

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño, fabricación y montaje de una línea de  
descarga hacia hidrociclones en minera el brocal**

Freddy Carlos Zarate Velasquez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

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

**DE** : Nilton Javier Arzapalo Marcelo  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 8 de Febrero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA LÍNEA DE DESCARGA HACIA HIDROCICLONES EN MINERA EL BROCAL", perteneciente al estudiante Freddy Carlos Zarate Velasquez, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

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

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

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

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Freddy Carlos Zarate Velasquez, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 43031833, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA LÍNEA DE DESCARGA HACIA HIDROCICLONES EN MINERA EL BROCAL", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

01 de febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## Tesis Final

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>14%</b>	<b>10%</b>	<b>1%</b>	<b>9%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>centrofpuvm.wordpress.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.clubensayos.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>www.felipesupo.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>investigacionii-recoleccion.blogspot.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

10	<a href="http://1000certificados.com">1000certificados.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.uni.edu.pe">repositorio.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.riuc.bc.uc.edu.ve">www.riuc.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repository.upb.edu.co">repository.upb.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://docs.google.com">docs.google.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

22	CESEL S A. "EIA-SD del Proyecto Línea de Transmisión en 220 kV S.E. Carabayllo - S.E. Nueva Jicamarca-IGA0003081", R.D. N° 352-2013-MEM/AAE, 2020 Publicación	<1 %
23	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	el-universal.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	solmetal.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
28	KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Constancia-IGA0006961", R.D. N° 390-2010-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1 %
29	catalonica.bnc.cat Fuente de Internet	<1 %
30	dspace.esoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	quechuanetwork.org Fuente de Internet	<1 %

32	<a href="http://www.franquinews.es">www.franquinews.es</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www.theibfr.com">www.theibfr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
34	ECOLOGIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A.C. "MEIA para la Implementación del Proyecto Implementar Línea de Cal, Mejoras Ambientales e Integración de Instrumentos Ambientales en la Planta Condorcocha- IGA0006877", R.D. N° 081-2018- PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 Publicación	<1 %
35	<a href="http://mriuc.bc.uc.edu.ve">mriuc.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.upt.edu.pe">repositorio.upt.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.cocef.org">www.cocef.org</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://www.consumer.es">www.consumer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://www.taringa.net">www.taringa.net</a>	

Fuente de Internet

<1 %

42

"Inter-American Yearbook on Human Rights /  
Anuario Interamericano de Derechos  
Humanos, Volume 1 (1985)", Brill, 1987  
Publicación

<1 %

43

1library.co  
Fuente de Internet

<1 %

44

predicadorcatolico.wordpress.com  
Fuente de Internet

<1 %

45

qdoc.tips  
Fuente de Internet

<1 %

46

repositorio.esge.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

47

repositorio.unap.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

48

repositorio.utelesup.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

49

semi.es  
Fuente de Internet

<1 %

50

tlc.oise.utoronto.ca  
Fuente de Internet

<1 %

51

www.bancomexico.gob.mx  
Fuente de Internet

<1 %

52	<a href="http://www.ciberpapi.com">www.ciberpapi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://www11.urbe.edu">www11.urbe.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://zh.coursera.org">zh.coursera.org</a> Fuente de Internet	<1 %
55	FCA CONSULTORES AMBIENTALES S.A.C.. "PAMA del Fundo Blueberries Perú- IGA0013774", R.D.G. N° 349-2018-MINAGRI- DVIAR-DGAAA, 2021 Publicación	<1 %
56	Robert Visintainer, Václav Matoušek, Lionel Pullum, Anders Sellgren. "Slurry Transport Using Centrifugal Pumps", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Publicación	<1 %
57	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a mis padres, por su apoyo incondicional y, a los docentes, por compartir sus conocimientos y con ello poder llegar hasta esta etapa.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto y haber dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi hijo Iker y mi esposa Madelina, por su motivación para la culminación de nuestra carrera y apoyo día a día.

A nuestros familiares, a todos quienes fueron partícipes para culminar mis objetivos.

¡Gracias a ustedes!

# ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice.....	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tablas.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
<b>Capítulo I.....</b>	<b>13</b>
<b>Planteamiento del estudio.....</b>	<b>13</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.1.2 Formulación del problema.....	15
1.1.2.1 Problema general.....	15
1.1.2.2 Problemas específicos.....	15
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	15
1.3.1. Justificación teórica.....	15
1.3.2. Justificación práctica.....	16
1.3.3. Importancia de la investigación.....	17
1.4. Viabilidad de la investigación.....	17
1.5. Limitaciones del estudio.....	18
<b>Capítulo II.....</b>	<b>19</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Líneas de conducción.....	23
2.2.1.1. Definición.....	23
2.2.1.2. Tipos de líneas de conducción.....	24
2.2.2. Diseño.....	25
2.2.2.1. Definición.....	25
2.2.2.2. Parámetros de selección de tuberías.....	26
2.2.3. Fabricación de piezas mecánicas.....	28

2.2.3.1. Definición.....	28
2.2.3.2. Procesos de manufactura.....	29
2.2.4. Montaje de líneas de conducción .....	30
2.2.4.1. Definición.....	30
<b>Capítulo III.....</b>	<b>32</b>
<b>Hipótesis y Variables.....</b>	<b>32</b>
3.1. Hipótesis.....	32
3.1.1. Hipótesis de la investigación .....	32
3.2. Variables y operacionalización.....	32
3.2.1. Variables .....	32
3.2.2. Línea de conducción para la descarga .....	32
3.2.3. Operacionalización .....	33
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>34</b>
<b>Método.....</b>	<b>34</b>
4.1. Alcances de la investigación.....	34
4.1.1. Tipo de investigación .....	34
4.1.2. Nivel de investigación .....	34
4.2. Diseño de la investigación.....	35
4.2.1. Método general o teórico de la investigación .....	35
4.2.2. Diseño de la Investigación .....	35
4.2.3. Diseño o enfoque de análisis de información .....	35
4.3. Población y muestra.....	36
4.3.1. Población de la investigación .....	36
4.3.2. Muestra de la investigación .....	36
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
4.4.1. Técnicas de recolección de datos .....	36
<b>Capítulo V.....</b>	<b>38</b>
<b>Diseño, Fabricación y Montaje de una Línea de Descarga hacia Hidrociclones.....</b>	<b>38</b>
5.1. Planificación del proyecto.....	38
5.1.1. Información preliminar .....	38
5.1.2. Procedimientos de diseño, fabricación y montaje .....	38
5.1.2.1. Plan de recopilación de información.....	38
5.1.2.2. Cronogramas de trabajo.....	42
5.2. Diseño de la línea de descarga.....	43
5.2.1. Consideraciones previas al diseño .....	43
5.2.2. Cálculos de diseño .....	44
5.2.3. Resultados de diseño .....	48

5.2.4. Consideraciones finales para la fabricación y montaje .....	49
5.2.4.1. Plan de identificación de riesgos .....	49
5.2.5. Adquisiciones y recursos .....	50
5.2.5.1. Los recursos físicos .....	50
5.2.5.2. Los recursos humanos .....	50
5.2.5.3. Propiedad intelectual .....	51
5.2.5.4. Adquisiciones .....	51
5.3. Fabricación de la línea de descarga.....	51
5.3.1. Control de material de fabricación .....	51
5.3.2. Inspección de actividades .....	52
5.3.2.1. Control de soldadura .....	52
5.3.2.2. Control dimensional .....	52
5.3.2.3. Control de dureza y espesor del caucho .....	52
5.3.2.4. Control de pintado .....	53
5.3.3. Reporte de ensayos no destructivos .....	53
5.3.4. Control final según rotulado .....	54
5.4. Montaje de la línea de descarga.....	54
5.4.1. Control de reportes del proceso de montaje .....	54
5.4.2. Resultados finales de montaje .....	55
5.5. Discusión de resultados.....	56
<b>Conclusiones.....</b>	<b>59</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>60</b>
<b>Lista de Referencias.....</b>	<b>61</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bosquejo del nuevo recorrido de tuberías .....	44
Figura 2. Líneas de conducción montadas 2A y 2B acopladas a la bomba .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades recomendadas para el transporte de pulpas .....	27
Tabla 2. Operacionalización de la variable .....	32
Tabla 3. Recurso considerado para el proyecto .....	42
Tabla 4. Recurso humano considerado para el proyecto en curso .....	42
Tabla 5. Datos de la línea de descarga antes de la modificación .....	43
Tabla 6. Listado Caudal inicial y caudal final .....	48
Tabla 7. Listado de materiales para el proyecto.....	49

## RESUMEN

La empresa Aguará Ingenieros S. A. C. se basa en garantizar un servicio de elaboración de piezas metalmecánicas, además de fabricar máquinas, así como equipos para el desarrollo de trabajos en el rubro de la minería en la región del centro del Perú. Dicha empresa desempeña una relación comercial con la minera El Brocal. De esta manera, el desempeño de acciones que permitan el óptimo mantenimiento de maquinarias va desde la línea de descarga de mineral hacia la alimentación de los hidrociclones encargados de seleccionar las partículas del relave, que tiene un costo elevado y significativo debido a las características específicas del material de fabricación con la que está compuesta dicha unidad. En este sentido, se ha propuesto una vía de solución la empresa Aguará Ingenieros S. A. C. que se basa en diseñar, fabricar y montar una línea de descarga que mejore el rendimiento de la bomba e incremente el caudal del relave.

Las líneas de descarga hacia el hidrociclón son etiquetadas como 2A y 2B que poseen una distancia de 52 metros cada una, luego de una investigación realizada se ha concluido con el cálculo de diseño estimado, también el tipo de material a usar como la tubería de acero de 12 pulgadas de diámetro con un recubrimiento interior de un elastómero (Caucho MOR 130B) y así mejora la eficiencia del sistema de bombeo. Las piezas de las tuberías fueron construidas, primero como piezas de menor tamaño, para facilitar su transporte hasta el punto de montaje. Se aplicaron normas estandarizadas de fabricación para este procedimiento. La etapa de montaje fue realizada a partir de estándares de calidad de parte de la empresa, además de la supervisión de riesgos para evitar accidentes.

**Palabras claves:** descarga, diseño, fabricación, hidrociclón, montaje

## ABSTRACT

The company Aguara Ingenieros S. A. C. It is based on guaranteeing a service to produce metal-mechanical parts, in addition to manufacturing machines, as well as equipment for the development of work in the mining sector in the central region of Peru. This company has a commercial relationship with the El Brocal mining company. In this way, the performance of actions that allow the optimal maintenance of machinery which goes from the mineral discharge line to the feeding of the hydrocyclones in charge of selecting the tailings particles which has a high and significant cost due to the characteristics specific to the manufacturing material with which said unit is composed. In this sense, the company Aguara Ingenieros S. A. C. has proposed a solution, which is based on designing, manufacturing, and assembling a discharge line which improves the performance of the pump and increases the tailings flow rate.

The discharge lines to the hydrocyclone are labeled as 2A and 2B, which have fifty-two meters each. After an investigation, the design calculation has been concluded, also estimating the type of material to be used as the discharge pipe. 12-inch diameter steel with an interior coating of an elastomer (MOR 130B Rubber) and thus improves the efficiency of the pumping system. The pipe parts were built, first as smaller pieces, to facilitate their transportation to the assembly point. Standardized manufacturing standards were applied for this procedure. The assembly stage was conducted based on quality standards from the company, in addition to risk supervision to avoid accidents.

**Keywords:** assembly, design, discharge, hydrocyclone, manufacturing

## INTRODUCCIÓN

La minera El Brocal requiere del diseño, fabricación y montaje de dos líneas de conducción denominadas como 2A y 2B. Estas líneas de conducción corresponden a un tramo importante que parte desde una bomba hasta un hidrociclón, donde las partículas de relave son separadas. Este proceso es muy importante para la separación de muchos minerales que se extraen de minas. Es así como la minera se plantea adquirir un servicio por parte de la empresa Aguara Ingenieros S. A. C. para desarrollar este proyecto.

Se plantea estimar los parámetros de diseño que la empresa pueda ofrecer, recopilando información con respecto al estado de la línea. A partir de dicha información se puede considerar materiales y dimensiones para el cambio de las tuberías. Una vez obtenidos los planos de diseño y fabricación, se procederá a construir las piezas correspondientes a partir de estándares internacionales. Finalmente, la empresa encargada de realizar el proyecto procederá a montar las piezas con base en estándares de calidad internos y externos; además de un plan de riesgos para evitar accidentes.

El primero capítulo presenta los párrafos que lo componen a la formulación y planteamiento del problema. Expuesto el ambiente donde el autor describió el problema, se escriben los objetivos para el desarrollo del proyecto. Por último, se tienen la justificación para el desarrollo de la investigación.

El segundo capítulo describe el marco teórico que se pretende utilizar para el desarrollo de la investigación. Iniciando por los antecedentes de investigaciones de antaño realizadas por otros autores, hasta llegar a las bases teóricas que ayudan a explicar los objetivos. Con base en este capítulo es posible caracterizar la variable.

El tercer capítulo identifica las variables y su operacionalización. Para su mejor apreciación, es posible observar una tabla de dimensiones e indicadores para el objeto estudiado. La operacionalización se describe textualmente en contraste.

El cuarto capítulo corresponde al conjunto de apartados con respecto al método aplicado para la investigación. Con base en esto, se describen ciertos alcances de metodología, además del diseño considerado para desarrollar la investigación. También es posible encontrar un apartado para estudiar los instrumentos y técnicas de recolección de datos.

El quinto capítulo presenta un desglose con respecto al diseño, fabricación y montaje de las líneas de conducción descritas en el primer capítulo. Aquí se puede leer la planificación del proyecto, los cálculos de diseño, las normas utilizadas para la fabricación de las piezas y los estándares de calidad considerados para el montaje de las líneas de conducción.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

El Perú es un territorio rico en minerales en donde comúnmente se desempeña la extracción de grandes y diversos productos minerales como resultado de su potencialidad, siendo esta una fuente que genera grandes ingresos a la nación y se hace evidente el desarrollo de dicha actividad económica en diversas regiones del país ayudando a su desarrollo económico. En efecto, la minera El Brocal, que su principal función se basa en la extracción y explotación de recursos mineros, se encuentra ubicada en el norte del Perú cumpliendo la función de desarrollar dicha actividad comercial de la forma más viable y eficaz posible.

Por su parte, la empresa objeto de estudio, desempeña funciones de procesamiento a través del chancado, molienda, proceso químico de flotación, entre otros elementos que sirven de manera óptima para lograr obtener minerales. Por su parte, Isasi (1) señala que «los procesos tradicionales como el filtrado son posibles por medio de las técnicas de separación» (p. 74). Por su parte, el relave, es un sólido fino que no se selecciona como resultado del cumplimiento de funciones mineras.

Por tanto, es viable que los componentes de beneficios para la empresa logren obtenerse al desarrollar un proceso de tratamiento, de esta manera, tradicionalmente, son tratados desempeñando diferentes procesos para lograr una alta concentración del material de gran relevancia que se incrementa para que posteriormente logre ser separado y filtrado para obtener un material más puro. Asimismo, resulta de vital

importancia que el residuo debe desarrollar un proceso para tratar que no desarrolle un impacto ambiental negativo.

Para lograr dicho cometido, la minera El Brocal emplea dos bombas con el propósito de desarrollar un relave en las líneas de conducción de tipo 2A, así como 2B para que de esta forma se pueda comenzar con el proceso de separación del material que genere beneficios económicos en este caso específico del zinc y el plomo. Por su parte, estas líneas de conducción en la actualidad se encuentran compuestas por un material de tipo elastomérico (caucho MOR 130B), específicamente como manera de depósito de relave.

Ahora bien, la empresa desarrolla un proceso de evaluación financiera donde se puede demostrar que los costos de mantenimiento al pasar el tiempo van en aumento llegando a estándares del 50 % de aumento por año lo que implica que el mayor gasto dentro del proceso de producción va destinado al mantenimiento del material.

Para darle respuesta a dicha problemática, la empresa plantea obtener una línea de conducción moderna para el relave orientando a un hidrociclón desde las bombas específicas. Para lograr dicho cometido la empresa objeto de estudio plantea obtener un servicio tercerizado para plantear, elaborar y desarrollar el funcionamiento de una línea moderna de conducción con el propósito de disminuir los costos de mantenimiento, generando un cambio significativo para la empresa desde un contexto estructural, innovador y económico. Dicha propuesta fue aprobada por la empresa Aguara Ingenieros S. A. C. que se basa en desarrollar, fabricar maquinarias y piezas metalmecánicas para el rubro de la minería, que tiene su sede en Lima.

Por último, la propuesta planteada tiene como propósito diseñar la línea de conducción que esté compuesto de un material duradero que no se desgaste como resultado del cumplimiento de funciones, además que no sea afectado por condiciones ambientales. Por lo tanto, debe ofrecer una resistencia del degaste de altos niveles de velocidad que se hace presente durante el proceso. Asimismo, dicho proceso debe ser supervisado y estructurado cumpliendo las normas de calidad por parte de la empresa tercera.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿Es factible el diseño, fabricación y montaje de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

¿Se podría realizar el diseño de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal?

¿Se podría realizar la fabricación de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal?

¿Se podría realizar el montaje de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar, fabricar y montar una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Realizar el diseño de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal.

Realizar la fabricación de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal.

Realizar el montaje de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal.

