

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO  
DE RELAVES ESPESADOS PARA GARANTIZAR  
CONTINUIDAD DE OPERACIONES DEL COMPLEJO PASCO  
DE NEXA RESOURCES PERÚ”**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. WILFREDO MARCIAL ASTETE CAJAHUANCA**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN GESTIÓN MINERA**

**Huancayo – Perú**

**2024**



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el auditorio de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Centro del Perú; siendo las 11:00 horas del día miércoles 18 de diciembre de 2024, se dio inicio al acto de exposición de Sustentación de Tesis, con la presencia de los Miembros del Jurado, conformado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE	:	Dr. Saúl MAYOR PARIONA
SECRETARIO	:	Dr. Rosendo VALERIO PASCUAL
TITULAR	:	Dr. Víctor Alejandro AMES LARA
TITULAR	:	Dr. Saúl MAYOR PARIONA
TITULAR	:	Dr. Rosendo VALERIO PASCUAL

Se dio lectura a la **RESOLUCIÓN N° 0190-2024-UPGFAIM/UNCP**, en la que se señala fecha, hora y nombramiento de los Jurados para la SUSTENTACIÓN DE TESIS, para optar el Grado de **MAESTRO EN GESTION MINERA**.

El Bachiller **WILFREDO MARCIAL ASTETE CAJAHUANCA**, procedió a sustentar la tesis titulada: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE RELAVES ESPESADOS PARA GARANTIZAR CONTINUIDAD DE OPERACIONES DEL COMPLEJO PASCO DE NEXA RESOURCES PERÚ”**

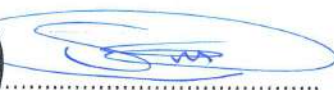
Los Miembros del Jurado procedieron a realizar las preguntas y las objeciones del caso de acuerdo al tema expuesto; acto seguido el Señor Presidente dispuso que el sustentante se sirva abandonar el auditorio para la deliberación por parte de los Jurados, pasándose luego a la calificación obteniéndose el siguiente resultado:

**A P R O B A D O**


**CALIFICATIVO: BUENO**


Siendo las 12:30 horas, se da por finalizado el acto académico de Sustentación de Tesis presencial, pasando a firmar los Miembros del Jurado en señal de conformidad.




  
Saúl MAYOR PARIONA  
Presidente



  
Rosendo VALERIO PASCUAL  
Secretario

  
Dr. Víctor Alejandro AMES LARA  
Jurado

  
Dr. Saúl MAYOR PARIONA  
Jurado

  
Dr. Rosendo VALERIO PASCUAL  
Jurado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**UNIDAD DE POSGRADO**



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Huancayo, 15 de octubre de 2024.

**OFICIO N° 039-2024-VAAL/FAIM**

Doctor:

**SAÚL MAYOR PARIONA**

**DIRECTOR DE LA UPG DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ASUNTO: INFORME DE TURNITIN: Bach. WILFREDO MARCIAL ASTETE  
CAJAHUANCA**

Me es grato dirigirme a su digno despacho para hacer de su conocimiento lo siguiente:

Que, habiendo sido designado como Asesor de la Tesis

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE RELAVES ESPESADOS PARA GARANTIZAR CONTINUIDAD DE OPERACIONES DEL COMPLEJO PASCO DE NEXA RESOURCES PERÚ”**, del Maestría **Bach. WILFREDO MARCIAL ASTETE CAJAHUANCA** y habiendo pasado por el software **TURNITIN** el Informe Final del Trabajo de Investigación, se ha encontrado una similitud del 16%. Adjunto al presente el reporte correspondiente.

Sin otro particular me despido de Ud., y hago propicio la oportunidad para expresarles los sentimientos de mi más distinguida consideración.

Atentamente,

**Dr. Víctor Alejandro Ames Lara**

**Revisor**

**DNI 19939419**

<https://orcid.org/0000-0001-6722-8761>

# "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE RELAVES ESPESADOS PARA GARANTIZAR CONTINUIDAD DE OPERACIONES DEL COMPLEJO PASCO DE NEXA RESOURCES PERÚ"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>15%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>documents.tips</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.equitativo.webege.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>cybertesis.uni.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

repositorio.unasam.edu.pe

*Dr. Víctor S. M. Lora*

Bambas-IGA0012067", R.D. N° 126-2020-  
SENACE-PE/DEAR, 2020

Publicación

19	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
20	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "MEIA-D para el Proyecto de Expansión de la Unidad Minera Toromocho a 170 000 TPD-IGA0015049", R.D. N° 00083-2021-SENACE-PE/DEAR, 2021 Publicación	<1 %
21	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
22	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
23	ntingenieriayaseso.wixsite.com Fuente de Internet	<1 %
24	www.upkeep.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	1library.co Fuente de Internet	<1 %
27	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

*Dr. Víctor Luis Vera*

<1%

38

Submitted to uncedu

Trabajo del estudiante

<1%

Excluir citas

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

*Dr. Viora Siles*

**ASESOR:**

**DR. VICTOR ALEJANDRO AMES LARA**

DNI: 19939419

<https://orcid.org/0000-0001-6722-8761>

### **DEDICATORIA**

A mis padres, esposa e hija, por su apoyo y amor incondicional, para poder lograr el desarrollo de este proyecto y cumplir mis metas trazadas en mi desarrollo educacional y profesional.



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por iluminar mi camino a ser mejor persona y hacer que no pierda la fe a lo largo de este tiempo.

A mi familia, quienes son la motivación para continuar en cada una de las etapas de mi vida profesional, con lo que pude alcanzar los resultados que buscaba para el presente trabajo de tesis.

A mi asesor Dr. Víctor Ames Lara, por su apoyo en la construcción de este estudio, cuya competencia intelectual y didáctica me acogió con firmeza y discernimiento, permitiéndome recorrer el camino, removiendo y superando grandes y pequeñas barreras, mi eterna gratitud y reconocimiento por la comprensión ante mis dificultades.

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, que a través de sus docentes me brindó los conocimientos necesarios para vislumbrar el tema de la presente investigación.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
Introducción	10

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Justificación e importancia	15
1.5. Limitaciones	16

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes	17
2.1.1. Nivel internacional	17
2.1.2. Nivel nacional	20
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1 Diseño e implementación del sistema de bombeo de relaves espesados	23

2.2.1.1. Diseño	23
2.2.1.2. Implementación	25
2.2.1.3. Sistema de bombeo de relaves	28
2.2.1.4. Relaves	31
2.2.1.5. Relaves espesados	32
2.2.1.6. Relaveras	33
2.2.2. Operación del Complejo Pasco	36
2.3. Definición de términos	37
2.4. Hipótesis de investigación	40
2.4.1 Hipótesis General	40
2.4.2 Hipótesis Específicas	40
2.5. Variables	40
2.6. Operacionalización de las variables	41
<b>CAPITULO III</b>	
<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	
3.1 Tipo y nivel de investigación	42
3.2 Métodos de investigación	42
3.3 Diseño de la investigación	42
3.4 Población y muestra	43
3.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	43
3.6 Técnica de procesamiento de datos	44
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1 Presentación de resultados	45
4.1.1 Objetivo	45
4.1.2 Sumario ejecutivo	46
4.1.3 Criterios del proyecto	49
4.1.3.1 Plan director	49
4.1.3.2 Situación actual	49
4.1.3.2.1 Relaves	49
4.1.3.2.2 Relaves de Atacocha	50
4.1.3.2.3 Relaves de El Porvenir	50

4.1.3.2.4 Agua	51
4.1.3.3 Alternativas estudiadas	52
4.1.3.4 Situación propuesta	53
4.2 Análisis de los resultados	63
4.2.1 Beneficios esperados	63
4.2.2 Consideraciones técnicas y operativas	63
4.2.3 Principales riesgos	66
4.2.4 Plazos y Costos	67
4.3 Prueba de hipótesis	68
4.3.1 Hipótesis General	68
4.3.2 Hipótesis Específicas	88
4.4 Discusión de resultados	90
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de las variables.</i>	41
<b>Tabla 2</b> <i>Producción de relaves de Atacocha para 4200 tn de mineral procesado.</i>	50
<b>Tabla 3</b> <i>Producción de relaves de El Porvenir para 6500 tn de mineral procesado.</i>	51
<b>Tabla 4</b> <i>Balance de agua.</i>	52
<b>Tabla 5</b> <i>Balance de Masas Producción 6500 tpd.</i>	62
<b>Tabla 6</b> <i>Balance de Masas Producción 7500 tpd. Escenario 1.</i>	62
<b>Tabla 7</b> <i>Balance de Masas Producción 7500 tpd. Escenario 2.</i>	63
<b>Tabla 8</b> <i>Riesgos del proyecto.</i>	66
<b>Tabla 9</b> <i>Principales hitos del cronograma.</i>	67
<b>Tabla 10</b> <i>Sistema de Bombeo y Espesamiento de relaves para los escenarios de 6500 TPD.</i>	69
<b>Tabla 11</b> <i>Sistema de Bombeo y Espesamiento de relaves para los escenarios 7500 TPD.</i>	69
<b>Tabla 12</b> <i>Resumen de procesamiento de relaves Unidad Atacocha 4500tpd.</i>	84
<b>Tabla 13</b> <i>Condición a capacidad normal con RH ON y RH OFF.</i>	85
<b>Tabla 14</b> <i>Condición a capacidad máxima de producción.</i>	85
<b>Tabla 15</b> <i>Condición normal a RH ON Y RH OFF.</i>	86
<b>Tabla 16</b> <i>Condición a máxima capacidad.</i>	86

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> <i>Bomba de lodo de relaves.</i>	29
<b>Figura 2</b> <i>Relavera para el depósito de material desechable.</i>	34
<b>Figura 3</b> <i>Nuevo Plan Director.</i>	46
<b>Figura 4</b> <i>Arreglo General del Proyecto.</i>	54
<b>Figura 5</b> <i>Arreglo general de Ubicación del espesador de relaves</i>	
<i>Estación de Bombas Geho.</i>	61
<b>Figura 6</b> <i>Ruta de tubería de relave.</i>	61
<b>Figura 7</b> <i>Esquema Típico de tubería de acero con revestimiento de HDPE.</i>	62

## RESUMEN

La necesidad de incrementar la vida de las relaveras se puede lograr con el uso de tecnologías modernas, por ello se ha realizado una investigación en base al problema ¿De qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú? Para encontrar la respuesta adecuada se plantea como objetivo determinar de qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco incrementando el periodo de vida de una de sus relaveras. La investigación de tipo aplicada fue del nivel descriptivo-explicativo. Se siguieron los pasos del método científico con el diseño del tipo cuasi experimental. Del Complejo Pasco se eligió como muestra su sistema de bombeo. Para el proyecto se determina que es necesario un sistema de bombeo de relaves espesados lo cual consiste en espesar los relaves hasta obtener una pulpa con alto porcentaje de sólidos que van 55% a 60%. Diseñado e implementado el sistema de bombeo se determina que la relavera de Atacocha alcanzará una vida útil hasta de 8 años a pesar de la ampliación de la Planta El Porvenir de 6,5k tpd será ampliado a 7,5 ktpd.

Palabras clave: Sistema de bombeo, relaves espesados, relaveras, diseño.

## **ABSTRACT**

The need to increase the life of tailings dams can be achieved with the use of modern technologies, which is why research has been carried out based on the problem: How does the design and implementation of the thickened tailings pumping system guarantee the operation of Nexa Resources Peru's Pasco Complex? To find the appropriate answer, the objective is to determine how the design and implementation of the thickened tailings pumping system allows to guarantee the operation of the Pasco Complex by increasing the life period of one of its tailings. The applied research was at the descriptive-explanatory level. The steps of the scientific method were followed with the design of the quasi-experimental type. The Pasco Complex was chosen as an example of its pumping system. For the project, it is determined that a thickened tailings pumping system is necessary, which consists of thickening the tailings until obtaining a pulp with a high percentage of solids ranging from 55% to 60%. Once the pumping system has been designed and implemented, it is determined that the Atacocha tailings dam will reach a useful life of up to 8 years, despite the expansion of the El Porvenir Plant from 6.5k tpd to 7.5 ktpd.

Keywords: Pumping system, thickened tailings, tailings, design.



## INTRODUCCIÓN

En una planta concentradora para ampliar la vida de las relaveras el proceso de producción requiere una tecnología capaz de bombear relaves espesados con el mayor contenido de sólidos posible sin riesgo de paradas de la línea de transporte. Sabiendo que la empresa incurriría en costos inaceptablemente altos si tenía que interrumpir la producción de metal debido a un tiempo de inactividad inesperado del equipo de bombeo es importante diseñar e implementar un nuevo sistema de bombeo de relaves espesados. Por lo que para los requisitos específicos de producción de la mina las bombas se deben planificar para un funcionamiento continuo, las 24 horas del día, los 365 días del año.

Con los relaves espesados, solo una fracción del agua utilizada convencionalmente llega al área de eliminación, lo que limita el tamaño de las instalaciones de las presas de retención de agua y las áreas a rehabilitar. La viabilidad económica, sin embargo, depende del lugar. En muchos lugares, el costo de una crecida convencional que regresa con frecuencia puede corresponder a la inversión para un sistema completo de relaves espesados.

Otra preocupación es la seguridad de la presa, algunas fallas e incidentes reportados en la presa de relaves pueden estar relacionados con grandes cantidades de agua en el área de eliminación. Entonces la minimización de la cantidad de agua es necesaria.

Para garantizar una alta eficiencia del proceso es necesario dotar al proceso de producción de una tecnología de bombeo capaz de transportar los relaves espesados con el mayor contenido sólido posible. Además, los equipos instalados son necesarios para garantizar la máxima disponibilidad de funcionamiento, ya que cualquier parada o interrupción inesperada sería costosa.

En ese sentido en el Complejo Pasco se ha diseñado e implementado un sistema de bombeo de relaves espesados para incrementar la capacidad de la Planta “El Porvenir” y ampliar la vida de la relavera de Atacocha hasta 8 años.

El presente trabajo final adjunta todo el proceso de diseño e implementación a ser realizado.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Después de realizar cualquier explotación minera los resultados, que son los minerales, tienen que ser llevados a las plantas concentradoras.

En tales plantas concentradoras el mineral luego de ser tratado metalúrgicamente se obtiene concentrados y relaves. Los relaves posteriormente tienen que ser depositados en lugares llamados de relaveras. Estas relaveras generalmente están diseñadas para almacenar una determinada cantidad de relaves, cuando sobrepasan el volumen que tienen que almacenar, las plantas concentradoras tienen problemas porque los relaves ya no se tienen lugares para depositar los residuos del tratamiento. Una de las formas de resolver estos problemas es crear otras relaveras o ampliarlas realizando el recrecimiento. Pero, tales casos no son fáciles de realizar y se busca otras alternativas.

