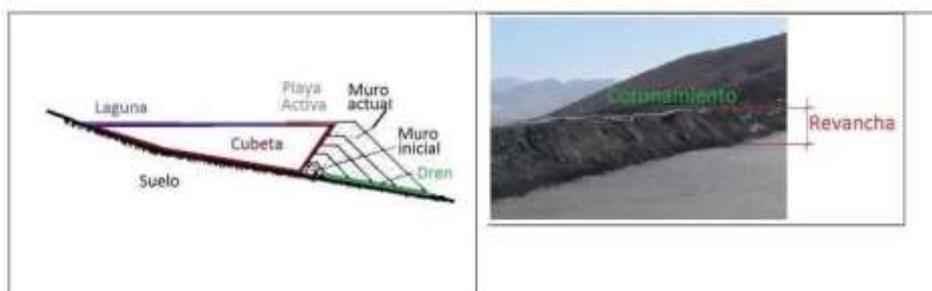


Figura 2. Partes de un depósito de Relaves. Tomado de el “Servicio Nacionalde Geología y Minería (SENAGEOMIN), 2015”.

Céspedes (2018) sostiene que un relave es un material molido finamente que es desechado por la unidad minera, cuando se extrae el sulfuro de cobre en grandes cantidades, solo se recupera el 1%, pero cuando este material es molido indica que tiene mayor concentración de cobre de un 20% a 30%.



Figura 3. Tipos de relaves. Tomado de “Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados, Golder Associates”, 2013.

Frecuencia de defectos

Runge (1994) detalla que la gestión de riesgos es una pieza clave para prevenir, eliminar o reducir el riesgo a un rango “asumible”, garantizando a la empresa o industria el logro de sus objetivos. En otras palabras, los riesgos deben ser aceptables dentro de los estándares predefinidos y aceptados dentro de las políticas de riesgos, en la minería es importante esta gestión. El factor riesgo tiene que pasar a través de un análisis, verificación reporte y por consiguiente un control.

Control de la frecuencia de defectos

La Escuela de Administración de Negocios para Egresados ESAN (2018) sostiene que el Six Sigma es una de las principales prácticas metodológicas para poder perfeccionar los procesos satisfaciendo la necesidad de los clientes.

Alvarado (2019) señala que Six Sigma utiliza un conjunto de métodos y herramientas muy rigurosos, diseñados con el único propósito de producir una mejora sustancial en la calidad del trabajo, la rentabilidad, la satisfacción del cliente y el trabajador, y el liderazgo del negocio.

A continuación, se presenta los elementos del marco de Gestión de Relaves:

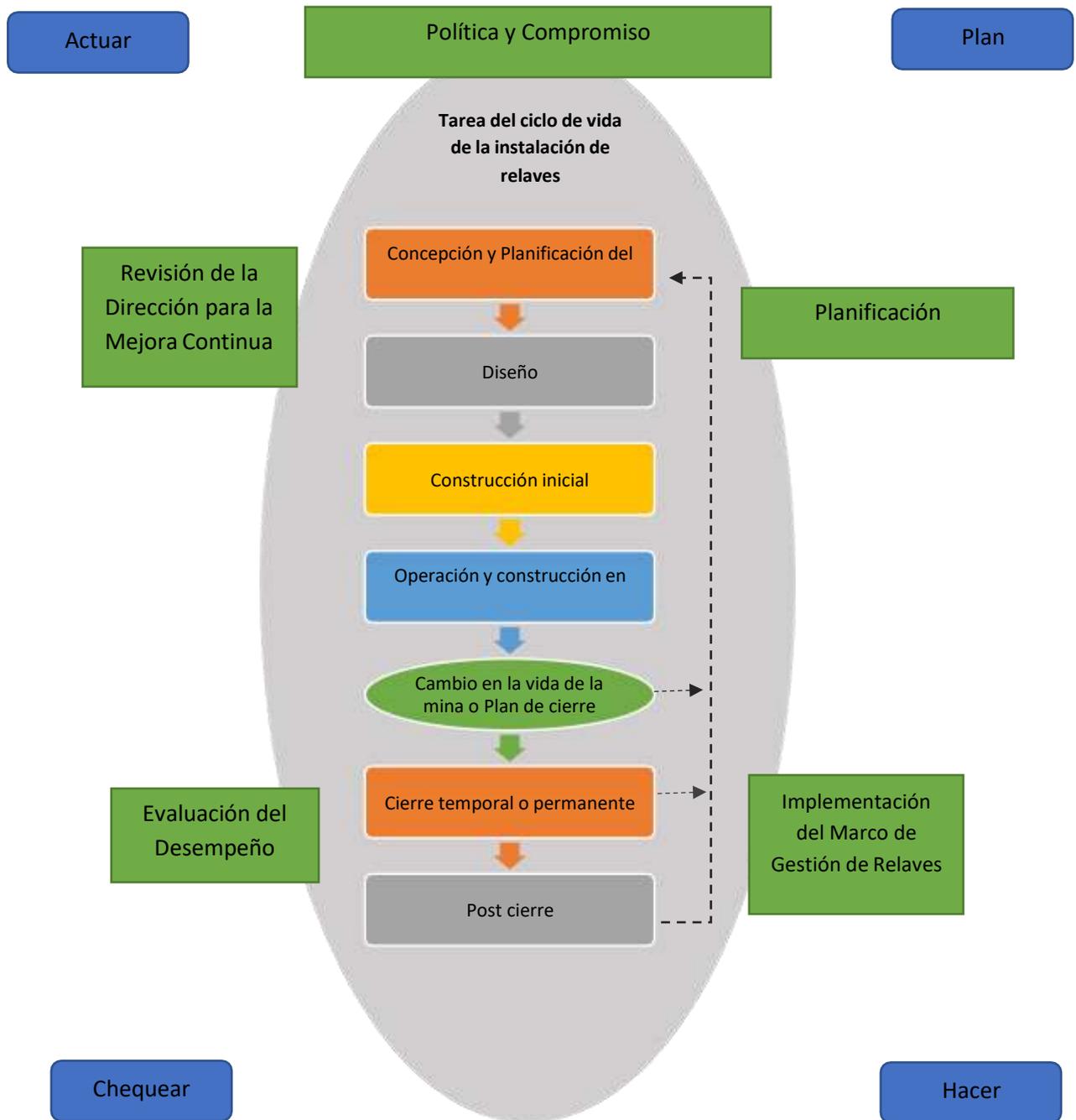


Figura 4. Elementos del Marco de Gestión de Relaves. Tomado de "Guide to the Management of Tailings Facilities", 2017

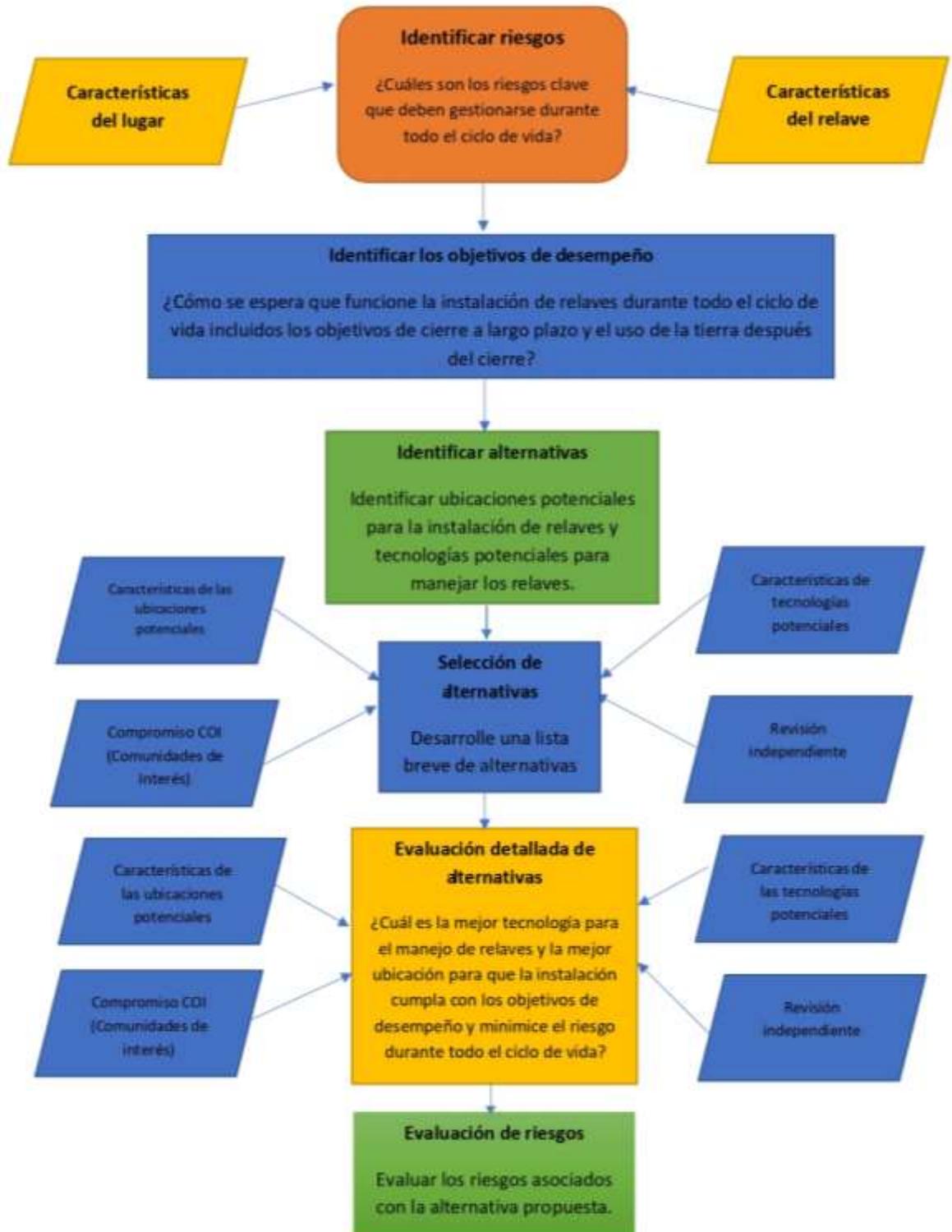


Figura 5. Elementos del Marco de Gestión de Relaves. Tomado de “Guide to the Management of Tailings Facilities”, 2017

Análisis de estabilidad de una presa de relaves

Linares (2007) determina que los depósitos de relaves deben estar diseñados respecto a futuros eventos sísmicos, ya que estos depósitos deben mantener su estabilidad en taludes, integridad y buen funcionamiento, con un estándar de sus valores por encima de lo establecido.

Riesgos geotécnicos en presas de relaves

El Servicio Nacional de Geología y Minería (2018) indica que los principales riesgos que existen en una unidad minera frente a los depósitos de relave son un incorrecto diseño, inadecuada operación e insuficiencia en el control y el mal manejo de las aguas recuperadas.

Espinace (2015) señala que a nivel mundial, desde los años 1901 al 2017, un porcentaje del 45% - que representa una muestra de 129 casos reportados- indican que son incidentes que se generaron en los embalses de relaves o tranques, según la clasificación de International Commission on Large Dams ICOLD (2001), los accidentes y fallas se produjeron a causa de la inestabilidad de taludes en condiciones estáticas, por consecuencia hubo deslizamiento en los taludes del muro y rebose (overtopping) en el depósito de relaves, deficiencia en el control operacional y eventos hidrológicos de la laguna de aguas clara.