## **1.3. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.3.1. Justificación teórica**

Lo más significativo de la presente investigación se centra en que la teoría de diseño, la fabricación y el montaje de una línea de conducción a hidrociclón que es relevante debido a que se encuentra dirigida al desarrollo del sector minero siendo este una preocupación existente a nivel local, regional y nacional en todas las partes del país. En consecuencia, se considera importante proponer un plan de diseño, la

fabricación y el montaje de una línea de conducción a hidrociclón que le permitirá a la empresa contar con el conocimiento de las nuevas concepciones de la ingeniería y utilizar maquinarias novedosas dirigidas a solventar el problema. Al respecto, Ramírez (2), afirma que: «es aquella que le brinda a la industria minera todas las herramientas necesarias para el desarrollo potencial de sus habilidades y el uso de sus herramientas en la solución de conflictos que le imposibiliten en un futuro para lograr la competitividad» (p. 36), en este sentido, el diseño, la fabricación y el montaje de una línea de conducción a hidrociclón será innovador y permitirá el desarrollo de conocimientos nuevos en cuanto al funcionamiento de la industria minera.

De igual forma, el estudio se considera importante debido a que ofrecerá recomendaciones que servirán de referencias teóricas para elaborar el diseño, la fabricación y el montaje de una línea de conducción a hidrociclón. Además, brindará aportes metodológicos debido a que el diseño, la fabricación y el montaje de una línea de conducción a hidrociclón se pretende diseñar. Contendrá una serie de acciones y cálculo que servirán para orientar a futuras investigaciones estableciendo de esta manera la justificación teórica de dicho estudio.

### **1.3.2. Justificación práctica**

Las empresas que se encargan de la explotación minera necesitan ser guiadas hacia la búsqueda del éxito de los procesos que en ellas se den, constituyendo la planificación y evaluación de procesos fundamentales de la gestión institucional, ellos son elementos de vital importancia para el desarrollo de los nuevos recursos innovadores que permitan dicho funcionamiento. De este modo, todas las industrias en el rubro de la minería deben desarrollar acciones que permitan optimizar sus recursos y desarrollar un proceso funcional.

En este sentido, el desarrollo de nuevas técnicas en la minería, así como, la modernización de las maquinarias viene a ser una necesidad para mejorar la calidad de la explotación minera y un elemento esencial dentro de un proceso de cambio del modelo tradicional que genera gastos y pérdidas para la empresa. De esta manera, la propuesta es relevante porque sirve como alternativa de solución a la realidad que vive la minera El Brocal.

Desde el punto de vista práctico, el estudio representa un valioso aporte para todos los investigadores sobre la temática de Diseñar la fabricación y montaje de una línea de conducción a hidrociclón de relave en la minera El Brocal. por cuanto reforzará

sus conocimientos y experiencias en función de la importancia de la innovación dentro de la industria minera, implicando con ello un redescubrimiento de nuevas estrategias de explotación.

Se pretende, además, dar a conocer algunos aportes técnicos que sirvan como herramienta a las empresas para poner en práctica el proceso de innovación, demostrando que el Perú cuenta con herramientas para optimizar dar el salto de calidad y convertirse en un país relevante en la explotación minera.

### **1.3.3. Importancia de la investigación**

Desde una perspectiva económica el estudio guarda una gran relevancia puesto que por medio de la siguiente propuesta se logra disminuir los gastos en mantenimiento estableciendo un margen establece, garantizando que no logren aumentar como es el caso del aumento del 50 % por lo que la empresa logra obtener mayores beneficios.

Dentro del contexto ambiental, se buscará disminuir las fallas que se originan dentro del proceso que tienen a desarrollar compuesto que se convierten en agentes contaminantes promoviendo en gran medida el deterioro del medio ambiente.

En lo que se refiere al proceso de innovación y estructura, se busca modernizarse las instalaciones dejando de lado el sistema tradicional que se emplea para enrollar un proceso basado en el nuevo mecanismo que dé paso a nuevas herramientas de funcionamiento.

## **1.4. Viabilidad de la investigación**

La presente propuesta presenta viabilidad puesto que a través de la información recabada se puede apreciar elementos de gran relevancia para el estudio, de esta manera, se puede desarrollar un cambio significativo al modelo tradicional. Por otra parte, siguiendo los datos recabados, el proyecto lograría darle respuesta a problemas que se hacen presentes en diversas empresas peruanas.

Por otra parte, la empresa que busca llevar a cabo tal investigación es una empresa con amplias capacidades que le permite el desarrollo de una propuesta efectiva al momento de diseñar, fabricar y montar de una línea de conducción a hidrociclón de manera efectiva.

Por último, la viabilidad del estudio es significativa, ya que será desarrollada por un equipo de trabajo con amplia experiencia en la materia. De igual manera, se pondrán en práctica

el uso de herramientas y recursos tecnológicos que darán un acercamiento diario y el cumplimiento de modernas estrategias para acabo dicho proceso.

### **1.5. Limitaciones del estudio**

Existen diversos elementos que distorsionaron el desarrollo de la investigación, como es la inversión y el gasto que acarrea el desarrollo de herramientas innovadoras dentro del ámbito minero, sin embargo, al considerar la investigación como un proyecto de inversión es de vital importancia reconocer que el monto invertido en el estudio será recuperado por la empresa.

Cabe destacar que el desarrollo del estudio está ampliamente vinculada especialmente a la parte técnica del diseño, además de la fabricación y montaje. Durante este proceso se presentan elementos matemáticos, ingeniería, programación, entre otros elementos que permite el correcto funcionamiento de la unidad.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación.**

Inicialmente, Niño-Martínez (3) desarrolló el estudio «Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación Minera» que centró su objetivo en dimensionar y seleccionar un sistema de bombeo que pueda soportar un caudal de  $5706 \frac{m^3}{h}$  con una TDH (altura dinámica total) de 66,11 m. Para ello, se consideró trabajar con el paradigma cualitativo siguiendo el método de investigación de acción participante, que es pertinente por tratarse de un estudio que intenta el Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera.

Las fases de la investigación se enmarcaron en el diagnóstico, planificación, ejecución, evaluación y sistematización. Los informantes claves lo conformaron cuatro máquinas con un sistema de tubería STD 26. Entre las técnicas empleadas para la recolección de la información se encuentra la guía de observación, como instrumento, la ficha de recolección de datos con 15 ítems.

La validez se realizó a través de la triangulación de métodos, técnicas y por teorización, de esta manera, se planificaron doce similitudes que sirvieron para el desarrollo de un sistema de bombeo de relaves. Por su parte, el estudio señala la importancia de contrastar que el diámetro y el recubrimiento de las tuberías que logren evitar que el material transportado llegue a sedimentarse en las paredes para que logre un óptimo funcionamiento.

López (4) desarrolló el estudio «Diseño hidráulico de un sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m<sup>3</sup>/h y 220 m de desnivel» que centró su objetivo en el diseño de un Sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m<sup>3</sup>/h y 220 m de desnivel. Dicho estudio se enmarcó en una investigación de campo de carácter descriptivo, dentro de la modalidad de proyecto factible.

Apoyándose en un estudio descriptivo podrá orientarse a desarrollar un diseño apropiado a partir del empleo de teorías y fórmulas de cálculo que darán inicio al desarrollo de planos. Asimismo, el estudio se basó en un nivel aplicativo basándose en un método deductivo. El estudio logro desmostar que aplicando la norma ASME B31.11 para elegir el grosor de pared se logró definir el material y el espesor, para lo cual se eligió el API - 5L grado B con pared de espesor de media pulgada que comprende un revestimiento polimérico de 6 mm, que tendrán que unirse a través de acoples ranurados flexibles.

Cooke (5) expone en su artículo científico «Thickened and paste tailings pipeline systems: designprocedure – part 1» (Sistemas de tuberías de relaves espesados y en pasta: procedimiento de diseño – parte 1), propuesto en el Centro de Geomecánica Australiano, que la metodología de diseño para las tuberías del sistema de transporte de relaves lleva aproximadamente una década desarrollándose.

El autor considera que es necesario conocer una descripción del lugar donde va a colocarse este sistema, ya que es necesario conocer datos importantes del medio ambiente: la elevación sobre el nivel del mar, temperatura, entre otros. Asimismo, Cooke (6) considera especificar el tiempo de vida que se considera para el diseño, además de las capacidades volumétricas de almacenamiento del relave, además de las condiciones de carga y descarga para las tuberías. Con respecto al relave, es significativo conocer la densidad del fluido y las partículas que se distribuyen en él. Además, también es conveniente conocer datos como el coeficiente de corrosión del fluido. Por último, podría ser de utilidad conocer el costo de los materiales a usar en el mercado, ya que es posible requerir diferentes elementos mecánicos, eléctricos, entre tuberías o de control.

La tesis de Laura (7), «Parámetros de operación de un hidrociclón para la clasificación de relaves mineros en la UMCL – compañía minera Milpo S. A. A.», explica las condiciones y parámetros de funcionamiento para un hidrociclón, cuyo objetivo es el de clasificar relaves mineros.

El investigador trabajó en este sistema con las condiciones de flujo másico de 687,50  $\frac{Tn}{h}$  y un flujo volumétrico de 1850,87  $\frac{m^3}{h}$ . Se ha considerado que la alimentación del sistema, es decir, la cantidad de relave que será entregado al sistema de conducción a clasificar será de 60 %, por lo que el investigador hizo uso de 3 hidrociclones.

De acuerdo con su estudio, llegó a la conclusión de que el diámetro de ápex, así como el diámetro de vórtex son condicionantes de forma de gran importancia. Con respecto a los parámetros del relave, se considera que la densidad del fluido con el que se trabaja es de suma importancia; además, de la presión de alimentación del hidrociclón, ya que esta última depende de los parámetros de forma, descritos anteriormente. El autor recomienda, de ser posible, y siempre y cuando el fluido sobrepase un punto de presión que pueda incrementar las vibraciones del sistema, se utilice una válvula o una unión que pudiera descargar la energía con la que llega el fluido de trabajo. Además, es necesario observar la malla de granulometría, ya que esto podría mejorar el rendimiento del sistema al evitar el endurecimiento de las partículas sólidas en el relave.

Los investigadores, Marroquín y Rondan (8), diseñaron dentro de su tesis «Propuesta de la nueva línea de conducción y estructura de soporte para evaluación de relaves de la empresa minera Parcoy, provincia de Patate, La Libertad» un sistema de transporte de relaves en una localidad que se encuentra en una altitud de aproximadamente 2140 m s. n. m., además de poseer una topografía bastante accidentada con pendientes que pueden llegar al 60 %.

Los autores sugieren la importancia de no superar el límite de velocidad en las tuberías, ya que esta condición es de gran relevancia. Con respecto a las tuberías utilizadas, se planteó aplicar el material de polietileno de alta densidad, ya que permite una flexibilidad que se adecua mejor a la topografía sin sufrir daños ni deflexiones que puedan incrementar los costes de mantenimiento. Así, también se plantearon aplicar disipadores de energía para el fluido por medio de válvulas de corte que habrán de operarse durante periodos de dos minutos.

Para contrastar la presión máxima que podía soportar el sistema se calculó el diámetro de las tuberías, cuyo diámetro interno considerado fue de 10" SDR 9; aunque también se aplicaron tuberías de menor diámetro para secciones más largas. Por último, el diseño planteado no requiere de dispositivos ni accesorios para evitar el golpe de ariete, si bien este fenómeno existe, se considera que será atenuado por medio de inercia del fluido.

Misle (9), quien presentó la memoria «Sistema de transporte y disposición de relaves». El documento registra información a partir de capítulos, donde se encuentran apuntes y datos en referencia al diseño de sistemas de transporte de relaves, sistemas de disposición, clasificación y construcción. Además, también se encuentra la información referente al mantenimiento de los sistemas y los procedimientos de trabajo.

El apartado de diseño de sistema de transporte de relaves engloba la data necesaria para calcular las dimensiones a partir de una propuesta de transporte gravitacional hidráulico conformado mediante canaletas de hormigón con largos que pueden alcanzar los kilómetros. Este manual tiene como primera conclusión que la estandarización de las operaciones, labores de fabricación y los controles operativos; deben de poseer un registro propio, de tal modo que los procesos intrínsecos relacionados al transporte de relaves respeten normas de calidad, seguridad en el trabajo y seguridad del medio ambiente.

Además, también, se estipula que si bien el diseño representa un cálculo numérico; la fabricación, montaje y operación son procedimientos que requieren la acción de operadores, por lo que el nivel de capacitación será significativo al momento de trabajar. Por último, el autor señala que el cumplimiento legal de leyes, decretos u otros, relacionados al país de proveniencia del proyecto, deben de ser acatados a cabalidad.

Villa (10) presentó el informe «Diseño de los sistemas de transporte de relave de  $60 \frac{m^3}{h}$  a socavón de mina y a cancha de relave de planta concentradora de minerales, La Libertad» donde propone que es de suma importancia realizar una descripción previa del proyecto, considerar las recomendaciones del cliente y un estudio del mercado para los materiales por usar.

Para el informe escrito, se consideró el abastecimiento de un silo de  $340 m^3$  que será relleno con relave grueso. El sistema de bombeo inicial debe de funcionar durante 12 horas al día, suministrando  $28 \frac{m^3}{h}$  a una altura de 25 m por encima del nivel de la bomba. El sistema de conducción de salida consta de 750 m de tubería, de material HDPE (material requerido por el cliente) por medio de un desnivel para transporte gravitacional. Finalmente, el autor propone una evaluación de costos para contrastar los datos de inversión y el coste de mantenimiento anual, con respecto al costo relativo anual por kilómetro. Los cálculos estuvieron orientados a tres sistemas de bombeo, el primero, cuya distancia es de 100 m con un flujo de pulpa de 164

$\frac{m^3}{h}$ ; el segundo, con el mismo flujo de pulpa, cuyo largo fue de 24,4 m; por último, el tercero, que impulsa  $136 \frac{m^3}{h}$  por una longitud de 1580 m.

Dando por conclusión de que los costes en dólares de tonelada por año con respecto a la distancia de tubería se encontraban entre valores estándares que la empresa había propuesto para el proyecto.

Villavicencio (11) presentó su tesis «Cálculo hidráulico del sistema de relaves – caso de la mina Invicta», que se encuentra en la provincia de Huaura en el departamento de Lima, a 3600 m s. n. m.; con una capacidad máxima de tratamiento de  $5100 \frac{TN}{día}$ . Dentro de este documento, se registra como primera advertencia, que luego de los cálculos, es necesario realizar un plan de contingencia en el caso de que la tensión eléctrica del suministro caiga; por lo que se podría contar con generadores o un sistema alterno de suministro.

Para contrarrestar las pérdidas hidráulicas, es posible utilizar un *software* que realice los cálculos para sugerir bombas o accesorios a partir de esta información. La elección de tuberías se realizó comparando la velocidad límite del relave, el costo del material y transporte a la mina; además de la adaptabilidad del material a la topografía del lugar. Es posible aplicar el método de Durand y Condolios para contrastar la velocidad de sedimentación con otros parámetros, esto es posible mediante *software*; sin embargo, para ello también es necesario conocer el tamaño de las partículas dentro del fluido; sin embargo, un inconveniente resaltante es que muchos programas informáticos no consideran la calidad del agua que se transporta. El autor seleccionó una bomba tipo HM 150 con una eficiencia del 67,9 % para transportar relave con una densidad en la pulpa de 1,5; cuya gravedad específica es de 2,89.

La longitud de la línea de conducción fue de 300 m, donde el investigador concluyó que era necesario utilizar tuberías de 8” de material HDPE SDR 11.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Líneas de conducción**

#### **2.2.1.1. Definición**

Una línea de conducción hace referencia al sistema de conexiones que se utilizan para transportar un tipo de fluido, comúnmente combustible, relaves mineros, agua potable, entre otros, hacia un punto requerido. Por medio de tuberías, accesorios, uniones, entre otros, este sistema puede utilizar la

gravidad para el transporte, o incluso bombas para generar el movimiento requerido (12).

El objetivo de diseñar una línea de conducción recae sobre conseguir un adecuado sistema para la localización del fluido y su selección, así como, el tratamiento correcto de la conducción, al mismo tiempo que se previenen accidentes. Otro objetivo señala el cuidado y la responsabilidad sobre el medio ambiente o las comunidades aledañas a donde este tipo de proyectos son ejecutados.

### **2.2.1.2. Tipos de líneas de conducción**

#### **A. Rígidas**

**Metálicas:** Las líneas de conducción de materiales metálicos utiliza comúnmente el hierro modular revestido o recubierto, cuyo estándar de codificación responde a ASTM A395-80. También se pueden encontrar líneas de conducción, es decir, tuberías, hechas de aluminio o cobre, que se fabrican en puntos de fusión bajos para proyectos donde las tuberías estarán enterradas. Si uno desea utilizar este tipo de materiales en tuberías superficiales, es de suma importancia utilizar protecciones contra la exposición al fuego para garantizar la seguridad de los bienes y de quienes los utilicen.

Entre las posibles ventajas que este tipo de líneas de conducción pueden ofrecer es que su resistencia estructural es bastante alta comparado con otro tipo de materiales, siendo el acero la que mayor resistencia posee. Por otro lado, una desventaja resulta ser la facilidad con la que un mal diseño puede llevar a una catástrofe, debido a la facilidad con la que un fraccionamiento podría suceder si no se toman en cuenta las deflexiones límites. Además, también es común que este tipo de materiales requiera de un revestimiento, o protecciones extra dependiendo del fluido que transportan.

**Materiales no metálicos:** Existen diversos materiales que pueden ser incluidos en este apartado, aunque el más resaltante, debido a la resistencia a la corrosión que poseen, son las tuberías de fibra de vidrio. Es común que la elección de este tipo de materiales esté directamente relacionada con el tipo de fluido que se pretende transportar. El diseño relacionado a este tipo de materiales debe de respetar fielmente los principios de ingeniería ya que representan materiales, a veces, no tan comunes de trabajar. Las ventajas que

presentan utilizar este tipo de materiales es que su resistencia a la corrosión es una característica innata del material, por lo que no se acostumbra a utilizar protecciones contra este fenómeno. Sin embargo, entre las desventajas que presentan es que requieren de una instalación cuidadosa, lo que significa que requieren de un equipo capacitado de trabajo. Otro inconveniente es que son instaladas por medio de accesorios y conexiones que requieren de un mantenimiento continuo, y muchas veces caro.