Debido a la limitación de espacios para colocar los relaves se hace necesario maximizar la vida útil de las relaveras y para maximizar el depósito de relaves se requiere que el relave alcance una consistencia de solido tal que permita una disposición con una pendiente mínima de 1%.

En ese sentido conforme al Plan Director a partir del segundo trimestre del presente del año, los relaves de Atacocha y El Porvenir son enviados a sus respectivas presas. Anteriormente, los relaves generados en la planta concentradora Atacocha eran enviados a la planta El Porvenir donde se juntaban con los relaves de esta planta y luego ambos eran enviados al depósito de relaves de la U.M. El Porvenir.

El depósito de relaves de El Porvenir con el recrecimiento a la cota 4062 y con una producción de 6.5k, tuvo una vida útil hasta febrero del 2024, es por este motivo que se hace necesario buscar un nuevo lugar para la disposición de relaves.

Por lo explicado anteriormente fue necesario realizar el diseño e implementación de un sistema de bombeo de relaves espesados de El Porvenir hacia la Presa de Atacocha.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?
- b) ¿Cómo el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio ambiente en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar de qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Analizar de qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.

- b) Determinar cómo el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio ambiente en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.

#### **1.4. Justificación e importancia**

El estudio realizado se justificó porque el cambio de lugar para el depósito de relaves de la Planta concentradora “El Porvenir” hacia Atacocha debe ser ejecutado con un diseño moderno y futurista para incrementar el tiempo de operación del Complejo Pasco. Entonces el conocimiento de la tecnología más actualizada basada en revisiones bibliográficas internacionales y otras experiencias de empresas mineras nacionales e internacionales, también es adecuada. De modo que se actualice también las nuevas tendencias de recrecimiento de las relaveras.

La investigación dio como resultado fundamental extender la vida útil de las relaveras que serán requeridas durante la operación del Complejo Pasco y proporcionar a la compañía una alternativa de disposición de relaves más segura y estable, con un mayor aprovechamiento de las áreas disponibles para este efecto. Todo ello beneficiará económicamente a la empresa, de igual manera se mitigará la contaminación ambiental, se reducirá el consumo de agua fresca y habrá mayor disponibilidad para los trabajadores y las comunidades circundantes.

### **1.5. Limitaciones**

Concerniente a las limitaciones que enfrentó la investigación es nula porque como será beneficioso para la empresa minera y mejorará las relaciones comunitarias se tiene todo el apoyo necesario. También la metodología elegida para la investigación será la más adecuada y dependerá exclusivamente del encargado del estudio. Además, el investigador estará a cargo de los costos de la investigación.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Nivel internacional**

Borges Carneiro, A. C. (2020) en la Tesis Doctoral “Evaluating alternative tailings management strategies is more than just Net Present Value” concluye que en la tesis se evaluó y demostró la importancia de adoptar un enfoque más holístico para la evaluación de estrategias alternativas para el manejo de relaves. El enfoque principal de este esfuerzo ha sido la investigación de los costos del ciclo de vida de varias opciones de manejo de relaves, y en la evaluación de los impactos ambientales potenciales de diferentes métodos de eliminación de relaves desde una perspectiva de ciclo de vida. Esto se hizo con los objetivos de mejorar la calidad y disponibilidad de los relaves. Además, se necesita más investigación para cuantificar los costos y beneficios de eliminar los relaves



filtrados. Se sugiere que el apilamiento en seco de relaves filtrados se convertirá en una alternativa cada vez más competitiva en comparación con otras opciones convencionales de eliminación de relaves a medida que la tecnología continúe reduciendo los costos de producción de relaves filtrados y las limitaciones asociadas con los relaves filtrados se evalúen y optimizan continuamente (ACG, 2019, Wisdom et al., 2018, Crystal et.al., 2018). Por lo tanto, se recomienda un trabajo futuro para evaluar la solidez de las estimaciones de los costos estimados que involucran el manejo de relaves filtrados a varios supuestos que tienen en cuenta las oportunidades para reducir el diferencial de costo de crecimiento entre los relaves filtrados y otros tipos de relaves convencionales. Por ejemplo, las estimaciones de costos deben ser preparados para diferentes escenarios que consideren las oportunidades para reducir la distancia de transporte, optimizar la estrategia de preparación, integrar los planes de minería y relaves para reducir el OPEX de la eliminación de relaves filtrados y mejorar las salidas de la seguridad de Instalación de almacenamiento de relaves. (p.172-177).

Seddon, K.D. y Williams, M.P.A (2010) en la investigación “The development and design of thickened tailings discharge methods – a review” dicen que el método de relaves espesados da como resultado un perfil de riesgo diferente en comparación con las opciones de almacenamiento más convencionales. Las diferencias significativas incluyen terraplenes de contención más bajos, mejor

resistencia en los relaves depositados, recuperación de agua significativamente mejorada y menor potencial de filtración a las aguas subterráneas. Las buenas prácticas de diseño dictan que los esquemas de almacenamiento de relaves deben seleccionarse sobre la base de minimizar tanto el costo como el riesgo. Los esquemas de descarga engrosados siempre deben tenerse en cuenta en la fase de evaluación de cualquier proyecto nuevo. En la actualidad hay al menos treinta ejemplos de secreción espesa en todo el mundo, y en cualquier contexto el método debe considerarse "probado". Se pueden esperar más avances en la mayoría de las áreas clave, incluido el diseño de espesadores y bombas y la predicción de la pendiente de la playa. También sería útil realizar estudios más detallados sobre algunos aspectos ambientales (como el polvo). (p. 497).

McPhail, G., Noble, A., Papageorgiou, G. y Wilkinson, D. (2004) en la investigación "Development and Implementation of Thickened Tailings Discharge at Osborne Mine, Queensland, Australia" señalan que a partir del ensayo de descarga engrosada y las evaluaciones resumidas en este documento, es evidente que existen méritos considerables en la implementación de la descarga espesa. No Solo hay reducciones significativas en el gasto de capital y el uso del agua, pero también hay mejores condiciones de operación. El montículo de relaves presenta menos problemas con respecto al manejo de la erosión, tanto durante la operación como después del

cierre. Cuenta con Las evaluaciones geotécnicas han demostrado que habrá menos posibilidades de filtración en los materiales de cimentación y que los riesgos geotécnicos serán manejables. La descarga espesada ha demostrado tener potencial para generar los beneficios anteriores desde que comenzó la tecnología para hacer posible el espesamiento a densidades apropiadas de manera confiable, así como bombear la suspensión espesada. Las evaluaciones documentadas en este documento proporcionan evidencia tangible de que este potencial es realizable. (p. 32).

### **2.1.2. Nivel nacional**

Custodio Abregú, S. J. (2023) en la Tesis “Diseño del sistema de bombeo y líneas de descarga de los espesadores de relave para una mina cuprífera en la región Junín” dice que el análisis del diseño del sistema de bombeo y las líneas de descarga de los espesadores permitió la selección de la segunda alternativa de las tres planteadas, debido a que cumple con los criterios de selección como diámetro, velocidad de flujo, velocidad de sedimentación, ADT (altura dinámica total), costo de tubería y potencia de la bomba con ello se determinó el sistema de bombeo para la mina cuprífera en la región Junín. Utilizando una Matriz de Vester se identificó que las principales causas de la deficiencia de la alimentación de las bombas volumétricas; el contraflujo, las variaciones reológicas, los

parámetros de operación y condiciones de ambos espesadores (2561-TK-006 y 2561-TK-007). Se realizó la independización de la línea de descarga logrando un mejor control de operación para cada tramo de descarga de los 2 espesadores. Con esto se seleccionó la alternativa 1, obteniendo que las líneas de descarga para el E1 y E2 sean tuberías de material HDPE SDR 11, con diámetro 22 in la longitud de la tubería es de 294 m para cada tramo de descarga por espesador. El análisis del sistema de bombeo determino que la bomba con mejores prestaciones para este requerimiento es una bomba centrífuga, modelo SH/200F, de potencia 250 kW, capacidad de flujo de 910.2 m<sup>3</sup>/h y ADT 33 con un NPSHr 6.4m y eficiencia 70%. (p.53-54).

Niño Martínez, C. A. (2019) en la Tesis “Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera” señala que en la actualidad es posible la fabricación de una sola bomba de pulpa para el caudal (5706 m<sup>3</sup> /hora) y la altura requerida (66.11 m) como condición de diseño. Sin embargo, el costo de estas bombas es muy alto, adicionándose el tiempo largo de entrega de los repuestos en caso de emergencias en la operación. Por lo cual es factible la utilización de bombas en serie como es el caso donde los tamaños y los modelos de las bombas son estándares de fabricación. El número de bombas en serie debe seguir un estudio desde el punto de vista técnico y económico. Para el cálculo del TDH es importante tener en

cuenta el software utilizado, debido a que los resultados al utilizar distintos softwares pueden tener cierta variación. Sin embargo, las variaciones no deben ser pronunciadas porque, independientemente del software, las condiciones de operación son las mismas. Asimismo, es una buena práctica en los fabricantes realizar una comprobación rápida de los cálculos, siempre y cuando se disponga de la información, para evitar retrabajo en la selección. Los lineamientos para el diseño de los sistemas de bombeo de pulpa están regidos por los estándares del Instituto Hidráulico y por el desarrollo propio de los fabricantes. En caso de requerirse una aproximación de dimensionamiento se puede utilizar como guía el estándar ANSI/HI 12.1-12.6 American National Standard for Rotodynamic (Centrifugal) Slurry Pumps. Esta guía será siempre útil en las pulpas con comportamiento newtoniano. Por el contrario, para las pulpas con comportamiento no newtoniano es preferible un estudio reológico de la pulpa y un asesoramiento directo del fabricante. Las bombas de pulpa LSA 22x24 seleccionadas trabajan con una buena eficiencia de 83.4% para estas condiciones de operación. Además, su ratio BEP de 84.6% indica que no se tienen problemas por cavitación siempre y cuando se respeten las condiciones de operación. Asimismo, en las condiciones nominales de operación (2 escenarios) las eficiencias y la tasa BEP son altas y buenas para la operación. Las bombas de pulpa, generalmente, no trabajan solo un punto de operación, por lo cual es necesario poder

modificar la curva de la bomba para los distintos puntos de operación. Por tal motivo, se necesita tener un sistema de control de la velocidad de rotación. Los sistemas más utilizados son los sistemas de fajas y poleas, así como las cajas reductoras. Por su parte, para motores de potencias mayores a 300 HP es preferible utilizar las cajas reductoras. Desde el punto de vista técnico y económico, en las empresas mineras muchas veces resulta de mayor beneficio el transporte hidráulico de relaves debido a la inversión requerida por otros medios de transporte de mineral como fajas o por el número de camiones necesarios para movilizar las mismas cantidades de sólidos. (p. 85-86).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Diseño e implementación del sistema de bombeo de relaves espesados**

#### **2.2.1.1. Diseño**

Concretamente, la experiencia de la mayoría de las personas con el diseño se deriva de su interacción diaria con objetos físicos, espacios construidos y entornos digitales. Interactuamos con lo que nos rodea, y entre nosotros, a través de construcciones diseñadas. La ropa, los dispositivos, el transporte, las interfaces de usuario, el paisaje, la ciudad, incluso la silla en la que estás sentado,

fueron diseñados por un diseñador. Más allá de sus atributos funcionales y formales, estos artefactos diseñados impactan el significado cultural, expresando, reflejando e incluso formando normas culturales.

El campo del diseño está formado no solo por profesionales, sino también por educadores, autores, periodistas, críticos e investigadores; dando lugar a un rico canon teórico. Mientras que antes habríamos definido el diseño estrictamente en relación con el mundo concreto, abarcando "dal cucchiaio alla citta" (de la cuchara a la ciudad, atribuido a Ernesto Rogers), hoy "el diseño está ampliando sus marcos disciplinarios, conceptuales, teóricos y metodológicos para abarcar disciplinas, actividades y prácticas cada vez más amplias" [Rogers y Bremner].

Con el diseño se crean entornos virtuales, crean interfaces digitales, diseñan sistemas de servicios y nuevas ramas del diseño están en continua evolución. Por aparentemente dispares que parezcan estos ejemplos, comparten un fundamento común. Independientemente de la aplicación, los diseñadores siguen una metodología de diseño y un conjunto de nociones fundamentales, que informan su enfoque. Los diseñadores están entrenados para analizar los problemas de manera holística, buscando

comprender no solo el problema inmediato u obvio, sino también el sistema que lo creó.

Los diseñadores abordan la solución desde el punto de vista del usuario final, buscando optimizarla para las necesidades y capacidades específicas de ese individuo o grupo. Los diseñadores se esfuerzan por "hacer más con menos", maximizan la economía (de materiales, de inversión, de energía, etcétera) a través de la creatividad y el ingenio; Esta idea es fundamental para el diseño.

#### **2.2.1.2. Implementación**

La implementación es el acto de poner en práctica un plan, política, programa o tecnología. Es la ejecución de un concepto que ha sido formulado por un equipo, un líder o un individuo. La implementación implica tomar todos los pasos necesarios para llevar una idea a buen término. Esto puede incluir la creación de sistemas y estructuras que apoyen la idea, la contratación de personal con las habilidades y conocimientos pertinentes para su desarrollo y despliegue, la creación de procesos para el mantenimiento y la supervisión continuos, la recopilación de recursos como financiación u otros servicios de apoyo para hacerla realidad, el establecimiento de redes de comunicación para



garantizar la colaboración entre las partes interesadas a lo largo de su ciclo de vida.

La implementación requiere una cuidadosa planificación y coordinación entre todas las partes involucradas para garantizar resultados exitosos. La implementación también requiere prácticas de gestión efectivas para tener éxito. Es importante tener objetivos claros establecidos desde el principio para que todos los involucrados sepan lo que se espera de ellos a lo largo de todo el proceso de implementación. También debe haber roles bien definidos para cada parte involucrada para que no haya malentendidos sobre quién es responsable de qué aspectos de la implementación en un momento dado. La comunicación debe ser frecuente durante la implementación para que todos se mantengan al día con el progreso hacia la finalización; también es importante que los comentarios se recopilen con regularidad para identificar las áreas potenciales en las que se pueden realizar mejoras antes de que se conviertan en problemas importantes en el futuro.

