



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO  
PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS  
RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS  
MINERAS DE TACNA, 2022**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. ALBERTO APAZA GALLEGOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**JULIACA – PERÚ**

**2023**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO  
PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS  
RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS  
MINERAS DE TACNA, 2022**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. ALBERTO APAZA GALLEGOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Dr. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Dr. LUIS MANUEL TERRAZOS UNGARO

**ASESOR DE TESIS**

:   
Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18**



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### RESOLUCIÓN DECANAL N° 1290-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 28 de noviembre de 2023

#### VISTOS:

El OFICIO N° 092-2023-D-EPIME-FICP-UANCV del Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°1238-2023 de fecha 15 de noviembre de 2023 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**; y el trámite solicitado por el Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica y;

#### CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

- **Presidente** : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**
- **1er Miembro** : **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- **2do Miembro** : **Dr. LUIS MANUEL TERRAZOS UNGARO**
- **Asesor** : **Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTICULO PRIMERO.** - **APROBAR** Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista** de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : 29 de noviembre de 2023
- **HORA** : 8:00
- **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

**ARTICULO SEGUNDO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

C.º. 4491 2013  
19949340  
Escuela Profesional



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 95631



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### RESOLUCIÓN DECANAL N° 955-2022-D-FICP-UANCV

Juliaca, 19 de setiembre de 2022

#### VISTOS:

El **INFORME N° 423-2022-D-UI-FICP.UANCV**, del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 021-2022-UANCV-FICP-UI-CI** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 019-2022-UANCV-FICP-UI-CI** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **13 de setiembre de 2022**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el tema titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**.

#### CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**
- \* **1er Miembro** : **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- \* **2do Miembro** : **Dr. LUIS MANUEL TERRAZOS UNGARO**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**, correspondiente a la línea de investigación: **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTÍCULO PRIMERO.** - APROBAR, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**.

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**ARTÍCULO SEGUNDO.** - RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, Ing. **WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**

**ARTÍCULO TERCERO.** - DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47798



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 95531

cc:  
archivo 2022  
interesado (a)  
/nyg



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1238-2023-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 15 de noviembre de 2023

**VISTOS:**

El **INFORME N°718-2023-D-UI-FICP.UANCV**, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Ingeniería Mecánica Eléctrica, **INFORME N° 013-2023-UANCV-FICP-UI-CI** del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **RESOLUCIÓN DECANAL N° 955-2022-D-FICP-UANCV** que aprueba el Proyecto de Investigación el **19 de setiembre del 2022** y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha **19 de setiembre de 2022** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el tema titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) Titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022.**

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**
- \* **1er Miembro** : **Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- \* **2do Miembro** : **Dr. LUIS MANUEL TERRAZOS UNGARO**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022.**

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 1024-2023, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022.**

Estando, conforme a la **RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV** de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR**, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022.**

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER**, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al Ing. **WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**.

**ARTICULO TERCERO.-** La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP: 47290



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP: 93531

cc  
archivo 2023  
interesado (a)



## DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022

### INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	12%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%



Metadatos Complementarios



<b>Título de la tesis</b>	
<b>DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	ALBERTO APAZA GALLEGOS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46730355
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0007-5182-8878">https://orcid.org/0009-0007-5182-8878</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02393436
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-1885-7678">https://orcid.org/0009-0003-1885-7678</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	LUIS MANUEL TERRAZOS UNGARO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02440087



<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	<b>Tecnología e Ingeniería Mecánica – P18</b>
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Tacna Provincia: Tacna Distrito: Gregorio Albarracín Longitud oeste: - 17.9839300106598 Latitud sur: -70.22424380087345
	 <p><a href="https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1vtWaG3Pf-935a7Uou5KG_uhCxbSdlm4&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1vtWaG3Pf-935a7Uou5KG_uhCxbSdlm4&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2022 - diciembre 2023
URL de disciplinas OCDE - Librería	<b>Ingeniería mecánica</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00</a> <b>Mecánica aplicada</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02</a>


 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
 Dr. Gerardo Carrillo Sosa  
 DIRECTOR



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo **ALBERTO APAZA GALLEGOS**, identificado con DNI Nro. **46730355**, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

**MECÁNICA ELÉCTRICA,**

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

**DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**

Asesorado por: **Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 29 de mayo del 2024



Firma del Asesor  
(obligatoria)



Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

*A Dios, por el amor incondicional que nos da. A mi madre y padre: En gratitud a su incansable apoyo y abnegado sacrificio que hizo posible realizar el anhelo de vernos formados profesionales. Y así mismo a mi hermano por ser mi motivo de superación, A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica en especial a mi promoción, por compartir momentos únicos en la Universidad.*

*ALBERTO APAZA GALLEGOS*



## AGRADECIMIENTO

*Mi más sincero agradecimiento a Dios por guiarme durante esta etapa de mi vida, a mis grandes docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, mi alma mater, por compartir sus conocimientos durante mi permanencia en esta casa superior de estudios que motivaron en mi persona en mi persona por la Ingeniería.*

*ALBERTO APAZA GALLEGOS*



**INDICE**

DEDICATORIA..... i

AGRADECIMIENTO ..... ii

ÍNDICE DE TABLAS..... viii

ÍNDICE DE FIGURAS ..... ix

RESUMEN..... x

ABSTRACT ..... xi

INTRODUCCIÓN..... xii

**CAPÍTULO I**

**ASPECTOS GENERALES**

1.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ..... 13

1.1.1 Problema General ..... 15

1.1.2 Problema Específicos ..... 15

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 15

1.2.1 Objetivo General ..... 15

1.2.2 Objetivos Específicos ..... 15

1.3 JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO ..... 16

1.3.1 Justificación técnica ..... 16

1.3.2 Justificación económica ..... 16

1.3.3 Justificación social ..... 17

1.3.4 Justificación ambiental ..... 17

1.4 Hipótesis ..... 17

1.4.1 Hipótesis General ..... 17

1.4.2 Hipótesis Específicas ..... 17

1.5 Variables ..... 18

1.5.1 Definición conceptual de la variable ..... 18

1.5.2 Operacionalización de las variables ..... 19

**CAPITULO II**

**MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes de la investigación ..... 20

2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 20



2.1.2	Antecedentes nacionales .....	21
2.1.3	Antecedentes locales .....	22
2.2	Base teórica .....	23
2.2.1	Espesadores .....	23
2.2.2	Clasificación de los espesores .....	23
2.2.2.1	Espesadores según su clasificación estructural .....	23
2.2.2.1.1	Espesadores de puente.....	23
2.2.2.1.2	Espesadores de tracción periférica .....	24
2.2.2.2	Espesadores según su clasificación operacional .....	24
2.2.2.2.1	Espesadores convencionales .....	24
2.2.2.2.2	Espesadores de alta capacidad o high rate: .....	24
2.2.2.2.3	Espesadores de alta densidad o high density.....	24
2.2.2.2.4	Espesadores de cono profundo.....	24
2.2.3	Componentes del espesador .....	25
2.2.3.1	Componentes estructurales.....	25
2.2.3.2	Tanque.....	26
2.2.3.3	Rastras .....	27
2.2.3.4	Sistema de accionamiento .....	27
2.2.3.5	Estructura de soporte.....	28
2.2.3.6	Mecanismo de elevación de rastras .....	29
2.2.3.7	Bandeja de alimentación .....	29
2.2.3.8	Sistema de recuperación del overflow .....	30
2.2.3.9	Sistema de descarga del underflow .....	31
2.2.4	Uso del agua en operaciones mineras .....	31
2.2.5	Relaves mineros .....	32
2.2.6	Separación solido liquido.....	34
2.2.7	Sedimentación o espesamiento.....	35
2.2.8	Floculante.....	35
2.2.8.1	Tipos de floculantes .....	36
2.2.8.1.1	Floculantes minerales.....	36
2.2.8.1.2	Floculantes sintéticos .....	36



2.2.8.1.3	Floculantes aniónicos .....	37
2.2.8.1.4	Floculantes no iónicos .....	37
2.2.8.1.5	Floculantes catiónicos .....	37
2.2.9	Tekla Structures.....	37
2.3	Marco conceptual .....	40
2.4	Normas y estándares.....	42
2.4.1	Estándares y códigos según la norma API 650. ....	42
2.4.1.1	Especificación de la norma API 650 .....	42

### CAPITULO III

#### PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Diseño de la investigación.....	44
3.2	Método aplicado a la investigación.....	45
3.3	Población y muestra .....	45
3.3.1	Población.....	45
3.3.2	Muestra.....	45
3.4	Técnica e instrumento para la recolección de datos .....	45
3.4.1	Técnicas.....	45
3.4.2	Instrumentos .....	45
3.5	Plan de recolección y procesamiento de datos .....	46
3.6	Procesamiento de la Información.....	47

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1	Dimensionamiento y diseño del espesador bajo la Norma API - 650.....	48
4.1.1	Diseño del espesador método Coe & Clevenger.....	48
4.1.1.1	Características del relave.....	49
4.1.1.2	Determinación porcentaje de solido.....	50
4.1.1.3	Concentración inicial ( $C_0$ ).....	50
4.1.1.4	Concentración final ( $C_u$ ).....	50
4.1.1.5	Determinación de altura de UNDERFLOW ( $H_u$ ) .....	51
4.1.1.6	Determinación del área unitaria de tanque ( $A_u$ ).....	51
4.1.1.7	Determinación del esfuerzo en el fondo del tanque .....	52



4.1.1.8	Dimensionamiento y diseño del tanque del espesador.....	53
4.1.1.9	Determinación del diámetro del espesador .....	54
4.1.1.10	Determinar la altura del espesador .....	55
4.2	Datos para la instalación de espesador optimizado.....	57
4.2.1	Normas aplicables para la instalación del tanque de espesador .....	57
4.2.1.1	Normas de soldadura.....	57
4.2.1.2	Normas y abreviaturas estructurales .....	58
4.2.1.3	Bombas en el Sistema del espesador.....	58
4.2.1.3.1	Bombas dilución y recirculación.....	58
4.2.1.3.2	Bombas de aguas recuperadas.....	58
4.2.1.4	Sistema de pinturas.....	59
4.2.1.5	Materiales a emplear en el espesador.....	59
4.2.1.5.1	Pernos de anclaje.....	60
4.2.1.5.2	Aplicación de Grout en estructura.....	61
4.2.1.5.3	Uniones Apernadas para Estructura de Espesadores.....	64
4.2.1.6	Materiales Estructurales Dentro de un Espesador.....	67
4.2.1.6.1	Tipos de Uniones Estructurales.....	68
4.2.1.6.2	Bases de Pilares.....	69
4.2.1.6.3	Unión Viga – Pilar.....	69
4.2.1.6.4	Unión Simple Viga – Viga.....	70
4.2.1.6.5	Unión Vertical de Arriostramientos.....	71
4.2.1.6.6	Planchas para el Tanque.....	71
4.2.1.6.7	Soldadura en Tanques.....	72
4.2.1.7	Sistema de Giro de Rastras.....	73
4.3	Resumen de las dimensiones del espesador de tracción periférico .....	75
4.3.1	Espesador de Tracción Periférica.....	75
4.3.1.1	Datos de espesador convencional de la minera.....	76
4.3.1.2	Caudal de Relave Ingresado por Año al Espesador de Tracción Periférica.....	77
4.3.1.3	Espesador con Procedimiento de Levante “HIGH RATE”.....	78
4.3.1.4	Datos de Espesador Optimizado.....	78
4.3.1.5	Caudal del Relave Ingresado al Espesador por Día.....	79



4.3.1.6	Floculante Ingresado al Espesador.....	80
4.3.1.7	Descarga de Relave hacia Pozas. ....	81
4.3.1.8	Volumen Recuperado de Agua con el Espesador Optimizado en un Año.....	83
4.3.2	Análisis Económico.....	84
4.3.2.1	Generalidades. ....	84
4.3.2.2	Procura de Materiales.....	84
4.3.2.3	Costos de Instalación del Espesador. ....	87
4.3.2.4	Costos Finales para la Instalación del Espesador.....	88
	CONCLUSIONES.....	90
	RECOMENDACIONES .....	92
	BIBLIOGRAFIA.....	93
	Anexos.....	95
	Anexo 01: Matriz de Consistencia .....	96



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	19
Tabla 2: Código y especificaciones de tanques .....	43
Tabla 3. Características del relave .....	49
Tabla 4: Tabla para el espesor mínimo del fondo del tanque .....	53
Tabla 5: Tabla para cálculo de espesor de cuerpo de tanque.....	54
Tabla 6: Diámetro del espesador (pies) prueba con 0.025 lb/Tn de floculante .....	55
Tabla 7: Altura del espesador en metros.....	57
Tabla 8: Dimensiones del espesador de tracción periférica.....	77
Tabla 9: Agua recuperada en un año en el espesador de tracción periférica .....	77
Tabla 10: Alimentación Tubería Underflow (fedd).....	79
Tabla 11: Floculante ingresado al espesador en un día. ....	80
Tabla 12: Relave saliente del espesador hacia las pozas (descarga).....	82
Tabla 13: Agua recuperada en un año en el espesador optimizado. ....	84
Tabla 14: Procura del mecanismo del espesador Relave .....	85
Tabla 15: Procura de bombas y válvulas del espesador.....	85
Tabla 16: Procura De Soporte Del Espesador .....	86
Tabla 17: Procura de costo de instalación del espesador.....	87
Tabla 18: Costo De maquinarias para la instalación.....	88
Tabla 19: Costo Total Para La Instalación Del Espesador .....	89



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación operacional de esperadores .....	25
Figura 2: Elementos básicos de los espesadores .....	25
Figura 3: Tanque Espesador de Relaves.....	26
Figura 4: Estructura de la rastra y jaula central.....	27
Figura 5: Estructura de soporte tipo puente.....	29
Figura 6: Estructura del feedwell – feed pipe, alimentación .....	30
Figura 7: Depósito de relave minero.....	34
Figura 8: Proceso de floculación.....	36
Figura 9: Análisis y diseño estructura .....	39
Figura 10: Instalación y nomenclatura de pernos de anclaje.....	60
Figura 11: Pernos de anclaje tipo I y J.....	61
Figura 12: Aplicación de grout.....	64
Figura 13: Estándares Uniones de pernos.....	65
Figura 14: Uniones en un pórtico uniones en el contexto de un pórtico de varias plantas... 68	
Figura 15: Bases de pilares para el soporte del espesador.....	69
Figura 16: Unión viga - pilar .....	70
Figura 17: Unión viga - viga.....	70
Figura 18: Uniones estructurales verticales con arriostramientos .....	71
Figura 19: Instalación de planchas de tanque.....	72
Figura 20: Espesador de tracción periférica convencional.....	76
Figura 21: Espesador con sistema de levante optimizado .....	78
Figura 22: Ingreso de floculante al espesador .....	81
Figura 23: Volumen de agua recuperada.....	83



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación referido a “Diseño de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022”. El objetivo: Diseñar un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022. Para reducir la contaminación ambiental y recuperar la mayor cantidad de agua, se utilizará el espesador en serie. La metodología utilizada se basa en el método de Coe & Clevenger, ya que los datos recogidos se obtuvieron de primera mano de los sensores del espesador y de la sala de control. Para fines teóricos se elaboraron cálculos con base en investigaciones previas y literatura especializada. La importancia de este estudio radica en la evaluación de la recuperación de agua en espesadores convencionales y optimizados, así como del gasto económico que supone para las empresas mineras. La optimización del diseño de espesadores para procesos de extracción de cobre en centros mineros resultó en una mayor capacidad de recuperación de agua. Los datos indican que optimizando el diseño del espesador se pueden recuperar 2400 m<sup>3</sup> de agua mensualmente, en comparación con la tasa de recuperación actual del espesador de 1500 m<sup>3</sup> por hora. Conclusión, un diseño mejorado del espesador ofrecerá un mecanismo más eficiente, lo que dará como resultado un aumento del 65 al 85 % en la recuperación de agua en comparación con el espesador actual.

**Palabras Claves:** Optimización, Relaves, Recuperación de agua, rastras, sistema de levante, espesador, precio unitario, horas máquina, horas hombre.



## ABSTRACT

The research paper titled "Enhancing the Enterprise of a Thickener for the Extraction of Copper in Mining Centers" introduces the concept of thickening the tailings generated by copper mining centers. The primary objective is to augment the thickener's design by considering various strictures, such as the speed of the thickener, the density of the tailings, the dimensions of the tank, the type of flocculant used, and the lifting mechanism of the thickener. To maximize the recovery of water and minimize environmental pollution, the thickening will be used in a series. The Coe & Clevenger method was the primary methodology used for this study, with data collected directly. Theoretical references and previous research were utilized to supplement the calculations. This work's significance lies in defining the expanse of water that can be improved and the extent of conservational contamination in traditional thickenings, as well as the mining company's economic costs. After conducting an investigation into the design optimization of a thickener utilized in the process of copper extraction in mining facilities, it can be concluded that enhancing the thickener's design will result in a higher capacity for water recovery. The data gathered indicates that the improved thickener will recover approximately 2400 m<sup>3</sup> of water each month, a significant increase compared to the current thickening which only recovers 1500 m<sup>3</sup> per hour. Ultimately, the optimized thickener design will provide a more efficient mechanism resulting in a 65-85% boost in water recovery when associated to the existing system.

**Keywords:** Optimization, tailings, water recovery, dredges, drainage system. lift, unit price, machine hours, thickener, man hours.