2.2.2 Funcionamiento del sistema del filtro de relave

Depósitos de relaves filtrados

Según Lara (2019) los relaves filtrados son aquellos relaves compactados, los cuales pasan por un proceso de desecación in situ, en donde el contenido de humedad es mínimo disponiendo de un almacenamiento menor, en este caso en caso no causará impacto ambiental; en otras palabras, contribuirá con la preservación ambiental.

De acuerdo con Morandé (2007) la función del proceso de filtración en presas es reducir el porcentaje en concentración de agua, el cual tiene que estar controlado el nivel de saturación, una vez el relave salga de planta puede ser transportado de dos formas: la primera es mediante camiones, sin generar el fenómeno de licuación; y la segunda opción es por medio de fajas transportadoras, de igual manera el relave tiene que estar compactado. La limitación que existe en ambos procesos es que no debe estar en temporadas altas de precipitación ya que posibilita a que existan infiltraciones de agua.

En la figura observamos la forma en que son transportados los depósitos mediante cintas.



Figura 6. *Depósito de Relaves Filtrados. Tomado de “Guía Técnica de Operación y Control de depósito de relaves”, 2017.*

De acuerdo al Decreto Supremo N.º 248 del Ministerio de Minería de Chile, la definición de relaves filtrados indica que son aquellos relaves donde su porcentaje de concentración de agua es baja, mientras que (Ramírez, 2007) precisa para que sean relaves filtrados primero pasan por un proceso de espesado con floculantes, con la finalidad de ser compactados.

Vick (1990) señala que las arenas de los relaves son muy utilizadas en la construcción de terraplenes ya que resultan ser una fuente muy barata, todo depende de la gradación de suelos, el cual determina la distribución del tamaño de grano de las colas, un ciclón es utilizado para separar suficientes cantidades de arena gruesa para la construcción del terraplén.

Según la Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves (2007) el material (arenas gruesas) provenientes del ciclón hacen posible la construcción del terraplén aguas abajo, ya que dicho material es de alta resistencia y permeabilidad, esto se debe a la reacción química de la combinación de agua con sulfuro de metal, produciendo un hidróxido de metal y sulfúrico ácido.

El Servicio de Geología y Minas (2018) detalla que los depósitos de relaves son diversos y variados, esto dependerá de los siguientes factores como son la topografía del lugar, almacenamiento del relave, cercanía al concentrador y producción de yacimiento. A continuación, se presenta los siguientes tipos de depósitos de relaves:

- Tranques de relaves
- Embalses de relaves
- Depósitos de relaves espesados
- Depósitos de relaves filtrados
- Depósitos de relaves en pastas

- a. Tranque de relave: referido a la construcción de una fracción del relave más grueso compactado, el cual proviene de un hidrociclón (operación donde separa los sólidos finos de los sólidos gruesos, mediante una impulsión por flujo de agua), explica el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2018).
- b. Embalse de relave: son construidos de material (tierra y rocas circundantes) el cual es impermeabilizado en su coronamiento e inclinación interna, de acuerdo con el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2018).
- c. Relave espesado: son depósitos en donde la superficie se somete a un proceso de sedimentación de sólidos, según indica el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2018).
- d. Relave filtrado: es aquel relave el cual su contenido de humedad es menor al 20%, siendo similar al proceso de engrosamiento o espesado, señala el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2018).
- e. Relave en pasta: en el cual tiene una consistencia espesa, que contiene partículas finas con bajo contenido de agua, similar a una pulpa con alta densidad, según explica el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2018).

Espesadores de pasta

Concha (2014) detalla que los espesadores de pasta son similares a los espesadores convencionales y de alta capacidad, ya que estos equipos poseen grandes conos y altos tanques cilíndricos, lo cual permite una descarga del flujo más denso; es decir, con mayor cantidad de contenido sólido en el material de descarga.

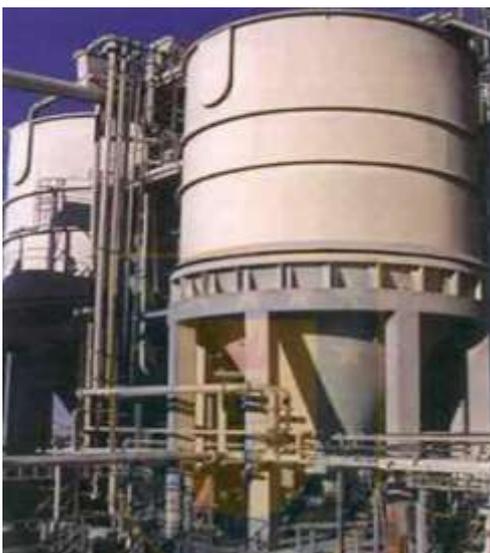


Figura 7. Vista de un espesador de pasta Tomado de “Guía de Operación y control de depósito de relaves”, 2017.

Clasificación de relaves

Zovodni (1984) señala que el mineral que se obtiene es según de donde provenga, ya sea de tajo abierto el material es más grueso, llegando de rango en tamaño hasta de un metro; mientras en que las minas subterráneas el material es de menor tamaño alcanzando aproximadamente 20cm.

Los finos de los hidrociclones que llevan la mayor cantidad de agua, con un porcentaje de sólidos igual a 13 % en promedio, son enviados al cajón distribuidos de alimento a los espesadores del tipo Ultrasep, para incrementar la densidad. A continuación, en la figura 8 se presenta el procesamiento de mineral:

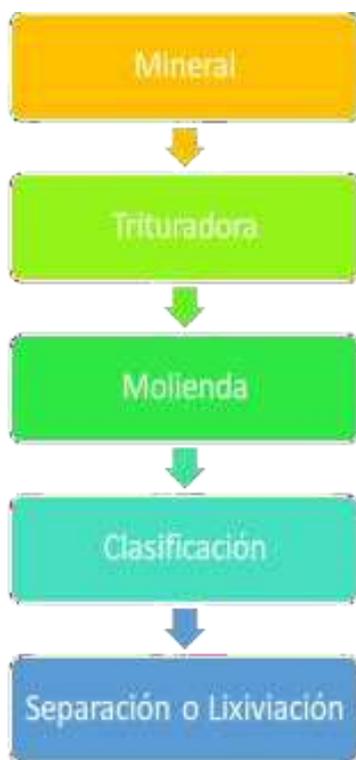


Figura 8. *Procedimiento de procesamiento de minerales.*

Espesamiento de relaves

De acuerdo con Ramalho (1996) los espesadores son estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, donde existe la separación del líquido claro en la parte superior y la pulpa con alta concentración de sólidos en el fondo. La forma más común a utilizar estos equipos es de manera batch o continuo. Con la finalidad de incrementar la densidad del producto fino de los hidrociclones, estos son enviados por gravedad a un cajón colector y distribuidor 100- BX-003, de aquí se alimentan a los dos espesadores UltraSep de 5m de diámetro por 12m de altura. Dichos espesadores se encargan de incrementar la densidad hasta 1 400 g/l con un 44,9 % de

sólidos. El producto grueso de los espesadores es enviado por gravedad al cajón 100-BX-006 y de allí se distribuye a los filtros de vacío o a los filtros prensa actual y al proyectado. Con la bomba 100-PP-003 los relaves espesados en esta etapa son enviados al holding tank del filtro prensa 200- FL-001 y al Holding Tank proyectado de 5m de diámetro por 4 m de altura. El rebose de los espesadores es enviado por gravedad al tanque 500-TK 003 de la bomba 500-PP-015 y 016 para ser recirculados a la planta, para su uso industrial.

Equipos de filtración

Concha (2014) especifica que con los filtros de presión (prensa, filtros de placas horizontales y filtros de placas verticales) se puede obtener menor porcentaje de humedad de los queques, pero su desventaja es que son equipos discontinuos e inherentes a comparación de los filtros de vacío (filtro de tambor, de disco y de banda horizontal) son capaces de reducir la humedad de los queques a un 12% a 18%, mientras que los filtros de banda logran una reducción de humedad de 8% a 10%.

Capone (2016) indica que para poder utilizar esta tecnología de filtros, ya sea a presión o en vacío, se tiene que determinar las propiedades, características, tonelaje a tratar de la pulpa.

Mientras que Aguirre (2017) señala que las arenas cicloneadas se depositan aguas hacia abajo y las lamas aguas hacia arriba, en un material compactado del muro de partida.

La Ley N°28611 la cual es la “Ley General del Medio Ambiente en el Perú” indica que se debe garantizar un ambiente equilibrado, saludable y apropiado para el desarrollo de la vida. Dicha norma da a conocer sobre el ECA (Estándar de Calidad Ambiental) donde hace la medición de concentración de sustancias, de parámetros biológicos, físicos y químicos que estén presentes tanto en tierra, aire y agua; los cuales no deben presentar peligro alguno para los habitantes y medio ambiente. Asimismo, se precisa que las autoridades públicas deben gestionar en el saneamiento básico del manejo de aguas subterráneas, reúso de aguas hervidas, aguas pluviales en zonas rurales y urbanas.

Para las empresas que se dediquen a las actividades productivas, de comercialización, extractivas u otras donde produzcan aguas servidas o residuales, son responsables de darle un tratamiento de agua.

2.3 Definición de términos básicos

- a. Tratamiento de Relaves: Junfield (2013) lo define como “las actividades extractivas y metalúrgicas dentro del proyecto minero Río Blanco se ejecutarán con un porcentaje

alto de recirculación de agua (70%); además, de que en el proceso de beneficio se efectuará con subprocesos metalúrgicos que generan un relave seco”.

- b. Espesadores: Ramalho (1996) señala que “los espesadores son estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, desde los cuales se separa el líquido claro en la parte superior y la pulpa con alta concentración de sólidos en el fondo. Estos equipos se pueden utilizar en forma batch o en continuo, siendo esta última forma de uso la más común”.
- c. Proyectos mineros: Tchernitchin y Herrera (2006) precisa que:

“Los proyectos mineros de explotación de oro tanto de mediana y gran escala cuentan con depósitos de relaves que acumulan materiales sólidos finos que se descartan de las operaciones de separación y obtención de los valores metálicos de aprovechamiento. La composición de los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos (físicos, químicos y metalúrgicos) a los cuales ha sido sometido. Una piscina de relaves de beneficio de oro tendrá un contenido económico, que podrá ser recuperado con los procesos metalúrgicos adecuados y la tecnología apropiada para este fin. El contenido aurífero, en el relave minero, será el más bajo de acuerdo con la tecnificación utilizada durante los procesos metalúrgicos de beneficio, transporte, almacenamiento y operación del depósito en particular”.

- d. Relaves: Reid (2008) define que los relaves tienen que ser almacenados correctamente aplicando tecnología ecológicamente racional preservando el medio ambiente, la integridad física de las personas ya que estos contienen material tóxico tanto para suelos, aire, etc.