La implementación puede implicar cualquier cosa, desde un proyecto simple, como el desarrollo de un nuevo sitio web o sistema de software, hasta una iniciativa compleja, como el lanzamiento de una línea de productos

completamente nueva dentro de una organización o la implementación de cambios a gran escala en varios departamentos dentro de una organización.

Independientemente del tamaño o la complejidad, el éxito de la implementación depende de contar con planes integrales junto con un fuerte liderazgo y comunicación de los ejecutivos de alto nivel que se dedican a llevar a cabo estas iniciativas hasta su finalización. Por ejemplo, al lanzar una nueva línea de productos, es esencial que cada paso de la implementación, desde la investigación de mercado y el diseño hasta las pruebas de producción, se gestione cuidadosamente para que tenga éxito. Lo mismo ocurre con los cambios implementados dentro de una organización.

Sin prácticas de gestión efectivas implementadas a lo largo de la duración de esos cambios, podría haber graves consecuencias, como niveles de productividad más bajos debido a la confusión sobre los roles o procesos que no se siguen correctamente debido a la falta de claridad sobre las expectativas de los miembros del equipo de liderazgo encargados de supervisar esas iniciativas.

<https://www.reallygoodinnovation.com/glossaries/implementation>

### **2.2.1.3. Sistema de bombeo de relaves**

Los sistemas de bombeo representan casi el 20% del consumo mundial de energía por motores eléctricos y entre el 25% y el 50% del uso total de energía eléctrica en las instalaciones industriales. Existen oportunidades significativas para reducir el consumo de energía del sistema de bombeo a través de un diseño inteligente, reacondicionamiento y prácticas operativas. En particular, muchas aplicaciones de bombeo con requisitos de servicio variable ofrecen un gran potencial de ahorro de energía. Los ahorros a menudo van mucho más allá de la energía y pueden incluir un mejor rendimiento, confiabilidad y costos de ciclo de vida reducidos.

La mayoría de los sistemas de bombeo existentes requieren control de flujo de líneas de derivación, válvulas de estrangulamiento o ajustes de velocidad de la bomba. La forma más eficiente es el control de la velocidad de la bomba. Cuando se reduce la velocidad de una bomba, se imparte menos energía al fluido y es necesario acelerar o desviar menos energía. La velocidad se puede controlar de varias maneras. Hay muchos tipos de motores primarios de bombas disponibles, como motores diésel y turbinas de

vapor, pero la mayoría de las bombas son accionadas por motores eléctricos.

Los sistemas de bombas de lodos son ampliamente utilizados para la gestión de relaves en la industria minera. El diseño y la operación de estos sistemas juegan un papel crucial para garantizar el transporte seguro y eficiente de los relaves, que son los subproductos del procesamiento de minerales. <https://angroupcn.com/the-design-and-operation-of-slurry-pump-systems-for-tailings-management>.

### Figura 1

*Bomba de lodo de relaves.*



Estos son algunos factores clave a tener en cuenta al diseñar y operar sistemas de bombas de lodos para la gestión de relaves:

**Selección de la bomba:** la selección correcta de la bomba de lodo es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable. A la hora de seleccionar la bomba se deben tener en cuenta consideraciones como el tipo de relaves que se bombean, el caudal requerido y la distancia de bombeo.

**Diseño de tuberías:** El diseño de tuberías del sistema de bomba de lodos debe estar diseñado para manejar la naturaleza abrasiva y corrosiva de los relaves. Esto puede incluir el uso de materiales resistentes al desgaste, la reducción del número de curvas en la tubería y la garantía de un tamaño adecuado de la tubería.

**Sistemas de control:** Los sistemas de control de los sistemas de bombas de lodos deben estar diseñados para optimizar el funcionamiento de las bombas y garantizar un transporte eficiente y confiable de los relaves. Esto puede incluir el uso de variadores de velocidad, válvulas de control automático y sensores para monitorear el caudal y la presión.

**Mantenimiento:** El mantenimiento regular del sistema de bomba de lodos es crucial para garantizar su longevidad y rendimiento óptimo. Las inspecciones, la lubricación y la limpieza periódicas de los componentes de la bomba

pueden ayudar a minimizar el tiempo de inactividad y reducir el riesgo de fallos inesperados.

**Consideraciones ambientales:** La operación de los sistemas de bombas de lodos para el manejo de relaves debe realizarse de manera que se minimice el impacto en el medio ambiente. Esto puede incluir el uso de sistemas de detección de fugas, revestimientos para estanques de relaves y la implementación de prácticas adecuadas de gestión de residuos.

En conclusión, el diseño y la operación de los sistemas de bombas de lodos para la gestión de relaves son cruciales para garantizar el transporte seguro y eficiente de relaves en la industria minera. Se debe tener en cuenta la selección adecuada de la bomba, el diseño de las tuberías, los sistemas de control, el mantenimiento y las consideraciones ambientales para garantizar un rendimiento óptimo y minimizar el impacto en el medio ambiente.

#### **2.2.1.4. Relaves**

Los relaves son los desechos minerales que quedan después del procesamiento del mineral para extraer concentrados de minerales y, por lo general, se almacenan dentro de una estructura de contención diseñada conocida

como instalación de almacenamiento de relaves o relaveras. Los relaves difieren de la sobrecarga: la roca o material estéril que se superpone a un mineral o cuerpo mineral y se desplaza sin procesar y se almacena por separado (o se elimina juntamente con los relaves) durante la minería. Los relaves pueden ser líquidos, sólidos o una suspensión de partículas finas.

#### **2.2.1.5. Relaves espesados**

El espesamiento de relaves presenta importantes ventajas para el manejo de relaves, siendo las principales un uso más eficiente del agua; mayor densidad de relaves descargados y, por lo tanto, masa de relaves almacenados por unidad de volumen, lo que puede resultar en que los embalses sean más pequeños en tamaño (en comparación con los de los relaves convencionales); y mayor estabilidad y menor riesgo de falla de los terraplenes confinantes. Los aspectos clave que determinan la aplicación de esta tecnología son determinar el nivel de espesamiento que se puede conseguir de forma económica (tecnología de espesantes o filtros); seleccionar los medios apropiados para transportar los relaves engrosados y predecir la

pendiente de la playa que se desarrollará con los relaves descargados.

#### **2.2.1.6. Relaveras**

El primer paso en el diseño de una relavera es identificar los posibles sitios de la relavera y definir los criterios de cumplimiento ambiental y los puntos de medición. Los factores significativos que influyen en el diseño de una relavera son el clima, la geología, la sismicidad potencial, la topografía, la proximidad a áreas de habitación humana, reservas forestales, ecosistemas marinos o de agua dulce y la infraestructura aguas abajo. Los criterios del sitio pueden influir en la selección de un sitio apropiado y/o en la configuración de la relavera, y/o en el método de deposición y manejo de relaves. El diseño adecuado de una relavera requiere un alto grado de sofisticación y rigor. La capacidad final de una relavera está determinada por la producción esperada durante la vida útil de la mina. Por lo general, hay una diferencia insignificante entre el mineral molido y los relaves que se generan.



**Figura 2**

*Relavera para el depósito de material desechable.*



Fuente: <https://uchile.cl/noticias/183124/investigacion-u-de-chile-aborda-la-realidad-de-los-relaves-en-el-pais>

La vida útil de la mina está determinada por el tamaño del cuerpo mineral y la tasa de extracción o procesamiento. Por lo general, esto oscila entre 5 y 50 años. Por lo general, la vida útil de una mina se extiende a medida que se descubren recursos adicionales. Por lo tanto, el tamaño de

la relavera y su capacidad de expansión deben formar parte de las consideraciones de diseño.

Todas las relaveras requieren planificación y modelización de la deposición, pero el nivel de rigor asociado a estos es específico del sitio. El modelo de deposición generalmente se basa en las relaciones de capacidad por etapa desarrolladas para evaluar la tasa de aumento y los requisitos de capacidad de almacenamiento total de la relavera.

En las primeras etapas del diseño, los aspectos clave considerados incluyen la ubicación y el manejo del estanque, los puntos de deposición, el número de grifos y el perfil de la relavera. El almacenamiento de relaves generalmente requiere confinar terraplenes de varios tipos para formar embalses que retengan los sólidos de relaves, el agua sobrenadante y la lluvia. Es posible que el tipo de terraplén que se está considerando deba construirse según el estándar que generalmente se atribuye a las presas de retención de agua. Los terraplenes de confinamiento generalmente se elevan progresivamente a lo largo de la vida útil de la relavera en una dirección aguas arriba, aguas abajo o en la línea central.

## **2.2.2. Operación del Complejo Pasco**

El Complejo Pasco de Nexa Resources es un proyecto minero que busca integrar las minas polimetálicas Atacocha y El Porvenir, ubicadas en la región de Cerro Pasco, Perú. Este complejo tiene como objetivo optimizar la producción y la eficiencia operativa de ambas minas.

### **Características del Complejo Pasco**

#### **Integración de Minas**

El proyecto contempla la construcción de un túnel de integración, denominado Túnel Nivel 2900, que permitirá el transporte del mineral extraído en Atacocha hacia la planta de beneficio de El Porvenir. Esto facilitará un proceso más eficiente y reducirá costos operativos.

#### **Inversión**

Se estima que la inversión total para este proyecto será de aproximadamente 200 millones de dólares, con una inversión específica de 50 millones de dólares para las modificaciones necesarias en los Estudios de Impacto Ambiental (MEIA) de ambas minas.

#### **Sostenibilidad**

Nexa ha asegurado que las actividades del proyecto se realizarán en áreas de pajonal andino, evitando la afectación de ecosistemas frágiles, como bosques primarios o zonas de protección.

### **Extensión de Vida Útil**

Uno de los objetivos del proyecto es extender la vida útil de las minas Atacocha y El Porvenir, lo que es crucial para la sostenibilidad de las operaciones en la región.

En resumen, el Complejo Pasco representa una estrategia integral de Nexa Resources para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones mineras en Perú, al tiempo que busca un impacto ambiental responsable.

## **2.3 Definiciones de términos**

**Diseño:** un proceso de prefiguración mental, es decir, de planificación creativa, en el que se persigue la solución para algún problema concreto, especialmente en el contexto de la ingeniería, la industria, la arquitectura, la comunicación y otras disciplinas afines.

<https://concepto.de/disenio/#ixzz8h3GGoHR2>

**Embalse de relave:** Es aquel depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. También se llaman embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en

alguna depresión del terreno en que no se requiere construcción de un muro de contención. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

**Implementación:** La implementación consiste en hacer funcionar a los responsables de las diferentes actividades para que realicen las operaciones que se fijaron en el plan, por lo que, la implementación es una etapa clave de la gestión de proyectos, ya que se ponen a funcionar las políticas, disposiciones y esquemas que quedaron contemplados en la planificación. <https://www.taskenter.com/blog/nwarticle/57/1/que-es-la-implementacion-de-un-proyecto>

**Sistema de bombeo:** Un sistema de bombeo es una herramienta que permite la extracción de elementos o el acopio de sustancias líquidas o semilíquidas a partir de una red de tuberías atendiendo a parámetros como el caudal o la presión.

**Relave:** El relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

**Relaves espesados:** Los relaves espesados son una suspensión de sólidos que son relativamente no sedimentantes y no segregantes y que

tienen una mayor concentración y viscosidad que las de los relaves convencionales.

Depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en equipo denominado Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos (de manera similar a la limpieza de agua de ríos para hacer agua potable), con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser re-utilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

**Relavera:** Es una obra de ingeniería diseñada para satisfacer exigencias legales nacionales, de modo que se aisle completamente los sólidos (relaves) depositados del ecosistema circundante. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

**Relavera para relave espesado:** El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.

**Operación:** La operación consiste en transformar las entradas de recursos o datos en bienes, servicios o resultados deseados. Básicamente, eso significa hacer funcionar el equipo, realizar el control de calidad, etc. <https://upkeep.com/es/learning/difference-operations-maintenance>

## 2.4 Hipótesis de investigación

### 2.4.1 Hipótesis General

El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar significativamente la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.

### 2.4.2 Hipótesis Específicas

- a) El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.
- b) El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio ambiente en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.

## 2.5 Variables

**Variable X:** Diseño e implementación del sistema de bombeo de relaves pesados.

**Variable Y:** Operación del Complejo Pasco.

## 2.6 Operacionalización de las variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de las variables.*

Variables	Definición conceptual	Operacionalización de la variable	
		Dimensión	Indicadores
<b>Variable independiente (X):</b> Diseño e implementación del sistema de bombeo de relaves pesados.	Es la planificación de la solución y posterior puesta en ejecución de la herramienta que permite la extracción y disposición de relaves espesados en relaveras.	Planificar	- Número de actividades.
		Ejecutar	- Número de procedimientos.
		Extracción y disposición de relaves.	- Metros cúbicos.
<b>Variable dependiente (Y):</b> Operación del Complejo Pasco.	La operación consiste en transformar las entradas de recursos o datos en bienes, servicios o resultados deseados; significa hacer funcionar equipos, control de calidad el equipo, optimizar recursos, etc. Complejo Pasco.	- Vida útil.	- Días meses, años.
		- Consumo de agua.	- metros cúbicos.



## **CAPITULO III**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

La investigación fue del tipo aplicada; mientras que el nivel del estudio fue el descriptivo - explicativo.

#### **3.2. Métodos de investigación**

El método de investigación considerado al método científico por lo que se siguió los criterios de la guía de la investigación científica.

#### **3.3. Diseño de la investigación**

Se tuvo en cuenta el esquema del diseño cuasi experimental mostrado seguidamente:

G1     X     O1 (se realiza el experimento)

G2     -     O2 (su función de control)

Donde:

G1: Grupo experimental

G2: Grupo control

O1: Observación del experimento

O2: Observación de control

### **3.4. Población y muestra**

#### **Población**

Como la población consideró a los diferentes componentes del Complejo Pasco Nexa Resources Perú.

#### **Muestra**

La muestra fue el sistema de bombeo de los relaves pesados del Complejo Pasco.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos**

Los datos de la investigación fueron recogidos con la técnica de la observación directa e indirecta.

Los instrumentos fueron los check list y formatos que consideran los parámetros involucrados en la operación del sistema de bombeo.

### **3.6. Técnica de procesamiento de datos**

La técnica para el procesamiento de los datos información obtenida para transformarlos en datos fueron las utilizadas en la estadística descriptiva.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Presentación de resultados**

Para la presentar los resultados de la investigación es importante la descripción del diseño e implementación del sistema de bombeo de relaves espesados para garantizar continuidad de operaciones del complejo pasco.