## **B. Flexibles**

Las tuberías flexibles están construidas a partir de materiales que permiten deflexiones mayores a los tipos anteriormente descritos; aunque también es necesario responder a cierto grado de capacidad estructural. El principal material que resalta en este apartado es el termoplástico compuesto, de los que se puede señalar al poliestireno, o inclusive al poliuretano. La aplicación de este material en los sistemas de conducción es una alternativa para aquellos lugares donde la geografía, o la falta de un diseño espacial previo, da como resultado desniveles que requerirían de un sistema estructural adicional si la línea de conducción fuese rígida. Una de las ventajas que poseen las tuberías flexibles que pueden doblarse por largos tramos, y si se respetan las deflexiones límites establecidas por los fabricantes, no requieren de accesorios para sobrepasar estas dificultades. Una desventaja, aunque anteriormente descrita como bondad, es que su misma flexibilidad requiere de utilizar sistemas de contención secundarias para no sobrepasar las deflexiones límites establecidas. Además, muchos requieren de protecciones contra el medio ambiente, ya que se encuentran a ras de suelo, donde pueden encontrar humedad o temperaturas variadas.

## **2.2.2. Diseño**

### **2.2.2.1. Definición**

Si bien el diseño mecánico está relacionado a dar forma, dimensionar, seleccionar materiales e incluso tecnologías de fabricación para dar funcionamiento a una máquina, tal como explica Mott (13). El diseño hidráulico corresponde al cálculo, dimensionamiento y selección de los parámetros de un sistema de tuberías que puede o no incluir desde accesorios hasta bombas para entregar la energía requerida por dicho sistema. Si bien no se están diseñando los sistemas de conducción, accesorios o bombas; es necesario calcular por medio de funciones matemáticas ciertos parámetros

requeridos para que el sistema funcione correctamente. Algunos autores sugieren que este proceso encaja más con un análisis que con un diseño, sin embargo, es requerido en ambos casos suplir las necesidades del cliente y del proyecto.

Cuando se trata de diseñar un sistema de conducción, es mejor identificar cada línea de proceso para determinar las características que requiere cada una de estas partes. Esto debido a la importancia de seleccionar características importantes como diámetros óptimos, pérdidas de carga dependiendo a diámetros y rugosidades, entre otros. De este modo, se plantea que identificar los tramos y sus características de funcionamiento permitirán al diseñador, comparar posibles valores para los parámetros de diseño del sistema de conducción de tal modo que la eficiencia técnica y económica sea la mayor posible (14).

Otro aspecto importante es caracterizar el fluido para que el sistema se esté diseñando. Existen tablas que permiten identificar velocidades recomendadas de transporte dependiendo al tipo de flujo; sin embargo, esto puede variar dependiendo el desgaste que se espera de las tuberías por las que se mueve el fluido. En los casos donde se requiera una presión mayor a la que una bomba seleccionada se limita, es posible utilizar compresores; sin embargo, es necesario revisar que el espesor de las tuberías pueda soportar estas presiones (14).

#### **2.2.2.2. Parámetros de selección de tuberías**

Bouso (15) especifica que cuando un proyecto requiere de la selección de una bomba de pulpa, es necesario conocer el tipo de distribución que posee, estas opciones serían horizontal o vertical. Para reconocer qué tipo de bomba se acomoda mejor a los requerimientos del proyecto, es necesario entender el trabajo que se pretende completar. Al conocer la bomba por usar, es necesario recoger datos de campo como el caudal, la altura manométrica de la pulpa, el NPSH (altura de aspiración neta positiva).

Cuando se trata de transportar pulpa, existen valores recomendados para la velocidad que los fluidos pueden alcanzar, que depende de la malla; las velocidades consideradas representan un valor que mantiene las partículas en suspensión dentro del fluido, ya que se procura mantener un flujo turbulento.

Es necesario que la turbulencia dentro del fluido alcance un valor sugerido, puesto que, de ser mayor, podría influir en el aumento de pérdidas debido a la fricción.

**Tabla 1. Velocidades recomendadas para el transporte de pulpas**

<b>Malla</b>	<b>Velocidad</b>
Finos (malla 200 (0,0740 mm))	3 - 5 pies/s (0,91 - 1,52 m/s)
Arenas (mallas 20 a 200 (0,0740 - 0,85 mm))	5 - 7 pies/s (1,52 - 2,13 m/s)
Gruesos (mallas 4 a 20 (0,85 - 4,75 mm))	7 - 11 pies/s (2,13 - 3,35 m/s)
Lodos (dragado) (malla 1/4 (6,35 mm))	11 - 14 pies/s (3,35 - 4,27 m/s)

*Nota.* Minera El Brocal.

Al trabajar con pulpas homogéneas cuya concentración de sólidos sea baja, no se habrá de requerir cuidados especiales en lo que respecta a la velocidad límite, tal como se especificó con anterioridad. Aunque, por lo contrario, debido al comportamiento no newtoniano de aquellas pulpas con altas concentraciones, estos últimos sí requieren de un cuidado especial. En este caso, es necesario establecer la velocidad real de la pulpa por encima de la velocidad límite, de este modo, se podrá asegurar que las partículas sólidas suspendidas en el fluido no se podrán asentar bloqueando la tubería.

Las pulpas heterogéneas que contengan partículas mayores de 50 micras requieren de un transporte con velocidades mayores a la velocidad límite para contrarrestar los posibles bloqueos del sistema. Mientras tanto, se considera a Condolios, con sus escritos de 1952, como la base para los párrafos descritos, de donde se obtiene la fórmula de velocidad límite, ver anexo 13.

Las pérdidas por fricción, por otro lado, son calculadas mediante la relación propuesta por Hazen-Williams, que se aplica haciendo una variación; esto significa que el valor obtenido debe ser multiplicado por un factor que depende de la naturaleza del tubo y la concentración del peso en la pulpa, ver anexo 14).

Se reconoce que para considerar las pérdidas debido a la fricción en fluidos limpios se puede utilizar la relación de Darcy-Weisbach. Para ello se utiliza la fórmula de pérdida de presión, ver anexo 15.

Con respecto al factor de fricción en fluidos limpios, se considera utilizar la relación de Moody, ver anexo 16.

También, se aplica un factor de corrección para la culpa que depende de la columna en pulpa en contraste a la columna de agua. Esto requiere conocer o calcular la cantidad de agua que transporta el sólido. Para ello, se usa la fórmula de altura de columna de agua, ver anexo 17. El denominado «Factor de corrección» o  $HR$  posee una fórmula efectiva, ver anexo 18. Entonces, para conocer la potencia de la bomba, esto requiere de la ecuación (ver anexo 19). Por último, la altura de aspiración positiva neta (NPSH) disponible para un sistema de bombeo, ver anexo 20.

### **2.2.3. Fabricación de piezas mecánicas**

#### **2.2.3.1. Definición**

Guerrero (16) considera a los procesos de manufactura como actividades para transformar una materia en un producto elaborado que puede o no requerir de otros procedimientos para completar su proceso de fabricación. Para esto es posible utilizar procedimientos mecánicos, físicos, químicos, eléctricos, entre otros. Un proceso de manufactura puede abarcar desde la manipulación de una materia prima hasta su clasificación y la elaboración final de un producto.

Los procesos de manufactura y fabricación son actividades completas que requieren de una planificación y un seguimiento. Existen diversas disciplinas que pueden verse incluidas, así como un gran conjunto de conocimientos técnicos. La maquinaria utilizada en este aspecto resulta ser bastante variada y grande en número. Existen desde equipos simples, como una cuña, que puede ser usada para facilitar un montaje hasta inclusive máquinas con niveles de automatización bastante avanzados.

La importancia de planificar un proceso de fabricación radica en la mejora de la eficiencia para utilizar los recursos. De este modo, es posible fabricar productos de mejor calidad, así como, disminuir el impacto ambiental que se genera a partir de los procesos de fabricación. Del mismo modo es importante considerar la satisfacción del cliente para la entrega del producto generando las menores pérdidas en su producción (16).

Para el control de procesos de manufactura es posible utilizar estándares de calidad internacionales que se rigen bajo conocimientos técnicos en cada proceso. Esto con el objetivo de obtener un producto final cuyas características cumplan con las especificaciones consideradas con un rango mínimo de error. Para esto es necesario establecer controles visuales, de medición y en las técnicas que se aplican en cada área de producción.

### **2.2.3.2. Procesos de manufactura**

Si bien los procesos de manufactura pueden clasificarse en procesos de fabricación y procesos de montaje. Se ha considerado desmenuzar estos procedimientos con respecto a la finalidad que cumple, por ejemplo, se puede ver que un proceso de corte tiene como objetivo separar un material. También, se tienen los procesos de unión, por medio de los cuales se unen dos piezas aplicando alguna técnica de sujeción.

#### **A. Procesos de corte**

Silva (17) reconoce que cuando se trata de cortar materiales, dependiendo al tipo de material que se pretende separar. Cuando se trata de cortar metales existen dos tipos: por arranque de viruta y aquellos que no requieren del arranque de viruta. Entre los procesos por arranque de viruta se encuentran:

**Cizallado:** Es un proceso realizado por medio de máquinas denominadas como «cizallas». Estos aparatos utilizan cuchillas que ejercen una fuerza sobre el material, por lo que se realiza el corte. Es posible aplicar este proceso por medio de tijeras especiales cuando el espesor del material lo permite (17).

**Troquelado:** Esta operación de corte se realiza a partir de una máquina que ejerce una fuerza mediante presión con la ayuda de un punzón. Este procedimiento requiere de una matriz para obtener cortes específicos, por lo que es necesario mecanizar dicha matriz mediante un proceso diferente (17).

Entre los procesos sin arranque de viruta se pueden encontrar los procedimientos que utilizan plasma, calor, agua a presión, entre otros. Como ejemplo de ello, están:

Corte por plasma: Denominado como uno de los procesos más modernos de la actualidad. Es un proceso térmico en que un gas es calentado por un arco eléctrico que genera un flujo de plasma que penetra el espesor de un material metálico (17).

## **B. Procesos de unión**

Los procesos de unión representan aquellas técnicas que se utilizan para adherir, juntar o ensamblar dos piezas que deben de estar unidas, una a la otra, para funcionar como una pieza mayor, un ensamble, o dar como resultado el producto final. Existen diversos procedimientos para cumplir con este objetivo, desde técnicas de soldadura, que utilizan arcos eléctricos, fricción y otros; hasta técnicas de unión por interferencia, que representa la introducción de un elemento en otro (17).

Uniones soldadas: Este tipo de procedimiento consiste en fusionar a una alta temperatura dos o más piezas generándose un cordón de soldadura al fundirse el material con el aporte, es el proceso más convencional de soldadura por arco eléctrico (17).

Uniones apernadas: Este tipo de procedimiento tiene la finalidad de unir dos o varios elementos de forma no permanente mediante el uso de pernos y tuercas, por tal motivo para efectuar este procedimiento ambos materiales deben contar con un orificio mecanizado según la medida del diámetro mayor que considera a la cresta del roscado. El perno atravesará ambos agujeros y una tuerca garantizará su sujeción (17).

### **2.2.4. Montaje de líneas de conducción**

#### **2.2.4.1. Definición**

Herrera (18) especifica que el proceso de montaje puede ser descrito como un procedimiento de ensamble. Sin embargo, el mismo autor reconoce que es importante realzar que un montaje puede tener el significado de la puesta en marcha de un proyecto que requiere de la fabricación de una pieza o máquina para funcionar.

Si bien, muchos productos solo requieren de una línea de ensamblaje para ser producidos y luego puestos a la venta. En general, los proyectos de fabricación más grandes, que responden a necesidades de piezas y procesos

más complejos, requieren máquinas con potencias más grandes y, posiblemente, pudiendo ocupar espacios de mayor tamaño. Esto significa que, a veces, no es posible realizar el ensamble completo, ni la prueba de funcionamiento, dentro de una fábrica (18).

Cuando se trata de líneas de conducción, un grupo o conjunto de colaboradores se encarga de la planificación y puesta en marcha del proyecto. Este equipo tiene como objetivo calcular la cantidad de piezas y recurso humano que será necesario para cumplir con todos los procesos requeridos. Esto puede incluir el transporte de los materiales y equipos; disponer de un área de trabajo, alquilar máquinas para facilitar el ensamble, entre muchos otros procedimientos (18).

Es común que al fabricar líneas de conducción se utilicen diversos procedimientos de diferentes índoles. En el caso de la fabricación de tuberías de acero, normalmente se transportan tubos de metal, a los que se sueldan otras piezas para alcanzar dimensiones específicas, facilitar la unión con otras piezas o sujetar estructuralmente al sistema. Se obtienen finalmente tuberías con bridas soldadas, estructuras metálicas para sujetar las tuberías, bases de apoyo para las bombas, entre otros elementos.

## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis de la investigación

El diseño, fabricación y montaje de una línea de conducción mejorará la eficiencia en el proceso de bombeo y transporte de relave al hidrociclón en la minera El Brocal.

#### 3.2. Variables y operacionalización

##### 3.2.1. Variables

##### 3.2.2. Línea de conducción para la descarga

Se basa en el sistema conformado por conductos, uniones y elementos que tienen como propósito transportar diversas sustancias desde un punto hasta otro. Dentro del contexto de investigación, una línea de conducción es el sistema que se vincula con un punto de bombeo con un hidrociclón, esto se desarrolla con la finalidad de movilizar relave para su procesamiento de selección efectiva que brinda un proceso de calidad.

**Tabla 2. Operacionalización de la variable**

	Dimensiones	Indicadores
	<b>Diseño:</b>	
<b>Línea de conducción para la descarga</b>	Proceso que tiene como objetivo otorgar dimensiones, materiales de desarrollo y tecnologías de producción para un compuesto, tomando como base inicial el cumplimiento de una función específica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones</li> <li>• Material</li> <li>• Tecnología de producción</li> </ul>

---

**Fabricación:**

Proceso con el que se aplican técnicas de manufacturación para transformar un elemento simple en un segmento mecánico y considerando estándares de calidad como parte de un plan de proceso para obtener un mejor producto.

- Técnicas de manufactura
- Estándares de calidad de fabricación

**Montaje:**

Proceso con el que un equipo técnico aplica técnicas de montaje uniendo accesorios para formar una unidad completamente funcional, considerando estándares de calidad que garanticen el funcionamiento de la línea de conducción.

- Técnicas de montaje
  - Estándares de calidad de montaje
- 

### 3.2.3. Operacionalización

Línea de conducción para la descarga

La variable pretende analizar el diseño bajo los indicadores de dimensiones, material y tecnología de fabricación a través del desarrollo de unas fórmulas matemáticas y tablas de selección de material. De esta manera, para poder estudiar su fabricación se desarrolló un análisis de técnicas en materia de manufactura, así como estándares de calidad a través de fichas de observación en los trabajos. Finalmente, se buscó estudiar el montaje donde se examinaron técnicas de acoplamiento y estándares de calidad a través de partes del trabajo cotidiano.

## **CAPÍTULO IV**

### **MÉTODO**

#### **4.1. Alcances de la investigación**

##### **4.1.1. Tipo de investigación**

Para desarrollar el presente estudio se optó por una investigación de tipo descriptivo. La misma que se enfocó en el desarrollo de un diseño ajustado a las necesidades de la empresa tomando como punto de partida el empleo de teorías de cálculo y el desarrollo de fórmulas que servirán como guía para el desarrollo de planos de fabricación, que serán utilizados para producir piezas vitales que fueron ensambladas para desarrollar una línea de conducción a hidrociclón.

Por su parte, Hernández et al. (19) indica que «con los estudios descriptivos se busca reconocer las características, así como, ambientes problemáticos que se desarrollan en lugar específico y de este modo determinar un problema que se conoce por medio de la obtención de información» (p. 92).

##### **4.1.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es aplicado. Por su parte, Hernández et al. (19) indica que «el nivel de investigación aplicado se basa en determinar un problema y darle una oportuna solución» (p. 96); de este modo, se buscó la elaboración y desarrollo de un plan operativo viable, para darle respuestas a las problemáticas, requerimiento o necesidades de la minera El Brocal.

## **4.2. Diseño de la investigación**

### **4.2.1. Método general o teórico de la investigación**

El método que se propone es el método deductivo, de igual manera, Hernández et al. (19) señala que «el método deductivo se basa en afirmaciones o teorías generales hacia escenarios específicos donde se pueden establecer debido a la información recabada, por lo que se pueden desarrollar teorías de problemática, así como de solución» (p. 102).

### **4.2.2. Diseño de la Investigación**

Se considera que el diseño no experimental encaja mejor con la descripción de la presente tesis. Hernández et al. (19) señala que «el diseño experimental permite la manipulación de las variables» (p. 103).

$$X \rightarrow O$$

**Donde:**

**X: Línea de conducción a hidrociclón.**

**O: Observación.**

El presente estudio permite el estudio sistemático de problemas con el propósito de relatarlo, exponer sus orígenes y consecuencias, concebir su naturaleza, así como, elementos que lo integran o pronostican su ocurrencia en relación con las variables en estudio.