Autores como Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001) definen que:

“Los relaves mineros producidos mediante el método de cianuración contienen sustancias tóxicas como el arsénico, plomo, cadmio, cianuro, selenio y zinc que, al tener contacto con el agua y el subsuelo, altera su composición natural. La fitorremediación es una tecnología alternativa y sostenible; que consiste en el uso de especies forestales para reducir, degradar o inmovilizar compuestos orgánicos e inorgánicos considerados como contaminantes (naturales o sintéticos), del suelo, el agua o del aire”.

e. Plan de monitoreo y seguimiento: Rojas (2010) lo define como:

“La implementación de un plan de monitoreo y seguimiento para el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de relaves. Dentro de este plan se realizarán muestreos periódicos (trimestrales y/o semestrales) de calidad de napas subterráneas y acuíferas en la piscina y en el dique de la relavera, a fin de determinar las características fisicoquímicas de suelo, sedimentos y agua residual. Además, los muestreos de calidad determinarán las condiciones hidráulicas y de estabilidad del depósito y dique de la relavera. Todas estas consideraciones permitirán tomar las medidas y acciones correspondientes”.

f. Contaminación ambiental: según la Secretaría de cultura, recreación y deporte (2020) señala que la contaminación ambiental es todo material que daña a los humanos y ecosistemas, existen diferentes tipos de contaminación ambiental sea por aire, suelo y agua.

g. Desarrollo sostenible: Oxford Committee for Famine Relief (OXFAM)(2020) indica que el desarrollo sostenible es el equilibrio entre el crecimiento económico, cuidando el medio ambiente y bienestar social.

h. Crecimiento económico: la Unidad Editorial Información Económica S.L. (2021) señala que es el incremento del PIB (Precio Bruto Interno) ya sea por persona o región en un determinado tiempo, lo recomendable es medirlo de manera anual.

i. Minería en Perú: Según el Ministerio de Energía y Minas (2021) indica que el Perú a nivel mundial y latinoamericano es uno de los primeros productores de diversos metales como es el oro, la plata, cobre, molibdeno, plomo, entre otros, donde los principales demandantes son Japón, Estados Unidos, China, Canadá, Suiza y la Unión Europea.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

La presente investigación se basó en el método hipotético deductivo, ya que producto de los datos obtenidos, por medio de los indicadores planteados, permitió verificar el avance de la propuesta de la mejora en una unidad minera Cerro de Pasco, también se justificó con el método específico de tipo observacional, debido a que se realizó una investigación teórica; por lo tanto, se busca información sobre los filtros de relaves con la finalidad de proponer una mejora. De acuerdo con Sánchez (2012), el método específico de observación es la recolección de datos de un fenómeno o suceso y con dicha información precisar, delimitar y proponer soluciones según lo observado.

3.1.2 Alcance de la investigación

El nivel de investigación descriptiva puesto que la información obtenida fue de gran ayuda para entender perfectamente los problemas que presenta la unidad minera y en base a ello plantear la propuesta de mejora.

Finalmente, es univariable ya que solo se trabajó con una sola variable que viene hacer la instalación de un sistema de filtración en el área de Gestión de relaves de una unidad minera ubicada en Cerro de Pasco, a lo cual se le puso un estudio para identificar las deficiencias. Cabe resaltar que la propuesta no es una variable, ya que al ser solo un plan de mejora esta no puede evaluarse ni medirse al no estar implementado.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación es de tipo no experimental de corte transversal ya que no se manipula ninguna variable y solo se analizó la variable en base a la propuesta para recopilar información cuantificable. Es de tipo observacional puesto que se observa y registra los acontecimientos desde su contexto natural.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población de la presente investigación comprenderá el área de Gestión de relaves conformada por el jefe a cargo, supervisores y colaboradores (20 personas), además de ello se contará con información donde incluye documentación del proceso y memorias descriptivas del filtro de relaves.

3.3.2 Muestra

La muestra de la investigación estará conformada por el área de gestión de relaves (20 personas).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Informe de la ficha de entrevista

La entrevista a presentar se aplicó al jefe del Área de relaves, en el cual se obtuvo los siguientes resultados:

¿Cuánta cantidad (toneladas) procesan en la unidad minera?

En el año 2020 la producción de los minerales polimetálicos en la unidad minera ubicada en Cerro de Pasco es la siguiente:

- 49k TMF (Tonelada métrica de contenido fino) de zinc con ley de 4.8%
- 2.4 MM oz de plata con ley de 2%
- 15k TMF (Tonelada métrica de contenido fino) de plomo con ley de 1.6%
- 2k TMF (Tonelada métrica de contenido fino) de cobre con ley de 0.1%

¿Cuáles son los puntos críticos actuales en el área de Gestión de relaves?

En las épocas de lluvia y granizo pueden aumentar el peso de los diques de contención, reduciendo el espacio para almacenar el relave que se origina por día.

El cono de relaves DTC presenta fallas por su tiempo de antigüedad, el mantenimiento para este equipo tarda mucho tiempo y sus piezas para reponer son muy difíciles de adquirir.

El área de Gestión de relaves cuenta con poca capacitación sobre almacenamiento de desechos tóxicos.

En tanto al Cono Espesador de Relaves (DTC), ¿Qué deficiencias presenta en un periodo de 3 meses?

El cono de relaves (DTC) no cumple con la función de la separación del agua por gravedad, al llenarse este relave se procede luego a esparcirlo en el dique del relave.

¿Existen otras tecnológicas que reemplacen el antiguo sistema? ¿Cuáles sugiere Ud.?

- Espesamiento y/o filtrado de relaves
- Retro llenado de minas
- Realce de estructuras existentes

¿La nueva tecnología es de fácil entendimiento y operación?

Sí, la tecnología de filtrado de relaves a partir de un sistema de control y automatización del proceso es de fácil operación y entendimiento.

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de esta nueva tecnología?

- La ventaja es el monitoreo constante de la cantidad de relaves a la entrada de la placa de filtros, así como cuanto es el material que se compacta.
- La desventaja es que la energía que se utiliza en este sistema debe ser constante sin interrupciones, por lo cual se debe contar con un grupo electrógeno.

Cualquier interrupción de energía provocaría que el relave se sedimente.

En el aspecto económico, ¿considera Ud. que el mantenimiento de esta nueva tecnología supera al mantenimiento del Cono Espesador de Relaves?

Sí supera, al año puede bordear entre 150 000 a 200 000 dólares más, todo relacionado al sistema de automatización del sistema.

En el aspecto sostenibilidad medioambiental, ¿es factible que la nueva tecnología cumpla con los estándares establecidos de la Ley N° 28611? ¿por qué?

Si es muy factible, debido a que se reduce el tema de los espacios para concentrar los relaves, se evita la filtración de los relaves al subsuelo.

¿La unidad minera tiene problemas con la población aledaña? ¿a qué cree Ud. que se deba esto?

El mayor problema con el sistema de relaves antiguo o cono espesador de relaves es que al llenarse todo este material va al dique, el dique presenta fallas por su uso, originando filtraciones dando como resultado pozos de agua, ocasionando que los animales que crían la población beban agua contaminada y mueran.

En tanto expansión de la unidad minera, ¿en cuánto (tonelaje) se proyecta el incremento en la producción de aquí a unos 5 años?

Entre 14.79TMF a 25TMF por día.

Informe de la ficha observacional del Área de Gestión de relaves

Se realizó una ficha observacional del proceso en el área de Gestión de relaves en el cual consta de ocho secciones. Se presenta a continuación la siguiente descripción:

- a. Ubicación de la unidad minera

Distrito: Simón Bolívar

Provincia: Cerro de Pasco

Departamento: Pasco

- b. Producción anual:

En el año 2020 la producción de los minerales polimetálicos es la siguiente:

- 49k TMF de zinc.
- 2.4 MM oz de plata.
- 15k TMF de plomo.
- 2k TMF de cobre.

- c. Características generales de la relavera

Actualmente esta unidad minera esta activa y el tipo de minería es polimetálica.

- d. Accesibilidad al depósito de relaves: con vehículo
- e. Entorno

Situación del entorno	Distancia (m)
Viviendas	
Zona agrícola	
Zona urbana	
Especies y ecosistemas valiosos	
Infraestructura vial	
Bosque y vegetación natural	

- f. Seguridad

¿Trabaja personal capacitado? Si () No (X)

¿La relavera está cercado?

Si () No (X)

¿La relavera está a una distancia permisible?

Si (X) No ()

¿Cuenta con vigilancia?

Si (X) No ()

- g. Colaboradores

Uso adecuado de equipos de protección personal (Epp)

Equipos de protección personal	1.Todos	2.Algunos (Mas del 50%)	3.Pocos (Menos del 50%)	4.Ninguno
a. Casco	X			
b. Protección visual		X		
c. Protección respiratoria	X			
d. Protección corporal	X			
e. Protección auditiva		X		
f. Guantes industriales		X		
g. Calzado de seguridad	X			

h. Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas

Probabilidad de ocurrencia		
NULA	No puede ocurrir	<input type="checkbox"/>
BAJA	Quizás no ocurra	<input type="checkbox"/>
MEDIA	Probablemente ocurra	<input type="checkbox"/>
ALTA.....	Seguramente ocurrió	<input type="checkbox"/>

Impactos ambientales

Probabilidad de ocurrencia: Quizás no ocurra

Contaminación de suelo
Contaminación de agua

Probabilidad de ocurrencia: Probablemente ocurra

Degradación de la cubierta vegetal
Generación de polvo

Problemas de seguridad

Probabilidad de ocurrencia: No pueda ocurrir

Caídas a pozos, taludes, etc.
Colapso de paredes

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumento	Receptor
Entrevista	Ficha de entrevista	Jefe del área de Gestión de relaves
Observación	Ficha de observación	Área de Gestión de relaves
Análisis de información	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none">- Reseña histórica de la minería en el Perú- Variedad de minerales- Etapas de la actividad minera- Área de Gestión de relaves

3.5 Identificación de los problemas

Para esta identificación de los problemas más comunes en la unidad minera se utilizaron (diagrama causa- efecto y diagrama de Pareto).

3.5.1 Diagrama causa – efecto

En la fig.14 se muestra el diagrama Causa – Efecto, el cual nos permite identificar los problemas y causas que se presenta en el área de Gestión de relaves en una unidad minera.

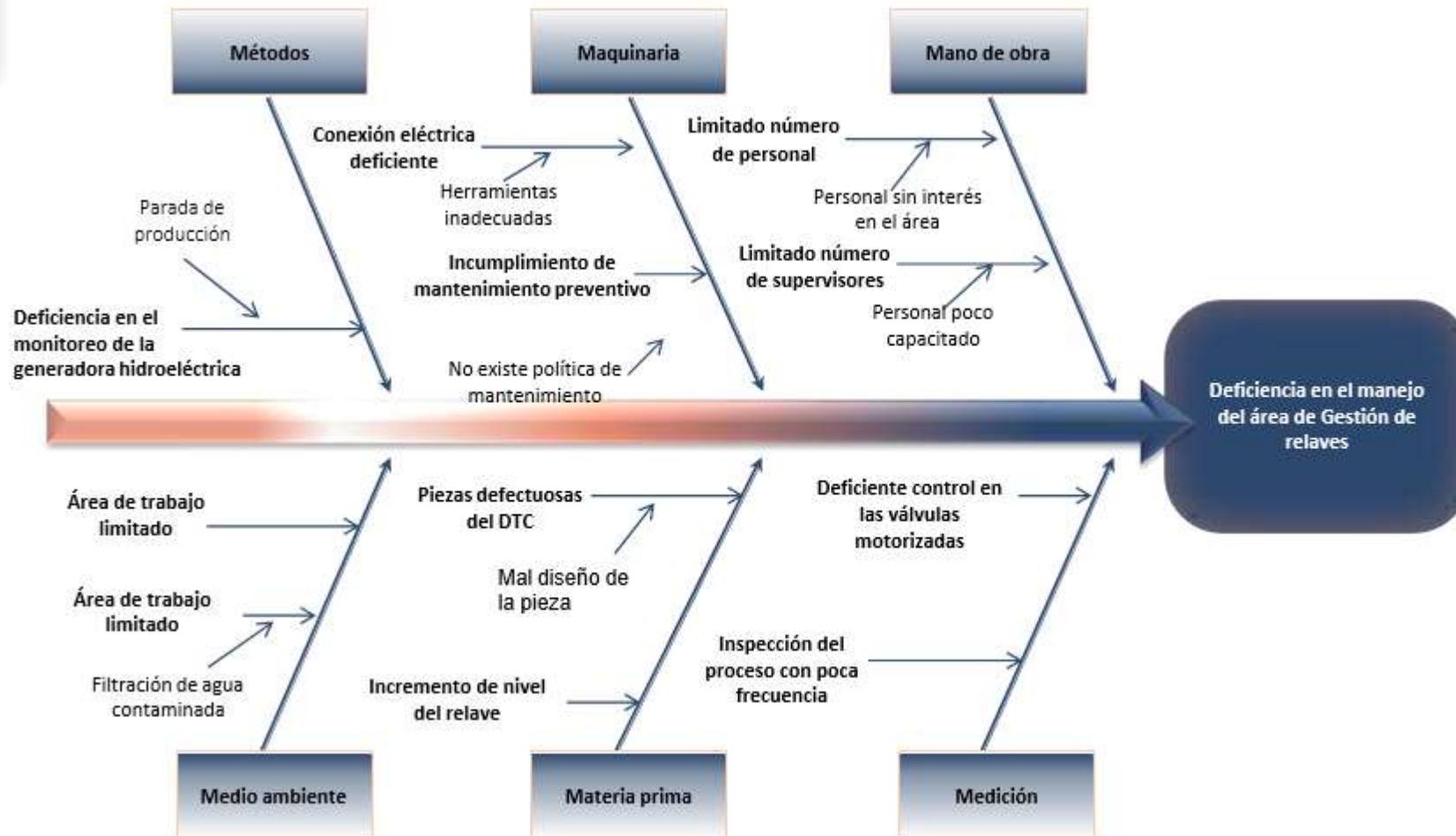


Figura 9. Diagrama causa – efecto del área de Gestión de relaves de una unidad minera.