##### **4.1.1 Objetivo**

Los principales objetivos del proyecto son:

- Garantizar la continuidad de la operación resolviendo la disposición de relaves producidos en la planta el Porvenir.
- Resolver la falta de agua en el proceso, recirculando el agua del overflow del espesador de relaves que será enviada a la planta de tratamiento de aguas.
- Minimizar el riesgo de derrames e incrementar la seguridad del depósito de relaves.
- Evitar el incremento de consumo de agua fresca ante el

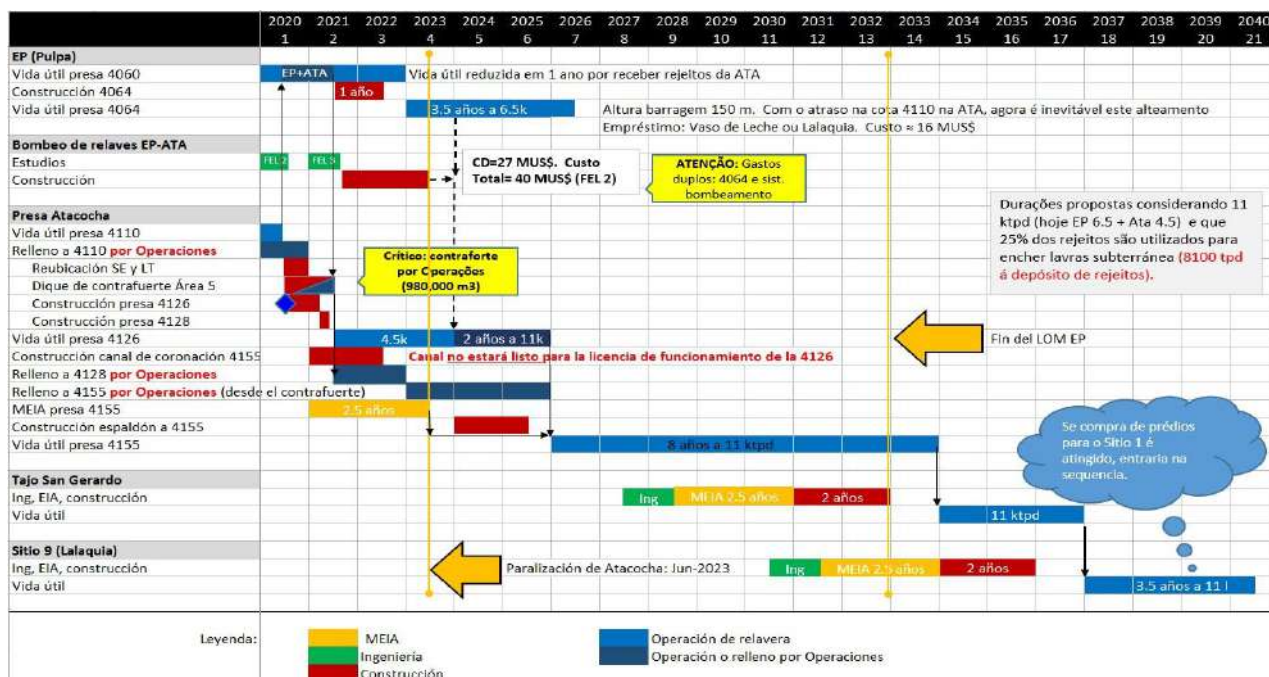
incremento de tratamiento.

- Garantizar el cumplimiento de las metas de incremento de tratamiento en conformidad con el plan estratégico.
- Estar preparados para el crecimiento de la concentradora a 7.5K.

### 4.1.2 Sumario ejecutivo

Conforme al Plan Director, a partir del segundo trimestre del presente año, los relaves de Atacocha y El Porvenir son enviados a sus respectivas presas. Anteriormente, los relaves generados en la planta concentradora Atacocha eran enviados a la planta El Porvenir donde se juntaban con los relaves de esta planta y luego ambos eran enviados al depósito de relaves de la U.M. El Porvenir.

**Figura 3**  
*Nuevo Plan Director.*



El depósito de relaves de El Porvenir con el recrecimiento a la cota 4062 y con una producción de 6.5k, tendrá una vida útil de hasta febrero del 2024, es por este motivo que se hace necesario buscar un nuevo lugar para la disposición de relaves. Este nuevo lugar identificado es la relavera de Atacocha en la que actualmente se está efectuando trabajos de recrecimiento del dique de la presa en una primera etapa hasta la cota 4128 y en una segunda hasta la cota 4155, generando una capacidad suficiente para recibir los relaves de ambas plantas hasta el año 2034 con un procesamiento de 4500tpd para Atacocha y 6500 tpd del Porvenir, luego del cual se debe habilitar la relavera San Gerardo y posteriormente la relavera Laquia.

Debido a la limitación de espacios para colocar los relaves se hace necesario maximizar la vida útil de las relaveras y para maximizar el depósito de relaves se requiere que el relave alcance una consistencia de sólido tal que permita una disposición con una pendiente mínima de 1%.

El Proyecto de la instalación de un sistema de bombeo de relaves espesados de El Porvenir hacia la Presa de Atacocha, tiene por objetivo garantizar la continuidad de la operación de El Porvenir, resolviendo la disposición de relaves producidos en la planta El Porvenir.

Además, con la instalación del espesador de relaves, se

resuelve el problema de falta de agua de proceso para el tratamiento de los minerales en la planta concentradora de El Porvenir. El agua de rebose del espesador será enviada a la planta de tratamiento; la planta de tratamiento no forma parte del alcance de este proyecto.

La planta El Porvenir en varias oportunidades se ha tenido que paralizar falta de agua debido a lo complicado que es controlar los parámetros operacionales de: longitud de playa, espejo de agua y calidad de agua, esto ha producido eventos negativos como fuga de relave por la ventana 13 y ventana auxiliar, afectando la calidad de agua y deteriorando las relaciones con las comunidades que habitan aguas abajo de la presa de relaves.

Finalmente, se debe mencionar que el actual proyecto está alineado con el plan estratégico de crecimiento de la unidad Pasco, el cual incorpora la integración de las unidades mineras de Atacocha y El Porvenir, el cual incluye la interconexión de ambas minas, el traslado y procesamiento de la mena procedente de Atacocha hacia El Porvenir por medio de los túneles de interconexión, el traslado y procesamiento de una parte del mineral proveniente del tajo San Gerardo en la Planta de El Porvenir y la otra parte en Atacocha. De este modo, se proyecta que este equipo pueda soportar el crecimiento de la concentradora de El Porvenir hasta 7.5 KTPD.

### **4.1.3 Criterios del proyecto**

#### **4.1.3.1 Plan director**

Este proyecto atiende los siguientes requerimientos del plan director:

- Proporcionar al equipo de proyectos, operaciones, medio ambiente y relaciones comunitarias el mayor tiempo posible para lograr los acuerdos sociales y permisos que permitan la construcción del nuevo depósito de relaves San Gerardo y la Laquia.
- Proporcionar a la compañía una alternativa de disposición de relaves más segura y estable, con un mayor aprovechamiento de las áreas disponibles para este efecto.
- Extender la vida útil de las nuevas relaveras que serán requeridas durante la operación del complejo Pasco.

#### **4.1.3.2 Situación actual**

##### **4.1.3.2.1 Relaves**

Actualmente los relaves de la U.M El Porvenir y la U.M Atacocha son enviados a la Relavera del Porvenir.



#### 4.1.3.2.2 Relaves de Atacocha

Los relaves generados en la planta concentradora Atacocha son enviados al espesador de 38 m de diámetro en Atacocha. El UF del espesador, con una concentración en peso del orden de 55% a 59% en sólidos, es enviado mediante bombas a su relavera.

**Tabla 2**

*Producción de relaves de Atacocha para 4200 tn de mineral procesado.*

DESCRIPCIÓN	1	2
	Tratamiento Planta	Under Flow espesador
Flujo de sólidos secos, t/h	175.0	162.6
Sólidos, S.G	2.96	2.90
Sólidos, %.	29.72	56.0
Densidad	1.25	1.58
Agua, m3/h	414	128
Pulpa, m3/h	473	184

#### 4.1.3.2.3 Relaves de El Porvenir

Los relaves generados en la planta concentradora de El Porvenir son enviados hacia su planta de relleno hidráulico, donde después de una clasificación, el material grueso es usado como relleno para la mina y los finos son enviados al tanque pulmón.

Tabla 3

*Producción de relaves de El Porvenir para 6500 tn de mineral procesado.*

DESCRIPCIÓN	6500 TPD	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Over Ciclon.	38% @ Espesador		RH ON	RH OFF
		5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclon.	62% @ mina			
	A	B	C	D	1	2	3	4	5
	Tratamiento Planta	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Relave Final Flot.	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon	Relavera	Relavera
Flujo de sólidos secos, t/h	270.8	14.4	4.2	0.7	251.6	95.6	156.0	95.6	251.6
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	3.00	2.95	3.00
Sólidos, %.	29.52	91.56	90.19	91.61	28.03	14.41	66.67	14.41	28.03
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80	1.11	1.23
Agua, m3/h	647	1.33	0.45	0.06	646	568	78	568	646
Pulpa, m3/h	737	5	1	0	730	600	130	600	730

↓  
**RH**

#### 4.1.3.2.4 Agua

El agua contenida en los relaves en pulpa proveniente de la planta de procesos corresponde al 98.6% del total de agua consumida, el 1.1% del agua se evapora y el 0.3% restante se encuentra en el concentrado.

Actualmente el agua se recupera desde el espejo de agua de la presa de relaves mediante bombas en barcasas, que envía el agua a la estación de bombas que está ubicada en la orilla de la relavera, desde esta estación se envía el agua hacia los tanques de Planta Concentradora para su uso en el proceso, en épocas de estiaje se tiene problemas con el flujo de agua debido a la falta de altura del espejo de agua. Esto trae como consecuencia presencia de sólidos en el fluido, lo que genera problemas de desgaste en las bombas y el uso excesivo de floculantes, ocasionando paradas en la

planta por falta de agua. Como consecuencia de esto, el déficit de agua industrial o agua recuperada se resuelve usando una mayor cantidad de agua fresca con las consiguientes repercusiones medioambientales no deseadas.

**Tabla 4**

*Balance de agua.*

Consumo de Agua	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /h	lps	Distribución
Planta de Procesos	5,664,937	15,520	647	179.63	81.00%
Mina Operaciones	267,319	732	31	8.48	3.82%
Mina con RH	245,327	672	28	7.78	3.51%
Comunidad y Campamentos	816,455	2,237	93	25.89	11.67%
Total agua consumida	6,994,038	19,162	798	221.78	100.00%

Ingreso de Agua	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /h	lps	%
Agua Fresca	2,172,535	5,952	248	68.89	31.06%
Agua Fresca (Potable)	816,455	2,237	93	25.89	11.67%
Agua Recuperada de Relavera	4,005,060	10,973	457	127.00	57.26%
Total agua consumida	6,994,050	19,162	798	221.78	100.00%

### Fuentes de Agua

Acta de Notificación N° 399-2016-ANA/AAA HUALLAGA

- *Pucayacu – Carmipuquio. Permiso de captación hasta 70 lps.*
- *Pucayacu – Carmen Chico. Permiso de Captación hasta 90 lps.*

#### 4.1.3.3 Alternativas estudiadas

A continuación, se indican las alternativas estudiadas para su elección:

- a. Disposición de relaves en pulpa.
- b. Disposición de relaves espesados a alta densidad.
- c. Disposición de relaves filtrados.

De las tres alternativas indicadas, se ha seleccionado el de “**relaves espesados a alta densidad**”, que es la que mejor se ajusta a las condiciones operativas, medio ambiente y seguridad para El Porvenir, para esta alternativa se han realizado los estudios de Pilotaje para mejorar el sistema de bombeo de relaves espesados.

#### **4.1.3.4 Situación propuesta**

Los relaves provenientes de la última etapa del proceso de concentración de cobre, plomo y zinc de EP serán enviados hacia el espesador de relaves donde se densificará hasta alcanzar una densidad de 45% a 65% de sólidos. Los relaves espesados serán enviados por bombeo, en una primera etapa a la presa de relaves de Atacocha, luego en una segunda etapa a la Relavera San Gerardo, y posteriormente a la Laquia”.

El agua del overflow del espesador se enviará a la planta de tratamiento de agua y desde esta planta el agua se envía a los tanques de concreto.

Se cambiará el tanque receptor de relaves en Atacocha por un tanque de 50 m<sup>3</sup> que será ubicado inicialmente en la cota 4150, este tanque se irá cambiando de ubicación de acuerdo con el plan de recrecimientos de la presa. Se deberá habilitar un camino de acceso hacia este tanque.

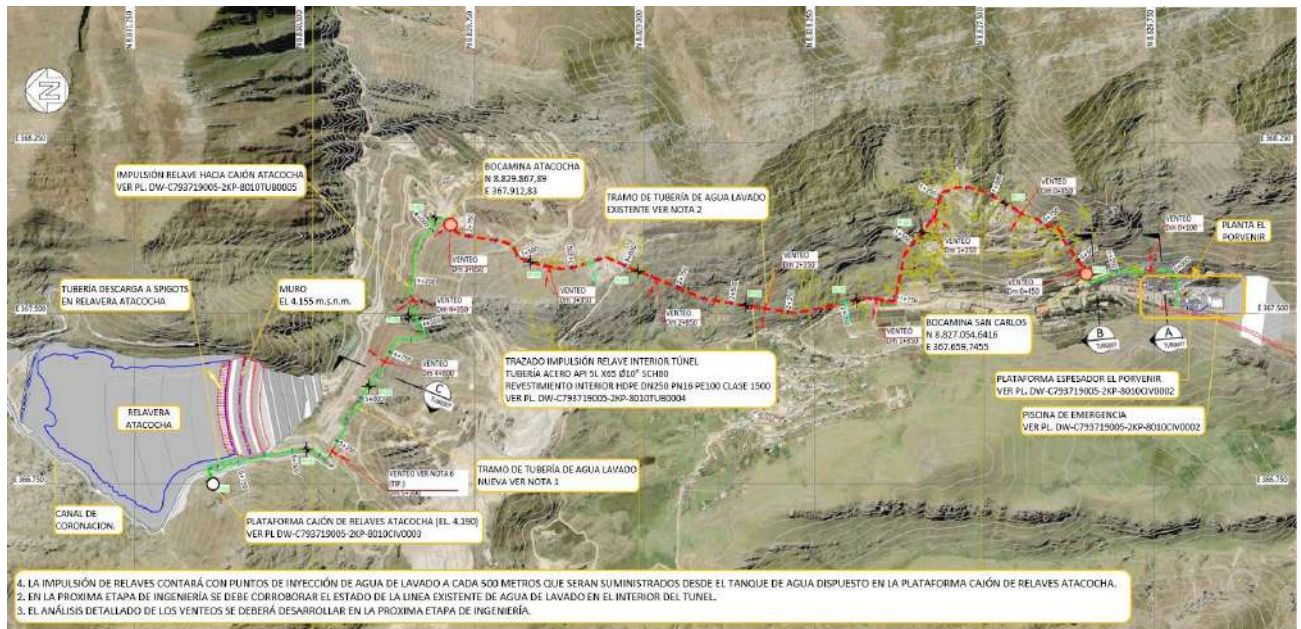
Desde el tanque, actualmente existe un manifold de 14 pulgadas con salidas a cada 5m, alineado a lo largo del dique de la presa para efectuar la disposición uniforme de los relaves y desde el diqueal tanque es necesario contar con una diferencia de cotas de 40m.