### **4.2.3. Diseño o enfoque de análisis de información**

El diseño del estudio se basó en un estudio cuantitativo (19):

Es un método de investigación usado principalmente en las ciencias que se basa en cortes metodológicos basados en principios teóricos tales como la fenomenología, hermenéutica y la interacción social, empleando métodos de recolección de datos de tipo numérico, con el propósito de explorar el ambiente y describir la realidad tal como la experimentan los correspondientes (p. 12).

El método cuantitativo es de mayor comprensión, y por ello, puede aplicarse a análisis globales de casos específicos, vale la pena cuantificar los problemas y necesidades y en ambos determinar las prioridades como factores por investigarse. A

partir de ahí se puede recurrir a la medición de ciertas variables a través de la determinación de los indicadores.

#### **4.3. Población y muestra**

##### **4.3.1. Población de la investigación**

La población constituye un aspecto importante dentro del marco metodológico, puesto que está relacionada con la delimitación de la población o universo de estudio. Para realizar el proceso de selección de la población en este caso, se tomó en cuenta el enfoque de Espinoza (20) quien indica que la «población es el universo de la investigación con el que se pretende generalizar los resultados, y está constituido por características o estratos que se le permiten distinguir objetos unos de otros» (p. 33). En efecto, se refiere a la población como al conjunto para que se validen las conclusiones que obtengan, a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) que se van a estudiar.

Por lo tanto, la población es la totalidad del fenómeno a estudiar y da origen a los datos de la investigación. Los elementos de estudio son las 6 líneas de descarga hasta la conexión de alimentación de los hidrociclones que separarán las partículas deseadas por medio de su funcionamiento.

##### **4.3.2. Muestra de la investigación**

Del mismo modo, para dar cumplimiento al proceso metodológico en estudio, se seleccionó la muestra, y Espinoza (20) la define como «un subconjunto de la población, accesible y limitado, sobre el que se realizaron las mediciones o el experimento con la idea de obtener conclusiones generalizables a la población» (p. 36). Para efectos del presente estudio, la muestra estuvo constituida por 2 líneas de descarga hasta la conexión de alimentación de los hidrociclones debido a su reingeniería.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1. Técnicas de recolección de datos**

De las técnicas de recolección de datos indicadas por Espinoza (20), quien señala que «son documental y empírica, cuando se ocupa del estudio de problemas planteados a nivel teórico, la información requerida para elaborar los datos que se encuentran básicamente en materiales impresos, audiovisuales o electrónicos» (p. 41).

Cabe mencionar que las técnicas de recolección de información fueron:

- La observación cuantitativa

Mediante un muestreo objetivo de datos que se centra en números y valores reales que operan los equipos involucrados en la línea de descarga hasta la conexión de ingreso al nido de hidrociclones.

Los resultados de la observación cuantitativa se analizan utilizando métodos de análisis numéricos.

- Análisis textual o de contenido

Mediante la técnica de recolección y análisis que se utiliza como parte de los métodos de recolección de datos secundarios, que permite investigar los cambios de comportamiento del fluido dentro de la línea de descarga, analizando y comparando textos, para documentar el contexto de ciertas prácticas o para investigar las experiencias y perspectivas dentro de una línea de proceso.

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA LÍNEA DE DESCARGA HACIA HIDROCICLONES**

#### **5.1. Planificación del proyecto**

##### **5.1.1. Información preliminar**

En este tipo de proyectos, es usual que se tenga un acta, una contrata, o algún documento que evidencie el trato entre las partes interesadas a favor del servicio que se desea adquirir. Debido a que ciertos documentos son clasificados para la empresa, algunas de estas páginas se han evitado en el presente documento, por lo que solo se especificarán los datos. En este caso, el contratista Aguara Ingenieros S. A. C.; y el cliente: la minera El Brocal. Cabe señalar, que la contratista adquiere ciertos insumos, además de tercerizar algunos trabajos hacia proveedores terceros.

##### **5.1.2. Procedimientos de diseño, fabricación y montaje**

###### **5.1.2.1. Plan de recopilación de información**

###### **A. Descripción de los procedimientos de trabajo**

Actividades por desarrollar: Procedimiento de soldadura, de armado de andamios, de izaje con camión, de izaje con puente grúa y de manipulación de máquinas de poder.

También es posible determinar las actividades específicas en campo: Procedimiento de fabricación, de traslado y montaje; y de desmontaje y montaje.

## **B. Descripción de actividades previas al proyecto**

Inspección del área de trabajo: Los armadores, los soldadores y supervisores ingresan al reconocimiento de área donde realizan sus tareas, identificando los peligros y riesgos para ser controlados.

Traslado de equipos, herramientas y materiales: Los mecánicos, los soldadores y supervisores trasladan los equipos, herramientas y materiales hacia el lugar de trabajo cercano a los *chutes*, posteriormente, se instalan los equipos verificando las correctas conexiones.

Habilitado de tuberías y soportes: Los armadores empiezan a realizar el habilitado de tuberías, vigas y planchas según las cantidades de lista de materiales y dimensiones proporcionadas en el plano de revisión «0», con el uso de equipo oxicorte, amoladoras y máquinas CNC, para ello, el personal recibió charlas de manipulación de equipos de poder.

Armado de tuberías: el operario armador une las tuberías y soportes habilitados verificando las medidas según plano, utilizando herramientas de poder como amoladora, taladro magnético y rectificadora de matrices.

Soldeo de tuberías y soportes: Una vez verificada las medidas por el personal de calidad, el operario soldador procede a empezar con el soldeo, con un vigía al lado utilizando ambos, ropa de cuero.

Arenado y pintado de estructuras: El operario procede con el arenado correspondiente según la norma SP-5, y el pintado con espesor de película seca en 8 mills aplicando pintura epóxica. Utilizando máquina granalladora y una compresora. En este trabajo se utiliza equipos de protección especializados para ambas actividades.

Embalaje y traslado de fabricaciones: El operario mecánico procederá con la manipulación de estructuras cubriéndolas con *fill* enzunchándola en parihuelas según estándares de embalado de la minera El Brocal.

## **C. Descripción de las actividades de desmontaje y montaje**

Inspección del área de trabajo: Los mecánicos, los soldadores y supervisores ingresan al reconocimiento de área donde realizan sus tareas,

identificando los peligros y riesgos que son documentadas en las fichas ATS e IPERC para su adecuado control.

Traslado de equipos, herramientas y materiales: Los mecánicos, los soldadores y supervisores trasladan los equipos, herramientas y materiales hacia el lugar de trabajo cercano a los chutes, posteriormente, se instalan los equipos verificando las correctas conexiones.

Señalización del área de trabajo: Los mecánicos y supervisores señalizan el área de trabajo con cintas de seguridad color amarilla si es un peligro de alto riesgo con cinta color rojo, se colocan letreros de seguridad con los trabajos de alto riesgo que se realizan, si es necesario, se dispondrá de un vigía.

Llenado de documentación de seguridad: Los mecánicos y soldadores recibirán todos los días charlas de seguridad de 5 min por el supervisor de seguridad. Antes de iniciar sus actividades, posteriormente, realizarán el correcto llenado de los documentos de seguridad antes de cada actividad a realizar Iperc (identificación de peligros y evaluación de riesgos y controles), ATS (análisis de trabajo seguro) si se realizara alguna tarea que no se contemple en este documento, Petar, *check list* (lista de chequeo) con la supervisión del supervisor de seguridad, posteriormente, todos los documentos realizados deberán contar con las firmas correspondientes.

Bloqueo de equipo: El supervisor operativo coordina con el personal de la minera El Brocal para realizar el bloqueo de tuberías y bombas, y así realizar la instalación de la línea de descarga. Una vez bloqueado por el oficial de bloqueo, el soldador, mecánicos y supervisores procederán al bloqueo con su candado y etiqueta.

Montaje de línea de descarga desde ciclón 2A / 2B: Los mecánicos colocándose el arnés de cuerpo completo desmontarán utilizando llave de 1 1/8" y retirarán la línea de descarga dañada con ayuda del puente grúa. El supervisor y los mecánicos señalizarán el área para el izaje con el puente grúa para el montaje de la nueva línea de descarga. El operador izará la nueva línea de descarga con el *rigger* señalizando el área. El supervisor de seguridad se

encontrará verificando la maniobra de izaje por realizar. Los mecánicos apretarán las tuercas con llaves en la línea de descarga.

Desbloqueo de equipo: El supervisor operativo coordinará con el personal de la minera El Brocal para realizar el desbloqueo de tuberías y bombas. El personal y supervisores retirarán sus candados y etiquetas de la caja de bloqueo, después, lo hará el oficial de bloqueo.

Retiro de herramientas y equipos: Se procede al orden y limpieza del lugar de trabajo. Culminada la limpieza se procede a efectuar el retiro de los equipos y herramientas del lugar de trabajo.

#### **D. Descripción de las actividades del plan de trabajo**

En este punto se describen el resumen de todos los trabajos que se realizarán aplicando estándares de calidad, especificaciones técnicas, metodologías de monitoreo y control.

Alcances del servicio (por Aguará): Fabricación en general, movilización de personal, equipos, herramientas y fabricaciones; facilidades en obra; trazos, replanteo y toma de medidas; instalación de los trabajos descritos y, por último, orden y limpieza.

Objetivos del proyecto: El presente documento tiene como objetivo poner en conocimiento a la minera El Brocal, las principales actividades relacionadas al proyecto de instalación.

Organización y organigrama del servicio: El plan de actividades será aplicado y estudiado por un supervisor de obra que tendrá la responsabilidad de contar con todos los requerimientos disponibles al alcance. Un ingeniero de seguridad a cargo de hacer cumplir los requerimientos del Sistema de Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente de Aguará Ingenieros S. A. C. que a su vez está alineado con el sistema de gestión de la minera. Un líder de trabajo de campo con el objetivo de liderar y guiar el grupo de trabajo, realizando el autocontrol en las actividades durante la ejecución del proyecto. Participar activamente en la elaboración, conocimiento y difusión del Iperc y permisos de trabajos de alto riesgo Petar. Personal Operario, cada uno de estos involucrados se hace responsable de inspeccionar sus EPP y herramientas de trabajo (cinta

de inspección del mes), e informar de cualquier anomalía. Caso contrario pedir el cambio de equipo y herramientas.

### E. Gestión de los recursos logísticos y humanos

El área de logística: Se deberá suministrar de acuerdo con el cronograma de trabajos preliminares, los equipos y materiales requeridos, los cuales se ceñirán a las siguientes etapas de fabricación y montaje. También es el encargado de hacer las compras de acuerdo con los alcances enviados a la minera, donde muestran herramientas, equipos de protección personal, y equipos de poder de acuerdo con la cantidad y calidad solicitada.

**Tabla 3. Recurso considerado para el proyecto**

Ítem	Herramienta	Descripción	Cant.	Unidad
1	Máquina de soldar	Miller multifunción	2	Unid.
2	Amoladora	Ø 7"	2	Unid.
3	Amoladora	Ø 4 ½"	3	Unid.
4	Tablero eléctrico	4 entradas	2	Unid.
5	Cable de extensión	220V – 15 metros	3	Unid.
6	Cable de extensión	440V – 15 metros	2	Unid.
7	Cinzel	-	4	Unid.
8	Comba	8 libras	2	Unid.
9	Comba	6 libras	2	Unid.
10	Comba	2 libras	2	Unid.
11	Llaves mixtas	24mm o 15/16"	4	Unid.
12	Llaves mixtas	¾"	2	Unid.
13	Desatornillador	De golpe	2	Unid.
14	Desatornillador	Estrella	1	Unid.
15	Desatornillador	Plano	1	Unid.
16	Alicate	Electricista 1000 V	2	Unid.
17	Caja metálica	1,2 m x 1m x 1m	2	Unid.
18	Tenaza	Portaelectrodo	2	Unid.
19	Tecele	1 tonelada	4	Unid.
20	Tecele	2 toneladas	4	Unid.
21	Extintor PQS	9 kg	2	Unid.
22	Manta ignífuga	3 m x 2 m	2	Unid.

**Tabla 4. Recurso humano considerado para el proyecto en curso**

Personal	Cant.	Traslado	Alojamiento	Alimentación
Ingeniero supervisor	1	X	X	X
Ingeniero de seguridad	1	X	X	X
Mecánico montajista	4	X	X	X
Mecánico soldador	2	X	X	X
Administrativo	1	X	X	X

#### 5.1.2.2. Cronogramas de trabajo

Se establece un plan de trabajo bajo un cronograma de tal modo que las actividades estudiadas se hayan programado a través de tiempos estimados que permitan una previsión de tiempo y presupuesto. Se recupera un vistazo al diagrama realizado en la empresa para poder observar este cronograma.

El cronograma de actividades del proyecto para la fabricación de la línea y cronograma de actividades del proyecto para el montaje de la línea se pueden encontrar en el anexo I del presente documento.

## 5.2. Diseño de la línea de descarga

### 5.2.1. Consideraciones previas al diseño

Se plantea realizar el intercambio de tubería para una línea de 52 metros denominada como «Línea 2A»; así como, también de una línea de 52 metros bajo el nombre «Línea 2B». Si bien estas líneas existen y se encuentran en funcionamiento, en el siguiente cuadro se muestran los siguientes datos de trabajo.

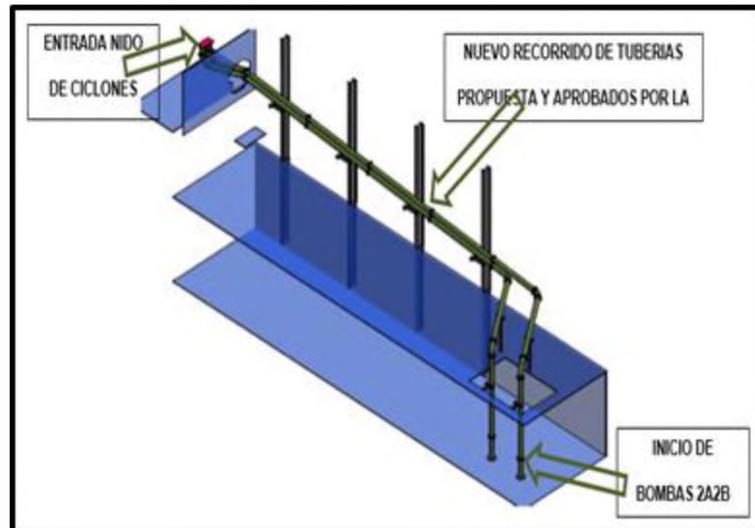
**Tabla 5. Datos de la línea de descarga antes de la modificación**

<i>Símbolo</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Gravedad específica del relave	GE <sub>s</sub>	2,2	t/m <sup>3</sup>
Toneladas de relave por hora	TMS	95,22	t/h
Concentración de sólidos en peso	C <sub>w</sub>	22,4	%
DN 400	DN	16	in
Caudal	Q	496,8	m <sup>3</sup> /h

*Fuente. Diseño la minera El Brocal*

Por tal motivo, se plantea un intercambio de sus componentes, piezas y accesorios para facilitar su mantenimiento e incrementar su eficiencia de las bombas.

Las ya descritas tuberías existentes utilizan un material elastomérico. Se considera que este material debería intercambiarse por un acero con revestimiento interno elastomérico (caucho MOR 130B) que tendrá un nuevo recorrido con soportes. Asimismo, se ha considerado presentar un cierto número de segmentaciones tomando como referencia las tuberías existentes, de tal modo que se genere un nuevo recorrido similar que ya describen las tuberías.



**Figura 1. Bosquejo del nuevo recorrido de tuberías**  
**Fuente. Diseño de la minera El Brocal**

### 5.2.2. Cálculos de diseño

Se utilizan los datos del relave otorgados por la empresa para los cálculos; además, se aprovechará el tipo de bomba para comprobar que las pérdidas no influyan negativamente este elemento ya instalado. El tonelaje de relave de flotación por hora que llega a cada una de las bombas equivale a 95,22 TM.

Despejando de la fórmula general de la densidad:

$$GE_s = \frac{TRF}{V_s}$$

Se estima que el volumen del sólido a partir de  $TRF = 95.22 TMS$ :

$$V_s = \frac{TRF}{GE_s} = \frac{95,22}{2,20} = 43,28 TM$$

Donde:  $TRF$ : tonelada del relave en flotación

$GE_s$ : gravedad específica del relave

Para el cálculo de masa en suspensión se tiene:

$$M_a = TRF \times R_l \frac{1}{s}$$

**Donde:**

$R_{\frac{l}{s}}$ : relación de líquido y sólido

Se puede transformar la ecuación para calcular la relación de líquido y sólido a partir del  $C_W = 22,74 \%$ .

$$R_{\frac{l}{s}} = \frac{1 - C_W}{C_W} = \frac{1 - 0,2274}{0,2274} = 3,3975$$

**Donde:**

$C_W$ : porcentaje sólido en peso

**Entonces:**

$$V_l = 95,22 \times 3,3975 = 323,51 \text{ TM}$$

**Donde:**

$V_l$ : volumen del líquido

Para el volumen de la pulpa se tiene:

$$V_p = V_l + V_s = 323,51 + 43,28 = 366,79 \text{ m}^3$$

Mientras que para la masa total de la pulpa se aplica la ecuación:

$$M_p = TRF + M_l = 95,22 + 323,51 = 418,73 \text{ TM}$$

Así se procede a calcular la gravedad específica de la pulpa a partir de los datos determinados:

$$GE_p = \frac{M_p}{V_p} = \frac{418,73}{366,79} = 1,1416$$

El porcentaje en volumen en peso en la pulpa se calcula mediante:

$$C_v = \frac{V_s}{V_p} = \frac{43,28}{366,79} = 0,1180 = 11.80 \%$$

Se establece un valor de caudal a partir de la información que corresponde a los parámetros de trabajo de la planta con una sobrecarga en el ingreso de la bomba. Establecidos los parámetros previos de diseño, se procede a comprobar las posibles medidas de diámetro para la tubería de acero. Para ello se calcula el diámetro a partir de la comprobación de la velocidad del relave contra la velocidad límite del relave para evitar la sedimentación de este fluido (anexo XIII).

$$V_L = F_L \times \sqrt{2 \times g \times D \times \left( \frac{GE_s - GE_L}{GE_L} \right)} \left( \frac{m}{s} \right) \wedge V_R = \frac{Q \times 1,2730}{D^2} \left( \frac{m}{s} \right)$$

Se reducen las ecuaciones a:

$$V_L = 2,0090 \times \sqrt{D} \wedge V_R = \frac{0,1945}{D^2}$$

Se comparan las ecuaciones hasta obtener el valor más adecuado para no sobredimensionar en extremo la tubería. Así, se llega a la conclusión de que es factible utilizar una tubería de acero de 12" de diámetro o DN 300. De tal modo que la velocidad de la pulpa sea mayor a la velocidad límite. La velocidad de diseño será:  $V = 2,0942 \frac{m}{s}$ .