## INTRODUCCIÓN

El proceso de espesamiento, que implica separar líquidos de sólidos, es posiblemente uno de los procedimientos más cruciales en metalurgia. Esto se debe a que forma la base para la sedimentación de materiales, los cuales se conocen como concentrados, lodos o lodos, y contienen un alto contenido de cobre que pretendemos recuperar. En los tiempos modernos, estos materiales tienen multitud de aplicaciones, incluida la extracción de productos sólidos y el tratamiento de aguas residuales, el objetivo principal de un espesante es efectuar la separación entre agua y sólidos.

En realidad, el alcance del problema del espesamiento es bastante amplio. Se pueden observar casos de espesamiento en diversos contextos, como el tratamiento de efluentes industriales, la gestión de relaves metalúrgicos y el procesamiento de aguas residuales.

Grandes corporaciones de todo el mundo se esfuerzan por crear espesadores con un rendimiento superior. También se enfocan en desarrollar floculantes que ayuden a mejorar la sedimentación, lo que resulta en un tiempo de recuperación de agua más corto y una mayor duración para la obtención de concentrado mineral. Lograr estos objetivos es posible mediante la utilización de espesadores por gravedad.

La presente tesis tiene los siguientes capítulos:

Capítulo I: Formulación del problema, los objetivos y las hipótesis.

Capítulo II: El marco teórico, antecedentes y la base teórica.

Capítulo III: La metodología de investigación incluye el enfoque, nivel, diseño, población y muestra del estudio elegidos. Además, abarca las técnicas, fuentes de investigación e instrumentos utilizados para recopilar datos.

Capítulo IV: En el cual se ejecuta una exposición y discusión de los resultados.

Finalmente, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los anexos.



## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La planta minera Quebrada Honda SPCCS opera dentro del distrito de Toquepala. Su enfoque principal es la extracción de relaves de cobre de una región árida con escasas precipitaciones, lo que resulta en un balance hídrico deficiente.

El uso del agua es parte indispensable de las operaciones mineras, especialmente cuando es escasa, lo que la hace aún más valiosa. Durante estas operaciones, el agua juega un papel crucial en muchos de los procesos que emprenden. La técnica de separación sólido-líquido y el uso de espesadores ayudan a recuperar un determinado porcentaje de agua de los relaves tratados. Sin embargo, todavía queda algo de agua en los vertidos sólidos que se retiran de los espesadores. El objetivo es maximizar la recuperación de agua de estos relaves, con el fin de reutilizarla en operaciones mineras. Esto se puede lograr seleccionando instrumentación adecuada y espesadores de alta capacidad, así como implementando técnicas que permitan recuperar un porcentaje importante del agua de los relaves tratados en la planta minera Quebrada Honda.



La empresa minera utiliza el agua que se toma de la cuenca de Locumba para la ejecución de sus actividades la cual es uno de los problemas ya que también estas aguas son compartidas con las otras actividades que se realizan en esta zona como es la agricultura y la ganadería.

Actualmente, la Concentradora de Toquepala utiliza una enorme cantidad de agua, alcanzando los 140.000 m<sup>3</sup>/d. La gran mayoría de esta agua se recupera de la etapa de procesamiento, donde se recirculan 93.776 m<sup>3</sup>/d; los 45.000 m<sup>3</sup>/d restantes son agua dulce, y 1.224 m<sup>3</sup>/d adicionales se extraen del mineral como humedad. Se necesita agua dulce para reemplazar el agua que sale del proceso, que incluye el agua que ingresa al propio mineral y se descompone en 113 m<sup>3</sup>/d en el concentrado creado, así como los 46,111 m<sup>3</sup>/d en los relaves de la Concentradora de Toquepala. Este último está contenido en la Presa de Relaves Quebrada Honda. Es importante señalar que Quebrada Honda también recibe agua de los relaves de la Concentradora Cuajone, totalizando 73,000 m<sup>3</sup>/d. Además, la planta minera Toquepala tiene una producción de 60 mil toneladas diarias, además la planta tiene una proyección de aumentar la cantidad de producción hasta las 120 mil toneladas de cobre por día posteriormente, para el cual dicha empresa afirma que reutilizaran la misma agua que proviene de los tratamientos de los relaves. Por consiguiente, es necesario la implementación de espesores más eficientes y óptimos para el procesamiento del cobre” (1).

Por ello en el presente estudio se diseñará un espesador de lamas optimizado para la recuperación de agua de los relaves de cobre para la planta minera Quebrada Honda SPCC Toquepala que pretende dar solución al problema.



## 1.1.1 Problema General

¿De qué manera se puede recuperar el agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022?

## 1.1.2 Problema Específicos

PE1 ¿Cuáles son las características a tomar en cuenta porque se desperdicia el agua durante el procesamiento de los relaves en las plantas mineras Tacna?

PE2 ¿Cómo influye la capacidad del tanque en la construcción de un espesador de lamas para la recuperación del agua para las plantas mineras Tacna?

PE3 ¿Cuánto sería el costo beneficio para la implementación de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Diseñar un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022

### 1.2.2 Objetivos Específicos

OE1 Señalar las características que mas inciden para el diseño de un espesador optimizado de lamas para la recuperación del agua para plantas mineras de Tacna.

OE2 Determinar la capacidad del tanque en la construcción de un espesador de lamas para la recuperación del agua para las plantas mineras Tacna.

OE3. Determinar el costo beneficio que implica la construcción de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna.



## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO**

### **1.3.1 Justificación técnica**

Es una verdad innegable que el proceso de sedimentación implica la utilización de técnicas de separación sólido-líquido y espesantes. Pese a ello, de los relaves tratados se extrae una cantidad importante de agua, mientras que algo de agua queda en los vertidos sólidos que se vierten desde los espesadores. Debido a esto, existe una necesidad crítica de un espesador de láminas bien diseñado que pueda manejar una alta capacidad de alimentación y recuperar un mayor flujo de agua. El proceso de la planta minera depende en gran medida de este recurso y es esencial un diseño optimizado del espesador.

### **1.3.2 Justificación económica**

Este estudio se sustenta económicamente porque al tener unos espesadores de lamas optimizado se podrá reducir el tiempo que se demora para tratar estas aguas de los relaves para ser reutilizadas además de la cantidad de agua que se recupera para ser reutilizada, el cual generará un ahorro en horas maquina al ser diseñadas estos espesadores óptimamente para la empresa. Debido a que la empresa va incrementar su producción de 60 mil toneladas a 120 mil toneladas por día actualmente emplea 140 000 m<sup>3</sup>/d para su tratamiento el cual son recuperadas 93776 m<sup>3</sup>/d por consiguiente es necesario incrementar la cantidad de agua que se recupere debido a lo que se estima que para sus actividades va requerir 280000 m<sup>3</sup>/día por el cual el agua de recuperación deberá ser al máximo y esto se puede lograr con unos esperadores eficientemente.



### **1.3.3 Justificación social**

El tratamiento de relaves tiene un impacto positivo en la sociedad. Al reducir la contaminación, la población se beneficia enormemente y se defiende su derecho a un modo de vida digno.

### **1.3.4 Justificación ambiental**

Al contar con espesadores de lamas optimizado se asegura el manejo seguro y eficiente de los relaves producidos y transportados en una planta por el cual se minimiza el impacto negativo al medio ambiente. Debido a la buena calidad y disposiciones de relaves producidos como también a la calidad del agua recuperada que permite ser empleada para otras actividades

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis General**

Con el diseño del espesador de lamas optimizado se podrá incrementar la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022.

### **1.4.2 Hipótesis Específicas**

HE1 Las características a tomar en cuenta porque se desperdicia el agua durante el procesamiento de los relaves en las plantas mineras Tacna, es la baja capacidad del espesador.

HE2. La capacidad del tanque define el caudal de agua recuperado por eso la importancia de la optimización del espesador de lamas para las plantas mineras Tacna.



HE3 El beneficio para la construcción del espesador de lamas optimizado es viable económicamente porque permitirá una mayor recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna

## 1.5 Variables

### 1.5.1 Definición conceptual de la variable

#### Variable de Caracterización (X)

##### ➤ Diseño del espesador optimizado

#### Indicadores

- Capacidad de tanque (C).
- Sistema de recuperación del overflow.
- Sistema de descarga del underflow.

#### Variable de interés (Y)

##### ➤ Recuperación del agua

#### Indicadores

- Velocidad de la rastra
- Densidad de la descarga.
- Claridad del agua de rebose.
- Torque de rastras

#### Variable Intervinientes

- Costos del proceso de mantenimiento
- Vida útil del mecanismo.



## 1.5.2 Operacionalización de las variables

Tabla 1:

Variable	Dimensión	Indicadores
Variable de caracterización Diseño del espesador optimizado	Características del espesador	Capacidad de tanque (c)
		Sistema de recuperación del overflow
		Sistema de descarga del underflow
Variable de interés Recuperación del agua	% de recuperación de agua	Velocidad de la rastra
		Torque de rastra
		Densidad de la descarga
		Claridad del agua de rebose

Nota. Elaboración propia



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

**Romo. (2011)**, con el tema “Propuestas de ingeniería básica para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica valle de México” En el ámbito de la gestión de las líneas de agua, se ha determinado que la solución más prudente desde el punto de vista financiero es restaurar únicamente el sistema de difusión de aire del reactor. Después de un examen cuidadoso de los costos, se puede establecer que el método ideal para procesar lodos es una combinación de espesamiento, digestión y deshidratación. Esta conclusión se refiere específicamente a la región de México. (2)

**Ojeda (2014)**, con el tema “Diseños e implementaciones lógicas de controles expertos en espesador de relaves - planta las tórtolas”. El manejo eficiente y la reutilización del agua en las prácticas mineras es un aspecto crucial. En la planta concentradora “Las Tórtolas”, el proceso de espesamiento de relaves presenta una oportunidad de optimización al maximizar la cantidad de agua de la pulpa que se puede extraer antes de ser dirigida al tranque de relaves en Chile. Esta acción sirve



como símbolo de la calidad de la gestión y recuperación del agua en las técnicas mineras. (3)

**Villarreal & Granja (2015)**, en su estudio “Diseño para la realización de las técnicas de procedimientos de aguas secundarios en el circuito de la facultad técnica del norte, cantón Ibarra provincia Imbabura”.El objetivo de reciclar el agua de los sistemas de riego secundarios, se tomó la decisión de implementar humedales artificiales que utilicen flujo subterráneo tanto vertical como horizontal. Esta combinación de métodos mejora su capacidad para eliminar contaminantes cruciales del agua, lo que los convierte en una técnica práctica y eficiente para el lugar específico en el que se implementarán, es decir, Ecuador. (4)

## 2.1.2 Antecedentes nacionales

**López (2018)**, en su estudio titulado “Esquemas de Sistemas Expertos para Perfeccionar la Operación de los Espesadores de Relaves de Altas Capacidades en minera de cobre”, Para evitar complicaciones innecesarias en el proceso de diseño de un controlador difuso, es crucial que las variables de entrada contengan la información más completa posible sobre el proceso dado. Además, la definición y cantidad de funciones de membresía son importantes para garantizar el funcionamiento adecuado del controlador difuso. Las "reglas de inferencia" también desempeñan un papel fundamental a la hora de determinar el comportamiento del controlador, por lo que su correcta definición es igualmente importante. Esta declaración tiene su origen en Arequipa, Perú. (5)

**Palli (2016)**, en su investigación titulado: “Dimensionamientos y Optimizaciones de un Sedimentador Convencional de Relaves de Cobre en una



Planta de Procesamiento de 850 TMD". Conclusión de que dimensionar y optimizar un espesador de relaves típico puede servir como un método eficaz para la recuperación de agua de relaves flotantes de cobre mediante el uso de técnicas de espesamiento. Este hallazgo fue presentado en el contexto de Arequipa, Perú. (6).

**Osorio (2015)**, en su investigación "Evaluaciones metalúrgicas para el diseño de espesador de relaves espesados en la planta concentradora de la unidad minera Quiruvilca – 2015" muestra: Cuando se trata de las evaluaciones metalúrgicas de relaves en una planta concentradora con una tasa de producción de alrededor de 10.000 t/d, la prefactibilidad y la metodología para implementar un sistema espesador es una consideración crucial. El enfoque de las "empresas mineras de gran escala y alta producción" ciertamente puede aplicarse en este estudio de caso, como se demostró en Cerro de Pasco, Perú. (7)

### 2.1.3 Antecedentes locales

Castillo (2019), en su tesis "Optimizaciones de los diseños de un espesador para procesos de proceso de cobre en centros mineros", El objetivo del proyecto era mejorar el diseño del espesador teniendo en cuenta varios parámetros como la velocidad del espesador, la densidad de los relaves, la dimensión del tanque y el tipo de floculante y mecanismos de elevaciones utilizados. Luego de optimizar el diseño, se concluyó que habrá un incremento significativo en la capacidad de recuperación de agua. Los datos recopilados estimaron que el espesador de nuevo diseño podrá recuperar hasta 2400 m<sup>3</sup> de agua por mes, lo que representa una mejora sustancial con respecto al espesador actual que solo recupera 1500 m<sup>3</sup> de agua por mes. Esto indica que el nuevo diseño tendrá un mecanismo más eficiente,



lo que resultará en un aumento del 65-85% en la recuperación de agua en comparación con el espesador actual. (8)

## **2.2 Base teórica**

### **2.2.1 Espesadores**

“Los espesadores son recipientes que se utilizan para condensar concentrados y relaves de flotación eliminando parte del agua que retienen. Su función principal es hacer que el concentrado y la pulpa sean más densos y espesos manteniendo el movimiento del fluido. Como resultado, se elimina una parte del agua y el agua clara fluye a través de canales en la parte superior. Al espesador también se le conoce como un instrumento que funciona sin parar.” (5)

Los espesadores de relaves de altas capacidades se consideran equipos de alto rendimiento para optimizar las operaciones de recuperación de agua. Esto se debe a su menor tamaño y área de sedimentación, lo que permite una reducción significativa de ambos respecto al mismo flujo de alimentación. (2)

### **2.2.2 Clasificación de los espesores**

Los espesores se clasifican según su estructura y su operación (6)

#### **2.2.2.1 Espesadores según su clasificación estructural**

##### **2.2.2.1.1 Espesadores de puente**

El mecanismo que soporta el accionamiento de un espesador o de una columna puede adoptar una de dos formas: un puente que abarca todo el diámetro del aparato o columnas central que soporta un puente que se extiende desde el borde exterior del espesador hasta su centro. (8)



## **2.2.2.1.2 Espesadores de tracción periférica**

“En este equipo la grada es movilizada por un tractor. El núcleo del espesador presenta una columna central que sirve como centro para el movimiento del mecanismo. Es importante señalar que este aparato en particular carece de un mecanismo para levantar la grada”.(6)

## **2.2.2.2 Clasificación de Espesadores según su operacional**

### **2.2.2.2.1 Espesador convencional**

(porcentaje de sólido “Cp”, entre 45% a 60%),

### **2.2.2.2.2 Espesador de altas capacidades o high rate:**

“Para mejorar la eficiencia del proceso, se recomienda aumentar la cantidad de floculantes utilizados e introducir dilución durante la alimentación.” (7)

### **2.2.2.2.3 Espesador de altas densidades o high density**

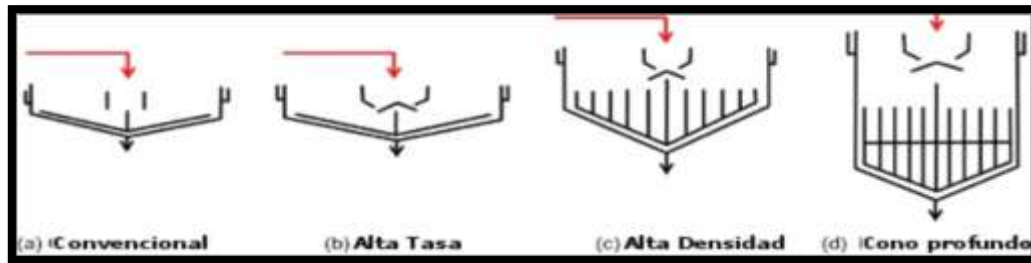
“Recuperan agua a través de una compresión de pulpa espesada, lograda con equipos que poseen una inclinación acentuada al fondo del tanque, el producto es un relave con altas concentraciones de sólidos (Cp sobre 70%)” (8)

### **2.2.2.2.4 Espesadores de cono profundo**

“Estos reciclan más agua, cuestan más y requieren sistemas de bombeo especiales para entregar la naturaleza pastosa de la pulpa con altas concentraciones de sólidos.” (“Cp” mayor a 75%)” (2)

**Figura 1:**

### Clasificación operacional de espesadores



Fuente: (calla, 2016, p.28)

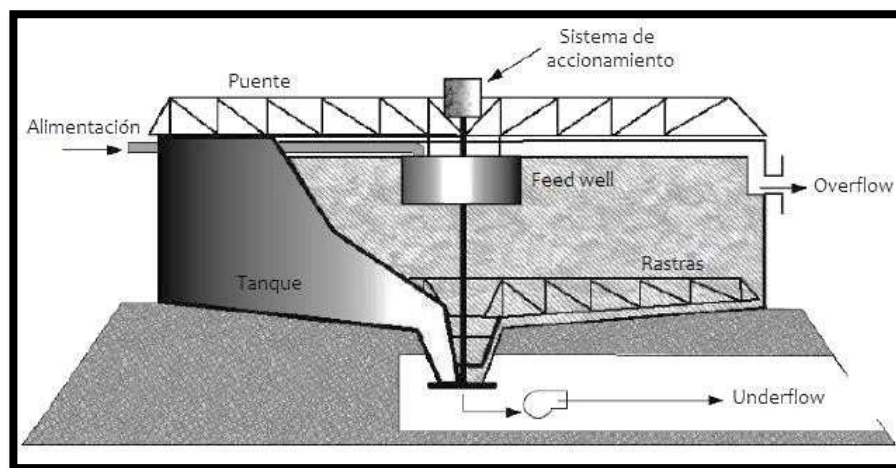
## 2.2.3 Componentes de los espesadores

### 2.2.3.1 Componente estructural

Según Ojeda, asevera que, independientemente del tipo de espesador, existen un conjunto de componente estructural que componen esta maquinaria. Estos componentes dan lugar a diversos espesantes, dependiendo de las particularidades específicas de cada elemento y de la aplicación para la que se emplea.