- Mano de obra

Limitado número de personal: debido al desinterés y poca capacitación que se ofrece en el área de relaves, el personal no cumple con los estándares para ejercer un buen manejo de Gestión de relaves.

- Maquinaria

Incumplimiento del mantenimiento preventivo: debido a la falta una política de mantenimiento preventivo ocasiona que el cono espesador se deteriore más con el paso del tiempo.

- Métodos

Deficiencia en el monitoreo de la generadora hidroeléctrica: debido a un deficiente monitoreo de la generadora hidroeléctrica no permite un óptimo suministro de energía para garantizar el correcto funcionamiento del Cono Espesador.

- Medición

Inspección del proceso con poca frecuencia: debido a que no cuenta con un sistema de automatización moderna (sensores de nivel, transmisores y flujómetros), resulta ser una medición presencial, por lo que el personal es limitado y la inspección es poco frecuente.

- Materia prima

Incremento del nivel del relave: trae consigo daño medioambiental, peligro para la población en tanto enfermedades crónicas y ecosistemas estériles en el cual no puede contenerse el contenido por el dique.

- Medio ambiente

Área de trabajo al aire libre: trae consigo filtración de agua contaminada a través del dique ocasionando pozas de agua contaminada cercana a la comunidad.

3.5.2 Diagrama de Pareto

Se realizó un Diagrama de Pareto presentando los problemas más comunes en la Gestión de relaves en una unidad minera, utilizando una ponderación del 01 al 10, siendo 01 = Nulo y 10 = Siempre. A continuación, en la tabla N°04 se presenta el cuadro de análisis de frecuencia por problemas detectados.

Tabla 3. Cuadro de Análisis de frecuencia por problemas detectados.

Ítem	Clasificación	Problema	Ponderación	% Frecuencia	% Frecuencia Acumulado
1	Medio Ambiente	Área de trabajo al aire libre	9	9.08%	9.1%
2	Medio Ambiente	Área de trabajo limitado	8	8.13%	17.2%
3	Maquinaria	Conexión eléctrica deficiente	10	10.02%	27.2%
4	Medición	Deficiente control de calidad	8	8.25%	35.5%
5	Método	Deficiencia en el monitoreo de generadora hidroeléctrica	7	7.03%	42.5%
6	Materia prima	Incremento del nivel de relave	8	8.25%	50.8%
7	Maquinaria	Incumplimiento del mantenimiento preventivo	9.7	9.70%	60.5%
8	Medición	Inspección del proceso con poca frecuencia	10	10.05%	70.5%
9	Mano de obra	Limitado número de personal	10	10.22%	80.7%
10	Mano de obra	Limitado número de supervisores	9	9.02%	89.8%
11	Materia prima	Piezas defectuosas del DTC	10	10.25%	100.0%
			100	100.00%	

3.5.3 Diagrama de Pareto de problemas identificados

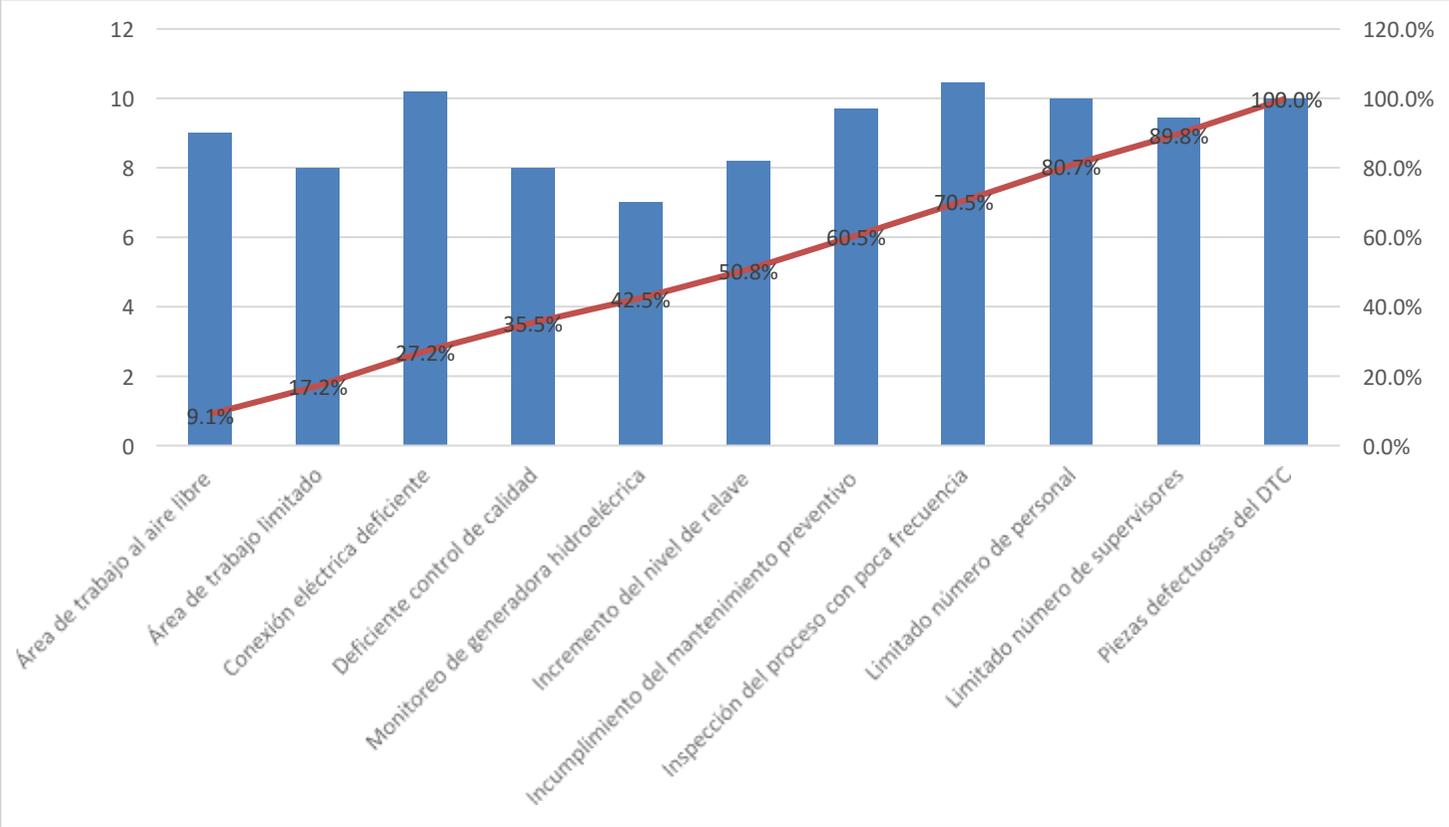


Figura 10. Diagrama de Pareto de problemas identificados.

3.5.4 Cuadro de clasificación de problemas identificados

Tabla 4. Cuadro de clasificación de problemas identificados.

Clasificación	Ponderación	%	% Acumulado
Método	7	7.03%	7.0%
Materia prima	18	18.50%	25.5%
Maquinaria	19	19.72%	45.3%
Mano de obra	19	19.24%	64.5%
Medio Ambiente	17	17.21%	81.7%
Medición	18	18.30%	100.0%
	1	100%	

3.6 Conclusión de análisis de problemas

Tabla 5. Conclusión de análisis de problemas.

	CAUSAS		METODOLOGÍA	HERRAMIENTAS
Método	Deficiencia en el monitoreo de generadora hidroeléctrica	Poco personal	RR.HH.	Selección y reclutamiento de personal
Material	Incremento del nivel de relave	Deterioro del Cono Espesador	Gestión del área de relaves	Medición del dique
Maquinaria	Incumplimiento del mantenimiento preventivo:	No existe políticas de mantenimiento	Mantenimiento de maquinaria	Programa de mantenimiento
Mano de obra	Limitado número de supervisores	Falta de capacitación al personal	Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional	Programación de capacitación interna y externa sobre relaves
Medio Ambiente	Área de trabajo delimitado	Filtración de agua contaminada	Gestión del área de relaves	Instalación de nuevo sistema de filtro de relaves

Prueba planta piloto para humedad de relaves mineros:

Se realizaron pruebas de filtración con la muestra de relave polimetálico de plomo, zinc y cobre provenientes de la planta concentradora de la empresa minera, para su compactación y depósito en la relavera.

Características del equipo actual de filtración:

- Tipo de filtro: Filtro de placas
- Capacidad: 1200 TMSD
- Humedad de torta: 14.5 %
- Capacidad requerida: 1200 TMSD
- Humedad objetivo de la torta: 10%

Data de proceso entregada:

- Densidad de la pulpa: 1600 – 1630 g/l
- Densidad del líquido: 1000 g/l
- G.E. sólidos: 2.8
- %Sólidos: 60 %
- Distribución granulométrica: 35% #140
5% #200
15% #400
45% - #400

Equipos usados

Unidad de Laboratorio LAROX MFP0.3

- Simula procesos de filtración prensa del tipo FFP (filtros horizontales de placas verticales – Fast Filter Pressure)
- Área de filtración: 0.3 m²
- Muestra contenida en 6 galones de 20 litros aprox.



Figura 11. Prueba de laboratorio planta piloto. Tomado de “Laboratorio LAROXMFP0.3”. 2021.

Resultados:

El objetivo del test es la confirmación del dimensionamiento de los filtros de prensa, con estrujadura de membranas y soplado de las tortas para obtener humedad residual en las tortas entre 14% hasta 16%.

Las pruebas de filtración en cada test han sido efectuadas utilizando una planta piloto de mesa que simula la formación de una torta con superficie de filtración de 0,008 m².

Las presiones de ejercicio como de alimentación, estrujadura membrana, soplado tortas y respectivas mediciones de sus caudales son medidos en su panel, utilizando aire comprimido y regulador a precisión.