Se comprueban también las pérdidas por altura, fricción y pérdidas en la descarga para determinar que la bomba ya instalada pueda funcionar correctamente. Para ello se determina una distancia de 52 metros para la línea de conducción. No se consideran accesorios como válvulas; sin embargo, para las otras piezas se usará el método de longitudes equivalentes como codos y bridas que equivalen a una distancia de 17,08 metros.

Por lo tanto, la longitud total equivalente será 69,08 metros.

Se procede con el cálculo de la pérdida de carga por el método de Darcy-Weisbach, por lo tanto, se calcula el número de Reynolds a partir de los datos ya calculados:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{2,0942 \times 0,3048}{4,95 \times 10^{-7}} = 1,2889 \times 10^6$$

La rugosidad de la tubería de acero de 12" con revestimiento elastomérico equivale a  $\frac{e}{D} = 0,0022$ .

La ecuación de Colebrook-White, permite hallar el factor de fricción. Este dato  $f = 0,02405670$ .

Aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach, (anexo XV) se tiene:

$$H_f = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} = 0,0240567 \times \frac{69,08}{0,3048} \times \frac{2,0942^2}{2 \times 9,81} = 1,2187$$

Luego, la ecuación de la energía entre el punto de entrada y salida de la línea de conducción dará las pérdidas necesarias para comparar con información de la bomba. Las pérdidas debido a la descarga dan como resultado 0,2235 m.

$$HDT = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{P_2^2 - P_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

Se considera que no existe diferencia entre las velocidades iniciales y finales, así como no existe diferencia entre las presiones iniciales y finales en el ducto diseñado. Dando valores a la ecuación anterior, se puede determinar las pérdidas según anexo XVII.

$$HDT = 1,2187 + 0,2235 + 4,62 = 6,0622 \text{ m}$$

Para obtener el factor de corrección se aprovecha la ecuación: (anexo XVIII).

$$HR = 1 - 0,000385 \times (GE_s - 1) \times \left(1 + \frac{4}{GE_s}\right) \times C_W \times \ln\left(\frac{d_{50}}{22,7}\right)$$

Se reemplazan las incógnitas a partir de los parámetros de diseño:

$$HR = 1 - 0,000385 \times (2,2 - 1) \times \left(1 + \frac{4}{2,2}\right) \times 22,74 \times \ln\left(\frac{120}{22,70}\right) = 0,9385$$

Finalmente, se comprueba la presión de la bomba para el caudal considerado en las anotaciones de diseño de la empresa y la nueva distribución de la línea de conducción.

$$H_W = \frac{6,0622}{0,9385} = 6,4595 \text{ m (valor permitido)}$$

### 5.2.3. Resultados de diseño

Luego de comprobar las pérdidas primarias y secundarias por medio de cálculos, además de estimar el diámetro de las tuberías; se pudo conseguir que el caudal aumente en un 10 % en promedio (ver tabla 6). Este valor se consigna entre los documentos entregados al contratista para que pueda realizar las acciones pertinentes en sus actividades productivas como se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 6. Listado Caudal inicial y caudal final**

Ítem	Caudal antes del cambio	Caudal después del cambio	%
	Qi (m <sup>3</sup> /h)	Qr (m <sup>3</sup> /h)	
1	496,80	549,72	10,65
2	496,44	548,64	10,51
3	500,40	549,72	9,86
4	493,20	547,20	10,95
5	486,00	540,00	11,11
6	482,40	532,80	10,45
7	496,80	548,64	10,43
8	491,76	547,20	11,27
9	493,20	549,00	11,31
10	489,60	540,00	10,29
11	491,40	547,20	11,36
12	486,00	532,80	9,63
13	479,88	531,00	10,65
14	480,60	532,80	10,86
15	496,80	549,72	10,65

*Fuente. Control de caudal de la minera El Brocal*

Con respecto a los materiales, se ha de conseguir un listado de los artículos que se habrán de utilizar, además de la longitud y peso de cada uno de los tramos que se habrán de construir. Es posible hacer un contraste de estas dimensiones en los planos de diseño, que se encuentran entre los anexos del presente documento.

**Tabla 7. Listado de materiales para el proyecto**

Ítem	Elemento	Cod.	Cant.	Masa unit.
1	Ducto Ø12" 6 m	D1	12	618,25 kg
2	Ducto Ø12" 4 m	D2	1	445,55 kg
3	Ducto Ø12" 1,6 m	D3	1	192,50 kg
4	Ducto Ø12" 1,4m	D4	1	172,49 kg
5	GanzoØ12" 2,9m	G1	1	315,46 kg
6	GanzoØ12" 2,4m	G2	1	266,88 kg
7	CodoØ12" 168,12°	C1	1	78,12 kg
8	CodoØ12" 94,74°	C2	2	110,52 kg
9	CodoØ12" 125,51°	C3	1	226,37 kg
10	CodoØ12" 125,51°	C4	1	104,68 kg
11	CodoØ12" 92,75°	C5	1	147,01 kg
12	CodoØ12" 92,75°	C6	1	167,43 kg
13	Viga W 6x15	SP	11	267,84 kg

*Fuente. Control de caudal de la minera El Brocal*

## 5.2.4. Consideraciones finales para la fabricación y montaje

### 5.2.4.1. Plan de identificación de riesgos

Debido a la magnitud del proyecto es necesario determinar los riesgos vinculados a los tiempos y recursos con los que se proyecta el estudio. Esto se realiza en favor de la eficiencia del proceso, de tal manera que las metas sean cumplidas en el tiempo establecido. No se describen valores numéricos para el presupuesto debido a la privacidad de la información.

Se describen riesgos, respuestas, controles y monitoreos a partir de la experiencia del encargado del proyecto.

#### A. Riesgos

- Tiempo de entrega en proveedores: pintura, aceros, movilidad y transporte
- Gestión administrativa para los recursos monetarios en la inversión y mala administración del dinero.
- Diseño y levantamiento de medidas desfasadas
- Gestión de recursos humanos, capacitación del personal para trabajos en minería.

#### B. Respuesta ante riesgos

- Tener una lista maestra de proveedores confiables en pintura, aceros, movilidad y transporte.
- Gestión administrativa para priorizar gastos en costos directos al proyecto.
- Replanteo de mediciones con topografía, métodos de recolección de datos apropiado para el diseño.

- Tener una lista maestra del personal habilitado y por habilitar para trabajos en minería.

### **C. Control y monitoreo del proceso**

- Establecer un PPI (Plan de puntos de inspección) descrito bajo estándares y formatos de la empresa (Este plan se encuentra en los anexos del presente documento).
- Garantizar la calidad del proceso por medio de monitoreo constante de actividades de la etapa de fabricación.
- Observaciones preliminares antes del inicio de la fabricación dirigida hacia materiales, herramientas de medición, equipos de seguridad; y demás accesorios que intervengan en la etapa de fabricación.

## **5.2.5. Adquisiciones y recursos**

### **5.2.5.1. Los recursos físicos**

Son la propiedad tangible, e incluyen instalaciones, oficinas, bodegas, terrenos, maquinaria, equipos y herramientas; algunos recursos son:

- Oficinas, centros de cómputo y área de taller metalmecánica
- Máquina CNC corte plasma
- Torno universal maquinado de piezas de maestranza
- Roladora de 2.4 m hasta planchas de 1/2"
- Máquina de soldar multiprocesos SMAW, FCAW, GMAW
- Equipos de poder (amoladoras, taladros, biseladora)
- Puente grúa de 5 t

### **5.2.5.2. Los recursos humanos**

Son los encargados de desarrollar las funciones de las operaciones en Aguara Ingenieros. Los empleados individuales aplazan en sus destrezas, la noción, la alineación, la cabida, flexibilidad y condiciones laborales. De igual manera, aplazan en el rol que cumplen.

- Supervisores.
- Dibujante mecánico
- Administrador
- Líderes de grupo

- Mecánicos montajistas y andamieros
- Soldadores 3G y 4G

#### **5.2.5.3. Propiedad intelectual**

El *software* y los métodos son los recursos basados en el conocimiento de la función de operaciones por medio del empleo de herramientas tecnológicas. Son los conocimientos agrupados establecidos en la organización, no por los empleados individuales. Abarcan en esta categoría los diseños registrados, así como propietarios, estrategias comerciales, tecnologías, sistemas de organización, procesos y técnicas para la obtención de datos.

- Programas de diseño (SolidWorks, Autodesk Inventor, AutoCAD)
- Ofimática (Word, Excel, MS Project)
- Sistema integrado y homologación SGS vigente

#### **5.2.5.4. Adquisiciones**

Mediante órdenes de compra se realiza la compra de lo siguiente:

- Compra de consumibles (oxígeno, soldadura, discos de corte, acetileno, kit de pinturas, tintes penetrantes, etc.)
- Compra de materiales para la fabricación de compra de equipos de protección personal.
- Compra de equipos, máquinas y herramientas, que no se encuentren en inventario.

### **5.3. Fabricación de la línea de descarga**

#### **5.3.1. Control de material de fabricación**

En el PPI se incluye el control de materiales en todo el proceso de fabricación, que garantiza que la fabricación sea controlada en temas de calidad como precisión, materiales, y normativas correctas de fabricación, en este resultado se revisan los materiales sean los adecuados según la lista de materiales, también se debe verificar la colada y número de certificado, debe contener y tener definidos lo siguiente:

- Serie o código del certificado
- Cantidad del material
- Número de colada
- Normativa de material

Posteriormente, se da la conformidad, este trabajo lo realiza el almacenero que está encargado de la recepción de los materiales dando su conformidad y posteriormente por el encargado de calidad. Se observa el documento de observación de material dentro del anexo IV.

### **5.3.2. Inspección de actividades**

#### **5.3.2.1. Control de soldadura**

El control de soldadura se realiza bajo las normas acordes al WPS, WPQ, PQS. Según la Norma AWS D1.1 (estructural) y ASME B8.1 (tuberías) que se realizaron en cada una de las fabricaciones con base en los planos de fabricación resultado de la unión de 37 piezas inspeccionadas.

Se establece un número de posibles defectos que podría presentar esta actividad, donde se puede encontrar: falta de fusión metal base o soldadura, existencia de fisuras, existencia de cráteres, dimensionamientos erróneos en los catetos de soldaduras de fletes, falta de llenado, socavación, sobre monta, porosidad aislada, porosidad alineada y porosidad anidada. Es posible observar este documento en el anexo V.

#### **5.3.2.2. Control dimensional**

Dentro del control dimensional, realizado de manera visual; se aplica un control de tolerancias a partir de la Norma AISC 303-2005; NTE E 090 y ASTM – A6. Para ello se midieron las piezas antes de ser trabajadas, de tal modo que las medidas iniciales sirvan como pruebas de control.

Dentro de esta prueba se considera asegurar que las dimensiones del material sean adecuadas con respecto a la precisión de los agujeros, los cortes en los extremos de los tramos, la rectitud y el calibre de cada uno de los tramos. Además, también se contrasta la perpendicularidad y paralelismo de elementos unidos. Finalmente, un trabajo de limpieza general sobre los tramos y las juntas concluyen esta actividad. Un documento de control dimensional se puede encontrar en el anexo VI.

#### **5.3.2.3. Control de dureza y espesor del caucho**

Para el control de dureza y espesor del caucho se considera una inspección visual que engloba la medición de la humedad e iluminación.

Además, también se utiliza un durómetro calibrado de acuerdo con la norma. El tipo de caucho instalado es MOR 130B – negro – antiabrasivo – antiaceite.

Este procedimiento se realiza en los dos tramos consignados en el inicio de este capítulo. Se estudian los perfiles de anclaje de cada una de las partes que componen los tramos. Además, se inspecciona visualmente las uniones, de tal modo que se pueda confirmar su buen estado. Los espesores de las paredes también son medidos, además de la dureza de las partes de las tuberías. Se cuenta con un documento en el anexo VII.

#### **5.3.2.4. Control de pintado**

Se realiza este procedimiento de acuerdo con la Norma SSPC que se realizó aleatoriamente en el proceso de fabricación con base en los planos. Cabe señalar que esta actividad fue solicitada por una empresa especializada para asegurar la calidad.

Dentro de este proceso de inspección se tiene en cuenta la preparación de la superficie que habrá de ser pintada. Para ello es posible utilizar abrasivos, que se realiza mediante la norma SSPC – SP5. Además, también fue necesario comprobar la rugosidad de la superficie por medio de la norma ASTM D 4417-C. Con esto, se procedió a realizar el pintado en tres tonalidades de verde y una de negro. Finalmente, se realizó una medición de la película seca de pintura por medio de un medidor de película seca. Se cuenta con un documento del reporte de pintado en el anexo VIII.

#### **5.3.3. Reporte de ensayos no destructivos**

Es necesario aplicar un ensayo no destructivo para complementar las inspecciones visuales realizadas con anterioridad. Se optó por aplicar el método de líquidos penetrantes para comprobar ciertos errores en los cordones de soldadura. Este método se realiza bajo la norma ASTM E165 aplicando criterios de aceptación de la norma ASME sección VIII.

El líquido penetrante se aplica a las juntas para observar que no existan ni fisuras longitudinales o transversales. Esto también permite controlar la existencia de otros errores como la falta de penetración, falta de fusión, ciertos tipos de porosidad, así como errores de mordedura o socavación. Este documento se puede observar en el anexo IX.

#### **5.3.4. Control final según rotulado**

El control final corresponde a un documento porque la empresa permite la salida de los materiales para su posterior montaje en el lugar requerido. Este reporte hace una revisión de carga para el envío necesario, por lo que se establecen pesos para cada uno de los paquetes que se enviarán.

Tal como se describió en reportes anteriores, se dividió la línea de conducción en diversas partes. Teniendo ductos cuyo peso va desde 172 kg hasta 618 kg; codos con pesos desde 78 kg hasta 226 kg; entre otros elementos como ductos gansos y soportes. Se puede observar este documento en el anexo X.

### **5.4. Montaje de la línea de descarga**

#### **5.4.1. Control de reportes del proceso de montaje**

El diseño dio como resultado: planos de fabricación y montaje gracias a los cuales se pudo iniciar la etapa de fabricación luego de hacer los requerimientos de materiales. En la fase de fabricación se aplicaron procedimientos planificados y supervisados mediante normas estandarizadas internacionales, así como, de lineamientos de seguridad bajo normas nacionales. En la última fase, en la etapa de montaje, se transportaron las piezas fabricadas en el taller de la empresa, para que puedan ser instaladas en el espacio que el contratista específico previamente.

Las actividades de montaje fueron divididas a partir de la planificación de procedimientos realizados en la etapa inicial. Especificando el tipo de actividades y las horas de trabajos para cada uno de los días, además de la progresión de actividades con respecto al día finalizado. Finalmente, se especifica la descripción de observaciones por medio de fotografías, la cantidad de personal requerido y ciertas acotaciones necesarias.

Las actividades iniciaron con el traslado de los equipos y materiales trasladados desde el taller de fabricación al área de recepción. En este punto se condujeron no solo las piezas ya fabricadas, sino también elementos necesarios como andamios, herramientas, máquinas, entre otros. Luego, se procedió a armar los andamios para conseguir la estructura necesaria para realizar actividades de comprobación de medidas y otras inspecciones. Habilitadas las tuberías y demás piezas se procedió a conducir a los elementos mecánicos hasta el punto de conexión.

Se realizó el armado de andamios en el punto de instalación para el correcto montaje de los elementos metálicos fabricados, de tal modo que la instalación ocurra en el tiempo que la línea 2A y 2B se encuentran listas para disminuir al máximo el tiempo de apagado de la bomba. Ubicadas y montadas, las líneas de conducción, en los lugares correspondientes, se procedió a retirar la antigua línea de conducción flexible. Finalmente, se procedió a realizar un mantenimiento mecánico de la bomba para reiniciar el funcionamiento de este sector. Un documento del reporte se puede apreciar en el anexo XI.

#### **5.4.2. Resultados finales de montaje**

Luego del armado en el punto específico, donde se realizó la puesta en punto y el acople de las partes de la línea de conducción fue necesario realizar un mantenimiento mecánico de la bomba. Además, también se extrajo la línea de conducción antigua para su posterior estudio y desecho. Se comprobó las uniones realizadas por medio de inspecciones visuales para finalmente iniciar la reactivación de la línea de conducción.

Tal como se reportó en la etapa del diseño, el caudal del relave aumentó en 10 %, valor que fue comprobado para el hidrociclón donde este podía manejar el nuevo ingreso de flujo volumétrico. El mantenimiento de la bomba redujo la vibración que esta registraba, resultado observado a partir de una inspección sonora. Por último, el cliente firmó un acta de conformidad bajo la firma de un supervisor, un jefe supervisor, el planificador del proyecto y el jefe de ingeniería y planeamiento. Un documento del reporte se puede apreciar en el anexo XII.