**Figura 2:**

### Elementos básicos de los espesadores



Fuente: (Ojeda, 2014, p.45)

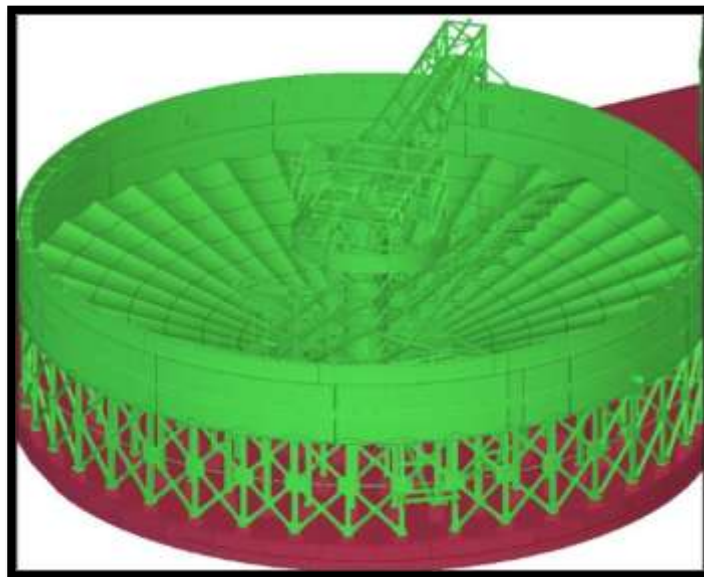
### 2.2.3.2 Tanque

“El tanque es el componente fundamental de cualquier espesador. Funciona como recipiente donde se produce la sedimentación y puede estar fabricado de diversos materiales, hormigón, como acero, plástico. La elección del material depende de varios factores, incluidas las particularidades de la pulpa, como su densidad y corrosividad, así como de la condición de operación, como presión y temperatura, volúmenes de procesamiento, costos y clima. Mientras tanto, la profundidad del tanque está determinada especialmente por los requisitos de la capa de compresión, ya que afecta las concentraciones de sólidos en el flujo inferior en función de la duración de la retención de partículas dentro del equipo.”

(3)

#### Figura 3:

#### Tanque Espesador de Relaves.



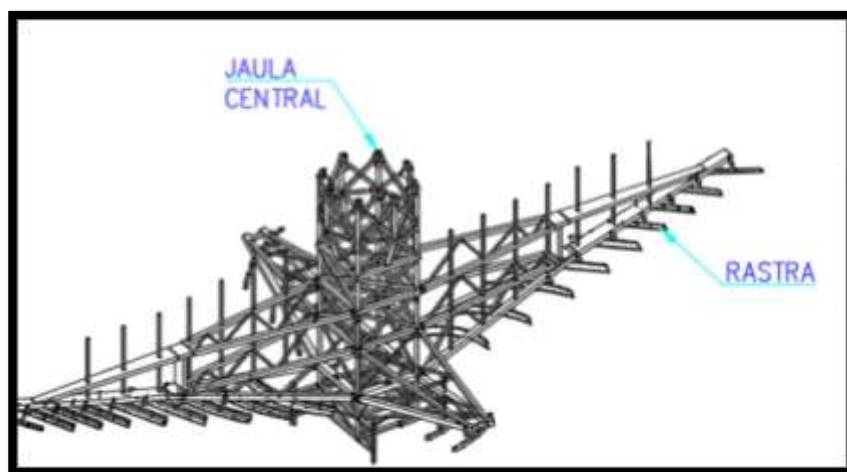
Fuente: Archivo de Tekla Structures 3D

### 2.2.3.3 Rastras

Según Ojeda (3), manifiesta: “El tanque contiene brazos giratorios, comúnmente denominados rastrillos o rastrillos, que giran dentro del tanque. La finalidad de estos mecanismos es doble: en primer lugar, transportan los sólidos sedimentados hasta el punto central de descarga del espesador. En segundo lugar, crean canales estrechos que permiten dirigir y eliminar el agua atrapada. Este proceso permite la formación de un lecho de lodos más denso con un mayor contenido de sólidos.” (p.55)

#### Figura 4:

#### Estructura de la rastra y jaula central.



Fuente: (Ojeda, 2014, p.56),

### 2.2.3.4 Sistema de accionamiento

De acuerdo con Ojeda (3), indica: “Se conoce como sistema al conjunto de componentes encargados de impulsar la grada a través de la pulpa espesada y transportarla hasta el punto de descarga del espesador. Normalmente, este sistema funciona con unidades hidráulicas o mecánicas. El mecanismo de soporte que accede transmitir el movimiento a través del eje debe ser lo suficientemente



robusto para soportar posibles sobrecargas temporales provocadas por el rozamiento con el lecho de lodos. Además, el sistema debe tener un mecanismo de control confiable para salvaguardar todo el conjunto en caso de una sobrecarga importante.

El éxito operativo de la mayoría de los espesadores depende de la confiabilidad de sus sistemas de accionamiento. Esto se debe a que la capacidad del espesador para transportar sólidos espesados al centro del equipo es un aspecto crucial para su correcto funcionamiento. Sin esta capacidad, el espesador no puede seguir funcionando. En tales situaciones, otros equipos deben soportar la carga adicional, si es posible, o detener todo el proceso de producción. De lo contrario, la carga deberá redirigirse a otro lugar.” (3)

### **2.2.3.5 Estructuras de soportes**

“Se pueden clasificar según el tipo de estructura utilizada para sostener el sistema de accionamiento. Así, tenemos dos tipos de espesadores: “tipo puente” y “tipo pila central”. Los primeros se refieren a espesadores cuyo mecanismo motriz y eje central están sostenidos por estructuras que atraviesan el tanque y posee la resistencia necesaria para resistir todo el peso del mecanismo, así como el torque generado por los sólidos sedimentados en las rastras. Normalmente, las estructuras "tipo puente" se utilizan para espesadores con diámetros relativamente menores, concretamente, de hasta 30 o 40 metros.” (3)

**Figura 5:****Estructura de soporte tipo puente.**

Fuente: (Ojeda, 2014, p.66)

**2.2.3.6 Mecanismo de elevación de rastras**

Para Villareal (4) sostiene: “Los espesadores suelen contener mecanismos que permiten elevar la posición de la grada durante situaciones de emergencia, así como con fines de control. Al elevar las rastras, se puede evitar que el par aumente cuando hay un flujo de descarga insuficiente, ingresan sólidos más grandes al equipo o se acumulan acumulaciones menores en la parte inferior del equipo.”

**2.2.3.7 Bandeja de alimentación**

“Normalmente situado en el medio del espesador, el pozo o bandeja de alimentación es el recipiente de la pulpa que se transporta al equipo a través de un conducto o canal. Su finalidad es mitigar las turbulencias del flujo de fluido y distribuir su energía cinética de manera uniforme por todo el equipo. Estas bandejas cilíndricas dependen del esfuerzo cortante para sofocar la turbulencia de la corriente entrante, lo que da como resultado un régimen de entrada laminar al

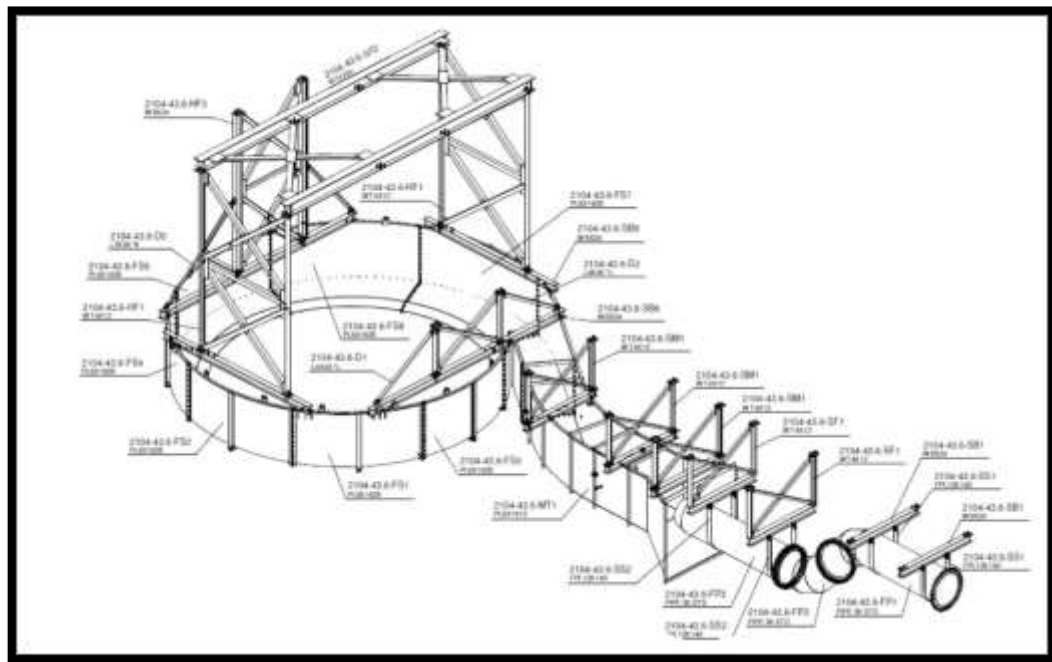
equipo. Esto evita la interferencia con los sólidos que ya se están sedimentando, lo que garantiza que el proceso de sedimentación no se altere.” (4)

### 2.2.3.8 Sistema de recuperación del overflow

“La salida de agua clara en la parte superior del espesador, comúnmente denominada "rebose", se elimina del dispositivo a través de un canal periférico que puede estar situado en el borde exterior o interior del tanque. Este canal deberá diseñarse para dar cabida a cualquier aumento futuro en el caudal de agua recuperada, con el fin de evitar inundaciones y evitar interrupciones en el suministro de los equipos o en la densidad del caudal de fondo.” (4)

**Figura 6:**

#### **Estructura del feedwell – feed pipe, alimentación**



Fuente: (Vásquez, 2014, p.53)



### 2.2.3.9 Sistema de descarga del underflow

“Para eliminar la capa de materia sólida que se ha acumulado en el fondo del tanque, se emplean rastras que rotan y transportan la pulpa hacia el centro. En este punto, hay un diseño cónico que está vinculado a la línea de descarga, que puede estar compuesta por una o varias tuberías. Para acelerar la eliminación de sólidos del fondo del equipo, se utilizan bombas centrífugas, bombas de desplazamiento positivo o gravedad según la configuración del equipo y las propiedades de la pulpa.” (4)

### 2.2.4 Uso del agua en operaciones mineras

Para Lopez (5), indica: “El uso del agua es esencial en diversas operaciones mineras, incluidas técnicas de exploración, explotación y concentración como flotación, fusión y electro refinación. Además, el agua juega un papel crucial en el proceso hidrometalúrgico, que implica lixiviación, extracción por solventes y electro obtención. La eficiencia de cada operación o proceso minero está significativamente influenciada por la cantidad de agua utilizada, que puede variar dependiendo de la operación unitaria específica”.

Cuando se trata de plantas concentradoras, el procedimiento de procesamiento de minerales exige una cantidad significativa de agua, en términos de volumen total. Este proceso implica múltiples etapas, incluida la trituración y molienda del mineral, seguidas de flotación, espesamiento y clasificación. El mayor consumo de agua se produce durante la flotación, así como el transporte de concentrados y materiales de desecho (conocidos como relaves), y la infiltración y evaporación en los tanques. Antes de la molienda, el mineral suele acondicionarse. El proceso



de flotación de minerales es principalmente físico-químico: implica la extracción de partículas minerales que contienen el mineral deseado en combinación con azufre, en lugar de extraer el mineral en sí. Este proceso requiere la adición de exceso de agua y ciertos reactivos que son cruciales para la flotación, generalmente en un rango de pH alcalino de 10 a 11. Como resultado, es necesario agregar reactivos como cal para aumentar el pH del pH natural del agua, que es 7, a 10 u 11. El producto final de las plantas de flotación es un concentrado que contiene entre 20 y 40 % de mineral.” (5)

Para Palli (6) sostiene: “En el proceso de flotación, el agua tiene un doble propósito ya que no sólo facilita el transporte de materiales de desecho y concentrados a la presa de relaves, sino que también se recicla nuevamente al proceso si la distancia entre el concentrador y las instalaciones de filtrado y almacenamiento es factible. En los casos en que la recirculación es imposible, una parte del agua se destina a uso industrial y el resto se somete a un vertido ambiental controlado. Un aspecto esencial a considerar es que una porción importante del agua utilizada en la flotación eventualmente se convierte en constituyente de relaves o desechos. Los relaves se someten a una etapa de espesamiento para recuperar la mayor cantidad de agua posible”.

### 2.2.5 **Relave minero**

“Cuando una planta minera utiliza los procesos de concentraciones por flotación, genera un subproducto llamado relaves. Este subproducto es una fina mezcla de sólidos y líquidos, compuesta principalmente del mismo material que se encuentra en el depósito del que se extrajo el valioso mineral. Los relaves



tienen una relación agua/sólidos que oscila entre 1:1 y 2:1, y forma una pulpa que se desecha.

El comportamiento y características de esta pulpa dependen de la relación agua/sólidos y de las propiedades de las partículas sólidas. La siguiente información ilustra esto” (2)

- Cuando una masa de relaves tiene un contenido de agua lo suficientemente bajo, como ocurre con los relaves filtrados, no experimentará drenaje gravitacional.
- Los relaves que contienen una gran cantidad de agua se pueden drenar fácilmente incluso en pendientes menores.
- En el caso de partículas sólidas de mayor tamaño, como las equivalentes a la arena, rápidamente se sedimentarán y acumularán cerca del área de descarga.
- En los casos en que las partículas sólidas son de tamaño diminuto, similar al de la arcilla, puede ocurrir una sedimentación durante un período de tiempo prolongado. Esto puede provocar que las partículas permanezcan en suspensión y viajen grandes distancias desde el punto de descarga antes de sedimentarse.

**Figura 7:****Depósito de relave minero.**

Fuente: (Gómez Paredes, 2012)

### 2.2.6 Separación sólido líquido

“La mayoría de los procesos de beneficio de minerales requieren el uso de volúmenes sustanciales de agua durante el tratamiento. Para lograr la separación de componentes sólidos y líquidos, actualmente se utilizan 3 metodologías principales: filtración, espesamiento y secado térmico. Por lo general, es posible eliminar entre el 75% y el 80% del agua de la mezcla mediante el espesamiento, mientras que los filtros pueden eliminar aproximadamente el 90% del agua en etapas posteriores. El espesamiento es el método más comúnmente empleado para la deshidratación debido a su bajo costo, alta capacidad de procesamiento y capacidad para facilitar una floculación eficiente como resultado de sus mínimas fuerzas de corte.” (6)



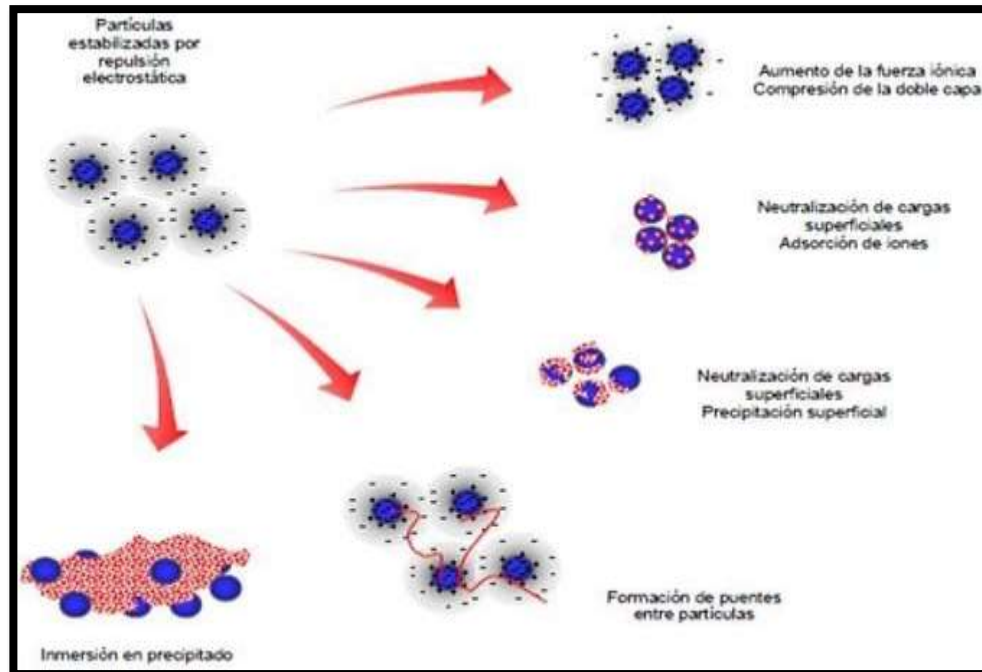
## 2.2.7 Sedimentación o espesamiento

Para Gonzales (3) indica: “El espesamiento es el término empleado para describir los procesos naturales en el que las partículas sólidas suspendidas en un líquido se depositan en el fondo debido a la fuerza de gravedad. Esto da como resultado una pulpa densa en el fondo y un sobrenadante líquido clarificado en la parte superior. Si bien la industria minera, específicamente el sector metalúrgico, ha logrado avances significativos en los avances tecnológicos del espesamiento, también ha encontrado aplicaciones en otros sectores como las industrias químicas y del agua, donde la necesidad de soluciones efectivas para los residuos es igualmente importante”.