Descripción del test

- a. Se realizó la alimentación del filtro con el concentrado previamente muestreado y verificadas las condiciones físico-químicas, tales como contenido de sólidos, granulometría de acuerdo a la hoja de datos del proceso.
- b. La presurización final de los diafragmas es realizada a diferentes presiones a fin de obtener un proceso óptimo, el mayor desaguado con el menor gasto de recursos.
- c. Para la obtención de una baja humedad en las tortas, los parámetros como presión /caudal de aire comprimido son necesarios para alcanzar la humedad residual, y garantizar la menor humedad residual en las tortas, se realizó un secado diagonal durante la presurización de los diafragmas, para cuantificar el volumen de aire en esta etapa el filtro tiene instalado un medidor de flujo de aire
- d. Luego el aire es pasado a través de la línea de alimentación del filtro con la finalidad de limpiarlos.

- e. Despresurización del filtro y descarga final de las tortas.
- f. Lavado de las telas.

Tabla 6. Resultados de las pruebas de filtración.

FFP FILTER	UNIDADES	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5
Tiempo del ciclo de filtración	min	9.17	10.97	11.50	11.35	10.37
Tasa de filtración específica	Kg.d.s./m2h	121.44	106.29	90.41	90.41	65.26
Flujo de aire	min/l	50	50	50	50	50
Espesor de torta	mm	23	23	24	21	15
Porcentaje de humedad	%	17.1	14.2	12.9	11.9	11.7
Porcentaje de humedad objetivo	%	10	10	10	10	10
Espesor de cámara	mm	40	40	40	40	25
Tipo de tela		S1123- L2K2	S1123- L2K2	S1123- L2K2	S1123- L2K2	S1123- L2K2

Nota: Tomado de Laboratorio LAROX MFP0.3, 2021.

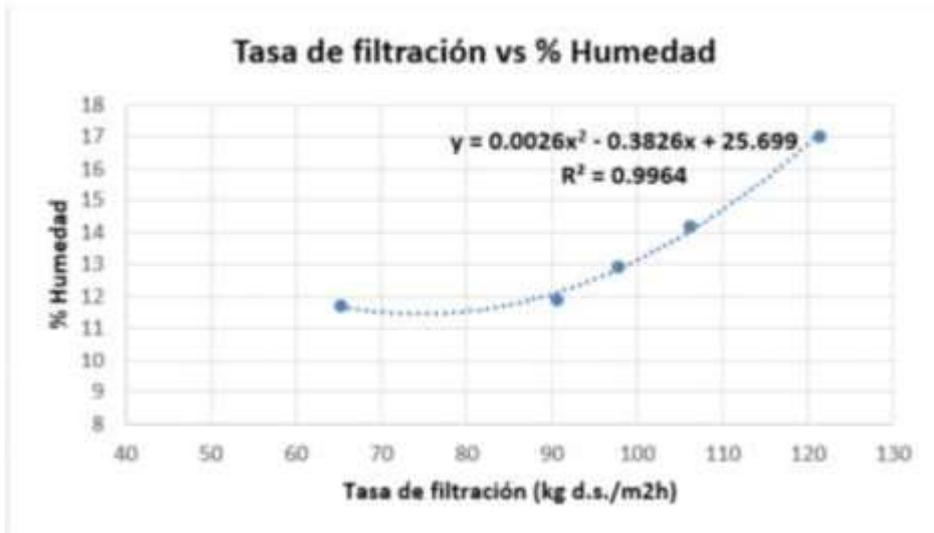


Figura 12. Resultados de filtración vs % de humedad. Tomado de “Laboratorio LAROX MFP0.3”, 2021.

Conclusiones:

- Humedad mínima alcanzada: 11.7%
- El mejor test:
 - Ciclo de filtración: 11.35 min
 - Tasa de filtración: 90.41 kg d.s./m2h
 - Flujo de aire: 50 l/min
 - Porcentaje de humedad: 11.9 %
 - Espesor de la torta: 21 mm
 - Espesor de la cámara: 40 mm
 - Tipo de tela: S1123-L2K2 (Polipropileno).



Figura 13. *Muestra de la torta del relave. Tomado de Laboratorio LAROX MFP0.3, 2021.*

3.6.1 Instrumentos de recolección de datos

Tabla 7. Instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumento	Receptor
Entrevista	Ficha de entrevista	Jefe del área de Gestión de relaves
Observación	Ficha de observación	Área de Gestión de relaves
Análisis de información	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> - Reseña histórica de la minería en el Perú - Variedad de minerales - Etapas de la actividad minera - Área de Gestión de relaves

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Descripción de la minería polimetálica en el Perú

En este capítulo, utilizando el instrumento de análisis documental se presenta la reseña histórica, variedades de minerales, etapas de la actividad minera y procesamiento de minerales en la minería.

4.1.1 Reseña histórica de la minería polimetálica en el Perú

Según el libro de Minería y conflicto social (2009), la actividad minera en el Perú está presente desde hace miles de años, el cual está vinculada con las finanzas y medio ambiente; desde las últimas décadas se ha demostrado que es una gran fuente de trabajo y una de las estrategias contra la pobreza para diversos sectores de la población.

El Osinergmin (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía) (2007) explica que, en todo Latinoamérica, el Perú ocupa uno de los primeros puestos en la producción de plata con un 16.48%, un tercer lugar con estaño y cobre aprox. 6.86%; cuarto lugar con plomo 9.52% y quinto lugar en oro 8.01%.

A lo largo de la historia económica, la minería en el Perú ha contribuido con el crecimiento económico e ingresos fiscales, pero ha generado conflictos con las comunidades campesinas y sociedad en general trayendo como consecuencia el impacto ambiental y daños perjudiciales contra la salud. Por este motivo, en este sector es necesario la supervisión de sus procesos ligados con la sostenibilidad del medio ambiente.

Se presenta en la fig. N°9 la elaboración del PBI minero neto y variación porcentual.



Figura 14. Elaboración del PBI minero neto y variación porcentual. Tomado del BCR (Banco Central de Reserva), 2017.

Variedad de minerales:

A continuación, en la siguiente figura se presentan los diferentes grupos de minerales.

Tabla 8. Figura 15. Variedad de minerales. Tomado del “Organismo Supervisor de la Inversión en Energía”, 2007.

Grupo	Minerales
Metales	Incluyen los metales: <ul style="list-style-type: none">- Preciosos (el oro, la plata y los metales del grupo de platino)- Siderúrgicos (hierro, níquel, cobalto, titanio, vanadio, cromo)- Básicos (cobre, plomo, estaño, zinc).- Ligeros (magnesio y aluminio)- Nucleares (uranio, radio y torio)- Especiales (litio, germanio, galio, arsénico)
Minerales industriales	Incluyen los de potasio y azufre, el cuarzo, la trona, la sal común, el amianto, el talco, el feldespato y los fosfatos.
Materiales de construcción	Incluye la arena grava, los áridos, las arcillas para ladrillos, la caliza, y los esquistos, para la fabricación del cemento. En este grupo también se incluye la pizarra para tejados y las piedras pulidas, como el granito, el travertino o el mármol.
Gemas	Incluye los diamantes, los rubies, los zafiros y las esmeraldas.
Combustibles	Incluye el carbón, el lignito, la turba, el petróleo y el gas (aunque generalmente estos últimos no se consideran productos mineros). El uranio se incluye con frecuencia entre los combustibles.

Nota: Tomado del “Organismo Supervisor de la Inversión en Energía”, 2007.

Etapas de la actividad minera:

En la siguiente figura se muestra las etapas de la actividad minera.

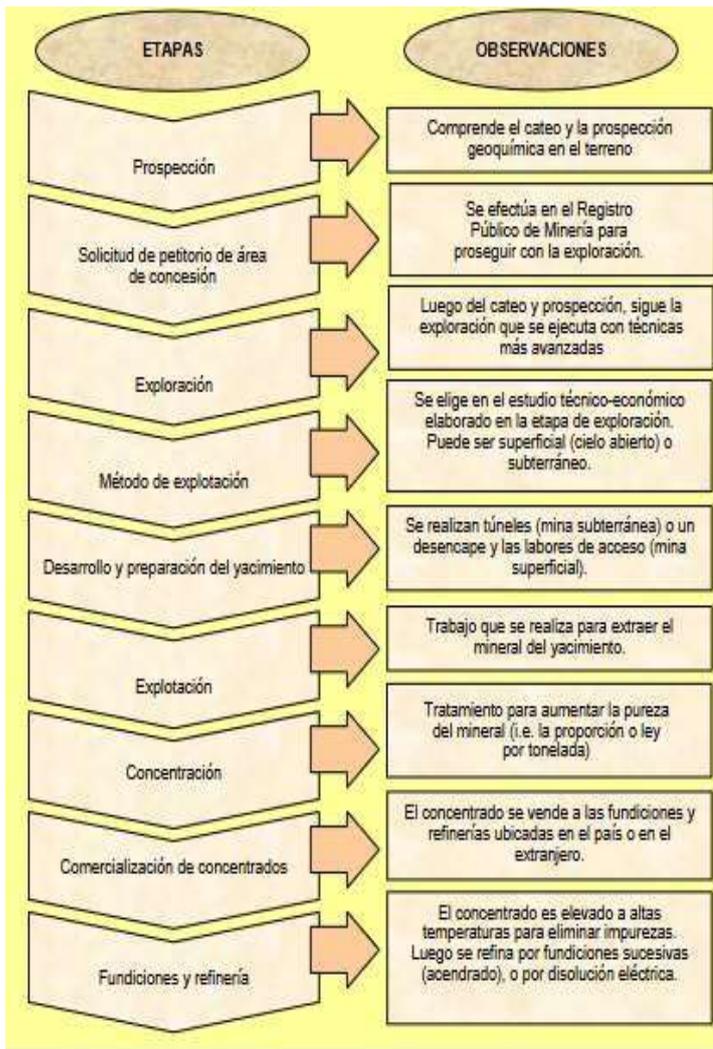


Figura 15. Etapas de la actividad minera. Tomado del “Organismo Supervisor de la Inversión en Energía”, 2007.

4.1.2 Proceso del mineral

A continuación, se muestra la descripción del proceso de las unidades mineras (polimetálica).

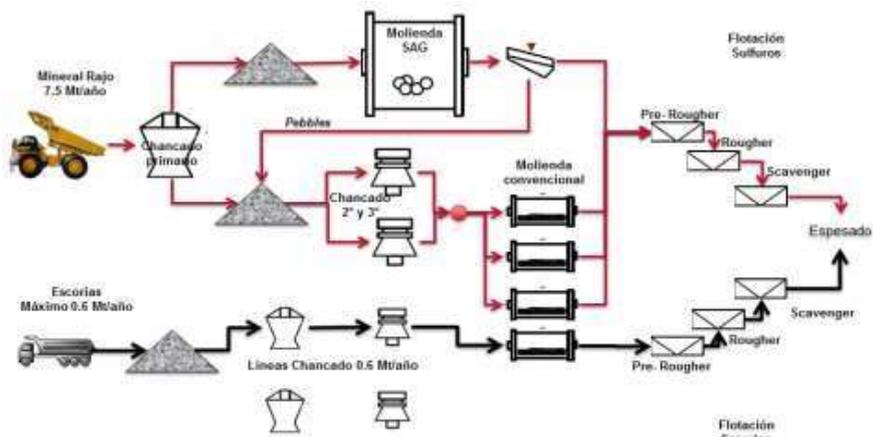


Figura 16. Procesamiento de mineral. Tomado de “ID Mining”, 2015.

4.1.3 Pasivos ambientales en el Perú

Se presenta en la siguiente tabla los pasivos ambientales mineros en el Perú, registrado en el Documento de Política en Control Gubernamental 2021.