*Figura 2. Líneas de conducción montadas 2A y 2B acopladas a la bomba  
Fuente: la minera El Brocal*

#### **5.5. Discusión de resultados**

Las líneas de conducción representan un elemento importante en la conducción de material proveniente de mina, ya que responden a una necesidad de tránsito de producción y de seguridad ambiental. Escoger el material adecuado para utilizar, dependiendo de las necesidades del cliente, y de la mayor eficiencia en el diseño de ingeniería son cualidades que estas piezas deben poseer. En el caso del proyecto fue necesario diseñar dos líneas 2A y 2B para la conducción de relave minero por un tramo de 52 metros.

El diseño de líneas de conducción tiene como lineamiento normas estandarizadas internacionalmente. En el caso del presente proyecto se utilizó la norma ANSI 1-12.6; ya que se parte de la idea de que el relave pueda poseer comportamientos newtonianos al ser transportado. Si bien, la viscosidad de ciertas mezclas de relave puede variar dependiendo de la presión y la temperatura; se ha aislado el tránsito del material a través de la reubicación de la línea de conducción.

La norma ANSI/HI 1-12.6, similar a la usada por Niño-Martínez (3); no da información precisa de todos los tipos de mezcla que se pueden encontrar entre los relaves mineros, es posible que cada empresa cuente con información recopilada a través de los años. El contratista del servicio dio información que contaba a través de ciertos estudios, por lo que se pudo sujetar la investigación a la norma establecida dando resultados concretos y eficientes.

Luego del diseño, es importante establecer ciertas tolerancias de dimensionamiento de acuerdo con estándares. De acuerdo con el tipo de procedimiento que se ha de realizar para la fabricación de las piezas, es posible hacer uso de más de una norma. En el caso del proyecto se hizo uso de las normas AISC 303-2005; NTE E 090 y ASTM – A6. Esto permitió establecer tolerancias para las dimensiones (largos, anchos, diámetros, entre otros) para los ductos, codos, y otros elementos fabricados.

La selección del espesor de pared se realizó mediante el uso de la norma ASME B31.11; que ofrece sugerencias para recubrimientos poliméricos, de caucho y otros materiales comunes en esta área. López (4) aplica esta norma para seleccionar el material y el recubrimiento para los ductos del sistema hidráulico que diseña. En contraste con los resultados de la investigación, donde se aplicó acero con un revestimiento interno de caucho. El espesor de la pared de acero varía desde ½” hasta 1”.

Se propone que la topografía del lugar donde se pretende instalar una línea de conducción no debería ser un condicionante primordial para la selección de material. Marroquín y Rondán (8) apuestan por la influencia de dicha topografía para seleccionar tuberías de polietileno de alta densidad; que permite la flexibilidad de la línea de conducción. Esto es permisible para ductos cuya topografía resulta ser demasiado accidentada, sin embargo, es posible que el costo de mantenimiento sea muy elevado.

El diseño final del proyecto no considera accesorios para aliviar eventos donde la presión del relave pudiera elevarse. Por lo que no se instalaron válvulas de alivio en ningún punto de los 52 metros de cada una de las líneas de conducción. Otro fenómeno que es necesario prevenirse es el denominado golpe de ariete, que ocurre cuando un fluido adopta propiedades elásticas, incluso a pesar de que solo suceda en pequeñas magnitudes. Se considera que la inercia del fluido podrá amortiguar este comportamiento.

Ciertos fenómenos, como el incremento de presión espontáneo o el golpe de ariete, e inclusive la cavitación, suelen ser los principales detonantes del deterioro del sistema hidráulico, por lo que es necesario tenerlos en cuenta. Laura (7) sugiere que ha sumado a estos fenómenos, las vibraciones causadas por subidas de presión que pueden causar fracturas en puntos de anclaje. Aunque es recomendable utilizar válvulas para aliviar sus efectos, en sistemas de conducción de relave, lo es también, sobredimensionar el diseño.

El sobredimensionamiento de un sistema hidráulico puede incrementar excesivamente el presupuesto del proyecto, pero en contraparte, esto permite organizar las tuberías de tal modo

que su mantenimiento y su manejo resulten más sencillos y con un menor coste. Si bien el diseño del presente proyecto estuvo condicionado en gran parte a los elementos que el contratista deseaba reinstalar en la nueva línea, se diseñaron los tramos por donde se ubican estas piezas.

La fabricación y montaje de líneas de conducción siguen lineamientos y estándares similares a los considerados en el diseño, muchas veces siendo los mismos. Estas normas ofrecen alcances para un buen resultado de actividades de rolado, soldadura, corte, dimensión, pintado, entre otros. En el presente caso, se aplicaron estas técnicas para fabricar las piezas que fueron transportadas hacia el punto de ensamblaje donde se realizó el proceso de montaje. Es importante anotar que es necesario contar con un plan de riesgos para cada procedimiento realizado en esta etapa.

## CONCLUSIONES

Se concluyó con el diseño, fabricación y montaje de la línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal considerando diversos aspectos y normas con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema.

Se realizó el diseño de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal, que se basaron en datos y normas usadas en su diseño anterior como la norma ANSI/HI1-12.6, ASME B31.11 que fueron base para el procedimiento de cálculo de diseño, considerando una bomba preestablecida en el sistema.

Se realizó la fabricación de una línea de descarga hacia hidrociclones mediante el uso de normas estandarizadas como AISC 303-2005, ASTM-A36 lo que permitió las tolerancias dimensionales de los valores nominales de los planos con una tolerancia máxima de 2 milímetros y ASME B31.1 para trabajos de soldadura en tuberías para sistemas de generación de potencia, así también como ensayos no destructivos para comprobar la continuidad de las superficies que se realizaron por la técnica de líquidos penetrantes a partir de la norma ASTM E165. También se aplicaron estándares para el proceso de pintado bajo la norma SSPC – SP5.

Finalmente, se concretizó el montaje de una línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal mediante un cronograma de actividades que fueron supervisadas durante el trabajo diario. Se contó con documentos SGS-ST. Por último, la entrega final del trabajo se estableció mediante un acta de entrega firmado por la minera El Brocal y la empresa ejecutora.

## RECOMENDACIONES

En el diseño, fabricación y montaje de la línea de descarga hacia hidrociclones en la minera El Brocal también se pueden considerar los parámetros internacionales referidos a líneas de conducción de minerales por bombeo, los cuales cuentan con diferentes procedimientos de cálculo por su complejidad.

En el diseño de ductos de relave se plantea considerar ciertos puntos principales como las toneladas de relave que circulan a través de la tubería, así como su velocidad. También es importante considerar valores para la densidad específica del fluido. Es importante analizar la posibilidad de que el fluido no posea un comportamiento newtoniano, ya que algunos tipos de relave suelen llegar a poseer dicho comportamiento. Otro fenómeno por considerar es el golpe de ariete que puede causarse debido a algunos accesorios.

La fabricación de ductos de transporte de relave está condicionada, comúnmente, bajo normas legales para el uso de este tipo de fluidos. Por ello, es importante revisar la norma vigente de cada país para observar ciertas limitaciones que podría tener con respecto a los materiales que, por ley, es posible usar. Es posible que los estándares internacionales entren en conflicto con alguna norma regional, en cuyo caso la norma regional debe prevalecer. Además, siempre es importante la actualización de las normas por utilizar.

Las actividades de montaje de líneas de tubería siguen lineamientos de trabajos de riesgos, por su uso frecuente de componentes pesados y de gran volumen que requieren de máquinas para su ensamblaje, por lo tanto, es importante la actualización de sistemas de gestión de salud, seguridad en el trabajo y la capacitación constante al grupo humano para reducir riesgos dentro de su labor.

## LISTA DE REFERENCIAS

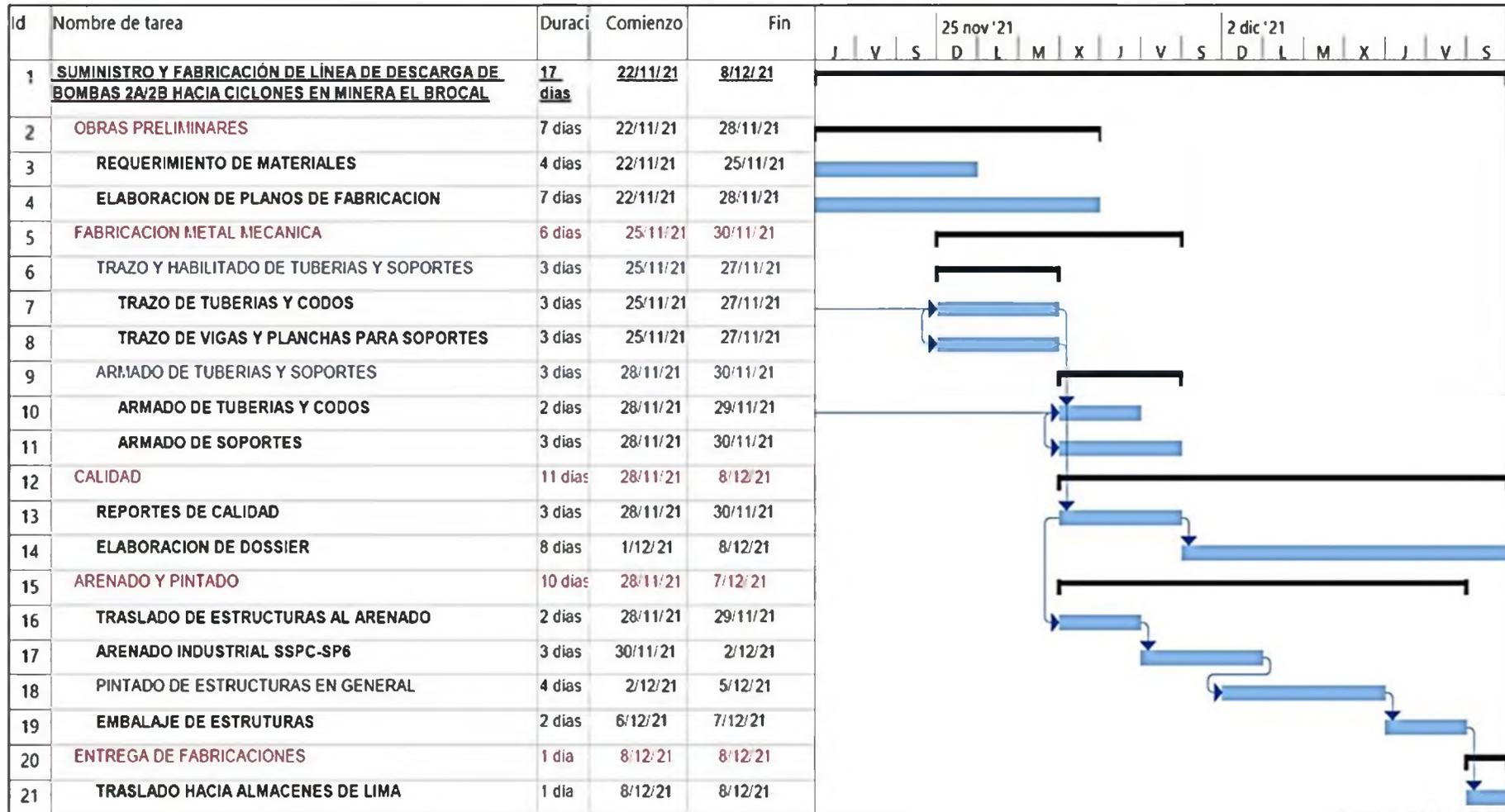
1. **ISASI, F.** *Minería en el Perú. Ministerio de Energía y Minas. Perú.* 2008.
2. **RAMÍREZ, N.** *Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves.* 2007. Colombia.
3. **NIÑO-MARTÍNEZ, C.** *Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera.* 2019. Universidad de Piura, Perú.
4. **LÓPEZ, J.** *Diseño hidráulico de un sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m<sup>3</sup>/h y 220 m de desnivel. 10.13140/RG.2.1.1273.6404.* 2014.
5. **COOKE, R.** *Thickened and paste tailings pipeline systems: design procedure, part 1.* 2006. Australian Centre of Geomechanics, Limerick, Ireland.
6. —. *Thickened and paste tailings pipeline systems: design procedure part 2.* 2007. Australian Centre of Geomechanics, Limerick, Ireland.
7. **LAURA, R.** *Parámetros de operación de un hidrociclón para la clasificación de relaves mineros en la UMCL – compañía minera Milpo S. A. A.* 2018. Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
8. **MARROQUÍN, D.; RONDAN, R.** *Propuesta de la nueva línea de conducción y estructuras de soporte para evacuación de relaves de la minera Parcoy, provincia de Pataz, La Libertad.* 2016. Universidad Privada Antenor Orrego, Perú.
9. **MISLE, M.** *Manual de operación sistema de transporte y disposición de relaves.* 2020. Universidad de Chile, Chile.
10. **VILLA, W.** *Diseño de los sistemas de transporte de relave de 60 m<sup>3</sup>/h a socavón de mina y a cancha de relave de planta concentradora de minerales, La Libertad.* 2011. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
11. **VILLAVICENCIO, R.** *Cálculo hidráulico del sistema de relaves – caso de la mina Invicta.* 2019. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
12. **IDEAM.** *Instalación de líneas de conducción.* 1999. Colombia.
13. **MOTT, Robert L.** *Diseño de elementos de máquinas.* 2006. (4.<sup>a</sup> ed.). México: Pearson Educación, 2006. págs. 494-497. 970-26-0812-0.
14. **PÉREZ, L.; PÉREZ, S.** *Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías con base en el criterio de las prestaciones equivalentes.* 2007.
15. **BOUSO, J.** *Manual de bombeo de pulpas.* 1993. Editado por ERAL, Equipos y Procesos, S. A. Toledo, Madrid.
16. **GUERRERO, O.** *Procesos de manufactura en ingeniería industrial.* 2008. Colombia.
17. **SILVA, W.** *Ingeniería y procesos de manufactura.* 2012. Perú.
18. **HERRERA, J.** *Elementos de minería.* 2007. España.

19. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, P.** *Metodología de la investigación*. 2014. (6.<sup>a</sup> ed.). México D. F.: McGraw-Hill.
20. **ESPINOZA, C.** *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas*. 2014. ISBN: 978-612-00-0222-3. Perú.