## 2.2.8 Flocculante

“Se trata de polímeros orgánicos de cadena larga, solubles en agua, con un alto peso molecular superior a 100. Funcionan estableciendo conexiones o puentes entre partículas para crear partículas más grandes que parecen tener un tamaño mayor. Estos dan como resultados las formaciones de grupos de partículas que precipitan más rápidamente, acelerando así el proceso de separación sólido-líquido. (6)

La floculación son procesos en el que las partículas desestabilizadas se juntan para formar micro flóculos, que luego se combinan para crear aglomerados más grandes conocidos como flóculos. Si bien estos flóculos comienzan siendo pequeños, con el tiempo crecen en tamaño, lo que les permite asentarse. Para favorecer las formaciones de aglomerados aún mayores se introducen un conjunto de sustancias conocidas como flocculantes.” (6)

**Figura 8:****Proceso de floculación.**

Fuente: (Palli, 2016, p.48).

**2.2.8.1 Tipos de floculantes****2.2.8.1.1 Floculantes minerales**

“Los compuestos en cuestión son de naturaleza altamente coloidal y funcionan mediante las absorciones o neutralización de cargas de partículas. Están compuestos de sílice activada, hidróxido férrico, bentonita y otras sustancias similares.” (6)

**2.2.8.1.2 Floculantes sintéticos**

“Los floculantes sintéticos, que poseen un alto peso molecular y solubilidad en agua, abarcan diferentes tipos, como no iónicos, aniónicos y catiónicos, cada uno de los cuales varía en tamaño molecular para garantizar el mejor rendimiento en cualquier suspensión.” (6)



### 2.2.8.1.3 **Floculantes aniónicos**

“La sedimentación de pulpas y concentrados minerales, como Cu, C, Pb y Zn, suele depender del uso de floculantes. Cuando se trata de suspensiones que contienen sólidos inorgánicos, se ha descubierto que estos floculantes son bastante efectivos, particularmente en situaciones donde las condiciones son neutras o alcalinas. La dosis estándar de floculantes oscila entre 2 y 50 gr/t (gramos de floculante por tonelada de sólidos secos), dependiendo de las circunstancias específicas”.(6)

### 2.2.8.1.4 **Floculantes no iónicos**

“Estas sustancias se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluida la sedimentación de lodos de minerales de hierro y la flotación de oro, entre otras. Su potencia es particularmente notable en lodos ácidos. La tasa estándar de consumo o dosificación oscila entre 1 y 50 gramos por tonelada métrica. Además, pueden servir como ayuda en la filtración.” (6)

### 2.2.8.1.5 **Floculantes catiónicos**

“Estas sustancias encuentran su uso principal en la sedimentación de desechos de carbón, láminas de mineral de hierro y concentrado de mineral. Su efectividad es particularmente notable en sistemas que tienen sólidos orgánicos o un pH bajo. La cantidad de uso o dosis generalmente fluctúa entre 25 y 250 gramos por tonelada. Además, resultan útiles para purificar el agua extraída de las minas con dosis que oscilan entre 5 y 50 gr por tonelada.” (6)

### 2.2.9 **Tekla Structures**

Según Vitorino (9), Tekla Structures es un software BIM (Building Information Modeling) que se utiliza para crear diseños detallados, facilitar los



procesos de desmontaje, gestionar la fabricación y supervisar el montaje de diversos tipos de estructuras constructivas. El software fue desarrollado por la empresa Trimble y está diseñado para interactuar con otro software de análisis y diseño líder en la industria. Al hacerlo, permite una coordinación y colaboración efectiva entre arquitectos, ingenieros, consultores y contratistas. Algunos de los múltiples beneficios de este software incluyen:

**Colaboración abierta:** Al colaborar con todas las partes y miembros involucrados en el proyecto, el individuo trabaja en conjunto para utilizar datos genuinos del modelo durante las fases de fabricación y construcción. Además, establecen conexiones entre diversas plataformas de software dedicadas a la arquitectura, MEP y diseño a través de IFC.

**Constructibilidad:** La creación de modelos construibles en el Nivel de Desarrollo 500 y el modelado meticuloso de todos los materiales son componentes esenciales de este proyecto.

**Software local:** Con su disponibilidad en 17 idiomas diferentes, su asistencia local en español y su centro de aprendizaje y soporte en línea las 24 horas, los usuarios tienen asegurado un servicio integral y eficiente.

Tekla Structures es un software BIM que ofrece una solución integral y perfecta para crear, integrar, organizar y distribuir modelos 3D de diversos materiales. Estos modelos están equipados con información precisa, confiable y precisa, lo cual es esencial para la finalización exitosa de un proyecto. Tekla Structures es muy versátil y se puede utilizar para diseñar, detallar y gestionar informaciones durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la conceptualización inicial hasta la fabricación y la construcción en el sitio”.

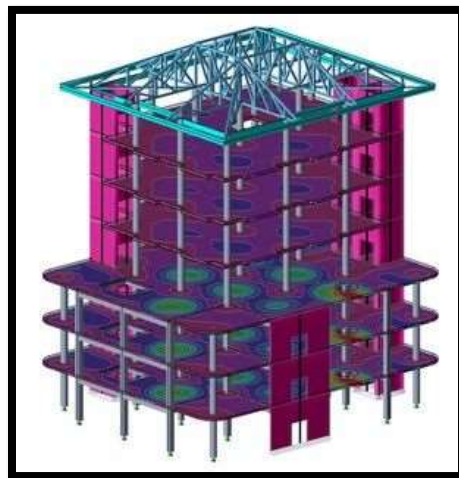
## **Análisis y diseño:**

Con Tekla Structures, puede modelar, cargar, analizar y diseñar estructuras de forma rápida y eficaz. Este programa le permite crear un modelo único que abarque todos sus requisitos de análisis y diseño estructural, desde esquemas básicos hasta detalles complejos. Es capaz de acomodar sistemas gravimétricos y laterales, lo que hace innecesarios múltiples modelos de diseño.

Tekla es un software completamente automatizado que cuenta con una gran variedad de características excepcionales para la optimización simplificada de diseños de edificios de acero y hormigón. Con Tekla, puede comparar sin esfuerzo varios esquemas de diseño, gestionar modificaciones de forma eficaz y colaborar armoniosamente con plataformas BIM.

La integración de todas las funciones de diseño y análisis en una solución integral significa que no hay necesidad de comprar, mantener, aprender o integrar módulos o paquetes de software adicionales.

**Figura 9: Análisis y diseño estructura**



Fuente: (Victorino, 2021)



## 2.3 Marco conceptual

### Espesamiento

El proceso de sedimentación, también conocido como sedimentación, ocurre cuando las partículas minerales o una suspensión de partículas dentro de un fluido se ven afectadas por una fuerza externa como la gravedad, la fuerza centrífuga u otra fuerza corporal, lo que hace que los sólidos dentro del fluido aumenten. Este fenómeno de espesamiento se observa comúnmente en la descarga de espesantes.

### Floculación

El procedimiento que precede a la coagulación implica la agitación de las sustancias coaguladas. Esto permite que los floculos que se han formado aumenten de tamaño y se agreguen, facilitando su sedimentación debido a su mayor peso.

### Relave

El material de desecho en cuestión carece de valor económico y está compuesto por minerales pulverizados mezclados con agua y sustancias adicionales que se adquieren durante la extracción de minerales con valor económico mediante el proceso de flotación que involucra reactivos.

### Pasta

El residuo conocido como relave sufre un proceso de deshidratación mediante el uso de espesantes y la adición de floculantes. La concentración de sólidos resultante oscila entre el 65% y el 75% y, a menudo, se elimina en superficies inclinadas.



## **Molinos**

El molino de bolas GGBS es una pieza crucial de maquinaria que se utiliza principalmente para triturar y procesar materiales durante el proceso de producción. Sus aplicaciones están muy extendidas en diferentes industrias.

## **Altura de cama**

En un espesador, el grado de concentración de sólidos presentes en cada momento es significativo, ya que nos proporciona la posibilidad de regular el proceso y descargar sólidos con menor contenido de agua. A medida que aumenta el nivel de sólidos, también aumentan la densidad de la descarga, la presión ejercida en el fondo del sedimentador y el valor del par.

## **Tiempo de residencia**

Durante este período, las partículas se juntan para crear un colchón que permite mantener las concentraciones de sólidos en la descarga del cono de sedimentación.

## **Tamaño de partículas**

En el proceso de extracción de minerales, hay un paso crucial donde la partícula mineral se separa de la ganga, que es el material que la contiene a través de enlaces químicos. Esta separación se consigue mediante el uso de mallas que aportan el control necesario.

## **Porcentaje de sólidos**

La proporción de sólidos minerales dentro de un litro de pulpa se mide utilizando un densímetro para determinar su porcentaje.



## **Floculante.**

Este agente químico provoca la amalgamación de pequeñas partículas llamadas flóculos. Estos flóculos, cuando se combinan, ganan suficiente masa para provocar la precipitación y acelerar la sedimentación en los líquidos.

### **2.4 Normas y estándares**

#### **2.4.1 Estándares y códigos según la norma API 650.**

Según la Norma (API 650,2013) dice: “Para garantizar la implementación adecuada de este criterio, existe una organización que supervisa las empresas de diseño y construcción mediante la publicación de reglas y regulaciones, incluidos códigos, normas y estándares. Estos se basan en estándares o códigos globales y se modifican de acuerdo con el alcance de la investigación y los avances tecnológicos.” (4)

##### **2.4.1.1 Especificaciones de las normas API 650**

Según la Norma (API 650,2013) dice: El Instituto Americano del Petróleo, o API, compila, publica y actualiza un estándar relacionado con los tanques de almacenamiento. Esta norma se identifica con un acrónimo y contiene diez códigos que se adaptan específicamente a los tanques de almacenamiento en función de sus capacidades de almacenamiento individuales.

En esta documentación, utilizaremos API 650, duodécima edición, junto con el anexo del 1 de marzo de 2013 y la fecha de vigencia de marzo de 2013. Esta norma en particular se refiere a especificaciones para tanques de almacenamiento de acero verticales que son cilíndricos, superficiales y poseen una Tapa cerrada o



abierta. Estos tanques están soldados y vienen en varios tamaños y capacidades, cubriendo requisitos de material, diseño, fabricación, montaje y prueba.” (4)

**Tabla 2:**

**Código y especificaciones de tanques**

Códigos y especificaciones de tanques	
12b	Tanques empernados para el almacenamiento de líquidos de producción
12d	Tanques soldados en campo para el almacenamiento de líquidos de producción este código cubre tanques con capacidad nominales desde 500 hasta 100 bbl.
12f	Tanques soldados en taller para el almacenamiento de líquidos este código cubre tanques con capacidades nominales desde 90has 500 bbl.
12p	Tanques plásticos reforzados con fibra de vidrio
620	Diseño y construcción de grandes tanques de almacenamiento soldados para trabajar a bajas presiones (15 PSI)
650	Tanques soldados de acero para almacenamiento de petróleo
200	Venteo de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión ya sean refrigerados o no refrigerados

Fuente: API 650 Welded tanks for oil storage



## CAPITULO III

### PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

El tipo de diseño es no experimental ya que no se manipulo las variables.

$$X \longrightarrow Y$$

Donde:

X: Variable de caracterización (Diseño del espesador optimizado)

Y: Variable de interés (Recuperación de agua)

“Cuando hablamos de diseño, nos referimos a un anteproyecto o plan que ilustra las conexiones entre varios factores. Este plan proporciona orientación en el proceso de recopilación de datos hasta que se pueda probar o refutar la validez de una hipótesis.” (10)

El nivel de investigación se puede describir como descriptivo. Los estudios descriptivos tienen como objetivo identificar y delinear los atributos, rasgos y características de personas, objetos o cualquier otro tema que se esté analizando. El propósito es recopilar datos e información sobre las variables que se están estudiando, ya sea de forma independiente o en combinación. Este es el único objetivo de los estudios descriptivos.” (11)



## 3.2 Método aplicado a la investigación

Es deductivo y observacional, puesto que las variables solo serán observada y analizada.

## 3.3 Población y muestra

### 3.3.1 Población

La población de estudio son las plantas mineras de Tacna que cuentan con equipos de espesadores para la recuperación de agua.

### 3.3.2 Muestra

La muestra de estudio es el equipo de espesador de la planta minera Quebrada Honda SPCCS Toquepala 2022.

## 3.4 Técnica e instrumento para la recopilación de datos

### 3.4.1 Técnicas

“Para probar una hipótesis determinada o examinar un problema de investigación particular, es necesario seguir un conjunto de procedimientos conocidos como técnicas de investigación. Estas técnicas son necesarias para recopilar los datos necesarios para confirmar o refutar la posición asumida.” (11)

Se utilizará las técnicas documentales por estar sujeto a las consultas de documentos bibliográficos, data sheet, manuales de los equipos, procedimientos, especificaciones, etc. Que nos servirá para elaboras el diseño de un espesador de lamas optimizado además el diseño se realizará con el programa TEKLA Structures.

### 3.4.2 Instrumentos

“Son los medios que nos acceden registrar los datos observados en las técnicas de investigación.” (11).



El instrumento que se utilizara sera la observación directa para la elaboración del diseño de un espesador de lamas optimizado.

- Revisión de literatura.
- Revisión de archivos y documentos.
- Internet.
- Informes técnicos.
- Captaciones de informaciones directas de las fuentes
- Trabajo de campo.
- Fichas de observaciones.
- Hojas de reporte.
- Filmadora.
- Escalas libreta de notas.
- Normas.
- Cámara fotográfica y grabadora.

### 3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos

La recopilación de datos es de las muestras seleccionadas, esto equivale decir:

- El desarrollo de las características del espesante mejorado.
- La tarea que nos ocupa consiste en recopilar datos sobre la cantidad máxima de agua que se puede recuperar mediante sedimentación.
- La optimización del espesador es crucial para conseguir los parámetros ideales para el tratamiento de lodos.
- El proceso de adquirir las propiedades del material que se utilizará en la construcción de los cimientos estructurales.



- El proceso de adquisición de tablas estadísticas a través de datos obtenidos de la sala de control.

### 3.6 Procesamientos de Informaciones

Los resultados del estudio y las deducciones se manejarán en la forma que se describe a continuación, el siguiente método:

- Es necesario contar con las herramientas, software, planos y protocolos adecuados listos para que se lleve a cabo el proceso de análisis.
- Se ejecutará el establecimiento y desarrollo de los aspectos fundamentales alcanzados a través del proceso de investigación.
- Durante las fases de precomisionamiento y puesta en servicio, se mantendrá un registro escrito de las observaciones utilizando el formato de prueba. Este formato incluirá fotografías e informes si el cliente requiere supervisión.
- De acuerdo con los protocolos mecánicos y estructurales prescritos, los datos serán objeto de un minucioso escrutinio. Dicho escrutinio se realizará cumpliendo con las normas y especificaciones trazadas por la empresa minera.
- El proceso de verificación implicará verificar la disposición adecuada de los puntos de muestreo y garantizar que los instrumentos y dispositivos necesarios estén en su lugar.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Dimensionamiento y diseño del espesador bajo la Norma API - 650

##### 4.1.1 Diseño del espesador método Coe & Clevenger

El metodo Coe &Clevenger. El concepto subyacente a un espesador es que cualquier masa sólida en su interior gravitará naturalmente hacia un área de mayor densidad de hundimiento. Esta densidad debe ser igual o mayor que la velocidad a la que asciende el líquido desplazado. Un espesador bien diseñado tendrá suficiente área disponible para diferentes diluciones entre la alimentación y la descarga, de modo que la tasa de elevación del líquido nunca exceda la velocidad del subsistema. El proceso de diseño asume las siguientes condiciones.

- La velocidad a la que se descarga el líquido sobrenadante es equivalente a la discrepancia entre la velocidad de alimentación y la velocidad de eliminación de la capa sedimentada.
- La velocidad de sedimentación depende únicamente de la concentración de la sustancia.



- Las partículas se distribuyen uniformemente en cada plano horizontal, lo que da como resultado una concentración uniforme en todas partes.
- El movimiento ascendente del líquido es siempre mayor que su movimiento descendente.
- La velocidad de sedimentación es directamente proporcional a la concentración y, a medida que la concentración se acerca al fondo del recipiente, la velocidad de sedimentación se acerca a cero.
- Las diferencias en la sedimentación no se ven afectadas por la forma, el tamaño o la composición mineral de las partículas.

A la hora de dimensionar tu concentrador debes considerar la altura, diámetro y tipo de mecanismos, es por ello que debemos considerar los siguientes factores:

- Caudal de rebose (underflow-m<sup>3</sup>/h/Día).
- Área de tanque de espesador m<sup>3</sup>.
- Velocidades de los accionamientos de las rastras.