Para el lavado de la tubería se utilizará la línea de agua existente, que se utiliza para lavar la tubería de ATA-EP, de esta línea de lavado se conectarán los ingresos para lavar la tubería de impulsión de relaves desde EP-ATA. (Actualmente esta línea se encuentra inoperativa)

Los parámetros para definir el espesador y el sistema de bombeo ya han sido determinados en las pruebas piloto de relaves realizada en Julio del 2018 y la ingeniería de la línea de relaves para la obtención de permisos (ITS) fue realizada por la consultora Escegis en el 2018.

Figura 4

## Arreglo General del Proyecto.



### Infraestructura Propuesta

Se propone la Instalación de un sistema de bombeo de relaves espesados a alta densidad que consta de:

#### A. Espesador de relaves de alta densidad.

- γ Capacidad: 7.5k TPD como máximo. Diam 18 y Altura 10m. para atender el criterio de manejo de relaves de 80% a relavera y 20% a la mina.

(Circuito definido según informe técnico IT-C793719005-NEXA-8010PCD0001)

- Solids Loading 0.59 t/m<sup>2</sup>-h
- %S en el UF: 60% a 65% Sólidos. Los valores

obtenidos durante el Pilotaje llegaron hasta 65%.

- r Sistema en conjunto para trabajo totalmente automatizado.
- r Dos Bombas para el bombeo de Underflow hacia la zaranda lineal.
- r Bombas cizalladoras.
- r Bombas sumideros.

#### **B. Estación de bombas para relave**

- r Dos bombas de desplazamiento positivo GEHO de 250m<sup>3</sup>/h con 1450 hp y 146 bares para atender el criterio de manejo de relaves de 80% a relavera y 20% a lamina.
- r Dos tanques para pulmón de acondicionamiento de relaves y almacenamiento de contingencia.
- r Una zaranda lineal para protección de las bombas.
- r Dos bombas para precarga a Bombas DP (Espacio para una Tercera a Futuro).
- r Puente grúa para mantenimiento.
- r Edificio.
- r Sala de Control.

#### **c. Sistema de Tuberías (Pipeline)**

- r Sistema de tuberías en acero con revestimiento interno de HDPE de construcción modular que

permite la intervención rápida ante atoros inesperados y fácil reemplazo de piezas en caso sea necesario.

- γ Sistema de lavado de tuberías para el caso de paradas no programadas o de emergencia, este sistema automatizado para permitir una rápida respuesta.
- γ Soportes de acero estructural anclados a la pared para el caso del túnel de integración, canaletas y pedestales de concreto para la zona de superficie lado planta EP.
- γ Camino con canaleta y con berma para el tendido de tubería enterrada en el lado de Atacocha.

#### **D. Ruta de Tubería de relave**

- γ Desde la estación de bombas en el nv.4020 por superficie, luego por el Túnel de integración que inicia en la entrada de San Carlos en el nv.4070 y sale en Atacocha en el Nv.4050 de allí continúa por superficie hasta llegar al tanque distribuidor en la cota 4160 desde el cual se descarga a la presa de relaves Atacocha.
- γ La Longitud Total de tuberías es de aprox. 6km. La diferencia de alturas a vencer es de 140 m para la actual disposición y dique de la presa en la cota 4110.



- r Para el dique a la cota 4128 el tanque de recepción se tendrá que reubicar a la cota 4165 para permitir la deposición del relave a lo largo del dique.
- r Para el dique a la cota 4155 el tanque acondicionador habrá que reubicar a la cota 4190 para permitir la disposición del relave a lo largo del dique.
- r La Altura final a vencer desde la estación de bombas de EP es de 170mts.

**E. Sistema de recuperación de agua Over Flow del Espesador**

- r Se conectará al circuito que alimenta a la planta de tratamiento de aguas mediante tuberías (La Planta de Tratamiento de Aguas no forma parte del alcance de este proyecto)

**Desde la presa de relaves de Atacocha con capacidad de 35 a 40lps)**

- r línea de tuberías desde la presa hasta el tanque de almacenamiento de Agua en cota 4195.
- r línea de tuberías desde el tanque hasta la planta de tratamiento en el Porvenir
- r Tanque de Almacenamiento de agua de 5x5
- r El sistema de balsas y Bombas son existentes.
- r Sistema de válvulas para atender el lavado de la

línea de relaves

#### **F. Sistema de Contingencia**

r Poza de derrames de operación diaria y de emergencia de 2500m<sup>3</sup>.

- *Poza de derrames debajo del espesador, esta poza contendrá el volumen de trabajo diario y en caso de emergencia contendrá todo el volumen del espesador*

r Puente pescante

- *En el sumidero de la poza se colocará un pescante para soporte de la bomba repulpadora.*

r Bomba repulpadora Sumidero.

- *Limpieza del Piso que está debajo del espesador, y se recircula al propio espesador*

#### **G. Suministro de Energía**

r Línea en 50kv hacia la nueva SSEE.

r SSEE para alimentación a los equipos del sistema de bombeo de relaves.

r Sala Eléctrica.

r Canalizaciones.

#### **H. Servicios Auxiliares, agua y aire**

r Compresor de aire.

- r Secador de aire.
- r Tanque Pulmón acumulador de aire para aire de planta.
- r Tanque Pulmón acumulador de aire de instrumentación.
- r Servicios de agua de proceso.
- r Servicios de agua de sello.

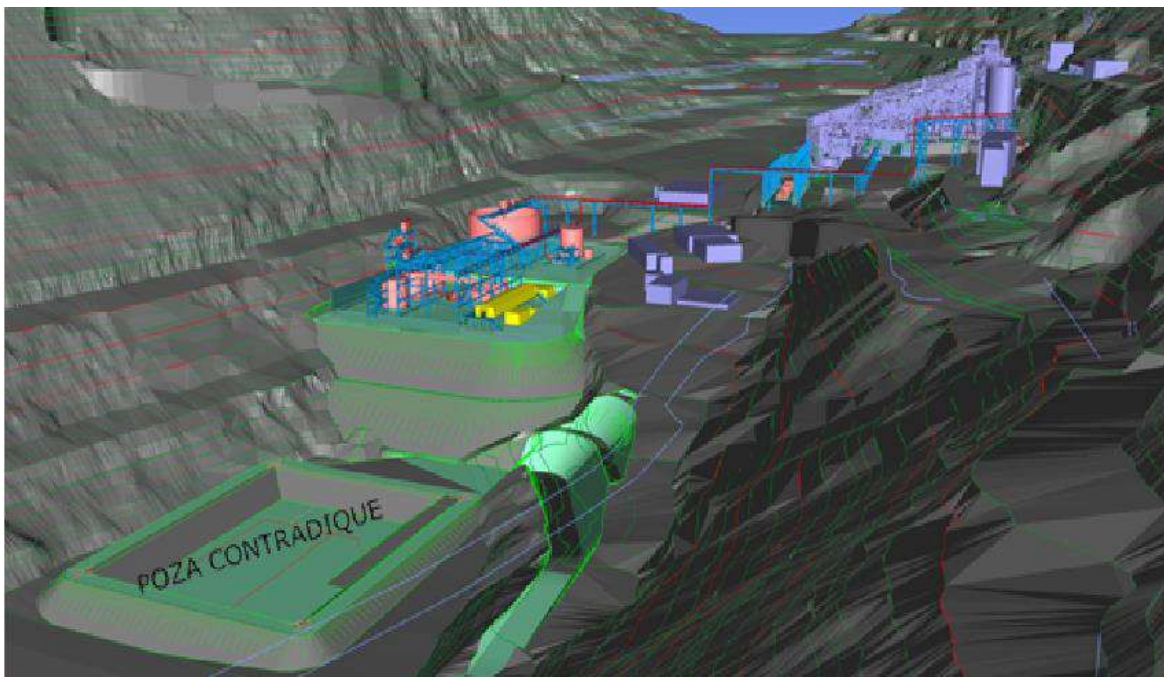
**I. Reactivos**

- r Planta de Floculante, automatizado.
  - o Sistema de Alimentación de floculante.
  - o 2 tanques agitadores. (Uno de Preparación y uno de dosificación)
  - o 2 bombas DP dosificadoras.

A continuación, se muestran los esquemas de la Infraestructura Propuesta para el sistema debombeo de relaves de EP hacia Atacocha.

**Figura 5**

*Arreglo general de Ubicación del espesador de relaves Estación de Bombas Geho.*



**Figura 6**

*Ruta de tubería de relave.*

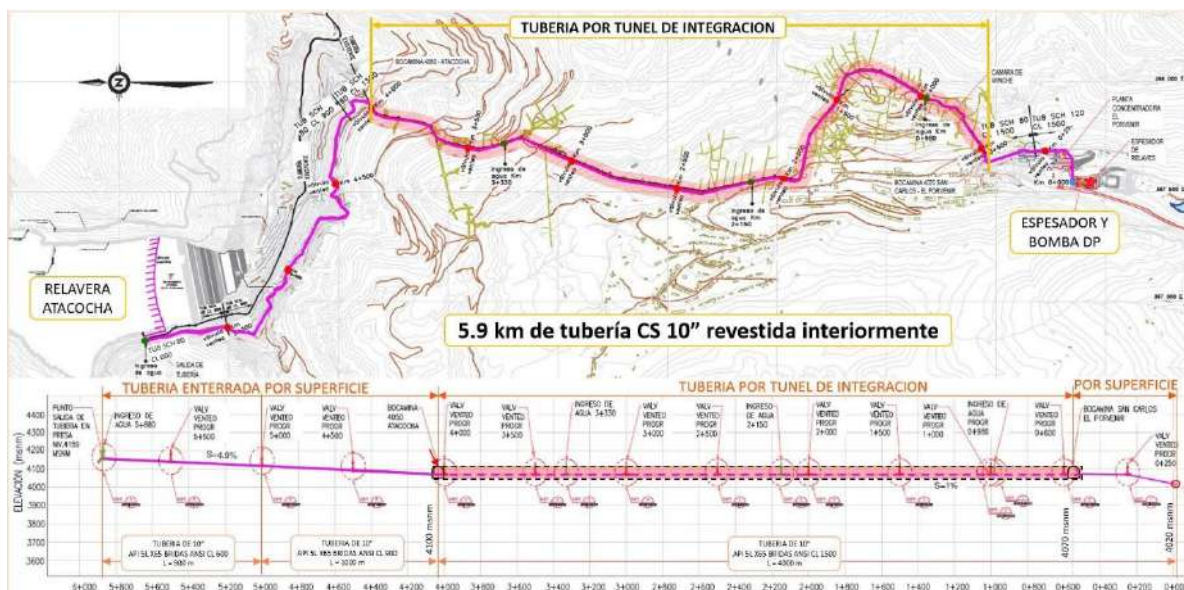
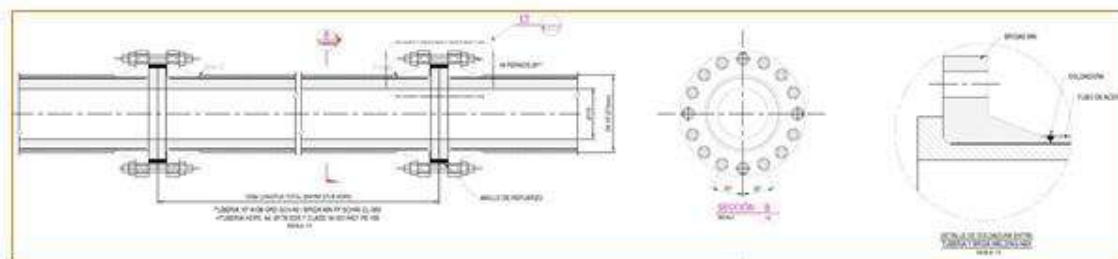


Figura 7

Esquema Típico de tubería de acero con revestimiento de HDPE.



#### 4.1.3.4.2 Balance de masa de relaves

Tabla 5

Balance de Masas Producción 6500 tpd.

DESCRIPCIÓN	6500 TPD		Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Over Ciclon	38% @ Espesador		RH ON	RH OFF	6
	A	B	C	D	1	2	3	4			
Flujo de sólidos secos, t/h	270.8	14.4	4.2	0.7	251.6	95.6	156.0	95.6	251.6	6.9	
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	3.00	2.95	3.00	3.00	
Sólidos, %	29.52	91.56	90.19	91.61	28.03	14.41	66.67	14.41	28.03	1.49	
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80	1.11	1.23	1.01	
Agua, m3/h	647	1.33	0.45	0.06	646	568	78	568	646	457	
Pulpa, m3/h	737	5	1	0	730	600	130	600	730	459	

Tabla 6

Balance de Masas Produccion 7500 tpd. Escenario 1.

DESCRIPCIÓN	7500 TPD		Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Over Ciclon	38% @ Espesador		Espesador de 4500 TPD Flujo Normal de Trabajo con 155 TPD			
	E	F	G	H	10	11	12	13	14	15	16	
Flujo de sólidos secos, t/h	312.5	16.6	4.8	0.8	290.3	110.3	180.0	155.3	9.8	155.3	4.4	
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	2.95	2.95	2.95	3.00	3.00	
Sólidos, %	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	14.42	67.24	55.00	1.50	60.00	1.49	
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80	1.57	1.01	1.67	1.01	
Agua, m3/h	746	1.53	0.52	0.07	743	655	88	127	643	104	294	
Pulpa, m3/h	850	6	1	0	840	692	149	180	646	155	295	

Tabla 7

Balance de Masas Producción 7500 tpd. Escenario 2.