## **ANEXOS**

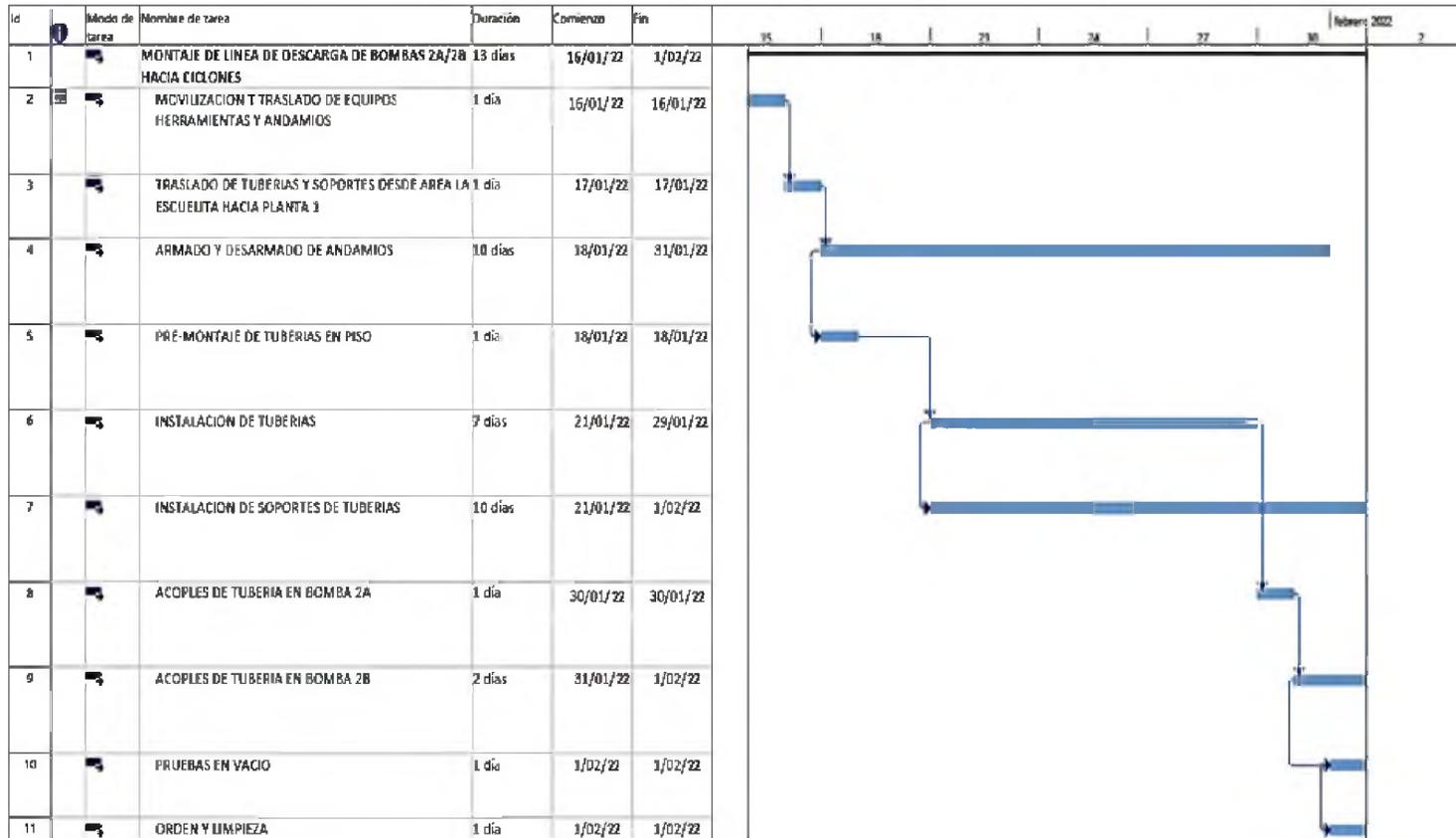
### Anexo 1

#### Cronograma de actividades del proyecto para la fabricación de la línea



## Anexo 2

### Cronograma de actividades del proyecto para el montaje de la línea



Anexo 3

Plan de puntos de inspección del proyecto

		PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS							Código:		A-CR-004	
									Revisión:		0	
									Fecha:		9/03/2021	
INFORMACIÓN GENERAL								Especificación:				
Cliente:		SOCIEDAD MINERA BOLIVIANA						Orden de Servicio:				
Proyecto:		FABRICACIÓN DE UNIDAD DE DESCARGA DE BOMBAS AUTOMÁTICAS						Orden de Trabajo:				
ACTORES INVOLUCRADOS												
Código	Actividad	Documento de referencia de alcance	Criterios de aceptación	Registro de control	Frecuencia	Método	Responsable	Evaluación				
								SI	NO	OT		
<b>1. CONTROL DE MATERIAS</b>												
1	Recepción	Ordenes de compra/guía de remisión	Requisitos incluidos en la orden de compra	Certificados de calidad		ACT	RD					
1	Inspección visual y dimensiones de ductos soldados	Procedimientos de inspecciones generales ASTM correspondiente Planos de fabricación	Anchuras según especificaciones ASTM Espesores de metal	Registro de verificación de materiales / Certificados de calidad	3	ACT	RD	Inspector de calidad / WTA de aluminio				
1	Inspección visual de soldadura	Procedimientos de inspecciones generales Planos de fabricación	Estándar AWS A5.011		4	ACT	RD					
1	Inspección visual de soldadura	Certificados de calidad / Ficha técnica de metal	Según especificaciones técnicas del cliente		0	ACT	RD					
<b>2. CALIBRACIONES / VERIFICACIONES ANTES DE LA FABRICACIÓN</b>												
1	Calibración de escaleros	ANSI Z39.14-ME-01	ANSI Z39.14-2010 (ANSI Z39.14-01)	APQ	4	RD	RD	Inspector de control de calidad				
1	Calibración de procesos de soldadura	ANSI Z39.14-ME-01	ANSI Z39.14-2010 (ANSI Z39.14-01)	APQ/APQ	4	RD	RD					
1	Verificación de aplicaciones de WPS autorizadas	ANSI Z39.14-ME-01	ISO 9800 autorizadas	APS	4	RD	RD					
1	Verificación de calibración de instrumentos de medición	Procedimientos de calibración y verificación de instrumentos de medición	Calibración vigente / Patrones certificados	Certificados de calibración / Registro de verificación	0	ACT	RD					
<b>3. FABRICACIÓN</b>												
3	Control de versiones de planos de fabricación	Planos de fabricación (última versión) WPS / Manual de control de calidad S.M.E	Exámenes según ANSI Z39.14-2010	Planos de fabricación	0	RD	RD	Inspector de control de calidad / Supervisor de producción				
3	Inspección de normas de especificaciones de soldadura	Planos de fabricación (última versión)	Según especificaciones de fabricación	Planos de fabricación	0	RD	RD					
3	Inspección visual de soldadura	Planos de fabricación (última versión) AWS	ISO 9800 de dimensiones completas ISO 9800 de generación de soldadura	Inspección visual de soldadura	3	ACT	RD					
3	Pruebas destructivas de soldadura (ED)	Procedimientos de inspección por líquidos CERTIFICADOS	ESPECIFICACIONES	Inspección por líquidos certificados	3	ACT	RD					
4	Control de versiones de planos de fabricación de piezas terminadas en negro	Manuales de control de calidad S.M.E. INGENIEROS, normas ASME 13.35 Edición Planos de fabricación (última versión)	Exámenes según la norma ASME	Inspección de dimensiones y planos	3	ACT	RD					
<b>4. FABRICACIÓN SUPERFICIAL Y CALIBRACIÓN DE TMT</b>												
4	Verificación de preparación superficial y acabado de soldadura	Procedimientos de inspecciones generales	Superficie superior a 300 CPS Básura de base 800 CPS de acabado	Control de preparación superficial y pintura	0	ACT	RD	Supervisor del cliente				
<b>5. ENPAQUE / TRANSPORTE</b>												
5	Verificación de embalaje (según especificaciones de transporte)	Procedimientos de embalaje	Embalaje según especificaciones de cliente	Acta de liberación de producto terminado	3	RD	RD	Inspector de calidad / Supervisor de producción				

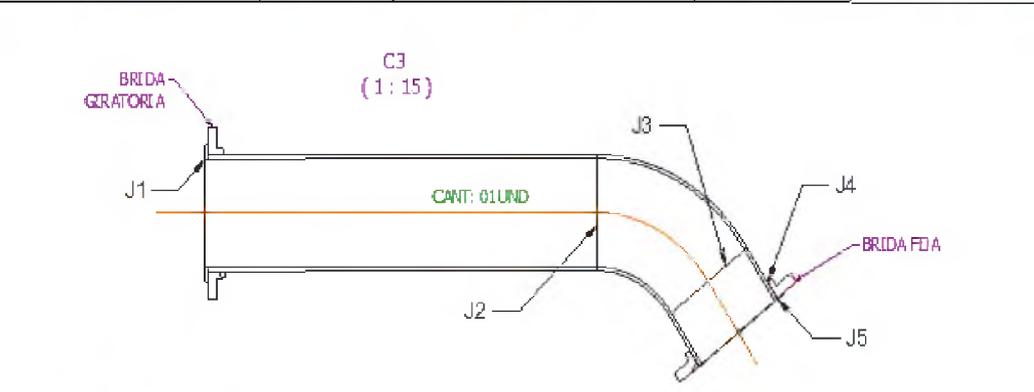
### Anexo 4

### Documento de control de material

		<b>VERIFICACION DE MATERIAL</b> Formado		Código : ALCAL-001 Plazo : 00 Elaborado por : JN Revisado por : ACH Aprobado por : LA Fecha : 14-10-21	
<b>DATOS GENERALES</b>					
ORDEN DE TRABAJO	AI-O/T-030-16		ORDEN DE COMPRA	7880	
PROYECTO	FABRICACION DE LINEA DE TUBERIAS CASI HACIA INDIO DE COLONIAS		SUA DE REVISION	00000	
CLIENTE	COMPAÑIA MINERA EL BROCAL S.A.		FECHA DE RECEPCION	01/11/2021	
<b>INDICACION DE DOCUMENTOS DESARROLLADO</b>					
Lista de Revisión	SI		Orden de Compra	SI	
Certificado de Calidad	SI		Dossier de Calidad	SI	
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANT. RECEBIDA</b>	<b>COLODA-REPTO DE</b>	<b>CERTIFICADO DE CALIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
1	WIGNS HAZO/GR20 10" x 2" LBS x20	3	0135046	#201E0700903 - 2	C
2	BRIDAS SL PON Ø12"	50	J1515310	#201E0700903 - 2	C
3	COJIN 90° STD SCH40 Ø12"	10	10H09282	#201E0700903 - 2	C
4	TUBERIAS SCH40 Ø12"	20	E321894	#201E0700903 - 2	C
5	Usolet Ø12" de la serie 3"	18	#201E065	#201E0700903 - 2	C
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
<b>CONTROLES DE FABRICACION</b>					
Control de espesores	<input type="checkbox"/>	Structura metalografica	<input type="checkbox"/>	otros:	<input type="checkbox"/>
Aspecto Superficial	<input type="checkbox"/>	Características mecánicas	<input type="checkbox"/>	-----	
Inspección dimensional	<input type="checkbox"/>	Control de dureza	<input type="checkbox"/>	-----	
Inspección por ultrasonido	<input type="checkbox"/>	Análisis Químico	<input type="checkbox"/>		
<b>RESPONSABLES</b>					
<b>RESPONSABLES FMI</b>					
	Logística	Supervisor de GANC	Supervisor de Operaciones		
Nombre:					
Fecha:	01/11/2021	01/11/2021			
Firma:					
La inspección de los materiales primos e insumos se realiza de acuerdo a normas establecidas. Este registro respalda la verificación de la calidad del producto y el cumplimiento de dichas normas, así como el soporte documental e inspección mensual. Esta inspección no libera al proveedor o fabricante de su responsabilidad si se encuentran productos durante el uso de los mismos.					

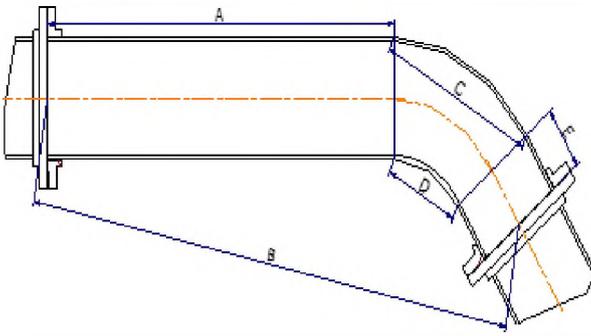
## Anexo 5

### Reporte de inspección visual de soldadura

	PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	N°	A-CAL-003								
	REPORTE DE INSPECCION VISUAL	Revision	0								
		Fecha	18/10/2021								
<b>PROYECTO: FABRICACIÓN DE LÍNEA DE TUBERÍAS DE BOMBA 2A2B HACIA NIDO DE CICLONES</b>											
IDENTIFICACION:											
N° PLANO	ELEMENTO CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	REPORTE							
2A2B_SEL12-02	C3	DUCTO-COD0	1	0003							
											
N° DE JUNTA	TIPO DE JUNTA	CODIGO DEL SOLDADOR	CATEGORÍA DE JUNTA		WPS	EVALUACION		RESULTADO		INSPECCION	FECHA DE INSPECCION
			A TOPE	FILETE		PARCIAL	TOTAL	REPARAR	ACEPTADO		
J1	E	A-CRC	8a9		A/F-01	-	OK	-	OK	OK	25/11/2021
J2	E	A-CRC	8a9		A/F-01	-	OK	-	OK	OK	
J3	E	A-CRC	8a9		A/F-01	-	OK	-	OK	OK	
J4	E	A-CRC	8a9		A/F-01	-	OK	-	OK	OK	
J4	E	A-CRC	8a9		A/F-01	-	OK	-	OK	OK	
LEYENDA DE DEFECTOS:											
DF	:	FALTA DE FUSION METAL BASE / SOLDADURA	BO	:	SOCAVACION						
FI	:	FISURA	SR	:	SOBREMONTA						
CR	:	CRATER	PA	:	POROSIDAD ASLADA						
DP	:	DIMENSION DEL CATEFO (SOLDADURA DE FILETE)	PL	:	POROSIDAD ALNEADA						
FIL	:	FALTA DE LLENADO	PM	:	POROSIDAD ANIDADA						
OBSERVACIONES:											
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Los elementos inspeccionados se encuentran conforme en la sección 6 del código AWS D1.1 - 2010</li> <li>* PC: Junta de penetración completa</li> <li>* E: Empalme a tope de ranura</li> <li>* F: Soldadura de filete</li> <li>* Todas las medidas se encuentran en milímetros</li> </ul>											
HERRAMIENTAS UTILIZADAS:											
BRIDAS CAM GAGE		FILET WELD GAGE		V-WAC GAGE		@rcs					
APROBACION FINAL:											
											
VB1/QC CONTROL DE CALIDAD				J. DE PRODUCCION				VB1 SUPERVISION			

Anexo 6

Reporte de control dimensional

	<b>FORMATO</b>			Código	AFCAL-002						
	<b>CONTROL DIMENSIONAL</b>			Versión	00						
INGENIEROS S.A.C. OBJETO : FABRICACION DE LINEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A2B HAZA COLUMBO			Fecha	18/10/2021							
<b>1.0 IDENTIFICACION:</b>											
<b>PLANO DE REFERENCIA</b>		TAG (Pieza)	CANT	EQUIPO DE MEDICION	TOLERANCIA DIMENSIONALES ADMISIBLES	REV.	FECHA	N° REGISTRO			
PLANO GENERAL	PLANO DE FABRICACION										
2A2B_EG-L2-01	2A2B_SE-L2-02	03	1	FLEXOMETRO	2 mm	0		0009			
<b>2.0 ESQUEMA:</b>											
											
<b>3.0 MEDICIONES:</b>											
ITEM	COTA	NOMINAL (mm)	REAL (mm)	D	ITEM	COTA	NOMINAL (mm)	REAL (mm)	D	CARACTERISTICAS GENERALES	
										DESCRIPCION	V°B°
										Materia adecuada	c
1	A	1821	1822	-1						Posicion de Agujeros	c
2	B	1314	1313	1						Corte en Extremos	c
3	C	567	566	1						Limpieza de Juntas	c
4	D	270	270	0						Rectitud	c
5	E	175	175	0						Camber	c
										Perpendicularidad	c
										Paralelismo	c
<b>4.0 OBSERVACIONES:</b>											
Nota : Tolerancias admisibles para medidas de longitud . Según Normas AISI 303-2005 / NITE E.090 / ASTM - A6 se tomo una pieza del total con o prueba del control.											
<b>5.0 APROBACION FINAL:</b>											
FIRMA 	FIRMA	FIRMA									
		V°B°									
QA / QCC. CALIDAD	J. DE PRODUCCION	SUPERVISION - SM EB									

Anexo 7

Reporte de inspección de revestimiento de caucho

	<b>REPORTE DE INSPECCION A REVESTIMIENTO DE CAUCHO</b>		F-Cal 034 Rev.0 Elab. FG Aprob. ACH			
	<b>CONTROL DE CALIDAD AGUARA INGENIEROS</b>		Página: <b>1 de 1</b>			
<b>1. Información General</b>						
Cliente: <b>ANTAMINA</b>		Reporte N°: <b>1</b>				
Proyecto: <b>TAILING STORAGE FACILITIES (TSF) - Fabricación de Spools Línea Sur</b>						
Descripción de la Pieza: <b>SPOOL MK-060 (Tramo I - II)</b>		Material: _____				
Zona de Inspección: <b>Revestimiento Interior de Caucho</b>		Fecha de Inspección: _____				
		Plano: <b>420-P-60028 Rev. 0</b>				
<b>2. Condiciones de la Examinación</b>						
Inspección: Se realizó la inspección visual al 100% de toda la superficie interior del caucho						
Procedimiento: <b>AI-CAL-PE-03</b>		Durometro <b>AI-IC-01 Calib. 60341</b>				
Humedad: <b>Menor a 85% HR</b>		Tipo de Iluminación: <b>1000 luxes mínimo</b>				
Tipo de Caucho <b>Caucho MOR 130B - Negro - Antiabrasivo - Antiaceite</b>						
Spool	Zona de Inspección	Pafil de Anclaje (min 2.0 mils)	Inspección Visual a uniones	Medición de Espesores	Dureza (60 Shore A ±5)	Estatus
MK-060	TRAMO I	2.5 mils	Sin defectos	Bndas 6.2 mm / Interior 13.0 mm	61	Aceptado
		2.5 mils	Sin defectos	Bndas 6.0 mm / Interior 13.5 mm	65	Aceptado
		2.5 mils	Sin defectos	Zona Crítica Interior 25.3 mm	63	Aceptado
		2.5 mils	Sin defectos	Zona Crítica Interior 25.4 mm	60	Aceptado
	TRAMO II	2.7 mils	Sin defectos	Bndas 6.5 mm / Interior 13.3 mm	64	Aceptado
		2.7 mils	Sin defectos	Bndas 6.1 mm / Interior 13.5 mm	67	Aceptado
		2.7 mils	Sin defectos	Zona Crítica Interior 25.2 mm	62	Aceptado
		2.7 mils	Sin defectos	Zona Crítica Interior 25.6 mm	61	Aceptado
						