Tabla 9. Pasivos ambientales mineros en el Perú.

Variable	2015	2016	2018	2019	2020
Pasivos ambientales					
Mineros incluidos en el Inventario del PAM del MINEM	8616	8854	8794	8448	7956

Nota: Tomado de la Contraloría Gubernamental (2021).

4.1.4 Cantidad de PAM de riesgo “muy alto” por regiones 2020

A continuación, se presenta gráficamente el nivel de riesgo de PAM por regiones gestionadas y sin gestionar.

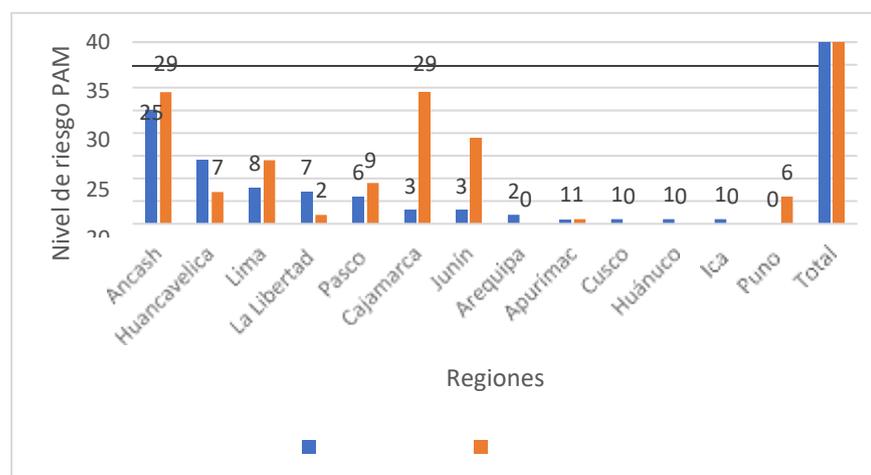


Figura 17. Cantidad de PAM por regiones.

4.1.5 Manejo de relaves

Mejora continua mediante la implementación del marco para el manejo de relaves.

En seguida, se presenta la mejora continua mediante la implementación del marco para el manejo de relaves.

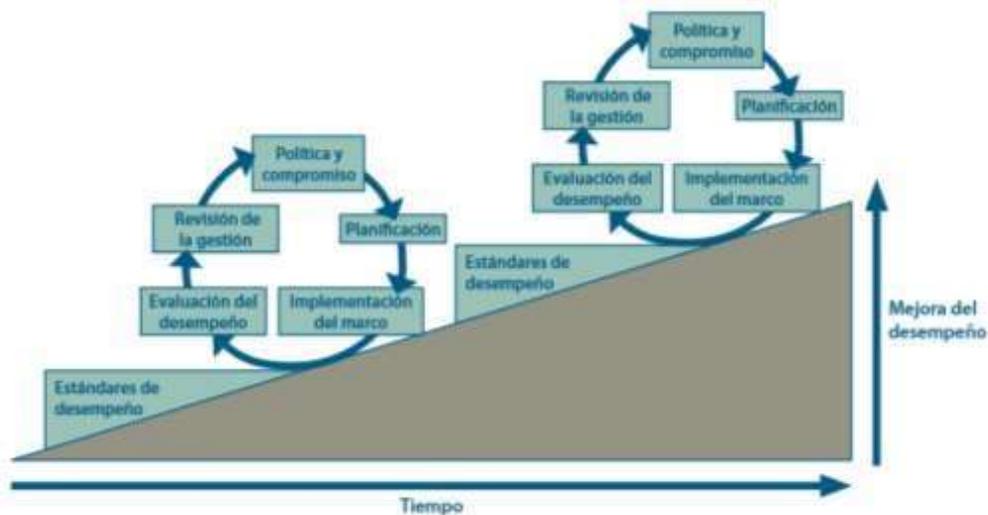


Figura 18. *Mejora continua mediante la implementación del marco para el manejo de relaves.* Tomado de “Guía de relaves”, 2019.

4.2 Descripción de la empresa

La compañía es considerada como uno de los productores de más bajo costo en la industria, debido a la calidad de sus depósitos de mineral. Inició sus operaciones en 1943, en las alturas del abra de Ticlio. Todas sus actividades están ubicadas en la Sierra Central de Perú.

4.2.1 Misión

Somos un grupo minero de origen peruano que persigue la maximización de valor a sus accionistas, a través de excelencia operativa y de los altos estándares de seguridad y manejo ambiental, contribuyendo al desarrollo de su personal y de su entorno.

4.2.2 Valores

Nuestros valores forman parte de la cultura organizacional y estos caracterizan a cada uno de los miembros que integran nuestra compañía.

- Seguridad: nunca cedemos en cuanto a la seguridad. Nos cuidamos unos a otros y si el trabajo no es seguro, lo paramos.
- Integridad: tenemos la valentía de hacer lo correcto, aunque sea difícil. Cumplimos nuestra palabra y nos tratamos de manera justa y respetuosa.
- Responsabilidad: asumimos la responsabilidad de nuestras acciones. Dialogamos con los demás para entender lo que esperan de nosotros. Trabajamos para mejorar nuestro desempeño

- **Transparencia:** somos honestos y directos cuando nos comunicamos. Nos esforzamos para mejorar, compartiendo información, fomentando el diálogo y la retroalimentación
- **Simplicidad:** trabajamos de manera eficiente y nos enfocamos en lo importante. Evitamos la complejidad y buscamos soluciones sencillas y pragmáticas.
- **Espíritu empresarial:** fomentamos las ideas nuevas y nos adaptamos rápidamente al cambio. Siempre buscamos nuevas oportunidades para crear valor, al igual que formas para trabajar mejor y de manera más segura.

4.2.3 Organigrama

En esta etapa se muestra el organigrama de la unidad minera

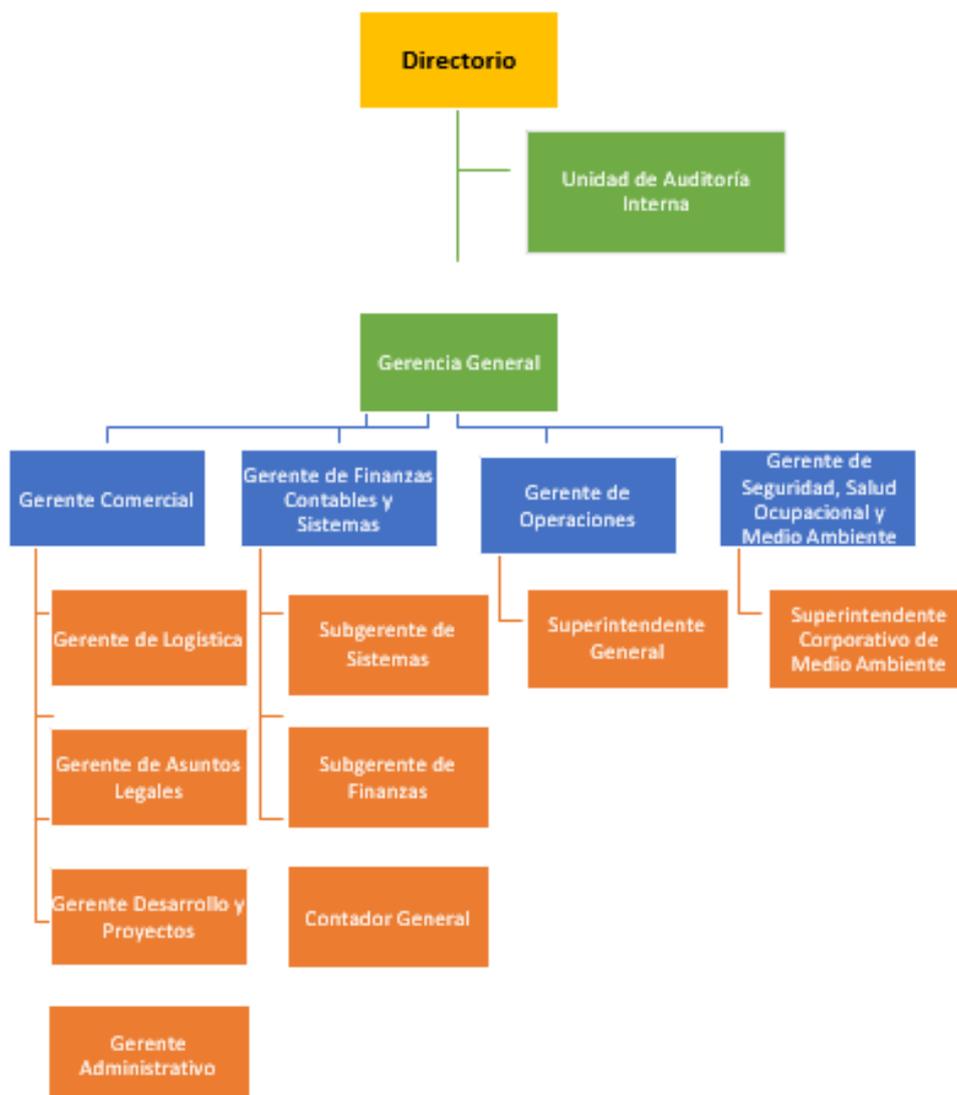


Figura 19. Organigrama.

4.3 Gestión del Área de Relaves

En este apartado se muestra la revisión documental del área de Gestión de relaves de la unidad minera ubicada en Cerro de Pasco.

Clasificación de relaves

Los relaves de una unidad minera deben ser espesados antes de llegar a la etapa de filtración, se efectúa en dos etapas y en serie, una de ellas es la clasificación gravimétrica en hidrociclones. Esta clasificación se realiza en 03 hidrociclones de D- 10, también se puede realizar en los de D-15.

Un 72% a 74% de sólidos reporta el producto grueso de estos clasificadores, lo cual permite filtrarlos directamente, para ello se envían por gravedad al holding tank respectivo. Los finos de los hidrociclones que llevan la mayor cantidad de agua, con un porcentaje de sólidos igual a 13% en promedio, son enviados al cajón distribuidos de alimento a los espesadores del tipo Ultrasep, para incrementar la densidad.

Espesamiento de relaves

Con la finalidad de incrementar la densidad del producto fino de los hidrociclones, estos son enviados por gravedad a un cajón colector y distribuidor 100- BX- 003, de aquí se alimentan a los dos espesadores UltraSep de 5m de diámetro por 12 m de altura. Estos espesadores se encargan de incrementar la densidad hasta 1 400 g/l con un 44,9 % de sólidos. El producto grueso de los espesadores es enviado por gravedad al cajón 100-BX-006 y de allí se distribuye a los filtros de vacío o a los filtros prensa actual y al proyectado. Con la bomba 100-PP-003 los relaves espesados en esta etapa son enviados al holding tank del filtro prensa 200-FL-001 y al Holding Tank proyectado de 5m de diámetro por 4m de altura. El rebose de los espesadores es enviado por gravedad al tanque 500-TK003 de la bomba 500-PP-015 y 016 para ser recirculados a la planta, para su uso industrial.

Filtrado a presión

Los relaves espesados serán enviados con la bomba 100-PP-003 A/B al holding tank 200-TK-002 para ser acondicionados, homogenizar la pulpa y cizallamiento de los flóculos generados en la etapa anterior, a su vez se mezclarán con los gruesos de los hidrociclones. De allí serán bombeados al filtro prensa 200-FL-002, el producto seco o torta son descargados a una faja transportadora 200-CV-002 y de allí a la siguiente la 200-CV-003, ambas fajas de 42 “, que descarga a la cancha de relaves N° 5. La humedad esperada de la torta es de 15 % de sólidos.