DESCRIPCIÓN	7500 TPD		Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Over Ciclon	38% @ Espesador		RH ON		RH OFF	
	E	F	5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclon	10	11	13	14	15	16
	Tratamiento Planta	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Relave Final Flot	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon	Under Espesador	Over Flow Espesador	Under Espesador	Agua Recupera	
Flujo de sólidos secos, t/h	312.5	16.6	4.8	0.8	290.3	110.3	180.0	155.3	9.8	290.3	8.3	
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	2.95	2.95	2.95	3.00	3.00	
Sólidos, %	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	14.42	67.24	55.00	1.50	60.00	1.49	
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80	1.57	1.01	1.67	1.01	
Agua, m3/h	746	1.53	0.52	0.07	743	655	88	127	643	194	549	
Pulpa, m3/h	850	6	1	0	840	692	149	180	646	290	552	

Espesador 4500 TPD  
 Todo el Flujo de Relave  
 ingresa al Espesador  
 290.3 tpd

## 4.2 Análisis de los resultados

### 4.2.1 Beneficios esperados

- γ Asegurar la continuidad de la operación de la Planta EP, con el uso de la relavera Atacochapara depositar los relaves de EP
- γ Restringir el recrecimiento del dique de la presa de El Porvenir.
- γ Maximizar la vida útil de las futuras relaveras.
- γ Minimizar el consumo de agua fresca en la Planta.
- γ Aminorar el impacto ambiental de la operación minera.
- γ Aumentar la seguridad en el sistema de disposición de Relaves tanto en el depósito de relaves actuales como en las ubicaciones futuras.
- γ Asegurar la operación continua reduciendo la posibilidad de falta de agua de proceso.

### 4.2.2 Consideraciones técnicas y operativas

- γ Ubicación: Entre el laboratorio metalúrgico y contradique,

esta ubicación difiere de la indicada en el ITS aprobado del 2019.

- γ La Capacidad de diseño del espesador es de 7500tph
  - *Flujo Mínima del espesador 110.3 tph (h/d variable)*
  - *Flujo normal del espesador 212.8 tph con 24 h/d (7500tpd)*
  - *Flujo de diseño es de 290.3 con 24 h/d (6967tpd)*
  - *La Bomba Geho tendrá una capacidad máxima de 250m<sup>3</sup>/h y 146bares*
  
- γ El tipo de Espesador y los parámetros requeridos para diseño de este equipo han sido definidos con las pruebas de pilotaje de los relaves realizado en Julio del 2018. El Espesador será de alta densidad.
  
- γ El sistema de transporte y los parámetros requeridos para diseño de las tuberías han sido definidos con las pruebas de loop test de los relaves realizado en Julio del 2018.
  
- γ El Sistema de tuberías de relaves utilizara la ruta del Túnel de Integración que ingresa en bocamina San Carlos y sale en Atacocha en la bocamina 4050.
  
- γ La tecnología de tubería revestida se usará la implementada en la actual línea de relaves de ATA-EP que fue desarrollada inhouse por Ingeniería de Milpo y actualmente en funcionamiento transportando el relave desde la planta de Atacocha a la presa de relaves de El Porvenir.

- γ Se usará la línea de agua existente para el sistema de lavado de la nueva línea de relaves de EP-ATA.
- γ Los escenarios que se toman con base del dimensionamiento del equipo son:
  - Del total de relaves, el 80% se enviará a la relavera y el 20% se enviará a la mina como relleno hidráulico con la planta de RH existente.
  - 1er escenario: infraestructura del Espesador para soportar la producción de la planta de procesos a 6500 tpd, considerando una fracción del relave total durante 18 h/d de funcionamiento de relleno hidráulico con partición en: Over ciclones 38% y Under Ciclones 62%, de modo tal que el 20% del relave total sea enviada a mina.
  - 2do escenario: infraestructura del Espesador para soportar la producción de la planta de procesos a 7500 tpd, considerando una fracción del relave total durante 18 h/d de funcionamiento de relleno hidráulico con partición en: Over ciclones 38% y Under Ciclones 62%. de modo tal que el 20% del relave total sea enviada a mina.
  - El Espesador procesará los relaves para los 2 escenarios con RH en servicio y RH fuera de servicio.

No Hay restricciones. Los permisos ambientales se obtuvieron con el de ITS en el 2019.



### 4.2.3 Principales riesgos

**Tabla 8**

*Riesgos del proyecto.*

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	CAUSA RIESGO	MITIGACIÓN
1	Diseños civiles y estructurales en base a asunciones sobre capacidad portante y nivel de estrato para cimentación.	Falta de información geotécnica. Diseños no coherentes con la geotecnia definitiva.	Desarrollo de estudio de suelos para la etapa de ingeniería de detalle. Sondajes para verificar las condiciones del terreno para la cimentación del Espesador y de la estación de bombas de desplazamiento positivo.
2	Corrosión temprana en la tubería.	Falta de información de resistividad del terreno. Diseños no coherentes con la resistividad real	Medición de resistividad del terreno para la etapa de ingeniería de detalle. Para verificar la necesidad de protección catódica para la línea de tubería de El Porvenir @ Atacocha. Únicamente en la zona enterrada
3	Demoras durante el montaje de la tubería en caverna.	Zonas del túnel en mal estado por falta de mantenimiento. Zonas derrumbadas. Zonas propensas a caídas de rocas. Zonas cubiertas por derrame mineral. Zonas con falta de ventilación.	Inspección del túnel de integración que va desde San Carlos hasta la salida en Atacocha en el 4050. Sostenimiento de zonas identificadas en inspección. Limpieza de túnel. Instalación de mangas de Ventilación.
4	Problemas de efectividad del floculante para el espesamiento adecuado del relave.	Mala dosificación. Consumo excesivo. Preparación inadecuada.	Planta de floculantes considerada como parte del suministro del proveedor del Espesador de relaves compatible con el diseño.
5	Problemas de integración de sistemas de control e instrumentación del nuevo Espesador de relaves con el sistema actual.	Incumplimiento de especificaciones técnicas por parte de proveedores y no haya sido detectado por el área de procura.	Verificación en la fase de compra del cumplimiento estricto de las especificaciones técnicas a efecto de que los nuevos Espesador (paquete), tengan el protocolo de comunicaciones, así como la instrumentación asociada, apropiada. Verificada por el área de Automatización
6	Las necesidades en planta determinan cambios en las instalaciones existentes de la planta muy rápidamente, habiéndose presentado casos de cambios posteriores al levantamiento de la información que sirve de base para el desarrollo de la ingeniería, no siendo debidamente comunicada.	Falta de comunicación apropiada respecto a cambios realizados en planta puede generar retrabajos y retrasos.	Establecer un procedimiento para que las comunicaciones de cambios realizados en planta se efectúen de manera eficiente y oportuna, a efecto de que las etapas siguientes (ingeniería de detalle u ejecución de obra), se desarrollen con la información actualizada.

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	CAUSA RIESGO	MITIGACIÓN
7	Determinar con mayor profundidad los riesgos de diferente índole durante la fase de ingeniería de detalle.	Análisis superficial de riesgos.	Desarrollar taller de riesgos en la fase de ingeniería de detalle con la participación de las diferentes áreas involucradas: operaciones, mantenimiento, proyectos, logística, etc., a efecto de determinar en detalle todos los riesgos posibles para considerarlos en el plan de acciones a desarrollar.
8	Retrasos en el cronograma de ejecución de obras por demora en la entrega del Espesador.	Demora en colocación de OC y seguimiento inadecuado en el suministro del Espesador de relaves.	Planificación y programación detallada, minuciosa y debidamente coordinada en la adquisición y suministro del Espesador de relaves.
9	Retrasos en el cronograma de ejecución de obras por la interacción con instalaciones en operación.	Dependencia con instalaciones en operación (tie-ins).	Planificación y programación detallada, minuciosa y debidamente coordinada.

#### 4.2.4 Plazos y Costos

Los hitos principales del cronograma son los siguientes:

**Tabla 9**

*Principales hitos del cronograma.*

<b>24.May.21</b>	Reunión de Aprobación FEL2
<b>09.Jun.21</b>	Liberación SI y SOLPED para FEL3
<b>09.Jun.21</b>	KOM Ing. Básica
<b>06.Dic.21</b>	Término de Ing. Básica
<b>21.Ene.22</b>	Emisión de RI
<b>28.Abril.22</b>	Aprobación FEL3
<b>15.May.22</b>	Liberación SI y SOLPED para EXEC
<b>07.Ago.22</b>	Inicio de Ejecución de construcción
<b>08.Ene.24</b>	Fin de Construcción
<b>07.Feb.24</b>	Fin del Comisionado
<b>07.Feb.24</b>	Start-Up

Para llevar a cabo los trabajos propios del proyecto cumpliendo los hitos señalados, Nexa inició las actividades de licitación de compra del Espesador y la Bomba DP con la anticipación del caso, tomando en cuenta que la entrega de los planos certificados sería proporcionados aproximadamente 6 semanas posteriores a la colocación de la PO, la entrega del Espesador se estima en 30 semanas y de la bomba en 40 semanas.

### **4.3 Prueba de hipótesis**

#### **4.3.1 Hipótesis General**

Como hipótesis general para el trabajo de investigación se consideró que: “El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar significativamente la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.”

Para la demostración de la hipótesis se considera la descripción completa del proyecto que involucra el diseño y la implementación del sistema de relaves espesados.

##### **a) Dimensionamiento del proyecto**

En el dimensionamiento del proyecto es de especial importancia la determinación de la capacidad del sistema de bombeo de los relaves espesados. Para ello se tiene en cuenta los escenarios de 6500 TPD y 7500 TPD.

## A. Capacidad del Sistema de Bombeo de Relaves Espesados

**Tabla 10**

Sistema de Bombeo y Espesamiento de relaves para los escenarios de 6500 TPD.

CAPACIDAD 6500 TPD		% Zinc	%Pb	% Cu	Over Ciclón 38% @ Espesador		
		5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclón 62% @ mina		
DESCRIPCIÓN	A	B	C	D	1	2	3
	Tratamiento Planta	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Relave Final Flot	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon
Flujo de sólidos secos, t/h	270.8	14.4	4.2	0.7	251.6	95.6	156.0
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	2.95
Sólidos, %.	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	14.42	67.24
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80
Agua, m3/h	647	1.33	0.45	0.06	644	568	76
Pulpa, m3/h	737	5	1	0	728	600	129

**Tabla 11**

Sistema de Bombeo y Espesamiento de relaves para los escenarios 7500 TPD.

CAPACIDAD 7500 TPD		% Zinc	%Pb	% Cu	Over Ciclón 38 % @ Espesador		
		5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclón 62 % @ mina		
DESCRIPCIÓN	A	B	C	D	1	2	3
	Tratamiento Planta	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Relave Final Flot	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon
Flujo de sólidos secos, t/h	312.5	16.6	4.8	0.8	290.3	110.3	180.0
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	2.95	2.95
Sólidos, %.	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	14.42	67.24
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.11	1.80
Agua, m3/h	746	1.53	0.52	0.07	743	655	88
Pulpa, m3/h	850	6	1	0	840	692	149

**B. Para el Bombeo de relaves de EP-Atacocha se considera:**

- 1era Etapa Envío de relaves a Presa de Atacocha:
  - Dos Bombas Geho de 1100hp y 140 bares Instaladas uno operando y otra enstand by.
  - Espacio para albergar la tercera bomba.
- 2da Etapa Envío de Relaves a la nueva relavera San Gerardo.  
*(Su implementación Noforma parte del alcance del proyecto).*
- 3ra Etapa Envío de Relaves a la nueva relavera Lalaquia.
  - *Tres Bombas Geho de 1100 hp Instaladas dos en operación y una en stand by(Su implementación No forma parte del alcance del proyecto)*

**C. Para el espesamiento de relaves:**

- Espesador de relaves de alta densidad para procesar 7500 tpd hasta como máximo quetrabajara en circuito cerrado con la poza de emergencia.
- Sistema de recuperación y recirculación de agua para el proceso. Solo se considera interconectar a la planta de tratamiento de agua

**D. Para Reactivos:**

- Planta automática de preparación de Flocculante.

**E. Para el suministro de Energía:**

- Llevar la energía en 50kv desde la SSEE existente a la Nueva SSEE.

- SSEE secundaria para energizar los equipos del sistema de bombeo de relaves con capacidad para energizar los Equipos de la Etapa 2 y Etapa 3.

#### **b) Descripción del proceso**

El proyecto consiste en el bombeo de relaves desde la unidad minera de El Porvenir hacia la unidad minera Atacocha. El relave producido en la U. M. El Porvenir, no podrá ser almacenado en su propia presa de relaves de El Porvenir, y por razones estratégicas, ya que aún no se logra culminar las gestiones que se vienen llevando a cabo con las comunidades del entorno a la presa de relaves, por ello surge la necesidad impulsar estos relaves hacia la presa de relaves de la U.M. Atacocha.

El proyecto abarca el área 8010 “Sistema de Bombeo de Relaves desde El Porvenir hasta la presa de relaves de Atacocha”, además como áreas de servicios que permiten preparar el relave a una consistencia de sólidos adecuada y recuperar el agua, se tienen los siguientes sectores:

- γ 7020 – área de preparación y dosificación del Floculante.
- γ 8010 – área de Espesamiento de Relaves
- γ 9010 – área de agua de servicios.
- γ 9030 – área de suministro de Aire.
- γ 8070 – Bombeo y Transporte de relaves.

## γ 8090 – Subestaciones y Distribución Secundaria

El objetivo principal del proyecto es la disposición final de los relaves en la presa de Atacocha, la misma que tiene capacidad suficiente para seguir almacenando los relaves no solamente de Porvenir sino también de la propia planta de Atacocha por un periodo de 8 años.

El relave proveniente de flotación o de overflow de RH pasa por una etapa de espesamiento desde 23% de sólidos hasta una pulpa espesada de al menos 55 a 60% de sólidos que se descarga por el Underflow del Espesador. La consistencia de sólidos se logra por la floculación de las partículas en el Espesador de alta densidad. El agua de over flow es recuperada y enviada de vuelta al proceso.

Los relaves espesados se impulsarán mediante bombas DP a un tanque de receptor en Atacocha, en donde se mezclarán con los relaves provenientes de la planta Atacocha; el relave mezclado se depositará en la presa de relaves de la U.M. Atacocha.

### **c) Sistema de espesamiento, transporte y bombeo de relaves de El Porvenir**

Las partes y componentes del proyecto que intervienen en el proceso son:

1. Sector de Alimentación de Relaves.
2. Espesamiento de Relaves.
3. Sistema de preparación y dosificación de Floculante.