#### 4.1.1.1 Características del relave

**Tabla 3.**

**Característica del relave**

	Volumen de la carga de la muestra	1050 cm <sup>3</sup>
Peso húmedo neto		1608.2 gr
Peso seco neto		627.4 gr
Gravedades específicas		2.68 gr/cm <sup>3</sup>
Tiempo de sedimentación		5 horas
Temperatura		11 °C
PH		8,90



**4.1.1.2 Determinación porcentaje de solido**

$$\frac{627.4 \text{ gr}}{2.68 \text{ gr/cm}^3} = 234.10 \text{ cm}^3 \text{ solidos}$$

$$H_2O = 1000 \text{ cm}^3 - 234.10 \text{ cm}^3 = 765.9 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad del } H_2O = 1.0 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso de la pulpa} = \text{Peso del } H_2O + \text{Peso del solido}$$

$$\text{Peso de la pulpa} = 765.9 \text{ gr} + 627.4 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la pulpa} = 1393.3 \text{ gr}$$

$$\text{Porcentaje de solidos} = \frac{627.4}{1393.3} * 100$$

$$\text{Porcentaje de solidos} = 45 \%$$

**4.1.1.3 Concentración inicial (C<sub>0</sub>)**

Se asume una base de 100 gr. de pulpa

$$H_2O = 55 \text{ gr} \dots \dots \dots \frac{55}{1.0} = 55 \text{ cm}^3$$

$$\text{Solidos} = 45 \text{ gr} \dots \dots \dots \frac{45}{2.68} = 16.79 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen de la pulpa} = \text{Volumen del } H_2O + \text{Volumen del solido}$$

$$\text{Volumen de la pulpa} = 55 \text{ cm}^3 + 16.79 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen de la pulpa} = 71.8 \text{ cm}^3 = 0.0718 \text{ L}$$

$$C_0 = \frac{45 \text{ gr}}{0.0718 \text{ L}} * \frac{28.32 \text{ L}}{1 \text{ pie}^3} * \frac{1 \text{ lb}}{453.6 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ tn}}{2200 \text{ lb}}$$

$$C_0 = 0.0178 \text{ Tc solidos / pie}^3 \text{ pulpa}$$

**4.1.1.4 Concentración final (C<sub>u</sub>)**

$$\text{Porcentaje de solido UNDERFLOW} = 65\%$$

Se asume una base de 100 gr. de pulpa



$$H_2O = 35 \text{ gr} \dots\dots\dots \frac{35}{1.0} = 35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Solidos} = 65 \text{ gr} \dots\dots\dots \frac{65}{2.68} = 24.25 \text{ cm}^3$$

Volumen de la pulpa = Volumen del H<sub>2</sub>O + Volumen del solido

$$\text{Volumen de la pulpa} = 35 \text{ cm}^3 + 24.25 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen de la pulpa} = 59.25 \text{ cm}^3 = 0.05925 \text{ L}$$

$$C_u = \frac{65 \text{ gr}}{0.05925 \text{ L}} * \frac{28.32 \text{ L}}{1 \text{ pie}^3} * \frac{1 \text{ lb}}{453.6 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ tn}}{2200 \text{ lb}}$$

$$C_u = 0.031 \text{ Tc solidos / pie}^3 \text{ pulpa}$$

**4.1.1.5 Determinación de altura de UNDERFLOW (H<sub>u</sub>)**

$$H_u = \frac{H_0 C_0}{C_u}$$

Donde:

$$H_0 = 23 \text{ cm}$$

$$C_0 = 0.0178 \text{ Tc solidos / pie}^3 \text{ pulpa}$$

$$C_u = 0.031 \text{ Tc solidos / pie}^3 \text{ pulpa}$$

$$H_u = \frac{23 * 0.0178}{0.031}$$

$$H_u = 13.21 \text{ cm}$$

**4.1.1.6 Determinación del área unitaria de tanque (A<sub>u</sub>)**

El área del concentrador debe facilitar tiempo suficiente para que las partículas de sedimentación de los relaves alcancen la separación sólido-líquido. El área del concentrador se dice en Pies<sup>2</sup>/Tn/DIA.

Tomaremos como T<sub>u max</sub>=50 min.



$$A_u = \frac{T_u \max}{C_o \times H_o}$$

Donde:

$A_u$  = área unitaria ( $\text{pie}^2/\text{Tn}/\text{dia}$ ).

$T_u \max$  = Tiempo correspondiente a la dilución considerada de las arenas.

$H_o$  = Altura de la pulpa original (cm).

$C_o$  = Concentración original de sólidos ( $\text{Tn}/\text{pie}^3$ ).

$$A_u = \frac{50 \text{ min}}{0.0178 \text{ TC}/\text{pie}^3 \times 23 \text{ cm}} \times \frac{30.48}{1 \text{ pie}} \times \frac{1 \text{ dia}}{1440 \text{ min}}$$

$$A_u = 2,59 \text{ pie}^2/\text{Tc}/\text{dia}$$

#### 4.1.1.7 Determinación del esfuerzo en el fondo del tanque

A la hora de diseñar el fondo de un tanque, hay varios factores que se deben tener en cuenta. Estos incluyen la base que se utilizará para sostener el tanque, el método mediante el cual se moverá el producto almacenado, el nivel de sedimentación de los sólidos suspendidos, el potencial de corrosión del fondo y el tamaño del tanque en sí. Estas consideraciones conducen a menudo al uso de fondos planos, particularmente en los casos en que la resistencia permisible del suelo debe ser de al menos 1,465 cm/Kg<sup>2</sup> (3,0002/ft lb).

Cuando sea necesario utilizar placas anulares, su ancho radial (cm) debe calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula, pero no deberá ser inferior a 610 mm. (24 pulg.) Se deja un saliente externo de 51 mm entre el interior del tanque y las soldaduras. (2 pulgadas.)

Donde:



$$\sigma = \frac{2.153 Tb}{(HG)0.5} = 11.9 \text{ kg/cm}^2$$

H = Nivel máximo de diseño del líquido (cm.).

G = Densidad relativa del líquido a almacenar (en ningún caso menor de 1)

Tb = Espesor de la placa anular (cm.).

Nota. Para nuestro espesador el espesor de plancha será de 27 mm

**Tabla 4:**

**Tabla para el espesor mínimo del fondo del tanque**

Espesor mínimo (mm) del primer anillo del cuerpo	Calculo para prueba hidrostática en el primer anillo del cuerpo (kg./cm <sup>2</sup> )			
	<1989	<2109	<2320	<2530
T<19.5	6.35	6.35	7.24	8.73
09.05<25.4	6.35	7.14	9.52	11.11
25.4<31.75	6.35	8.73	11.91	14.28
31.75<38.10	7.93	11.11	14.28	17.46
38.10<44.45	8.73	12.7	15.87	19.5

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.8 Dimensionamiento y diseño del tanque del espesador

Para soportar cargas hidrostáticas, el espesor de la pared de la carrocería debe exceder el cálculo basado en el diseño o las condiciones de prueba hidrostática. No obstante, no debe ser inferior a los valores mínimos presentados en la tabla siguiente.

Nota. En nuestro estudio, considerando un diámetro de 35 m, la pared del tanque será de 9 mm.



**Tabla 5:**

**Tabla para cálculos de espesores de cuerpo de tanque**

<b>Diámetro nominal en metros</b>	<b>Espesor mínimo en milímetros</b>
<b>&lt;15.24</b>	<b>4.76</b>
<b>15.24 &lt; 36.567</b>	<b>6.35</b>
<b>36.567 &lt; 60.96</b>	<b>7.93</b>
<b>&gt;60.96</b>	<b>9.52</b>

Fuente: Elaboración propia

**4.1.1.9 Determinación de los diámetros de los espesadores**

En este trabajo, el diseño permite una operación continua sin interrupción en la alimentación o descarga y lograr la concentración requerida en el flujo inferior con la pulpa en su dilución original.

Para una capacidad de 900 tn/día

$$D = \sqrt{\frac{4X A_u \left(\frac{ton}{dia}\right) (\%)}{\pi}}$$

Donde:

D = Diámetro.

$\pi = 3.1416$ .

$A_u =$  área unitaria.



$$D = \sqrt{\frac{(4 \times 2.59 \text{ pie}^2/\text{tn}/\text{dia})(900 \text{ tn}/\text{dia})(0.8)}{\pi}}$$

$$D = 48.8 = 49 \text{ pie}$$

Observaciones. En lo que respecta a los elementos de diseño, se ha tenido en cuenta el factor de seguridad y ya es mayor de lo necesario.

Es posible determinar el diámetro del floculante óptimo utilizado en la sedimentación mediante cálculo.

**Tabla 6:**

**Diámetros de los espesadores (pies) pruebas con 0.025 lb/Tn de floculante**

Dilución del underflow	Capacidad del espesador TC/día					
	50	100	200	500	800	1000
0.8	11	16	22	35	44	49
0.75	13	18	26	41	41	57
0.7	16	22	31	48	48	68
0.675	17	24	34	53	53	72
0.65	21	29	41	65	65	92

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.10 Determinar la altura del espesador

La altura del espesador es equivalente a la del líquido claro y la abertura de descarga para el flujo inferior.

Cuando se utilizan datos obtenidos de pruebas de laboratorio para determinar la altura (H), es fundamental tener en cuenta las siguientes medidas de altura.

Observacion:



$$H = \frac{1.33 \times T (S - 1)}{A_u \times S (S' - 1)} + h$$

Donde:

H = Altura en pies

S = Gravedad específica.

T = tiempo de prueba.

S' = Densidad de la pulpa en U/F.

h = (H<sub>1</sub>+H<sub>2</sub>+H<sub>3</sub>+H<sub>4</sub>)

A<sub>u</sub> = Area Unitaria.

$$h = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

H<sub>1</sub> =Alturas de capacidades de almacenamientos por interrupciones o irregularidades (1.5 a 2 pies)

H<sub>2</sub> = Altura correspondientes a la sumersión en la alimentación (zona de clarificación) 1.5 a 2 pies

H<sub>3</sub> = Inclinación del fondo. (2 a 2.5 pies)

H<sub>4</sub> = Altura de sedimentación. (2 a 2.5 pies)

Se considera los valores mínimos

$$H = \frac{1.33 \times 5 \times (2.68 - 1)}{2.59 \times 2.68 (1.5 - 1)} + (1.5 + 1.5 + 2 + 2)$$

$$Ht = 10.22 \text{ pies}$$

Además, conseguimos establecer la altura dependiendo del tipo de floculante.



**Tabla 7:**

**Altura del espesador en metros**

Delusion del underflow	Sin floculante	Separan MG - 200		Maguafloc - 351		Superfloc -127	
		0.005	0.025	0.005	0.025	0.005	0.025
0.8	9.36	10.4	10.66	10.72	10.42	11.13	10.13
0-75	9.89	10.37	10.9	10.9	9.6	10.84	9.72
0.7	10.19	9.72	10.37	10.84	-	10.37	10.42
0.675	9.6	9.39	-	10.96	-	-	-

Nota. Elaboración propia

**4.2 Datos para la instalación de espesador optimizado**

En la investigación presentaremos, los parámetros, los procedimientos y los datos generales utilizados a lo largo del proyecto que investiga el montaje y la investigación del espesador.

**4.2.1 Normas aplicables para las instalaciones del tanque de espesadores**

**4.2.1.1 Normas de soldadura**

El aspecto central de la fabricación de tanques es su diseño y cálculo. La norma API 650 sirve como base para el diseño de tanques de almacenamiento sujetos a presión atmosférica. Estas normas son parte integral de los cálculos y el diseño del tanque.

Las normas y estándares adaptables son:

- AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel
- API 653 Tank inspection repair alteration and reconstruct.
- API 650 Welded tank for oil storage.



## 4.2.1.2 Norma y abreviatura estructural

A continuación, se describen los estándares específicos de fabricación e instalación que cumplen con los requisitos de la edición más actual:

### Normas

- ASTM A36 Especificación estándar para acero estructural.
- AISC 360-05 Especificaciones para edificios estructurales de acero.
- AISC Especificación para juntas estructurales con pernos ASTM.A325.

### Abreviaturas

- ASTM American Society of Testing and Materials (USA).
- AWS American Welding Society (USA).
- ASME American Society of Mechanical Engineers (Use).

## 4.2.1.3 Bombas en los Sistemas de los espesadores

### 4.2.1.3.1 Bombas diluciones y recirculaciones

El flujo requerido para la dilución de relaves al 8 % en peso en una pulpa al 50 % en peso y para diluir la solución madre de floculante del 0,25 % al 0,01 % será proporcionado por las bombas de recirculación y dilución de agua. Estas bombas también suministrarán el flujo necesario para los requisitos de agua del sello. Para cubrir todas las tareas planteadas se ha estimado un caudal de diseño de 470 m<sup>3</sup>/h.

### 4.2.1.3.2 Bombas de aguas recuperadas

Para los fines de este estudio de caso específico, se asumirá que el punto de descarga del agua recolectada está situado a una altura de 150 m sobre la planta espesadora y a una distancia de 5 km. Para gestionar la tarea en cuestión, se utilizan dos conjuntos de 3 bombas centrífugas en serie, con un conjunto en funcionamiento mientras el otro está en espera, y están dimensionadas para



manejar un flujo total de 2.020 m<sup>3</sup>/h (561 l/s). Para reducir los costos asociados con el transporte del agua recolectada, el segmento inicial de 2 km está compuesto de acero al carbono, mientras que el resto está hecho de HDPE.

#### 4.2.1.4 Sistema de pinturas

La especificación para pintura:

- SSPC-PA1 Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento.
- SSPC-SP1 a SP10 Standers SSPC. Preparación de superficies.
- SSPC-Guía 15 Contaminantes no visibles (iones cloruros)
- SSPC-PA2 Medición de espesores de película seca.
- ASTM E337 Métodos estándares para las mediciones de humedades con un

psicrómetro.

- SSPC-SP2 Limpieza con herramientas manuales.
- SSPC-SP1 Limpieza con solvente.
- SSPC-SP10 Limpieza con chorro abrasivo cercano al metal blanco.
- SSPC-SP3 Limpiezas con instrumentos motrices.
- ASTM D 4285 Método estándar para indicar presencia de aceite en el aire.
- ASTM D4417 Método estándar para la medición en campo del perfil de

rugosidad.

#### 4.2.1.5 Material a emplear en el espesador

Con base en las pautas y requisitos, los materiales que se emplearán se pueden identificar de la siguiente manera de acuerdo con las normas y especificaciones prescritas.

### 4.2.1.5.1 Pernos de anclaje

Deben cumplir con los requerimientos de ASTM F1554

- ❖ Tuercas Hexagonal pesada A563 DH.
- ❖ Su arandela debe ser pesada ASTM F436.
- ❖ Hilo UNC (ANSI /ASME B1.1

Cada empresa minera tiene sus especificaciones y pernos de anclaje designados:

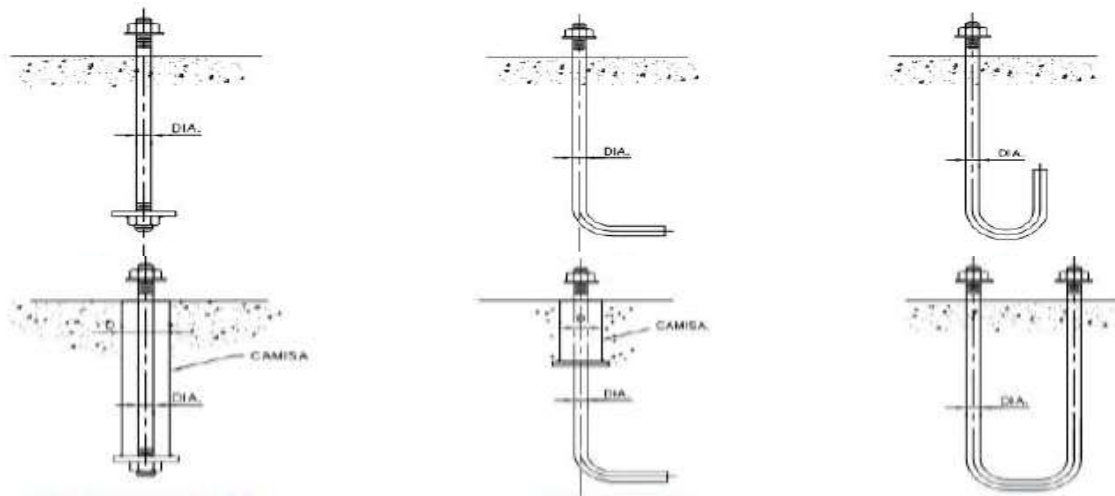
#### Figura 10:

#### Instalaciones y nomenclaturas de pernos de anclajes



Fuente: (Placas de anclaje 2018 P.17)

Para garantizar una instalación adecuada, es imperativo que los pernos de anclaje estén incrustados en el refuerzo de hormigón de forma vertical. Se deben seguir estrictamente los planos aprobados, indicando el tipo concreto de perno de anclaje a utilizar, así como las dimensiones de fabricación.

**Figura 11:****Pernos de anclaje tipos.**

Fuente: (Acerourbano; formas ingeniería y diseño)

**4.2.1.5.2 Aplicaciones de Grout en estructuras**

Como se mencionó anteriormente, en los casos en que una estructura no está sujeta a vibraciones, la lechada epoxi es el material preferido. Por otro lado, si la estructura no es muy visible, la lechada cementosa es la alternativa habitual.

**Preparación de la Superficie de Contacto**

- Personal cualificado manejará un taladro y brocas escarificadas para realizar el escarificado, generando irregularidades superficiales de hasta 10 mm de altura según las especificaciones técnicas del fabricante.
- Para que la lechada se adhiera correctamente al metal, es imperativo que la cara de la placa inferior esté completamente limpia de óxido, escoria de acero, aceites, grasa u otras sustancias que puedan afectar negativamente el proceso de unión.