El líquido filtrado o licor es enviado al clarificador 500-TH-003 para retirar los sólidos que puedan pasar durante la etapa de filtrado y además para recuperar el agua de filtrado. El agua de lavado de placas proviene de la planta de tratamiento de agua, la cual es almacenada en un tanque de 25 m³ 500-BX-012 y luego es impulsada con una bomba 500- PP-019 hacia el filtro. El filtro durante su etapa de filtrado requiere de agua a presión para realizar el estrujado o “squeezing”, esta agua será fresca y almacenada en un tanque 500-BX-013 del cual será impulsada a las cámaras del filtro con una bomba (por definir), operando en circuito cerrado con el tanque, la pérdida de agua es mínima y requiere una recarga esporádica. En el caso de parada del filtro nuevo, se regresa al circuito del filtro actual 200-FL- 001 con la bomba 100-PP-006.

Recuperación de agua

El licor filtrado lleva la mayor cantidad de agua del proceso la cual es recuperada en un clarificador 500-TH-003, el rebose de este equipo es enviado a la planta de tratamiento, la cual en detalle está por definir. El producto denso es recirculado con la bomba 400-PP-010 a los espesadores Ultra Sep 100–TH-002 para recuperar los sólidos en la etapa de filtrado.

4.4 Evaluación económica

Presupuesto

En esta propuesta se tiene la siguiente descripción del costo del filtro, para lo cual se establece lo siguiente:

Tabla 10. Presupuesto

Descripción	Und	Precio Unitario		
Suministro de equipos				6,454,452
Filtro Prensa				5,798,452
Filtro prensa Diemme® Filtration mod. GHT 2500 F18	und	1,870,623	2	3,741,247
Bandeja de recogida goteos	und	131,465	2	262,930
Sistema de lavado telas por enjuague	und	26,515	2	53,030
Sistema de lavado telas de alta presión	und	35,329	2	70,658
Bomba de lavado telas por enjuague	und	81,082	2	162,165
Bomba de lavado telas de alta presión	und	46,293	1	46,293
Bomba para alimentación del lodo	und	179,031	2	358,062
Sistema para estrujadura de las membranas	und	69,928	2	139,857
Sistema de Compresores de soplado torta	und	964,212	1	964,212
Equipos complementarios				656,000
Holding Tank de 100 m3 de capacidad	und	80,000	2.00	160,000
Tanque pulmon de 3 x 100m3/10Bar	und	90,000	3.00	270,000
Compresor de aire comprimido 40 HP para instrumentación	und	35,000	2.00	70,000
Tanque pulmon de 3m3/6Bar	und	8,500	2.00	17,000
Secador de aire para instrumentación	und	12,000	2.00	24,000
Tanque agua limpia para lavado de lonas 50 m3	und	30,000	1.00	30,000
Tanque para agua filtrada 15 m3	und	15,000	1.00	15,000
Puente grua	und	70,000	1.00	70,000
Sistemas de transporte de pulpa, agua, aire				690,000
Pinping de interconexion	glb	105,000	2.00	210,000
Fajas/chutes	glb	240,000	2.00	480,000
Sistemas de Energia				350,000
Suministro y distribución de Energia	glb	350,000	1.00	350,000
Montajes				600,000
Alquiler grua	Glb	100,000	1.00	100,000
Montajes mecanicos	Glb	250,000	2.00	500,000
Obras Civiles				840,000
Bases para estructura soporte filtro	Glb	30,000	2.00	60,000
Estructura de soporte de filtro	Glb	75,000	2.00	150,000
Cimentación Holding Tank	Glb	40,000	2.00	80,000
Edificio de filtro	Glb	550,000	1.00	550,000
Total Costo Directo (CD)				8,934,452
Fletes importación filtros		215,000	2.00	430,000
Embalajes		59,275	2.00	118,550
Supervisión de montaje		72,540	2.00	145,080
Puesta en marcha		31,400	2.00	62,799
Total costo indirecto (CI)				756,429
Costos del propietario	3.50%	(CD)		312,706
Contingencia	10.00%	(CD)		893,445
Costo Total del Proyecto				10,897,032

4.5 Análisis beneficio/costo

La unidad minera, para poder instalar un sistema de filtro de relaves, tendrá una inversión estimada de 10.897.032 dólares, se hizo un análisis de beneficio/costo por un periodo de 3 años,

en el cual tiene un valor de recuperación del 25% que se proyecta en los siguientes flujos de ingresos y egresos.

En este análisis se utilizó un COK del 17%. La descripción se demuestra a continuación:

Tabla 11. Ingresos y egresos.

	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos (USD)	9300	11200	15030
Egresos (USD)	2100	2800	3700

Tabla 12. Ingresos netos y egresos netos.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos (USD)		9300	11200	17754.26
Egresos (USD)	10897.032	2100	2800	3700

VAN (I) S/27,215.71

VAN (E) S/17,047.51

B/C S/1.60

Por cada sol invertido la unidad minera obtendría un ingreso de S/ 0.60, es decir por sol invertido gana S/ 0.60. Como el B/C > 1, la inversión es conveniente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El optimizar el área de Gestión de relaves con la implementación de un sistema de filtración positivo, ya que con esta nueva tecnología los desechos tóxicos obtendrán un menor porcentaje de humedad con una tasa de 15%, permitiendo una óptima recuperación de aguas frescas en el proceso, y alcanzar mayor tonelaje en productividad en la unidad minera, con el fin de contribuir de manera positiva en el desarrollo sostenible respecto al entorno del medio ambiente.

Se determinó que la frecuencia en número de defectos será menor con un porcentaje del 2% al antiguo proceso, ya que al utilizar el DCT la recuperación del agua era de un 87%, actualmente se evidencia que alcanzará un rango de 90% - 98%, permitiendo que estos desechos ocupen menos espacio en almacenamiento, de tal manera se reduzca la toxicidad del relave de la unidad minera, por lo que la empresa obtendrá un mayor periodo de su actividad económica.

Se determinó que la instalación del sistema de filtro de relaves será favorable, ya que incrementará al 98% de la productividad, con un ahorro a largo plazo en la instalación del nuevo filtro, mantenimiento preventivo y en la contratación de personal.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar nuevas tecnologías que permitan la sostenibilidad y el desarrollo del medio ambiente en las empresas mineras, ya que la humedad de estos relaves es altamente tóxicos y dañinos para la salud humana.

Se recomienda al área de Gestión de relaves implementar un programa de capacitaciones a los colaboradores, ya que se encontró deficiencias en los procesos operativos, perjudicando el control de tiempos en esta área.

Se recomienda a los futuros investigadores a realizar un estudio más profundo sobre el área de Recursos humanos, perfilar mejor los puestos de trabajo para determinar mejor personal en la parte de selección y reclutamiento, ya que se encontró varias deficiencias en esta área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, R. Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén de Minera Titán del Perú S.R.L. [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín, 2017. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/1afb7b7c-0316-4c39-91dd-0a7246f89c06>
- AZAM, S. “Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years”. 2010.[en línea]. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://ksmproject.com/wp-content/uploads/2017/08/Tailings-Dam-Failures-Last-100-years-Azam2010.pdf>
- BAZAN, D. Manejo sostenible de relaves de flotación de plantas concentradoras de minas polimetálicas [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería, 2015 [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_ef40cd24c1d7960f8155694debe6c8f0
- BERNAL, M. Estabilidad Sísmica en Presa de Relave Construida por el Método de Eje Central [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile, 2012. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112569>
- BRAJA M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica México D.F: International Thomson Editores S.A. 2001. [en línea]. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-BMD.pdf>
- BRIONES, A. Estudio Comparativo del Diseño de la Presa de Tierra Limon del Proyecto Olmos con Pantalla de Concreto versus Núcleo de Material Arcilloso [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma, 2008. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/159>
- CABREJOS, J. Estudio de Prefactibilidad para la Recuperación de Agua a partir de Relaves de Gran Minería de Cobre mediante la Tecnología de Relaves Espesados [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. [fecha de

consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en:
https://www.academia.edu/19707862/Cabrejos_sj

CÁRDENAS, J. Plan de Abandono de Depósitos de Relave en la Zona de Casapalca [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería, 2001. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en:
<https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=28089>

CNE. “Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011)” MINEM –Perú. 2011. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en:
<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/R%20M%20%20y%20CNE%202011.pdf>

ENGINEERS, U. Engineering and Design-Slope Stability-Engineering Manual EM. 2003. [en línea]. [fecha de consulta: 01 del 2024]. Disponible en:
https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1902.pdf

GARCIA, J. Capítulo de Ingeniería Metalúrgica. Gestión segura de presas de relave. Colegio de Ingenieros del Perú. 2019. [en línea]. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en: <https://www.cip.org.pe/publicaciones/revista-digital/revista-digital-ingenieria-nacional-edicion-28.pdf>

HUAMÁN, J. Análisis de Estabilidad Física del Depósito de Relave Manavale para su Recrecimiento Vertical con Relave en Pasta en la Empresa Minera AUREX S.A. [en línea]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Alcides Carrión, Cerro de Pasco-Perú, 2018. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en:
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/783>

MAZZIOTTI, L. Evaluación técnico-económica de la recuperación de agua de relave convencional mediante el uso de un sistema de filtrado y disposición de relave en seco. [en línea]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020. [fecha de consulta: 01 de abril del 2024]. Disponible en:
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17713>

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población
<p>General</p> <p>¿En qué medida la eficiencia se incrementará por la implementación de un sistema de filtración de relaves en el área de Gestión de relaves en una unidad minera?</p>	<p>General</p> <p>Incrementar la eficiencia por medio de la implementación de un Sistema de Filtración en el área de Gestión de relaves en una unidad minera.</p>	<p>General</p> <p>Será posible incrementar la eficiencia a través de la implementación del sistema de filtración de relaves en una unidad minera.</p>	<p>Instalación de un sistema de filtro (independiente)</p> <p>Humedad de los relaves mineros</p> <p>Frecuencia de defectos del antiguo sistema de relaves</p>	<p>La presente investigación está basada en el método hipotético deductivo y método específico de tipo observacional.</p>	<p>Área de gestión de relaves (20 personas)</p>
<p>Específicos</p> <p>¿Como influye la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental?</p> <p>¿Con que frecuencia se presentan defectos por el uso con el antiguo sistema de filtros?</p> <p>¿En qué medida la instalación del sistema de filtro de relaves reducirá los costos en la unidad minera?</p>	<p>Específicos</p> <p>Reducir la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental.</p> <p>Determinar la frecuencia de defectos presentados con el antiguo sistema de filtros.</p> <p>Determinar la reducción de costos de la instalación del sistema de filtro de relaves en la unidad minera.</p>	<p>Específicos</p> <p>Será posible reducir la humedad de los relaves mineros en la contaminación ambiental</p> <p>La frecuencia con que se presentan los defectos en el antiguo sistema de filtros</p> <p>Será posible reducir los costos al instalar el sistema de filtro de relaves</p>	<p>Gestión de relaves (dependiente)</p> <p>Funcionamiento del sistema de filtro.</p> <p>Fallas del sistema de filtro.</p>	<p>Alcance de la investigación:</p> <p>El nivel de investigaciones descriptivo, univariable.</p> <p>Diseño de la investigación:</p> <p>La investigación es de tipo no experimental de corte transversal</p>	<p>Muestra</p> <p>Área de gestión de relaves (20 personas)</p>

Anexo 02. Formato de ficha de validación de instrumentos.