4. Bombeo y Transporte de Relaves hacia la Presa de Relaves de Atacocha.
5. Recuperación de agua del Proceso.
6. Recuperación de agua del over flow del espesador de relaves (solo Interconexión a Plantade tratamiento)
7. Agua de Sellos y Limpieza.
8. Energía Eléctrica.
9. Instrumentación y Control.

**d) Manejo de los Relaves Hacia la Alimentación al Espesador.**

Los relaves provenientes de la última etapa del proceso de concentración de cobre, plomo y zinc, luego de pasar por la planta de relleno hidráulico, se envían a un cajón de mezcla 8020-TN-301, y de aquí se deriva hacia el Espesador o hacia la poza de emergencia, controlando esto mediante unas válvulas automática tipo dardo.

En el ingreso del feedwell del espesador, se dosifica un agente floculante en solución diluida de aproximadamente 0.03% de sólidos.

El circuito actual de envió de relaves a la presa EP permanecerá para casos de emergencia y únicamente en casos de emergencia los relaves serán enviados a la presa del Porvenir.



**e) Espesamiento de la Pulpa de Relaves.**

El proceso básico de espesamiento para la obtención de relaves espesados requiere de una etapa de densificación de lodos desde los relaves diluidos de 23% de sólidos hasta una pulpa espesada de 45 a 60% de sólidos. Esta densificación se logra mediante floculación de sólidos en el Espesador de Relaves. Si la pulpa espesada no logra superar el valor mínimo de contenido de sólidos que se requiere, el relave retorna a la alimentación del Espesador mediante una bomba de recirculación 8020-BH-303. Existen dos bombas de descarga del Espesador, la 8020-BH-301 y 8020-BH-302 (una bomba opera y la otra se mantiene en stand by).

El Espesador es un tanque cilíndrico-cónico de alta densidad, adecuado para las condiciones del diseño de los relaves de planta Porvenir y con una disponibilidad estimada de 96%.

La capacidad de Diseño del Espesador es 7,500 TMD. Trata a pulpa de relaves de 23 a 30% de sólidos provenientes de la planta de flotación para ser espesada como lodos a no menos del 55% de sólidos en caso de relaves finos y a 60% a 70% de sólidos en caso de relave total. El over flow clarificado del Espesador, fluye hacia el tanque de traspaso de agua industrial 8040-TN-101.

Este Espesador está equipado con un dispositivo para medir el torque (momento torsional) de las rastras removedores de sólidos espesados con instrumentación adecuada para el control en su

operación continua. La rastra sube para aliviar el torque o baja automáticamente al bajar el torque. El Espesador se opera en condiciones estacionarias mediante lazo de control interconectado entre los medidores de flujo y densidad del lodo espesado con el variador de frecuencia del motor de las bombas de recirculación y descarga. La presión de la cama de lodos y el nivel de su interface se puede monitorear conjuntamente con el control del PLC del Espesador desde el HMI (interface hombre máquina) y desde el cuarto de control de la Planta de Relaves. La dosificación del agente floculante en solución para las condiciones estacionarias se hace por un enlace de control entre el flujo de entradas al Espesador y el variador de frecuencia del motor en la bomba de dosificación de floculante, con desplazamiento positivo. La planta de floculante deberá estar ubicada cerca al Espesador.

El Espesador tiene interruptores automáticos ubicados en el mecanismo de las rastras. Cada interruptor actúa cuando se levantan o bajan las rastras, cuando ocurra un alto torque o bajo torque, respectivamente. Si el sistema está en automático y se ha arrancado desde el HMI del PLC, el accionamiento automático de levante y bajada de las rastras estará en funcionamiento en coordinación con sus respectivas alarmas. La posición del mecanismo de levante de las rastras se indica y puede ser operado manualmente desde el HMI del PLC o desde el cuarto de control.

El monitoreo de la presión y el sensor del nivel de la cama de

lodos en el Espesador, así como la medición de flujo y densidad complementa el control de la operación del Espesador.

**f) Adición de Floculante**

La optimización del proceso de sedimentación se logra con la ayuda de un agente floculante. Este se dosifica en solución diluida a razón de 10g/t de sólidos alimentados al Espesador. El consumo diario del Espesador será de aproximadamente 90 Kg/día de agente floculante, dependiendo de la optimización del consumo que se haga por dilución en línea de la solución preparada y la eficiencia de la dilución del relave que tenga lugar en el pozo central de alimentación al Espesador (feedwell). Una bomba dosificadora, desde la solución preparada de floculante al 0.25% de sólidos, permite proporcionar la adición de floculante al Espesador.

Se prepara la solución al 0.25 % en un tanque agitador, se transfiere en línea antes del contacto con la alimentación del relave. La solución preparada se dosifica con una bomba de desplazamiento positivo y en la línea de salida de la bomba se hace la dilución final con agua al 0.03% para ponerla en contacto con el relave de alimentación al Espesador. Los tanques de preparación y dosificación tendrán la capacidad suficiente para permitir la dilución desde 0.25% a 0.03%.

La planta de floculante la componen: Sistema de alimentación en línea, tanque de agitación, dos tanques de acondicionamiento y

almacenamiento, 2 bombas DP dosificadoras.

La solución de floculante se bombea desde el tanque de almacenamiento por las bombas de desplazamiento positivo (una operando y la otra en stand by). Las bombas deberán estar montadas en una base simple con todas las válvulas de aislamiento, indicadores de presión, válvulas de desfogue, totalizadores de flujo y válvulas de inspección, todo dentro de un paquete suministrado por el Proveedor. La velocidad de la bomba se ajusta de acuerdo con una calibración previa de los puntos de referencia en el variador de frecuencia de la bomba, en forma tal que la dosificación del floculante esté de acuerdo con el valor establecido para la masa de sólidos que ingresa al Espesador.

Para la operación, la dosificación del floculante es del orden de los 20gr/t (gramos por tonelada métrica de sólidos). Según el estudio de floculación realizada por Westech. Algunos ajustes serán necesarios durante las pruebas de arranque y para la operación continua. Se intenta en principio agregar el floculante en el tanque de alimentación al Espesador para evitar al máximo la degradación de los "flocs" formados (finos aglomerados).

#### **g) Bombeo del Underflow del Espesador**

La impulsión de los relaves espesados del Espesador hacia la presa de relaves de Atacocha se realizará por medio de dos bombas de desplazamiento positivo. Antes, esta descarga del Underflow del

Espesador es bombeada hacia tres tanques acondicionadores, desde donde se impulsa el relave con dos bombas de precarga (una operando y una de stand by), hacia las dos bombas Geho (una operando y una de stand by). Con la opción de uso con cualquiera de las bombas Geho.

Las Bombas Geho, finalmente bombean los relaves, a través de una tubería de 6 km que pasa por el túnel de integración de 3.6 km entre El Porvenir y Atacocha, luego por superficie hacia un tanque colector intermedio donde se mezclan con los relaves provenientes de la planta de Atacocha; los relaves mezclados se depositarán en la presa de relaves de Atacocha. Un medidor de flujo y densidad interconectado con las bombas de Geho permite mediante una lógica de control regular la velocidad de la pulpa espesada.

También existe una bomba de recirculación en la descarga del Espesador que envía el relave del Underflow hacia el tanque de mezcla de relaves que alimenta al Espesador que opera cuando se presenta algún problema de bombeo de relaves en la descarga del Espesador y para ir consiguiendo la mezcla de relaves con el porcentaje de sólidos requerido.

Todas las válvulas e instrumentos tendrán acceso para mantenimiento y operación de acuerdo con el estándar de Nexa.

## **h) Transporte del Relave Desde El Porvenir Hacia Relavera de Atacocha**

El transporte de una pulpa con relativo alto porcentaje de sólidos (55% a 70%) en la descarga del Espesador es un compromiso entre la capacidad de bombeo de las bombas centrifugas (una operando y la otra de stand by) y las pérdidas por fricción en la tubería de conducción. El % de sólidos en la descarga del Espesador será al menos 55% de sólidos para pulpas finas y de por lo menos 60% para el transporte de pulpas gruesas.

Para el transporte se dispone de una tubería de acero de 10" de diámetro exterior revestida interiormente de HDPE, de manera que deja un diámetro interno de 7 pulgadas. La longitud de la tubería en total es de 6,160m. El primer tramo abarca desde el Espesador de relaves de cono profundo en el Porvenir, hasta la bocamina San Carlos, el cual mide 600m; luego viene el tramo subterráneo desde la bocamina San Carlos hasta la bocamina Atacocha BM 4050, el cual mide 3560m; y finalmente el tramo comprendido entre la bocamina Atacocha hasta el tanque distribuidor en el dique de la presa Atacocha que mide 2000m aproximadamente.

Las altitudes de la instalación son las siguientes: Estación de bombas 4020 msnm, BM San Carlos 4070 msnm, BM Atacocha 4050-4100 msnm y el tanque distribuidor localizado a 4159 msnm. Este tanque deberá ser reubicado para los recrecimientos

planificados del dique de la presa de Atacocha 4128 y 4155, manteniendo una diferencia de nivel de 40m, la cota final estimada del tanque es la 4190, debiendo la bomba vencer una diferencia de nivel de 170m.

### **i) Servicios Involucrados**

#### **Aire Comprimido**

La planta de relaves requiere aire comprimido para la propia instalación, y aire seco para los instrumentos de control. El aire para la planta es suministrado por una tubería de 2" de diámetro a una presión de 95 PSI. Se está considerando secadores de aire para los instrumentos y la planta. Los tanques pulmón reciben aire comprimido seco, uno de ellos es utilizado para la instrumentación neumática. El aire de planta es utilizado en el aplicador de grasa a los engranajes del sistema hidráulico de fuerza del Espesador, y en otros servicios menores.

#### **Agua de Sello para Bombas**

El agua de sello para las bombas centrífugas de relaves es suministrada las líneas de agua que vienen del tanque de agua de sello. La tubería de agua de sello se toma de la alimentación de agua del Overflow del Espesador. El suministro de agua de sello es protegido por los interruptores de flujomínimo FSL, y en el caso de las bombas centrífugas de precarga, la protección es doble, sumando medidores de presión PIT. EL tanque de agua de sello está

provisto de medidor de nivel.

### **Energía Eléctrica**

La alimentación de energía para el Sistema de Bombeo de Relaves será desde el sistema eléctrico en 50kV que llegará a la SS EE de Manejo de Relaves a través de una extensión de línea de transmisión, en donde será transformada a 13.2kV y 4.16kV por un transformador de tres (03) devanados. El nivel 4.16kV se utilizará para alimentar directamente a grandes cargas de motores del nuevo proceso de Manejo de Relaves desde un tablero con variadores de velocidad (VFD) y transformado a 0.48kV para cargas menores de los tableros CCM y servicios auxiliares. En el suministro en 0.48kV, todos los motores de bombas centrifugas de relaves y agua que requieran modulación de caudal operarán con variadores de frecuencia (VFDs), el Espesador opera con un Arrancador Suave (SST) y los demás motores de menor potencia (agua de sello y agitadores de tanques de mezcla de relaves) operarán en 0.48kV con arrancadores directos.

La energía eléctrica en media tensión en 13.2kV estará disponible para otras aplicaciones futuras de operaciones.

El sistema eléctrico de la UM El Porvenir cuenta con una fuente propia de generación de energía, la central hidroeléctrica Candelaria de 3.5MW, conectada a la barra de 50kV en paralelo con la red pública que garantizará el suministro de energía al nuevo sistema en



caso de falla del sistema público evitando el atascamiento o sobre torque de las rastras consecuencia de una parada intempestiva del espesador.

### **Parada y limpieza de la Línea de Relaves.**

Cuando se requiera detener el envío o vertimiento hacia la Presa de Relaves de Atacocha, la instalación deberá pararse, de tal manera que el material que aún está en el sistema debe terminarse vaciarse.

El bombeo desde el Espesador se puede detener simplemente recirculando la descarga del Espesador derivando la alimentación de los relaves hacia la poza de emergencia o hacia la presa del porvenir.

Para detener el sistema de bombeo se abre el ingreso de agua de lavado que alimentan a las bombas de precarga y de carga, Luego se detiene la alimentación del relave hacia los tanques acondicionadores.

Para detener las Bombas de Geho se envía agua para lavado de la línea de tubería principal (relaveducto) hasta que llegue agua clara al tanque pulmón ubicado en la relavera en Atacocha.

El tanque mezclador de relaves continuará descargando automáticamente la mezcla hasta que quede vacía.

Se puede iniciar la limpieza del tanque mezclador usando mangueras de alta presión en el área del equipo.

Los drenajes y aguas de limpieza son dirigidos por las pendientes hacia el área del sumidero.

La limpieza (agua) del sistema de bombeo de relaves conlleva dos situaciones que se pueden presentar:

- γ Limpieza rutinaria después de paradas, o
- γ Limpieza por emergencia debido a corte de energía

Una vez más, solamente el personal calificado debe estar involucrado en la limpieza del sistema, porque esta debe efectuarse con líneas y mangueras presurizadas.

#### **j) Capacidad de producción de la Unidad Pasco (Atacocha y Porvenir)**

Actualmente la capacidad total de tratamiento de la unidad Pasco es de 11ktpd siendo el aporte de Atacocha de 4.5k tpd y el aporte de El Porvenir de 6.5k tpd y se ha planificado el crecimiento de la planta el Porvenir a 7.5 ktpd, los escenarios previstos para la unidad Pasco son:

1er Escenario: capacidad de tratamiento total EP 6.5K tpd Relave total 6.1 ktpd.

2do Escenario: capacidad de tratamiento total EP 7.5 k tpd Relave total 7.04 ktpd.

Para los escenarios mostrados los relaves de El Porvenir serán espesados a alta densidad y depositados en la relavera de Atacocha. Se requiere que estos relaves sean espesados para maximizar la

vida útil de la presa.

### k) Manejo de Relaves de la Unidad Atacocha

El relave de Atacocha se envía a la planta de relleno hidráulico donde luego de la clasificación los gruesos se envían a mina y los finos se envían al espesador convencional de 37 m de diámetro. En las horas que no trabaja el relleno hidráulico todo el relave se envía al espesador.

La Tabla muestra la cantidad de relaves en las dos condiciones de operación RH = ON y RH = OFF.