**Preparación de Grout Cementicio**

- ❖ El proceso de mezclado se ejecutará mediante una batidora mecánica de bajas revoluciones. Este mezclador está especificado en la ficha técnica



del producto y ha sido examinado minuciosamente en el laboratorio antes de su uso.

- ❖ Si bien el tiempo de mezclado estándar se establece en cuatro minutos, es importante considerar las recomendaciones detalladas en las especificaciones técnicas del producto que se utiliza. Estas pautas informarán la duración del proceso de mezcla.

### **Colocación del Grout Cementicio**

- ✓ Para mejorar la adherencia del rejuntado se recomienda escarificar la superficie donde se aplicará. Este proceso hace que la base se vuelva áspera, lo que permite un agarre más fuerte.
- ✓ Antes de aplicar la lechada, es fundamental asegurarse de que la base esté adecuadamente saturada de humedad, lo que se puede conseguir utilizando un paño húmedo para humedecer la superficie.
- ✓ Para evitar la acumulación de agua o aire en los orificios de los pernos, se aplicará lechada en un extremo de la placa base y luego se dirigirá hacia el otro lado. Es importante empezar rellenando los agujeros con lechada.
- ✓ Antes de poder realizar el rejuntado, es necesario crear un encofrado alrededor de la estructura utilizando moldes de madera. Este encofrado contendrá y dará forma a la lechada durante el proceso de vertido.
- ✓ Para garantizar la estabilidad y evitar filtraciones, el encofrado deberá estar bien fijado y sellado, con una distancia mínima de 5 cm desde la placa base.
- ✓ La mezcla se colocará consistentemente y sin interrupciones.



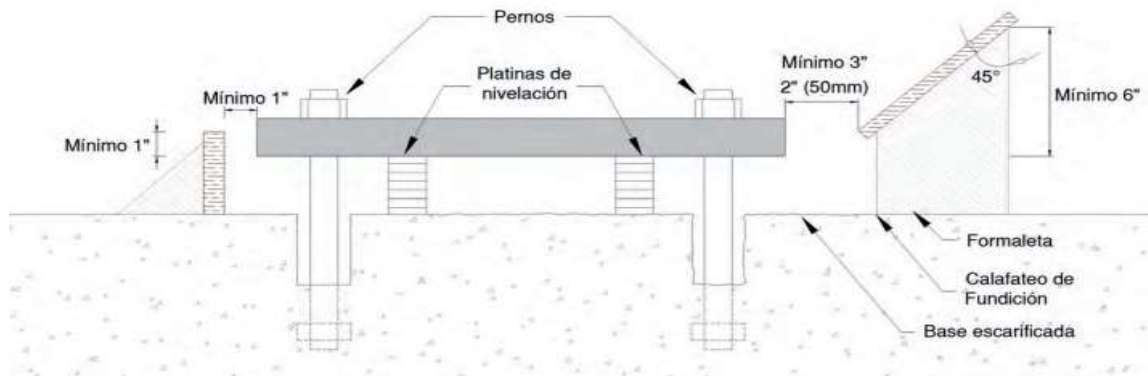
- ✓ La prevención y regulación de bolsas de aire dentro de la mezcla durante el proceso de vaciado se controlará y gestionará cuidadosamente para garantizar resultados óptimos.
- ✓ Se supervisará y abordará cuidadosamente la prevención y regulación de las bolsas de aire dentro de la mezcla mientras se vacía.
- ✓ Para asegurar un secado gradual, se deben colocar trapos húmedos sobre la lechada. Esto mantendrá la lechada húmeda mientras se seca con el tiempo.

### **Curado de Grout.**

- ❖ Para asegurar un curado adecuado, la superficie inyectada debe cubrirse con paños húmedos durante al menos tres días.
- ❖ Para garantizar que la temperatura sea la adecuada, es fundamental mantener un nivel adecuado. Se recomienda montar una carpa pequeña e incluir un calentador o fuente de luz en su interior para obtener condiciones óptimas.
- ❖ Para mantener una temperatura constante, el enfoque más práctico sería construir un refugio alrededor de los cimientos que se haya llenado con lechada. Además, puedes añadir aparatos de calefacción o accesorios de iluminación para regular la temperatura.

Figura 12:

## Aplicaciones de grout



Fuente: (Gua para selección y colocación de grouts, versión 2017 p.4,6)

#### 4.2.1.5.3 Uniones Apernadas para Estructura de Espesadores.

El cumplimiento de las normas prescritas para el montaje de la estructura espesante es un requisito para todas las uniones atornilladas implicadas.

Es imperativo que los tornillos elegidos posean altos niveles de resistencia.

- ❖ A490 Perno controlado para la estructura de amarre, pernos desde 1" a 2".
- ❖ A325 Perno hexagonal para barandas de puente, pernos desde ½" a 1".

- ❖ A490 Perno hexagonal para diagonales de la estructura, pernos de diámetro desde 2" a 3 1/2".

### Descripciones de Pernos (Ejemplo como se debe Solicitar).

El perno hexagonal, con una rosca de acero aleado, ha sido sometido a un proceso de templado y revenido para mejorar su resistencia y resistencia. Está recubierto con un acabado negro bruñido y cuenta con una rosca UNC de 5/8" x 5". Este perno va acompañado de una tuerca y una arandela y cumple con los estándares establecidos por ASTM A490 Tipo A, A194 Grado 2h y F436.

### Tipos de Conexiones para Perno A490 y A325.

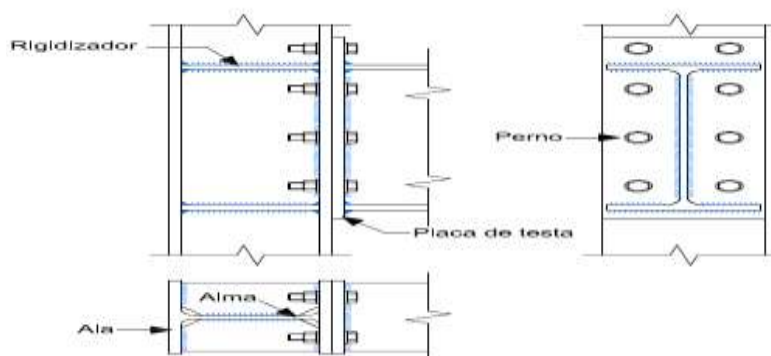
Existen diversas uniones, tal y como se describe en la siguiente tabla.

Los cuales son:

- Angulares de extremo, chapas de ala.
- Secciones en T.
- Angulares de alma, de ala.

**Figura 13:**

### Estándares Uniones de pernos



Fuente: Elaboración propia



## Procedimientos de Instalaciones de Pernos

- ❖ Según el plano, los tornillos se fijarán con arandelas situadas debajo del elemento giratorio, concretamente la tuerca y la cabeza.
- ❖ Es esencial la alineación adecuada de los pernos dentro de un rango de tolerancia aceptable. Es fundamental asegurarse de que los pernos no se dañen durante el proceso de colocación y que no se martillan con fuerza para colocarlos en su posición.
- ❖ Antes de ajustar los tornillos, se recomienda realizar un preajuste. Esto ayudará a garantizar que las uniones atornilladas estén ajustadas correctamente. Para lograr esto, los pernos se deben apretar manualmente hasta que encajen perfectamente en las placas de empalme y hagan contacto con los elementos estructurales.
- ❖ Es importante recordar que, al sujetar placas, el proceso de apriete siempre debe comenzar por la zona más inflexible y/o soldada y continuar hacia afuera.
- ❖ Cuando se trata de placas que conectan dos componentes estructurales, se recomienda comenzar a apretar los pernos desde el centro de la placa de empalme y trabajar hacia afuera, hacia los extremos. Después de apretar los pernos, se deben marcar claramente con un marcador metálico para indicar que la unión se ha tensado correctamente. Sin embargo, es importante señalar que la tensión controlada de los pernos debe verificarse mediante la rotura del pasador.
- ❖ Al implementar un preapriete de los tornillos, se garantiza el valor de torque adecuado al realizar la operación de ajuste final.
- ❖ Las estructuras de acero se someterán a una conexión atornillada durante las fases de premontaje y montaje.
- ❖ Asegúrese de que la secuencia de ajuste esté correctamente identificada y confirmada.



- ❖ A la hora de fijar las placas es imprescindible apretarlas empezando por la parte más rígida o soldada y trabajando hacia el exterior.

#### 4.2.1.6 Materiales Estructurales Dentro de un Espesador.

Cuando se trata de edificios con estructura metálica, la estructura se compone de varios elementos que deben estar efectivamente conectados entre sí. Esto implica el uso de distintas conexiones estructurales para unir cada pieza del edificio sin problemas.

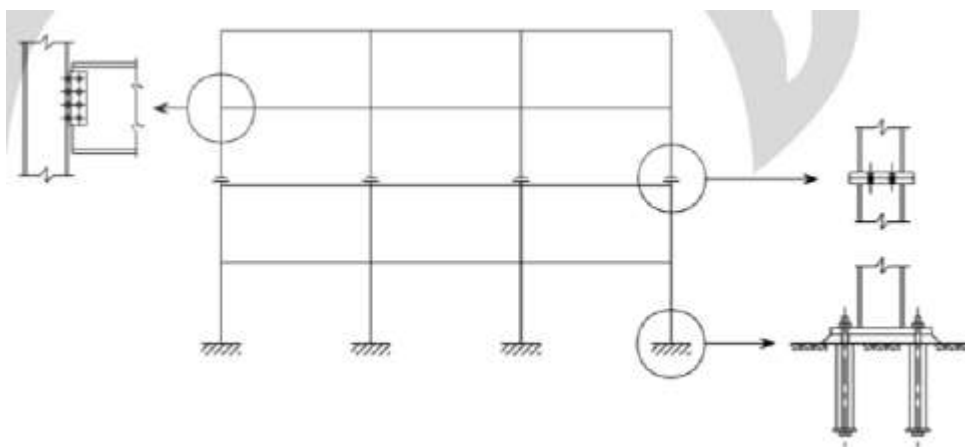
- Los casos de tensión estructural surgen cuando se produce un cambio de dirección, como dentro de las conexiones viga-columna y viga-viga, así como en los vínculos entre barras en cerchas.
- Los responsables de garantizar que la estructura de acero pueda transportarse y montarse sin dificultad y necesitando dimensiones razonables.

Cuando se trata de seleccionar el material apropiado para la estructura de cimentación de un espesador, existen varias opciones que son aceptables y aplicables. Éstas incluyen:

- El acero estructural conocido como A36 es adecuado para diámetros inferiores a 38 mm de espesor. Estos materiales se pueden emplear en diagonales y columnas.
- En el ámbito del acero estructural A131, existe una variedad de grados aplicables para las bases de espesantes.

Grado B, se emplea para estructura menos a 1

Grado A, se emplea para estructura menor a 1/2".

**Figura 14:****Unión en un pórtico uniones en el contexto de un pórtico de varias plantas.**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.6.1 Tipos de Uniones Estructurales

Cuando se construye un edificio destinado a soportar cargas estáticas, como la tensión del viento, la clave es crear juntas que puedan soportar fuerzas que son principalmente unidireccionales. Este enfoque para el diseño de juntas es suficiente para la mayoría de los edificios resistentes a cargas estáticas.

Al construir el espesador, se utilizarán una variedad de uniones.

- Uniones viga a pilar.
- Uniones viga a viga.
- Uniones a los arriostramientos
- Bases a pilar.
- Empalme de pilares.

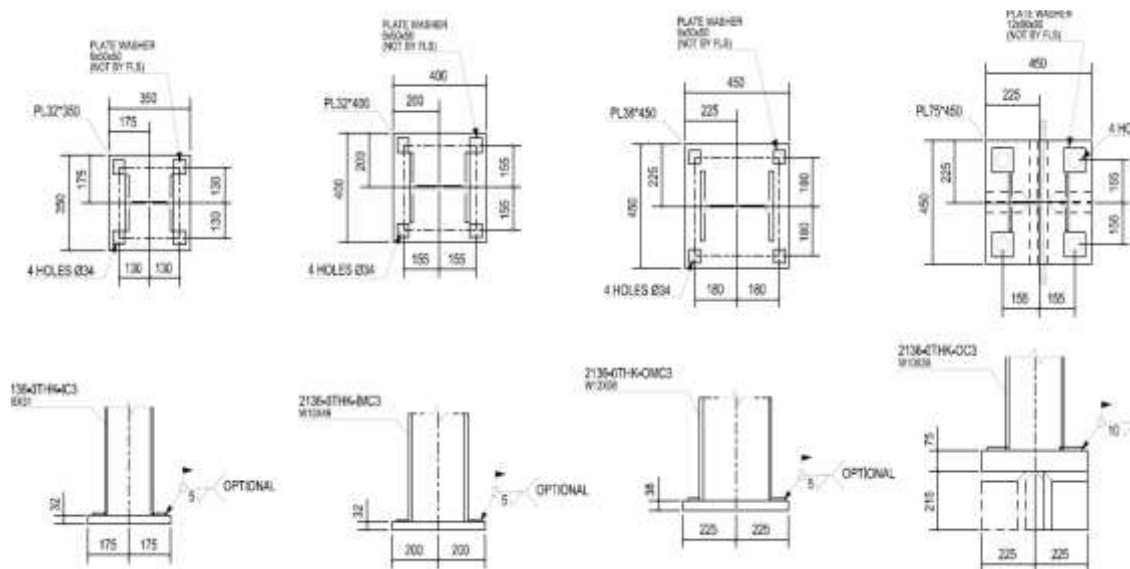
### 4.2.1.6.2 Bases de Pilares

Si se busca una solución rentable, no es necesario reforzar placas base gruesas.

En modelos de aviones anteriores, se utilizaban asientos más delgados junto con mecanismos de refuerzo para reforzar la estructura.

Figura 15:

### Bases de pilares para los soportes de los espesadores



Fuente: Elaboración propia

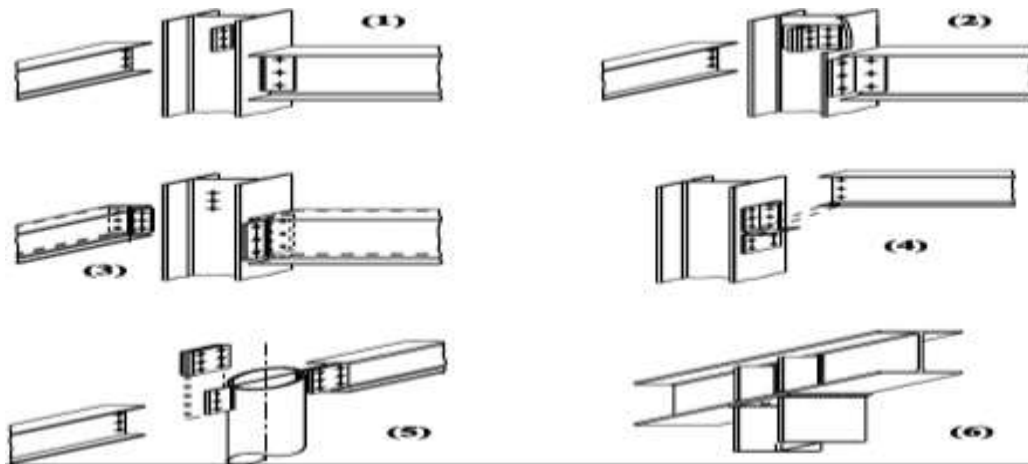
### 4.2.1.6.3 Unión Viga – Pilar.

- ❖ El pilar está equipado con placas soldadas que permiten la unión. La viga, en cambio, está unida por un solo lado.
- ❖ Una opción para crear una conexión segura es mediante tornillos, lo que implica el uso de manguitos de red. Otra posibilidad es soldar los casquillos en su lugar.
- ❖ La viga está equipada con placas terminales que pueden flexionarse y doblarse de acuerdo con las condiciones del entorno gracias a una técnica de soldadura especializada utilizada durante la instalación.

- ❖ La capacidad de una conexión atornillada se puede aumentar significativamente utilizando insertos de asiento de casquillo horizontales. Estos insertos están diseñados para asegurar la conexión a los casquillos del asiento, dando como resultado una sujeción más estable y segura.

**Figura 16:**

### Unión viga - pilar



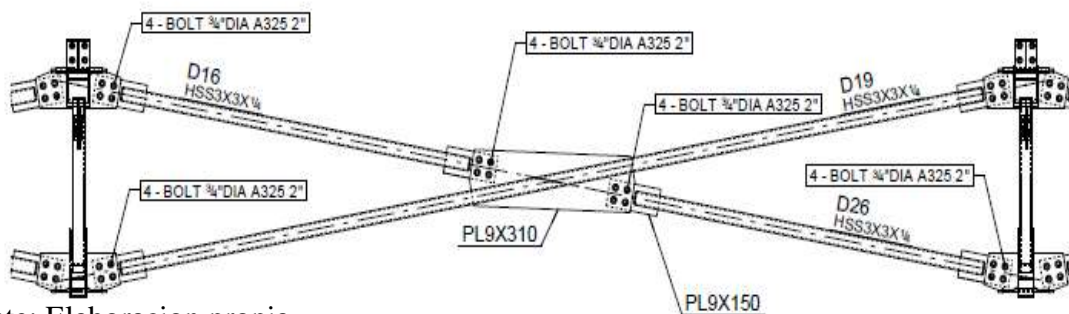
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.6.4 Unión Simple Viga – Viga.

Este diseño es comparable al de la figura y, naturalmente, se debe omitir el refuerzo siempre que sea posible.

**Figura 17:**

### Unión viga - viga



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.6.5 Uniones Verticales de Arriostramientos.