FICHA TÉCNICA DE LA ENTREVISTA AL EXPERTO

ENTREVISTA AL EXPERTO	
Entrevistado:	
Profesión:	
Maestría:	
Doctorado:	
Lugar:	
Duración:	
Entrevistador:	

1. ¿Cuánto cantidad (Toneladas) procesan por día en la unidad minera?
.....
.....
2. ¿Cuáles son los puntos críticos actuales en el área de Gestión de Relaves?
.....
.....
3. En tanto al Cono Espesador de Relaves (DTC), ¿Que deficiencias presenta en un periodo de 3 meses?
.....
.....
4. ¿Existen otras tecnológicas que reemplacen el antiguo sistema? ¿Cuáles sugiere Ud.?
.....
.....
5. ¿La nueva tecnología es de fácil entendimiento y operación?
.....
.....
6. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de esta nueva tecnología?
.....
.....
7. En el aspecto económico, ¿Considera Ud. que el mantenimiento de esta nueva tecnología supera al mantenimiento del Cono Espesador de Relaves?
.....
.....
8. En el aspecto sostenibilidad medioambiental, ¿Es factible que la nueva tecnología cumpla con los estándares establecidos de la Ley N° 28611? ¿Por qué?
.....
.....
9. ¿La unidad minera tiene problemas con la población aladaña? ¿A qué cree Ud. que se deba esto?
.....
.....
10. En tanto expansión de la unidad minera, ¿En cuánto (tonelaje) se proyecta el incremento en la producción de aquí a unos 5 años?
.....
.....

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL PROCESO EN EL ÁREA DE GESTIÓN DE RELAVES

Nombre del Evaluador:

Responsable del Proyecto:

Fecha:	Hora de inicio:	Hora de culminación:
--------	-----------------	----------------------

1. Ubicación de la unidad minera

Distrito:

Provincia:

Departamento:

2. Producción por día:

3. Características generales de la relavera:

Activo	No activo
Antigüedad de la relavera	
Tipo de minería: Metálica () No metálica ()	

4. Accesibilidad al depósito de relaves:

a. Con vehículo	
b. A pie	
c. Inaccesible	
d. Otro	

5. Entorno:

Situación del entorno

Distancia
(m)

a. Viviendas	
b. Zona agrícola	
c. Zona urbana	
d. Especies y ecosistemas valiosos	
e. Infraestructural vial	
f. Bosque y vegetación natural	
g. Otros	

7. Colaboradores:

Uso adecuado de equipos de protección personal (Epp)

Equipos de protección personal	1.Todos	2.Algunos (Mas del 50%)	3.Pocos (Menos del 50%)	4.Ninguno
a. Casco				
b. Protección visual				
c. Protección respiratoria				
d. Protección corporal				
e. Protección auditiva				
f. Guantes industriales				
g. Calzado de seguridad				

8. Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas

Probabilidad de ocurrencia

0.NULA.....No puede ocurrir

1.BAJA... Quizás no ocurra

3.MEDIA..... Probablemente ocurra

4.ALTA..... Seguramente ocurrió

Impactos ambientales

Contaminación de suelo

Contaminación de agua

Degradación de la cubierta vegetal

Generación de polvo

Otros

Problemas de seguridad

Caídas a pozos, taludes, etc.

Colapso de paredes

Otros

3. FORMATO DE EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO. CRITERIOS GENERALES

I. DATOS GENERALES

1.- Nombres y Apellidos del Tesista: Bach. Myrelli del Pilar Muñoz Hilarión.

2.- Nombre del instrumento motivo de la evaluación:

- Ficha de entrevista

- Ficha de observación

3.- Nombre y Apellidos del Validador del instrumento:

RENAN LESCRANO CHAVEZ

4.- Cargo e Institución donde labora:

SUPERVISOR INSTRUMENTACION & CONTROL PEM (PUESTA EN MARCHA)

COBRA PERU SCL

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	INDICADORES	DEFICIENTE 0-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41-60%	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1	Claridad				65%	
2	Objetividad					83%
3	Actualidad					95%
4	Organización				78%	
5	Suficiencia					82%
6	Intencionalidad					85%
7	Consistencia				75%	
8	Coherencia				70%	
9	Metodología					90%

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

LA FICHA DE ENTREVISTA APLICA

LA FICHA DE OBSERVACION APLICA

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80.33%



FRMA DEL VALIDADOR DE ENCUESTA

Renan E. Escraño Chávez
Ing. De Física y Telecomunicaciones
Reg. CP N° 10861

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

I. GENERALIDADES

El que suscribe: Jorge André Torres Portocarrero
identificado con DNI: 76713702 y N° de colegiatura 033064 certifico que realizó
el juicio de experto al instrumento diseñado por lo(s) bachiler(es):
MYRELL DEL PIAR MUÑOZ MARIBON

Fecha: 08/10/2021

II. OBSERVACIONES

FORMA:

ESTRUCTURA: (Referido a la coherencia, dimensión, indicadores e ítem)

El instrumento es OBJETIVO, PERO DEBE COLOCAR UN CUADRO
DE RIESGOS Y ACCIDENTES QUE PODRÍAN OCURRIR EN LA
OPERACIÓN DE LA PLANTA DE RELAYES Y COMO MITIGARLOS

CONTENIDO: (Referido a la presentación de los reactivos, al grupo muestral)

El contenido es
CLARO, SE DEBE HACER NOTAR E INDICAR SI LA PLANTA
FUNCIONA LAS 24 HORAS DEL DÍA O SERÁ SOLO UNA TORREDA

III. VALIDACIÓN

Luego de evaluar el instrumento:

Procede su aplicación No procede para su aplicación ()

NOMBRES Y APELLIDOS DEL EXPERTO

DNI: 76713702

JORGE ANDRE TORRES PORTOCARRERO

TITULADO EN INGENIERIA INDUSTRIAL

3. FORMATO DE EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO. CRITERIOS GENERALES

I. DATOS GENERALES

1.- Nombres y Apellidos del Tesista: Bach. Myrell del Pilar Muñoz Hilarón.

2.- Nombre del instrumento motivo de la evaluación:

- Ficha de entrevista

- Ficha de observación

3.- Nombre y Apellidos del Validador del instrumento:

JORGE ANDRÉ TORRES PORTOCARRERO

4.- Cargo e Institución donde labora:

COORDINADOR S5-CPM

COBRA PERU S.C.L

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	INDICADORES	DEFICIENTE 0-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41-60%	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1	Claridad				72%	
2	Objetividad					82%
3	Actualidad					90%
4	Organización				65%	
5	Suficiencia					85%
6	Intencionalidad				70%	
7	Consistencia					82%
8	Coherencia				75%	
9	Metodología					95%

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

LA FICHA DE ENTREVISTA APLICA

LA FICHA DE OBSERVACIÓN APLICA

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN


Jorge Torres Portocarrero
C/P 155616
FIRMA DEL VALIDADOR DE ENCUESTA

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

I. GENERALIDADES

El que suscribe, RENÁN LESCANO CHAVEZ
identificado con DNI 7373825 y N° de colegiatura 170163, certifico que realicé
el juicio de experto al instrumento diseñado por los(as) bachilleros:
MYRELLI DEL PILAR MUMAT HUACOMA

Fecha: 05 / 01 / 2021

II. OBSERVACIONES

FORMA:

ESTRUCTURA: (Referido a la coherencia, dimensión, indicadores e ítems)

El instrumento es CLARO, OBJETIVO, PERO FALTA UNA TABLA DE
CORRELACION ENTRE LAS TECNOLOGIAS ANTIGUA Y NUEVA DEL RELAYE
PROPUESTO

CONTENIDO: (Referido a la presentación de los reactivos, al grupo muestral)

El contenido es
BUENO, PERO SE DETALLA EN LA FIRMA DE OBSERVACION COMO ES
LA ACTUAL TECNOLOGIA DE RELAYE

III. VALIDACIÓN

Luego de evaluar el instrumento

Procede su aplicación () No procede para su aplicación ()

RENÁN LESCANO CHAVEZ
TITULADO EN INGENIERIA ELECTRONICA
NOMBRES Y APELLIDOS DEL EXPERTO
DNI:


Renán Lescano Chavez
Ing. Electrónica y Telecomunicaciones
Reg. CP N° 80861

3. FORMATO DE EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO. CRITERIOS GENERALES

I. DATOS GENERALES

1.- Nombres y Apellidos del Tesista: Bach. Myrelli del Pilar Muñoz Hilarón.

2.- Nombre del instrumento motivo de la evaluación:

- Ficha de entrevista

- Ficha de observación

3.- Nombre y Apellidos del Validador del instrumento:

KENAN LESANO CHAVEZ

4.- Cargo e institución donde labora:

**SUPERVISOR INSTRUMENTACION & CONTROL PEM (PUESTA EN MARCHA)
COBRA PERU SCL**

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	INDICADORES	DEFICIENTE 0-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41-60%	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1	Claridad				65%	
2	Objetividad					83%
3	Actualidad					95%
4	Organización				78%	
5	Subsistencia					82%
6	Intencionalidad					85%
7	Consistencia				75%	
8	Coherencia				70%	
9	Metodología					90%

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

LA FICHA DE ENTREVISTA APLICA

LA FICHA DE OBSERVACIÓN APLICA

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80.33%

FIRMA DEL VALIDADOR DE ENCUESTA

Kenan G. Lesano Chávez
Ing. Electrónica y Telecomunicaciones
Reg. CP 11 1036

I. DATOS GENERALES

1.- Nombres y Apellidos del Tesista: Bach. Myrelli del Pilar Muñoz Hilarión.

2.- Nombre del instrumento motivo de la evaluación:

- Ficha de entrevista

- Ficha de observación

3.- Nombre y Apellidos del Validador del instrumento:

JUAN CARLOS MACHACAY NAVARRO

4.- Cargo e Institución donde labora:

SUPERVISOR ELECTRICO PEM (PUESTA EN MARCHA)

COBRA PERU SCL

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	INDICADORES	DEFICIENTE 0-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41-60%	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1	Claridad				70%	
2	Objetividad					85%
3	Actualidad					88%
4	Organización				75%	
5	Suficiencia				73%	
6	Intencionalidad				70%	
7	Consistencia					90%
8	Coherencia					82%
9	Metodología					85%

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

LA FICHA DE ENTREVISTA APLICA
LA FICHA DE OBSERVACION APLICA

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

79.78%



FIRMA DEL VALIDADOR DE ENCUESTA

Juan Carlos Machacay Navarro
Ing. Electricista
Reg. CNP Nº 159963

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

I. GENERALIDADES

El que suscribe, JUAN CARLOS MACHACAY NAVARRO
identificado con DNI, 42364345 y N° de colegiatura 15.996.3 certifico que realizó
el juicio de experto al instrumento diseñado por lo(s) bachiler(s):
MYRELLI DEL PILAR MUÑOZ HILARION

Fecha: 05 JUN 2021

II. OBSERVACIONES

FORMA:

ESTRUCTURA: (Referido a la coherencia, dimensión, indicadores e ítems)

El instrumento es CONCERNIENTE CUARO, FALTA FECHA DE CONSULTA
FALTA NUMERO DE PAGINAS

CONTENIDO: (Referido a la presentación de los reactivos, al grupo muestra)

El contenido es
CLARO Y CONCISO

III. VALIDACIÓN

Luego de evaluado el instrumento

Procede su aplicación (x) No procede para su aplicación ()


JUAN CARLOS MACHACAY NAVARRO
TITULAR EN INGENIERIA ELECTRICA
NOMBRES Y APELLIDOS DEL EXPERTO
DNI: 42364345

Juan Carlos Machacay Navarro
Ing. Electricista
Reg. CP N° 15963