**Tabla 12**

*Resumen de procesamiento de relaves Unidad Atacocha 4500tpd.*

DESCRIPCIÓN	A	1	2	3	A Presa Atacocha con RH ON	A Presa Atacocha con RH OFF
	Tratamiento Planta	Relave Final Flot	O/F RH Ciclones	U/F RH Ciclones	4 Under espesador	4 Under espesador
Flujo de sólidos secos, t/h	187.5	174.2	156.8	17.4	156.8	174.2
Sólidos, S.G	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
Sólidos, %.	30.3	28.9	14.7	68.5	55.0	56.0
Densidad	1.25	1.23	1.11	1.80	1.56	1.57
Agua, m3/h	431	429	911	8	128	137
Pulpa, m3/h	497	491	966	14	183	198

## I) Manejo de Relaves de la Unidad Porvenir Capacidad de Producción 6500 TPD

Tabla 13

Condición a capacidad normal con RH ON y RH OFF.

DESCRIPCIÓN	Concentrado				38% @ Espesador				Escenarios de Descarga del Espesador con RH ON								Escenarios de Descarga del Espesador con RH OFF						
	Zinc		Pb		Cu		Over Ciclon		62% @ mina				h/d 18				h/d 6						
	5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclon	1	2	3	4	5	6a	6b	6c	6d	7	8	9	10a	10b	10c	10d	11	12	
Tratamiento Planta	Concentrado Zinc	Concentrado Pb	Concentrado Cu	Relave Final Flot	Relave a RH	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon	Alimento Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	Over Flow Espesador	Relave a RH	Alimento Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	Over Flow Espesador	Over Flow Espesador
Flujo de sólidos secos,	270.8	14.4	4.2	0.7	251.6	110.0	41.8	68.2	183.4	183.4	183.4	183.4	183.4	5.2	0.0	251.6	251.6	251.6	251.6	251.6	251.6	5.3	5.4
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	3.00	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95	2.95
Sólidos, %	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	28.10	14.42	67.24	23.09	60.00	62.50	65.00	70.00	1.00	28.05	28.10	62.50	65.00	67.50	70.00	70.00	1.00	1.00
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.23	1.11	1.80	1.18	1.66	1.70	1.75	1.86	1.01	1.23	1.23	1.71	1.76	1.82	1.87	1.87	1.01	1.01
Agua, m3/h	647	1.33	0.45	0.06	644	281	248	33	611	122	110	99	79	512	0	644	151	135	121	108	523	536	
Pulpa, m3/h	737	5	1	0	728	318	262	56	673	184	172	161	141	514	0	728	235	219	205	192	525	538	

Tabla 14

Condición a capacidad máxima de producción.

DESCRIPCIÓN	Over Ciclon 38% @ Espesador				Escenarios de Descarga del A (PROBABLE)						
	Under Ciclon		62% @ mina		h/d x						
	A	1	2	3	4	5	6a	6b	6c	6d	7
Tratamiento Planta	Relave Final Flot	O/F RH Ciclon	U/F RH Ciclon	De Poza de Emerg.	Alimento Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	U/F Espesador	Over Flow Espesador
Flujo de sólidos secos,	270.8	251.6			0.0	251.6	251.6	251.6	251.6	251.6	5.3
Sólidos, S.G	3.00	3.00			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95
Sólidos, %	29.52	28.10			28.10	28.10	62.50	65.00	67.50	70.00	1.00
Densidad	1.25	1.23			1.23	1.23	1.71	1.76	1.82	1.87	1.01
Agua, m3/h	647	644			0	644	151	135	121	108	523
Pulpa, m3/h	737	728			0	728	235	219	205	192	525

## ñ) Manejo de Relaves de la Unidad Porvenir Capacidad de producción Futura de 7500 TPD

Tabla 15

Condición normal a RH ON Y RH OFF.

DESCRIPCIÓN	Concentrado				Over Ciclon		38% @ Espesador		Escenarios de Descarga del Espesador con RH ON								Escenarios de Descarga del Espesador con RH OFF					
	Zinc	Pb	Cu	Under Ciclon	Under Ciclon	62% @ mina	h/d	18	6a	6b	6c	6d	7	8	9	10a	10b	10c	10d	11	12	
	5.3%	1.5%	0.2%	Under Ciclon	1	2	3	4	5	6a	6b	6c	6d	7	8	9	10a	10b	10c	10d	11	12
Flujo de sólidos secos,	312.5	16.6	4.8	0.8	290.3	125.0	47.5	77.5	212.8	212.8	212.8	212.8	212.8	6.0	0.0	290.3	290.3	290.3	290.3	290.3	6.1	6.2
Sólidos, S.G	3.00	4.10	5.02	4.54	3.00	3.00	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95	2.95
Sólidos, %.	29.52	91.56	90.19	91.61	28.10	28.10	14.42	67.24	23.19	60.00	62.50	65.00	70.00	1.00	28.05	28.10	62.50	65.00	67.50	70.00	1.00	1.00
Densidad	1.25	3.25	3.60	3.50	1.23	1.23	1.11	1.80	1.18	1.66	1.70	1.75	1.86	1.01	1.23	1.23	1.71	1.76	1.82	1.87	1.01	1.01
Agua, m3/h	746	1.53	0.52	0.07	743	320	282	38	705	142	128	115	91	590	0	743	174	156	140	124	603	619
Pulpa, m3/h	850	6	1	0	840	362	298	64	777	214	200	187	163	592	0	840	271	253	237	221	605	621

Tabla 16

Condición a máxima capacidad.

DESCRIPCIÓN	Over Ciclon				38% @ Espesador		Escenarios de Descarga del A (PROBABLE)				
	Under Ciclon	Under Ciclon	62% @ mina	h/d	x	5	6a	6b	6c	6d	7
	A	1	2	3	4	al	U/F	U/F	U/F	U/F	Over Flow
Flujo de sólidos secos,	312.5	290.3			0.0	290.3	290.3	290.3	290.3	290.3	6.1
Sólidos, S.G	3.00	3.00			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95
Sólidos, %.	29.52	28.10			28.10	28.10	62.50	65.00	67.50	70.00	1.00
Densidad	1.25	1.23			1.23	1.23	1.71	1.76	1.82	1.87	1.01
Agua, m3/h	746	743			0	743	174	156	140	124	603
Pulpa, m3/h	850	840			0	840	271	253	237	221	605

Entonces de todo lo señalado anteriormente se tiene que en la actualidad la capacidad total de tratamiento del Complejo Pasco es de 11ktpd, la Planta de Atacocha tiene una capacidad de tratamiento de 4,5k tpd y la capacidad de tratamiento de la Planta El Porvenir es 6,5k tpd, debido a la mayor producción de mineral para ser tratado en la Planta El Porvenir se ha planteado incrementar la capacidad de tratamiento a 7,5 ktpd, por lo que los relaves de El Porvenir serán espesados a alta densidad y depositados en la relavera de Atacocha, la finalidad que los relaves sean espesados es para maximizar la vida útil de la presa hasta un periodo de 8 años. La generación de mayor cantidad de relave requiere ser espesado por lo que el transporte de una pulpa con alto porcentaje de sólidos que van 55% a 60% en la descarga del Espesador requiere un sistema de bombeo adecuado. De modo que para la impulsión de los relaves espesados del Espesador hacia la presa de relaves de Atacocha se realizará por medio de un sistema de bombeo consistente en dos bombas de desplazamiento positivo.

Entonces tal como se ha mostrado en los puntos anteriores todas las consideraciones necesarias para el cumplimiento del diseño se concluye que es factible la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados desde El Porvenir hasta la relavera de Atacocha, por lo que la hipótesis: El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar

significativamente la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú, es verdadera.

#### **4.3.2 Hipótesis Específicas**

##### **Hipótesis específica a)**

Como una primera hipótesis se consideró que: “El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.”

Para esta hipótesis es necesario tener en cuenta que se van a recuperar agua del rebalse de espesador y del embalse de la presa Atacocha para enviar de allí a la Planta El porvenir de modo que se minimizará el consumo de agua.

Las recuperaciones se realizarán de la siguiente manera:

##### **Recuperación de agua del rebalse del espesador**

El agua recuperada del proceso se recicla del Overflow (rebalse) del Espesador. El agua de rebose del Espesador se envía por gravedad a la planta de tratamiento de agua en donde mediante un proceso de clarificación y la utilización de reactivos tales como, coagulantes, floculante, cal y ácido, se logra alcanzar la calidad de agua para el proceso. En el rebose del espesador se tendrá un medidor de turbidez.

### **Recuperación de agua desde el embalse de la presa Atacocha**

El agua se recupera con bombas y se envía a un nuevo tanque ubicado en la cota 4195 y desde allí se envía hacia la planta de tratamiento ubicada en el Porvenir. El caudal que previsto por recuperar es de 30 a 40 lps.

Entonces con los procesos anteriormente descritos se minimizará el consumo de la cantidad de agua fresca requerida; por lo tanto, se puede que la hipótesis es verdadera.

#### **Hipótesis específica b)**

Como una segunda hipótesis de la investigación se ha propuesto que: “El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio ambiente en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.”

Para el cumplimiento de la hipótesis se tuvo en cuenta que el proyecto buscó lograr un desarrollo armónico del programa con el medio social, económico y cultural de las comunidades vecinas. A través de un reconocimiento de las vulnerabilidades comunitarias y ambientales y a una acción que minimice los impactos que puedan producirse. También se consideró alcanzar un beneficio neto para las comunidades y el entorno de Nexa. Se reconocieron principalmente los aspectos de protección del medio ambiente,



impacto social e impacto laboral.

Por lo que se puede concluir que la hipótesis específica es verdadera.

#### **4.4 Discusión de resultados**

Según Seddon, K.D. y Williams, M.P.A (2010) en “The development and design of thickened tailings discharge methods – a review” concluyen que el método de relaves espesados da como resultado un perfil de riesgo diferente en comparación con las opciones de almacenamiento más convencionales. Los esquemas de descarga espesados siempre deben tenerse en cuenta en la fase de evaluación de cualquier proyecto nuevo. En la actualidad hay al menos treinta ejemplos de almacenamiento de relaves espesados en el mundo. Entonces concordando con la investigación realizada se puede señalar en primer lugar que Nexa está siempre pendiente de los avances tecnológicos, por lo que es una de primeras compañías mineras en el país que desarrollan el diseño y la implementación de un sistema de bombeo para relaves espesados y que permitirán que las actuales presas de relave del Complejo Pasco incrementen su vida útil en 8 años.

## CONCLUSIONES

1. Al realizar el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados se garantiza la continuidad de la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.
2. Al analizar el proyecto de un sistema de bombeo de relaves espesados se considera que la capacidad de tratamiento de la Planta El Porvenir es 6,5k tpd será ampliado a 7,5 ktpd, por lo que los relaves de la planta tienen que ser espesados a alta densidad y depositados en la relavera de Atacocha maximizando la vida útil de la presa hasta un periodo de 8 años.
3. Al determinar que habrá mayor cantidad de relaves, este requiere ser espesado obteniéndose una pulpa con alto porcentaje de sólidos que van 55% a 60% en la descarga del Espesador por lo que se debe garantizar un sistema de bombeo de relaves pesados adecuado.
4. Al determinar los requerimientos para la impulsión de los relaves espesados del espesador hacia la presa de relaves de Atacocha se estableció que se debe realizar por medio de un sistema de bombeo de

- relaves pesados consistente en dos bombas de desplazamiento positivo.
5. Para minimizar el consumo de agua fresca se reciclará el overflow del espesador mediante el proceso de clarificación y uso de reactivos. De la presa Atacocha se recupera el agua con bombas, se envía a un tanque ubicada en cota 4195 y se envía a planta El Porvenir recuperando agua de 30 a 40 lps.

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que durante el desarrollo de la ingeniería se debe planificar las paradas para los tiempos requeridos para la planta El Porvenir.
2. Se recomienda que el personal técnico de la U.M. El porvenir debe visitar, capacitarse y captar la experiencia de Atacocha y Cerro Lindo para puesta en marcha del Sistema de Bombeo de Relaves y Espesamiento de relaves.
3. Se recomienda contratar como parte del suministro el servicio de capacitación para el personal que operará el sistema de espesamiento y transporte de relaves hacia la relavera (Fabricante del Espesador y al fabricante de las Bombas DP).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borges Carneiro, A. C. (2020). *Evaluating alternative tailings management strategies is more than just Net Present Value*. Tesis Doctoral. The University of Western Australia.
- Custodio Abregú, S. J. (2023). *Diseño del sistema de bombeo y líneas de descarga de los espesadores de relave para una mina cuprífera en la región Junín*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico.
- McPhail, G., Noble, A., Papageorgiou, G. y Wilkinson, D. (2004). *Development and Implementation of Thickened Tailings Discharge at Osborne Mine, Queensland, Australia*.  
<https://www.researchgate.net/publication/242751110>
- Niño Martínez, C. A. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera*. Tesis para título Profesional de Ingeniero de Mecánico Eléctrico. Universidad de Piura.

Seddon, K.D. y Williams, M.P.A (2010). *The development and design of thickened tailings discharge methods – a review.*

doi:10.36487/ACG\_rep/1008\_40\_Seddon

<https://www.reallygoodinnovation.com/glossaries/implementation>

[https://angroupcn.com/the-design-and-operation-of-slurry-pump-systems-for-tailings-management.](https://angroupcn.com/the-design-and-operation-of-slurry-pump-systems-for-tailings-management)

<https://www.taskenter.com/blog/nwarticle/57/1/que-es-la-implementacion-de-un-proyecto>

<https://upkeep.com/es/learning/difference-operations-maintenance>

# **ANEXOS**

**ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE RELAVES ESPESADOS PARA GARANTIZAR CONTINUIDAD DE OPERACIONES DEL COMPLEJO PASCO DE NEXA RESOURCES PERÚ”**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	METODOLOGÍA
<p>GENERAL</p> <p>¿De qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Determinar de qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p>	<p>GENERAL</p> <p>El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite garantizar significativamente la operación del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo-Explicativo.</p>
<p>ESPECÍFICOS</p> <p>c) ¿De qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?</p> <p>b) ¿Cómo el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>a) Analizar de qué manera el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p> <p>b) Determinar cómo el diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p>	<p>ESPECÍFICAS</p> <p>a) El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente el consumo de agua fresca en la Planta El Porvenir del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p> <p>b) El diseño y la implementación del sistema de bombeo de relaves espesados permite minimizar significativamente los impactos negativos en seguridad, salud y medio en el Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p>	<p><b>Diseño de la Investigación:</b> Experimental.</p> <p><b>Población</b> Planta El Porvenir del del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p> <p><b>Muestra</b> Planta El Porvenir del del Complejo Pasco de Nexa Resources Perú.</p>



## ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO.