Al examinar las imágenes presentadas, se puede observar la estructura del espesante. Los tirantes, que se fijan con pernos, actúan como soporte estructural de este marco. Para ensamblar el espesador se debe armar el mismo en gajos o paquetes que cumplan con las normas de transporte de la instalación minera, permitiendo facilitar su transporte.

**Figura 18:**

#### Unión estructural vertical con arriostramientos



Fuente: (Elaboracion propia)

#### 4.2.1.6.6 Planchas para el Tanque

Para garantizar la longevidad con respecto a la exposición química, los materiales seleccionados para construir las placas del tanque deben ser muy duraderos. Normalmente, para placas de 1 ½ pulgadas de espesor, se utiliza ASTM A-283, Grado C, mientras que se prefiere el Grado D para placas de ¾ pulgadas de espesor. Es imprescindible seguir los planos constructivos aprobados

y contar con el sello de calidad del cliente antes de instalar las placas. La oficina técnica también deberá verificar la instalación.

Para garantizar una estructura robusta y confiable que cumpla con las especificaciones de diseño, se emplean códigos y estándares específicos durante el proceso de ensamblaje de la placa del tanque. Es esencial considerar los requisitos necesarios al seleccionar estos estándares.

Al ensamblar un tanque, es fundamental cumplir con un código establecido que describe cada paso del proceso. Esto garantiza que todas las alineaciones se ejecuten con precisión. El código en cuestión puede ser ASW D1.1 o un estándar establecido similar.

### **Figura 19:**

#### **Instalaciones de planchas de tanques**



Fuente: (Elaboración propia)

#### **4.2.1.6.7 Soldadura en Tanques.**

La Sección IX del código API-650 ASME no especifica el proceso de soldadura para tanques. En cambio, exige que cada unión soldada debe tener un



procedimiento específico para el tipo de soldadura utilizada, y que el soldador debe estar calificado para realizar dicha soldadura. El cliente debe aprobar los procedimientos de soldadura, los cuales deben detallar la preparación del material, temperatura, tipo de material de soldadura y responsabilidades del personal.

#### 4.2.1.7 Sistema de Giro de Rastras.

Se requiere un mecanismo potente. Este mecanismo consta de una unidad hidráulica, cinco motores hidráulicos y cinco reductores planetarios que mueven colectivamente el piñón principal. La unidad hidráulica es accionada por motores eléctricos, que a su vez activan los reductores, cada uno de los cuales tiene su propio motor. Luego se fija todo el conjunto al piñón principal, que debe acoplarse al mecanismo espesador para entregar el par necesario para la rotación del sistema de arrastre. El sistema opera a través de bombas hidráulicas, las cuales envían un flujo específico para lograr las revoluciones requeridas por los motores hidráulicos. La dirección de rotación del motor se puede controlar mediante un accionamiento manual, lo que permite que el motor gire en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario a las agujas del reloj.

En determinados casos, la velocidad de las rastras se controla mediante el uso de un convertidor de frecuencia. Este mecanismo proporciona una medición del par utilizado por el equipo.

La velocidad a la que opera la grada y las alarmas que suenan desde el panel de control están directamente relacionadas con los niveles de torque que se miden y muestran en el indicador de torque. En caso de que el par del equipo exceda los límites permitidos, el espesador se detendrá.



Los espesadores dentro de las operaciones de una empresa minera son activos vitales en la producción de concentrados minerales y, como tales, requieren optimización para garantizar su protección. Una de las formas más efectivas de lograrlo es mediante la implementación de un sistema que permita ajustar la altura de la grada, lo que resulta en un funcionamiento consistente y óptimo del espesador. El sistema se compone de un tablero de control para el accionamiento, así como de un motor electrohidráulico y controles de elevación de la grada.

Cuando se trata de tanques espesadores, es imperativo que se utilice exclusivamente un sistema automático de elevación de grada cuando el diámetro del tanque sea de 25 pies o más.

### **Recomendaciones al Ejecutar las Pruebas de Giro**

- Para garantizar un rendimiento óptimo al iniciar las operaciones, se recomienda tener agua o una solución presente en la base del espesante. Esta cantidad debería ser suficiente para llenar el fondo cónico del aparato.
- Para garantizar que el espesante funcione de manera óptima, es imperativo eliminar cualquier residuo o partícula extraña que pueda haberse acumulado en su interior. Además, es fundamental eliminar cualquier obstrucción o impedimento, como bloques o anclajes, que puedan dificultar su correcto funcionamiento.
- Se recomienda tener abundante agua en el cono espesante antes de activar el mecanismo. Esto garantizará el flujo fluido de materiales sólidos durante las etapas iniciales de operación.



- Antes de operar, es esencial asegurarse de que los niveles de aceite y lubricación de la transmisión se examinen minuciosamente y cumplan con los estándares.
- Antes de utilizar los motores y reductores, es imprescindible evaluar su estado general de mantenimiento. Esto incluye garantizar que los componentes estén en buen estado de funcionamiento y libres de defectos o daños que puedan comprometer su eficacia.
- Antes de proceder con cualquier trabajo, es importante asegurarse de que la estructura esté libre de aceites, desechos o escombros, así como de herramientas o equipos que puedan impedir el avance.
- Para garantizar un funcionamiento correcto, es necesario girar la grada un mínimo de cuatro a cinco veces. Todas las observaciones deberán realizarse desde el exterior del espesador.
- Es imperativo verificar que las palas de los brazos de la grada estén a una distancia de 150-200 mm de la base del espesador.
- Es imperativo asegurarse de que el sistema eléctrico de los paneles de control esté conectado correctamente.
- Es necesario controlar el caudal de floculante que ingresa al espesador.

## **4.3 Resumen de las dimensiones del espesador de tracción periférico**

### **4.3.1 Espesador de Tracción Periférica**

La composición del espesador comprende una viga principal construida en acero móvil, un cilindro deflector y un mecanismo raspador ubicado en la parte inferior. El mecanismo raspador se compone de dos brazos porta hoja y una colección de estacas engrosadoras situadas en la parte superior del mecanismo. El

espesador también está equipado con un doble carro lateral, junto con un equipo de doble rotación que facilita la tracción periférica. Cada uno de estos componentes está equipado con un motor eléctrico y un reductor para garantizar un rendimiento óptimo.

El punto central de la entrada de lodos es crucial, pero la función del deflector es redirigir el flujo con el fin de maximizar el proceso de espesamiento.

La función principal de las palas rascadoras de lodos es mover los lodos acumulados desde el fondo de un tanque y recogerlos en un foso central. Luego, estos lodos se transportan a través de una tubería para su descarga. La versión estándar de estas palas está fabricada en acero al carbono, aunque bajo pedido se pueden fabricar versiones en acero inoxidable o aluminio.

**Figura 20:**

#### **Espesadores de tracción periféricas convencionales**



Fuente: (Xinhal, mineral processing EPC & machinery)

#### **4.3.1.1 Datos de espesadores convencionales de la minera**

Fueron proporcionados por la minera donde se ejecutaba las optimizaciones de los espesadores.



**Tabla 8:**

**Dimensión del espesador de tracción periférica**

Diámetro del tanque (m)	Altura del tanque (m)	Masa indicativa (t/hr)	Vol, indicativo (m3/hr)	Torque instalado (kNm)
70	3	819.67	3300	

Nota. Elaboración propia

**4.3.1.2 Caudal de Relave Ingresado por Año al Espesador de Tracción Periférica.**

**Tabla 9:**

**Agua recuperada en un año en el espesador de tracción periférica**

MES	Vol. De relave que ingresa al espesador (m3/dia)	Vol. De floculante que ingresa al espesador (m3/dia)	vol. De agua recuperado (m3/dia)	vol. De relave hacia posas (m3/dia)
enero	79506	566	65360	14145
febrero	79265	558	62267	13996
marzo	79024	550	59174	13847
abril	78783	542	56081	13698
mayo	78542	534	52988	13549
junio	78301	526	49895	13400
julio	78060	518	46802	13251
agosto	77819	510	43709	13102
setiembre	77578	502	40616	12953
octubre	77337	494	37523	12804
noviembre	77096	486	34430	12655
diciembre	76855	478	31337	12506

Fuente: Elaboración propia





**4.3.1.5 Caudal del Relave Ingresado al Espesador por Día.**

En la tabla muestra la cantidad de relaves que se introducen en el espesador en un solo día. Estos datos se obtuvieron directamente de la sala de control del espesador.

**Tabla 10:**

**Alimentación Tubería Underflow (fedd)**

Hora (hr)	Relave ingreso (m3/hr)	Floculante (m3/hr)	% de solido	Agua recuperada (m3/hr)	% de torque de rastra
1	2084.6	13.14	65	1713.3	25
2	2280.3	12.99	67	1799.4	27
3	1983.9	13.08	63	1684.1	21
4	2379.5	13.11	68	1972.4	29
5	1925.8	14.21	61	1635.7	21
6	2163.5	17.69	64	1853.8	24
7	2066.9	14.31	64	1645.4	25
8	2054.6	13.05	65	1683.3	25
9	2180.3	13.01	67	1699.4	27
10	1933.4	13.22	63	1633.6	21
11	2369.1	13.83	67	1912	29
12	1935.1	13.11	61	1645	21
13	2143.6	12.53	64	1833.9	24
14	2006.9	13.99	64	1585.4	25
15	2084.6	13.52	65	1713.3	25
16	2280.3	13.65	67	1799.4	27
17	1983.9	15.23	63	1684.1	21
18	2379.5	13.2	68	1968.1	29
19	1925.8	13.11	61	1635.7	21
20	2163.5	12.75	64	1853.8	24
21	2006.8	13.6	64	1585.3	25
22	2066.9	13.37	65	1645.4	25
23	2157.1	13.47	64	1735.6	26
24	2084.6	12.72	65	1713.3	25

Fuente: Elaboración propia



**4.3.1.6 Floculante Ingresado al Espesador.**

Para dispensar adecuadamente el floculante, se debe establecer una pequeña instalación donde el floculante se mezcla con agua en tanques de almacenamiento.

Posteriormente es transportado al espesador mediante un sistema de bombeo.

**Tabla 11:**

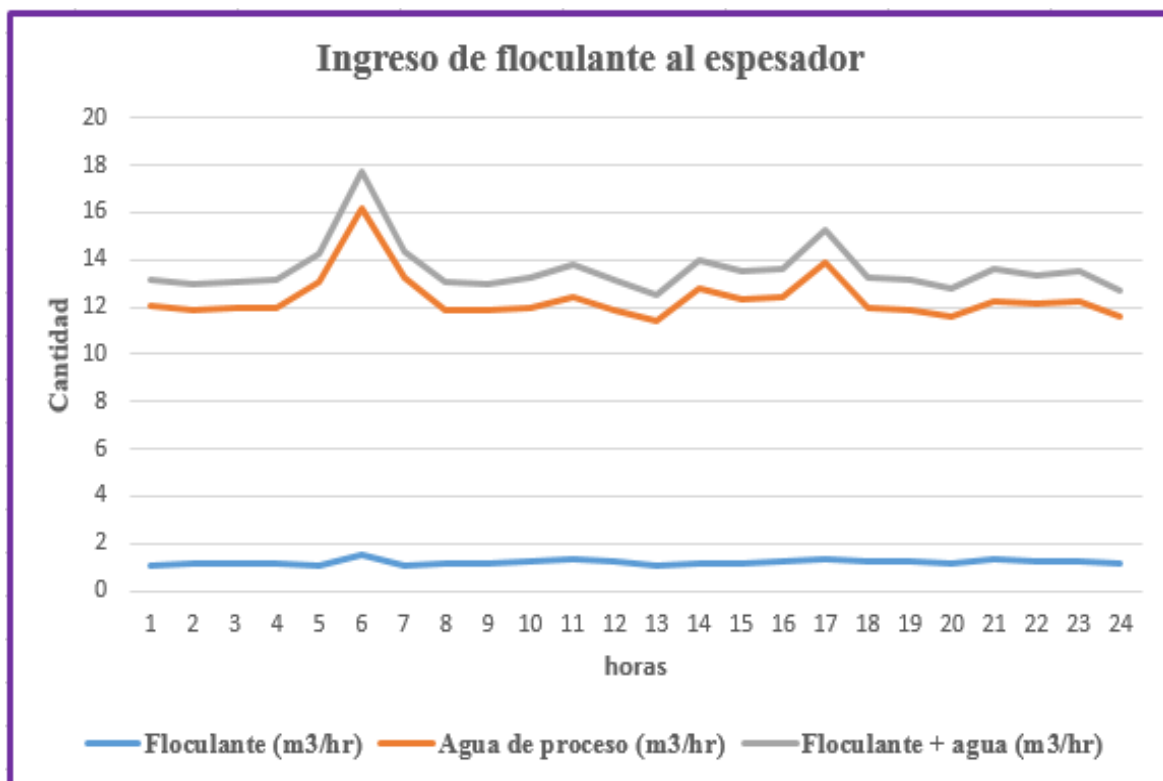
**Floculante ingresado al espesador en un día.**

<b>Hora (hr)</b>	<b>Relave ingreso (m3/hr)</b>	<b>Floculante (m3/hr)</b>	<b>Agua de proceso (m3/hr)</b>	<b>Floculante + agua (m3/hr)</b>
1	2084.6	1.1	12.04	13.14
2	2280.3	1.12	11.87	12.99
3	1983.9	1.14	11.94	13.08
4	2379.5	1.15	11.96	13.11
5	1925.8	1.11	13.1	14.21
6	2163.5	1.49	16.2	17.69
7	2066.9	1.11	13.2	14.31
8	2054.6	1.14	11.91	13.05
9	2180.3	1.17	11.84	13.01
10	1933.4	1.25	11.97	13.22
11	2369.1	1.38	12.45	13.83
12	1935.1	1.24	11.87	13.11
13	2143.6	1.11	11.42	12.53
14	2006.9	1.19	12.8	13.99
15	2084.6	1.2	12.32	13.52
16	2280.3	1.21	12.44	13.65
17	1983.9	1.36	13.87	15.23
18	2379.5	1.24	11.96	13.2
19	1925.8	1.27	11.84	13.11
20	2163.5	1.19	11.56	12.75
21	2006.8	1.37	12.23	13.6
22	2066.9	1.27	12.1	13.37
23	2157.1	1.27	12.2	13.47
24	2084.6	1.16	11.56	12.72

Fuente: Elaboración propia

**Figura 22:**

### Ingreso de floculante al espesador



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.7 Descargas de Relaves hacia Pozas.

El siguiente cuadro muestra la cantidad de relaves que son dirigidos hacia los estanques mediante bombas centrífugas. A pesar de que no se puede recuperar el porcentaje de agua de estos relaves, todavía se bombean.



Tabla 12:

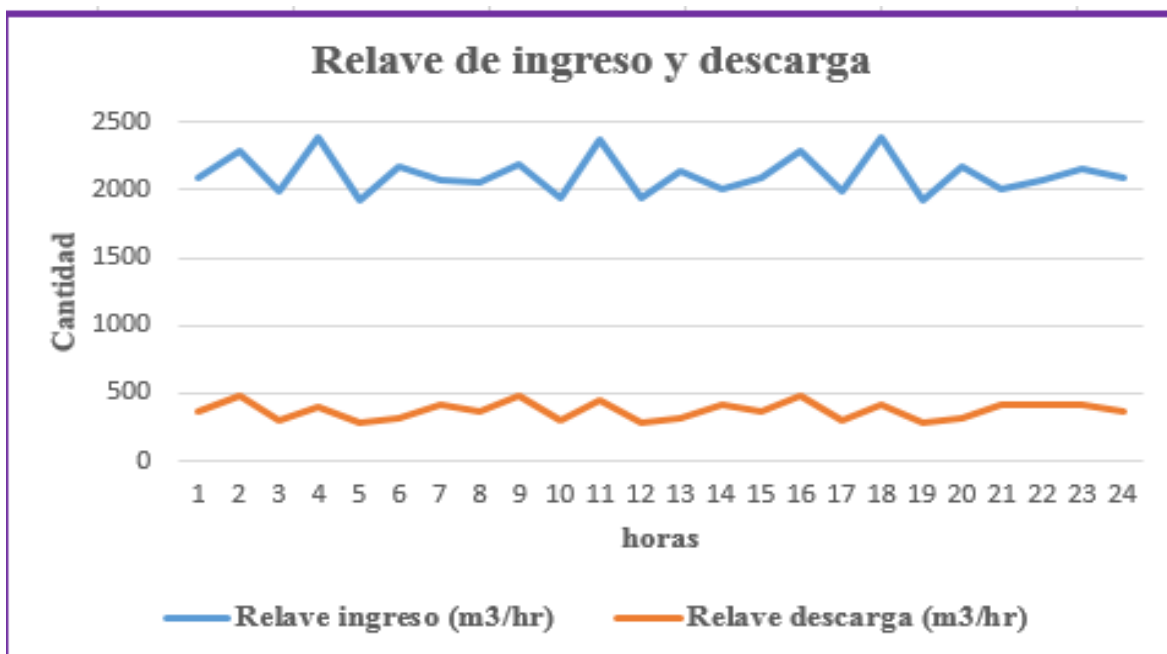
Relaves salientes de los espesadores hacia las pozas (descarga).

Hora (hr)	Relave ingreso (m3/hr)	Relave descarga (m3/hr)	% de solido
1	2084.6	371.3	65
2	2280.3	480.9	67
3	1983.9	299.8	63
4	2379.5	407.1	68
5	1925.8	290.1	61
6	2163.5	309.7	64
7	2066.9	421.5	64
8	2054.6	371.3	65
9	2180.3	480.9	67
10	1933.4	299.8	63
11	2369.1	457.1	67
12	1935.1	290.1	61
13	2143.6	309.7	64
14	2006.9	421.5	64
15	2084.6	371.3	65
16	2280.3	480.9	67
17	1983.9	299.8	63
18	2379.5	411.4	68
19	1925.8	290.1	61
20	2163.5	309.7	64
21	2006.8	421.5	64
22	2066.9	421.5	65
23	2157.1	421.5	64
24	2084.6	371.3	65

Fuente: Elaboración propia

**Figura 23:**

### Volumen de agua recuperada



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.8 Volúmenes Recuperados de Agua con el Espesador Optimizado en un Año.

La siguiente tabla presenta una descripción general completa de los datos clave relacionados con el espesador, incluido el volumen total de agua recuperada dentro de sus límites, la cantidad de relaves dirigidos a las piscinas designadas y la cantidad de floculante introducido en el espesador. Toda esta información se recopiló a lo largo de un año, abarcando tanto la puesta en servicio inicial como el funcionamiento continuo de los espesadores.



**Tabla 13:**

**Agua recuperada en un año en el espesador optimizado.**

Mes	Vol. De relave que ingresa al espesador (m3/día)	Vol. De floculante que ingresa al espesador (m3/día)	Vol. De agua recuperada (m3/día)	Vol. De relave hacia posas (m3/día)
Enero	50640.5	360.6	41630.7	9009.8
Febrero	48574.9	355.5	39660.5	8914.4
Marzo	50985.1	320.8	42085	8900.1
Abril	51241.4	340.9	42115.9	9125.5
Mayo	52456.7	364.2	43405.9	9050.8
Junio	49885.1	346.1	41034.4	8850.7
Julio	49223.8	346.9	40413.8	8810
Agosto	50640.5	350.4	42090	8550.5
Septiembre	50240.2	351.2	41251.4	8988.8
Octubre	47556.5	349.2	39003.8	8552.7
Noviembre	48690.7	340.5	40030.4	8660.3
Diciembre	48007.5	330.7	38327.1	9680.4
<b>Total de agua recuperado en un año</b>			<b>491048.9</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Análisis Económico

#### 4.3.2.1 Generalidades.

La investigación demuestra el costo total de producción, el gasto asociado a la compra de materiales, el ensamblaje de dichos materiales, así como el costo de contratación de personal para supervisar la instalación.

#### 4.3.2.2 Procura de Materiales.

Se creará una tabla que mostrará los costos de producción de la estructura, que incluye tanto los componentes mecánicos como el mecanismo y equipo, como el soporte estructural.



**Tabla 14:**

**Procura del mecanismo del espesador Relave**

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Metrado	Precio unitario (\$)	Precio parcial (\$)
1	Puente	16377	kg	1	3	49131
2	Monorraíl de haz	420	kg	1	3	1260
3	Rejilla	4825	kg	1	4.2	20265
4	Barandilla de manos	1658	kg	1	1.9	3150.2
5	Protector de seguridad para la protección	702	kg	1	2.5	1755
6	Feedwell	14568	kg	1	3	43704
7	2 x rastrillos (largo)	8548	kg	1	3.25	27781
8	2 x rastrillos (corto)	4589	kg	1	3.25	14914.25
9	4 x tirantes Rake	1240	kg	1	3.25	4030
10	Rastrillo (brazos largos + brazos cortos)	3487	kg	1	3.25	11332.75
11	UF rascador & cuchilla (cono o zanja)	526	kg	1	4	2104
12	Torque Cage/Tube & Structure Drive	14752	kg	1	3.25	47944
13	Tubo de alimentación 20°	3210	kg	1	3	9630
<b>Total</b>						<b>237001.2</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15:**

**Procura de bombas y válvulas del espesador**

Item	Descripción	Cantidad	Unid.	Metrado	Precio unitario (\$)	Precio parcial (\$)
1	Motor - bomba de cizallamiento	1420	kg	2	1	2840
2	Motor - bomba de descarga / recirc.	1250	kg	2	1	2500
3	Motor- bomba de agua recuperada	970	kg	2	1	1940
4	Válvulas	100	Unid	14	1	1400
<b>Total</b>						<b>8680</b>

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 16:**

**Procura De Soporte Del Espesador**

Ítem	Descripción	Cantid.	Unid.	Metrado	Precio unitario (\$)	Precio parcial (\$)
1	Columnas (piernas) + vigas de soportes + placas base + vigas radiales	89185	kg	1	3.25	289851.25
2	Columna central (sección inferior & soporte del puente)	7950	kg	1	3.25	25837.5
3	Columna W 18 x 65	1	unid.	1	3	3
4	Columna W 21 x 122	1	unid.	1	3	3
5	Columna W 24 x 131	1	unid.	1	3	3
6	Columna W 24 x 176	1	unid.	1	3	3
7	Columna W 24 x 192	1	unid.	1	3	3
8	Columna W 24 x 250	1	unid.	1	3	3
9	Columna W 30 x 148	1	unid.	1	3	3
10	Vigas radiales IE 54 x 145.5	1	unid.	1	3	3
11	Vigas radiales IE 65 x 173.8	1	unid.	1	3	3
12	Vigas radiales IE 69 x 194.9	1	unid.	1	3	3
13	Paredes del tanque con launder	45780	kg	1	4.4	201432
14	Piso de fondo del tanque	19000	kg	1	4.4	83600
15	Tubos/brida de desbordamiento	500	kg	1	3	1500
16	Tubos/brida de flujo	500	kg	1	3	1500
17	Pernos A325 - A490	1260	unid.	1	2.5	3150
<b>Total</b>						<b>606900.75</b>

Fuente: Elaboración propia



### 4.3.2.3 Costos de Instalación del Espesador.

Tabla 17:

#### Procura de costo de instalación del espesador

Categoría	Ocupación	Personal	Cargo	Costo hora \$	Costo/mes \$	Cantid.	Costo soles/05 meses \$
Gerente	Mecánico	Directos	Gerencia de espesadores	50	12000	1	60000
Residente	Mecánico	Directos	Jefe de área	33.33	7999.2	1	39996
Ingeniero	Mecánico	Directos	Calidad/costos	25	6000	12	360000
Supervisor	Mecánico tubero	Directos	Supervisor de personal	18.75	4500	4	90000
Jefe de grupo	Mecánico montaje	Indirectos	Montaje de espesadores	20.9	3511.2	15	263340
Jefe de grupo	Mecánico alineamiento	Indirectos	Montaje de espesadores	19.58	3289.44	5	82236
Jefe de grupo	Tubero mecánico	Indirectos	Montaje de espesadores	20.15	3385.2	5	84630
Operario	Mecánico montaje	Indirectos	Montaje de espesadores	18.11	3042.48	50	760620
Operario	Tubero mecánico	Indirectos	Montaje de espesadores	18.1	3040.8	10	152040
Operario	Mecánico alineamiento	Indirectos	Montaje de espesadores	17.32	2909.76	20	290976
Oficial	Mecánico montaje	Indirectos	Montaje de espesadores	14.53	2441.04	100	1220520
Oficial	Mecánico alineamiento	Indirectos	Montaje de espesadores	14.53	2441.04	30	366156
Oficial	Tubero mecánico	Indirectos	Montaje de espesadores	14.53	2441.04	20	244104
<b>Total</b>							<b>4014618</b>

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 18:**

**Costo De maquinarias para la instalación**

Tipo	Descripción de equipos	HM-Día	Unid.	Precio	Cantidad	Total \$
A	Grua torre liebherr 1000 ec-h 40tn	30	Día	1371.27	41138.1	205690.5
A	Grua 80 ton	30	Hm	61.76	1852.8	9264
A	Camioneta 4x4	30	Día	41.37	1241.1	6205.5
C	Taladro C/base magnética 1 1/2" -2"	30	Día	10.8	324	1620
C	Taladro base magnético	30	Día	10.8	324	1620
C	Taladro elctr.c/base magnética	30	Día	10.8	324	1620
C	Llave de impacto neumática	30	Día	11.12	333.6	1668
C	Llave de torque	30	Día	23.75	712.5	3562.5
C	Llave de torque hidráulica	30	Día	9.24	277.2	1386
B	Máquina de soldar eléctrica 400-425 amp	30	Día	6.26	187.8	939
B	Máquina soldar eléctrica 425 amp	30	Día	6.26	187.8	939
<b>Total</b>						<b>234514.5</b>

Fuente: Elaboración propia

**4.3.2.4 Costos Finales para la Instalación del Espesador.**

En la siguiente tabla se muestran todos los gastos asociados con la adquisición e instalación del espesante.



**Tabla 19:**

**Costos Totales Para Las Instalaciones De los Espesadores**

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo TOTAL US\$</b>
1	Procura de mecanismo del espesador	237001.2
2	Procura de bombas y válvulas del espesador	8680
3	Procura del soporte del espesador	606900.75
4	Costo de personal directo e indirecto	4014618
5	Costo de maquinarias para la instalación	234514.5
6	Costos indirectos y adicionales	500
	<b>Total</b>	<b>5102214.45</b>

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

**Primera:** Se llegó a diseñar el espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022, siguiendo la metodología de Coe y Clevenger, de la información proporcionada se puede inferir que el espesador debe tener un diámetro de 15 metros y una altura de 3 metros. Se espera que el porcentaje de sólido presente en los relaves esté en el rango de 45-65%, lo cual está dentro de los límites para el control automatizado de velocidad del mecanismo (dracos) y el sistema de torsión, que no excederá el 80% de su máxima capacidad operativa.

**Segunda:** Para evitar el desperdicio de agua al procesar relaves, se deben tener en cuenta varios factores. Estos incluyen la velocidad del espesador, la densidad de los relaves, las dimensiones del tanque, el tipo de floculante utilizado y el mecanismo utilizado para levantar el espesador.

**Tercera:** La capacidad máxima del diseño del espesador está restringida a caudales de relaves que no superen los 2000 m<sup>3</sup>/h. Las grandes empresas mineras cuyos caudales de relaves superen este límite, oscilando entre 7000 - 8000 m<sup>3</sup>/h, podrán instalar espesadores paralelos hasta un máximo de 4 espesadores. Sin embargo, si se desea mejorar el diseño de las tuberías de entrada y salida de los espesadores (específicamente el flujo inferior), esto también se puede considerar como una opción alternativa.

**Cuarta:** Se realizó el análisis del costo beneficio que implicara la instalación del espesador, para el cual primeramente se obtuvo el costo total del espesador de lamas optimizado el cual asciende a un total de \$/ 5102214.45 de acuerdo al análisis de la tabla N° 18, Por el contrario, los espesadores utilizados en las instalaciones



mineras están equipados con una capacidad limitada para el tratamiento del agua.

Como resultado, creemos que es rentable emplear estos espesadores en regiones no áridas de nuestro país, teniendo en cuenta la vida útil prevista de los espesadores, que se estima entre 60 y 80 años.



## RECOMENDACIONES

**Primera:** No se puede subestimar la importancia de explorar métodos para la recuperación de agua en los centros mineros. Es imperativo mitigar los impactos nocivos sobre el medio ambiente, incluidas las fuentes de agua como los ríos, la agricultura, la fauna y el bienestar de la población. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente que los mineros de cobre adopten el sistema espesador junto con sistemas de elevación que utilicen el sistema de puente para abordar este problema.

**Segunda:** Para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de elevación durante los períodos de inactividad, es aconsejable realizar inspecciones con un par importante. Esto permite la identificación de posibles problemas con pares y velocidades críticos.

**Tercera:** Para evaluar la eficacia del sistema de respaldo en el equipo, es necesario replicar un mal funcionamiento en el sistema de operaciones. Esta simulación permitirá evaluar la funcionalidad del sistema de respaldo.

**Cuarta:** Para evitar posibles daños a las bombas centrífugas causados por la caída de objetos como materiales pesados, cascos o herramientas, es recomendable instalar un filtro en el sistema de descarga. Este filtro evitará eficazmente que dichos objetos lleguen a las bombas y causen daños irreparables.

**Quinto:** Para mejorar el rendimiento del sistema espesante, se sugiere el uso de floculantes. Estos floculantes deberán dispersarse en cuatro puntos separados del espesador, con una distancia recomendada de dos metros desde la entrada de relaves.

**Sexto:** También se recomienda la incorporación de este sistema de espesadores en zonas urbanas para recuperar el agua de la ebullición.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ortega RG. En 2011 se planteó una propuesta de ingeniería fundamental para el manejo de los lodos producidos por la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la termoeléctrica Valle de México en México.
2. Pablo OV. "En 2014, la planta Las Palomas en Chile implementó un sistema de control experto para su espesador de relaves. Esto implicó el diseño y la implementación lógica del sistema para asegurar una gestión eficiente y efectiva del espesador de relaves.
3. Hernan VRw, Granja R, Jorge E. En el año 2015 se creó un diseño para la implementación de la técnica de procedimiento secundario de agua dentro del circuito de la Facultad Técnica Norte ubicada en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura en Ecuador.
4. López Cuitipa OJ. En 2018 se desarrolló un Esquema de Sistema Experto con el objetivo de mejorar la eficiencia de los Espesadores de Relaves de Alta Capacidad en la minería del cobre. Este sistema fue diseñado específicamente para la región de Arequipa.
5. Palli Calla RH. En 2016 se desarrolló en Arequipa el proyecto de dimensionamiento y optimización de un sedimentador de relaves de cobre convencional. Este proyecto se llevó a cabo en una planta procesadora de 850 toneladas por día.



6. Osorio Rojas PJ. La ubicación minera de Pasco Hill en 2015 se sometió a un examen metalúrgico para determinar el diseño óptimo de un espesador de relaves espesados dentro de los confines de la planta concentradora de la unidad minera Quiruvilca. El informe se tituló “Evaluación metalúrgica para el diseño de un espesador de relaves espesados - 2015.
7. Jorge Luis CZ. En 2019, el centro minero de Juliaca se centró en mejorar el diseño de su espesador de cobre, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los procesos de extracción de cobre.
8. Vitorino P. <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-tekla-structures>. [Online].; 2021.
9. Charaja CF. EL MAPIC en la metodología de investigación Puno - Perú 2011.
10. Hernández SR. Metodología de la investigación Mexico; 2014.



# ANEXOS



Anexo 01: Matriz de Consistencia

TÍTULO: “Diseño de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable de caracterización (X)</b>  Diseño espesador optimizado	<b>Tipo de investigación</b> Investigación Cuantitativa
¿De qué manera se puede recuperar el agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022?	Diseñar un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022	Con el diseño del espesador de lamas optimizado se podrá incrementar la recuperación del agua de los relaves de cobre para plantas mineras de Tacna, 2022		<b>Nivel de investigación</b> Nivel descriptivo
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especificas</b>	<b>Variable De interes (Y)</b>  Recuperación de agua	<b>Diseño de investigación</b> No experimental
PE1 ¿Cuáles son las características a tomar en cuenta porque se desperdicia el agua durante el procesamiento de los relaves en las plantas mineras Tacna?	OE1 Señalar las características que mas inciden para el diseño de un espesador optimizado de lamas para la recuperación del agua para plantas mineras de Tacna.	HE1. Las características a tomar en cuenta porque se desperdicia el agua durante el procesamiento de los relaves en las plantas mineras Tacna, es la baja capacidad del espesador.		<b>X → Y</b>
PE2 ¿Cómo influye la capacidad del tanque en la construcción de un espesador de lamas para la recuperación del agua para las plantas mineras Tacna?	OE2 Determinar la capacidad del tanque en la construcción de un espesador de lamas para la recuperación del agua para las plantas mineras Tacna.	HE2 La capacidad del tanque define el caudal de agua recuperado por eso la importancia de la optimización del espesador de lamas en la planta para las plantas mineras Tacna.		<b>X: Variable de caracterización ( Diseño del espesador optimizado)</b> <b>Y: Variable de Interes (Recuperación de agua)</b>
<b>Población:</b> La población de estudio son las plantas mineras de Tacna que cuentan con el equipo de espesadores				



PE3 ¿Cuánto sería el costo beneficio para la implementación de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna?

OE3 Determinar el costo beneficio que implica la construcción de un espesador de lamas optimizado para la recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna.

HE3 El beneficio para la construcción del espesador de lamas optimizado es viable económicamente porque permitirá una mayor recuperación del agua en las plantas mineras de Tacna.

para la recuperación del agua.

**Muestra:**

La muestra de estudio es el equipo de espesador de la planta minera Quebrada Honda SPCCS Toquepala 2022

**Técnica:** utilizara la técnica documental por estar sujeto a la consulta de documentos bibliográficos, manuales de los equipos, data sheet, especificaciones, procedimientos, etc. Que nos servirá para elaboras el diseño de un espesador de lamas optimizado.

**Instrumento:**

El instrumento que se utilizara será la observación directa para la elaboración del diseño de un espesador de lamas optimizado..



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 29/04/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: **ALBERTO APAZA GALLEGOS**

Dirección: **Jr. Coata MZ E9 L12**

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: **46730355**

Teléfono: **930313584**

email: **a.gallegosalberto@gmail.com**

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono:

email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: **INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

Escuela Profesional o Mención: **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Título o Grado Académico a optar: **INGENIERO mecánico electricista**

Asesor: **Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: **DISEÑO DE UN ESPESADOR DE LAMAS OPTIMIZADO PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA DE LOS RELAVES DE COBRE PARA PLANTAS MINERAS DE TACNA, 2022**

Palabras claves, (3 a 5 términos): **Espesador, Relaves, Recuperación**

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional  
 Nacional

Línea de investigación: **Tecnología e Ingeniería Mecánica – P18**

Firma de Autor



huella digital

29 de mayo del 2024

Fecha