						
AGUARA INGENIEROS - QUALITY INSPECTOR				AGUARA INGENIEROS - PROJECT ENGINEER		

Anexo 8

Reporte de ensayos no destructivos

 <p><b>ZODIAC</b> PINTURAS MARINAS E INDUSTRIALES</p>	<p><b>PINTER PERÚ S.A.C.</b></p>																																																																
<p><b>REPORTE DIARIO DE SUPERVISIÓN</b> <b>LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A2B HACIA CICLONES</b></p>																																																																	
<p>Fecha: _____</p>																																																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">Cliente:</td> <td style="width:25%;">AGUARA INGENIEROS S.A.C</td> <td style="width:25%;">Obra:</td> <td style="width:25%;">AI-OTA N° 008 18 / EL BROCAL</td> </tr> <tr> <td>Representante:</td> <td></td> <td>Tipo de Estructuras:</td> <td>Tuberías y codos</td> </tr> <tr> <td>Contratista:</td> <td>ARENADO SERSA</td> <td>Vendedor:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Representante:</td> <td></td> <td>Técnico:</td> <td></td> </tr> </table>	Cliente:	AGUARA INGENIEROS S.A.C	Obra:	AI-OTA N° 008 18 / EL BROCAL	Representante:		Tipo de Estructuras:	Tuberías y codos	Contratista:	ARENADO SERSA	Vendedor:		Representante:		Técnico:		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">Lugar:</td> <td style="width:25%;">Trapiche - Comas</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>- m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Hora inicio:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora fin:</td> <td></td> </tr> </table>	Lugar:	Trapiche - Comas	Área:	- m <sup>2</sup>	Hora inicio:		Hora fin:																																									
Cliente:	AGUARA INGENIEROS S.A.C	Obra:	AI-OTA N° 008 18 / EL BROCAL																																																														
Representante:		Tipo de Estructuras:	Tuberías y codos																																																														
Contratista:	ARENADO SERSA	Vendedor:																																																															
Representante:		Técnico:																																																															
Lugar:	Trapiche - Comas																																																																
Área:	- m <sup>2</sup>																																																																
Hora inicio:																																																																	
Hora fin:																																																																	
<p><b>PREPARACIÓN DE SUPERFICIE</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">Substrato:</td> <td style="width:25%;">Acero</td> <td style="width:25%;">Tipo de Maguina:</td> <td style="width:25%;">Manual</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Abrazada</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Escoria de Cobre</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>TIPO DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE</b>      <b>DETALLE</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%;">Limpieza por Chorro de Abrasivo según Norma SSPC - SP5</td> <td style="width:50%;">Se encontró el elemento en capa de acabado</td> </tr> <tr> <td>Perfil de Rugosidad (Según Norma ASTM D 4417-C)</td> <td>-(Valor Recomendado de 1.5 a 3.0 mils)</td> </tr> </table>		Substrato:	Acero	Tipo de Maguina:	Manual				Abrazada				Escoria de Cobre	Limpieza por Chorro de Abrasivo según Norma SSPC - SP5	Se encontró el elemento en capa de acabado	Perfil de Rugosidad (Según Norma ASTM D 4417-C)	-(Valor Recomendado de 1.5 a 3.0 mils)																																																
Substrato:	Acero	Tipo de Maguina:	Manual																																																														
			Abrazada																																																														
			Escoria de Cobre																																																														
Limpieza por Chorro de Abrasivo según Norma SSPC - SP5	Se encontró el elemento en capa de acabado																																																																
Perfil de Rugosidad (Según Norma ASTM D 4417-C)	-(Valor Recomendado de 1.5 a 3.0 mils)																																																																
<p><b>SISTEMA DE PINTADO</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CAPA</th> <th rowspan="2">PRODUCTO</th> <th rowspan="2">COLOR</th> <th colspan="2">ESPAESOR DE PELÍCULA (MMS)</th> </tr> <tr> <th>ESP. PARCIAL</th> <th>ESP. TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1<sup>ra</sup></td> <td>ZODIAZINC 308 HS</td> <td>Verde 00004</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2<sup>da</sup></td> <td>ZODIAMASTIC 680 HS</td> <td>Verde R7 4801 / Verde RAL 6029 / Negro 00999 /</td> <td>3</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>		CAPA	PRODUCTO	COLOR	ESPAESOR DE PELÍCULA (MMS)		ESP. PARCIAL	ESP. TOTAL	1 <sup>ra</sup>	ZODIAZINC 308 HS	Verde 00004	3	3	2 <sup>da</sup>	ZODIAMASTIC 680 HS	Verde R7 4801 / Verde RAL 6029 / Negro 00999 /	3	6																																															
CAPA	PRODUCTO				COLOR	ESPAESOR DE PELÍCULA (MMS)																																																											
		ESP. PARCIAL	ESP. TOTAL																																																														
1 <sup>ra</sup>	ZODIAZINC 308 HS	Verde 00004	3	3																																																													
2 <sup>da</sup>	ZODIAMASTIC 680 HS	Verde R7 4801 / Verde RAL 6029 / Negro 00999 /	3	6																																																													
<p><b>CONDICIONES AMBIENTALES</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Hora</th> <th>1 p.m.</th> <th>2 p.m.</th> <th>3 p.m.</th> <th>4 p.m.</th> <th>5 p.m.</th> <th>6 p.m.</th> <th>7 p.m.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T. Bulbo seco (°C)</td> <td>24</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>T. Bulbo húmedo (°C)</td> <td>20</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de la superficie (°C)</td> <td>29</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Humedad relativa (%)</td> <td>69</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Punto de rocío (°C)</td> <td>18</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ΔT (T Superficie - T Punto de Rocío) °C</td> <td>11</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Conforma (C) / No Conforma (NC)</td> <td>C</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Hora	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	7 p.m.	T. Bulbo seco (°C)	24	-	-	-	-	-	-	T. Bulbo húmedo (°C)	20	-	-	-	-	-	-	Temperatura de la superficie (°C)	29	-	-	-	-	-	-	Humedad relativa (%)	69	-	-	-	-	-	-	Punto de rocío (°C)	18	-	-	-	-	-	-	ΔT (T Superficie - T Punto de Rocío) °C	11	-	-	-	-	-	-	Conforma (C) / No Conforma (NC)	C	-	-	-	-	-	-
Hora	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	7 p.m.																																																										
T. Bulbo seco (°C)	24	-	-	-	-	-	-																																																										
T. Bulbo húmedo (°C)	20	-	-	-	-	-	-																																																										
Temperatura de la superficie (°C)	29	-	-	-	-	-	-																																																										
Humedad relativa (%)	69	-	-	-	-	-	-																																																										
Punto de rocío (°C)	18	-	-	-	-	-	-																																																										
ΔT (T Superficie - T Punto de Rocío) °C	11	-	-	-	-	-	-																																																										
Conforma (C) / No Conforma (NC)	C	-	-	-	-	-	-																																																										
<p><b>MEDICIÓN DE ESPESORES DE PELÍCULA SECA (según Norma SSPC-PA2)</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de Capa</th> <th>Tipo de Estructura</th> <th>Spot IP 1</th> <th>Spot IP 2</th> <th>Spot N° 3</th> <th>Spot N° 4</th> <th>Spot IP 5</th> <th>Promedio (mils)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">2<sup>da</sup></td> <td rowspan="2">• Tuberías (20 Unidades)</td> <td>7.7</td> <td>6.0</td> <td>6.3</td> <td>7.8</td> <td>10.1</td> <td rowspan="2">8.23</td> </tr> <tr> <td>10.6</td> <td>7.4</td> <td>9.8</td> <td>6.5</td> <td>6.6</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">• Codos (8 Unidades)</td> <td>11.9</td> <td>7.9</td> <td>9.6</td> <td>9.0</td> <td>7.0</td> <td rowspan="2">6.60</td> </tr> <tr> <td>6.1</td> <td>6.1</td> <td>6.6</td> <td>7.1</td> <td>6.4</td> </tr> </tbody> </table>		N° de Capa	Tipo de Estructura	Spot IP 1	Spot IP 2	Spot N° 3	Spot N° 4	Spot IP 5	Promedio (mils)	2 <sup>da</sup>	• Tuberías (20 Unidades)	7.7	6.0	6.3	7.8	10.1	8.23	10.6	7.4	9.8	6.5	6.6	• Codos (8 Unidades)	11.9	7.9	9.6	9.0	7.0	6.60	6.1	6.1	6.6	7.1	6.4																															
N° de Capa	Tipo de Estructura	Spot IP 1	Spot IP 2	Spot N° 3	Spot N° 4	Spot IP 5	Promedio (mils)																																																										
2 <sup>da</sup>	• Tuberías (20 Unidades)	7.7	6.0	6.3	7.8	10.1	8.23																																																										
		10.6	7.4	9.8	6.5	6.6																																																											
	• Codos (8 Unidades)	11.9	7.9	9.6	9.0	7.0	6.60																																																										
		6.1	6.1	6.6	7.1	6.4																																																											
<p><b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">Equipo Utilizado</td> <td>Medidor de Espesores de Película Seca</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>ELCOMETER</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>456</td> </tr> <tr> <td>Serie</td> <td>A456C786 / PDC1879</td> </tr> </table>		Equipo Utilizado	Medidor de Espesores de Película Seca	Marca	ELCOMETER	Modelo	456	Serie	A456C786 / PDC1879																																																								
Equipo Utilizado	Medidor de Espesores de Película Seca																																																																
Marca	ELCOMETER																																																																
Modelo	456																																																																
Serie	A456C786 / PDC1879																																																																
<p><b>DETALLE DE LOS RECUBRIMIENTOS</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Recubrimiento</th> <th>Color</th> <th>Lote parte A</th> <th>Lote parte B</th> <th>Diluyente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZODIAZINC 308 HS</td> <td>Verde 00004</td> <td>099ABR18</td> <td>019ENE18</td> <td>GTA 415 NP - 131MAY18</td> </tr> <tr> <td>ZODIAMASTIC 680 HS</td> <td>Verde R74801</td> <td>131MAY18</td> <td>131NOV17</td> <td>GTA 415 NP - 131MAY18</td> </tr> <tr> <td>ZODIAMASTIC 680 HS</td> <td>Verde RAL 6029</td> <td>131NOV17</td> <td>131NOV17</td> <td>GTA 415 NP - 131MAY18</td> </tr> <tr> <td>ZODIAMASTIC 680 HS</td> <td>Negro 00999</td> <td>019ENE18</td> <td>019ENE18</td> <td>GTA 415 NP - 131MAY18</td> </tr> </tbody> </table>		Recubrimiento	Color	Lote parte A	Lote parte B	Diluyente	ZODIAZINC 308 HS	Verde 00004	099ABR18	019ENE18	GTA 415 NP - 131MAY18	ZODIAMASTIC 680 HS	Verde R74801	131MAY18	131NOV17	GTA 415 NP - 131MAY18	ZODIAMASTIC 680 HS	Verde RAL 6029	131NOV17	131NOV17	GTA 415 NP - 131MAY18	ZODIAMASTIC 680 HS	Negro 00999	019ENE18	019ENE18	GTA 415 NP - 131MAY18																																							
Recubrimiento	Color	Lote parte A	Lote parte B	Diluyente																																																													
ZODIAZINC 308 HS	Verde 00004	099ABR18	019ENE18	GTA 415 NP - 131MAY18																																																													
ZODIAMASTIC 680 HS	Verde R74801	131MAY18	131NOV17	GTA 415 NP - 131MAY18																																																													
ZODIAMASTIC 680 HS	Verde RAL 6029	131NOV17	131NOV17	GTA 415 NP - 131MAY18																																																													
ZODIAMASTIC 680 HS	Negro 00999	019ENE18	019ENE18	GTA 415 NP - 131MAY18																																																													
<p><b>REGISTRO FOTOGRÁFICO:</b></p> <div style="text-align: center;"> <p><b>Medición de Espesores de Película Seca - Capa de Acabado</b></p>  </div>																																																																	
<p>Nace Coating Inspector Level I - Cert. N°43932 Dpto. Técnico - Pinter Perú S.A.C.</p> 																																																																	

## Anexo 9

### Reporte de inspección de ensayos no destructivos

	<b>REPORTE DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES</b>	Código : AI-CAL-11 Revisión : 0 Elaborado por : Revisado por : AC Aprobado por : CA Fecha :						
<b>INFORMACION GENERAL</b>		REPORTE N° : 0001						
Cliente:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	O/T: 4800052805						
Proyecto:	FABRICACION DE LINEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A/2B HACIA CICLONES							
Lugar de inspección:	TALLER AGUARA							
<b>DATOS DEL ELEMENTO A INSPECCIONAR</b>								
Elemento código:	CI1	Tipo de elemento:						
Ident. Junta:	J1, J2, J3, J4, J5	Tipo material:						
Long. Inspeccionada:	200	Cateto:						
Inspección %:	100	Diametro:						
<b>MATERIAL UTILIZADO</b>								
Líquido	Marca	Código	Tipo	Metodo	Tramo de aplicación	Forma de aplicación	Tiempo de acción	Iluminación
Penetrante	CANTESCO	P101S-A	II	C	200	PULVERIZADO	10 min	NATURAL
Removedor	CANTESCO	C101-A	-----	-----	200	PULVERIZADO	INSTANTE	NATURAL
Revelador	CANTESCO	D101-A	-----	C	200	PULVERIZADO	INSTANTE	NATURAL
Tipos: I (Penetrante Fluorescente), II (Penetrante visible)			Métodos: A (Lavable con agua), C (removible por solvente)					
METODO DE INSPECCION				CRITERIO DE ACEPTACION				
ASTM E165				ASME SECCION VIII				
<b>GRAFICO Y/O FOTOGRAFIA</b>								
								
<b>IDENTIFICACION Y EVALUACION</b>								
JUNTA	ESTAMPA DEL	PRECEDIMIENTO	TIPO DE	LOCALIZACION DE LA	DIMENSION DE LA	RESULTADO		
J1, J2, J3, J4, J5	KMC	SMAW	-----	-----	-----	C		
Observaciones:								
<b>DESCRIPCION DE INDICACIONES</b>								
DISCONTINUIDAD			OBSERVACION					
CL: Fisura Longitudinal CT: Fisura Transversal	IPD: Falta de penetración F: Falta de fusión GP: Porosidad Aislada	IFD: Falta de Fusión entre pases IP: Falta de Penetración WP: Porosidad Tubular	CP: Porosidad Anidada IU: Mordedura/ Socavación AP: Porosidad alineada					
<b>PROBACION FINAL</b>								
								
VEP/QC CONTROL DE CALIDAD			J. DE PRODUCCION			SUPERVISION CLIENTE		

**Anexo 10**

**Reporte de control final de fabricación**

	<b>PACKING LIST</b>	Código:	AI-CAL-004				
		Revisión:	0				
		Fecha:					
		Código:	AI-PAC-001				
		Revisión:	0				
Fecha:							
DATOS GENERALES							
CLIENTE: SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	FABRICACION DE LINEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A/2S HACIA CICLONES						
460002808	REV:	FABRICACION DE LINEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A/2B HACIA CICLONES (ITEM 9)					
NOMBRE: AGUARA INGENIEROS S.A.C.							
ITEM	PRODUCTO SEGÚN CO.	PARTES (TAG)	CANT	PESO TOTAL	OBSERVACIONES	N° GUÍA AGUARA	
9	FABRICACION DE LINEA DE DESCARGA DE BOMBAS 2A/2B HACIA CICLONES (ITEM 9)	D1	12	618	OK	DUCTOS	0001-008959
		D2	1	445	OK		
		D3	1	192	OK		
		D4	1	172	OK		
		G1	1	315	OK	DUCTO GANZO	
		G2	1	268	OK		
		C1	2	78	OK	CODOS	
		C2	2	110	OK		
		C3	1	228	OK		
		C4	2	104	OK		
		C5	1	147	OK		
		C6	1	167	OK		
		SP	11	-	OK	SOPORTES	
YB* SUPERVISIÓN AGUARA INGENIEROS S.A.C.							
Firma:		Firma:		Firma:			
							
DPTO. DE CONTROL DE CALIDAD		DPTO. DE LOGISTICA		GERENCIA			

## Anexo 11

### Ejemplo de reporte de trabajos de montaje

		<b>PARTE DIARIO DE TRABAJOS REALIZADOS</b>								
Proyecto:		INSTALACION DE LINEA DE DESCARGA HACIA CICLONES DE BOMBA 2A - 2B / INSTALACION DE LINEA HACIA BOMBA 9A 9B								
Contratista:		AGUARA INGENIEROS		N° de Orden de Servicio:			4800052805			
Fecha:		16/01/2022	N° de Reporte:	1	Total de Horas:	10 hrs	Horario:		10:00 am a 18:00 pm	
Item	Actividad Especifica	Personal (Cant)	AVANCE AMTUBERIA	AVANCE CILINDRO	AVANCE ACUBRILLO	Observación				
<b>ACTIVIDADES DEL PROYECTO</b>										
1	Trabajos preliminares (limpieza de area de trabajo)	7	100%		100%					
2	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y ANDAMOS	7	100%		100%					
3	TRASBORDO Y TRASLADO DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y ANDAMOS A AREA ASIGNADA	7	100%	%	100%					
4										
<b>TRABAJOS COMPLEMENTARIOS</b>										
Trabajos en Seguridad:										
<b>NOTA:</b>										
<b>REPORTEFOTOGRAFICO</b>										
										
Personal operativo: 05 Mecánico Montajista / 01 Supervisor Mecánico / 01 Ingeniero de Seguridad										
Item	Actividad Especifica para 16/01/2019	Personal (Cant)				Observaciones				
1	TRABAJOS Y TRASLADO DE MATERIALES	7								
										
Residente de Obra - Aguara Ingenieros SAC		Jefe de Mantenimiento								

## Anexo 12

### Reporte final de trabajo de montaje

		<b>PARTE DIARIO DE TRABAJOS REALIZADOS</b>								
Proyecto		INSTALACION DE LINEA DE DESCARGA HACIA CICLONES DE BOMBA 2A - 2B / INSTALACION DE LINEA HACIA BOMBA 3A - 3B								
Contratista		AGUARA INGENIEROS S		N° de Orden de Servicio			4800052805			
Fecha		31/01/2022	N° de Reporte		16	Total de Horas		16 HORAS		
								8:00 am a 1:00 pm		
Item	Actividad Especifica	Requisito (Cant.)	AVANCE ANTERIOR	AVANCE DEL DIA	AVANCE ACUMULADO	Observación				
<b>ACTIVIDADES DEL PROYECTO</b>										
1	ARMADO DE ANDAMIOS NIVEL PLANTA 1	7	95%	5%	100%	ARMADO DE ANDAMIOS EN PUNTO ESPECIFICO				
2	ARMADO DE ANDAMIOS NIVEL INFERIOR PLANTA 1	7	95%	5%	100%	ARMADO DE ANDAMIOS EN PUNTO ESPECIFICO				
3	HABILITADO DE TUBERIAS Y SOPORTES	7	95%	5%	100%	COLOCACION DE LAS EN SU PORTE SEGUN POSICION NUEVA				
4	INSTALACION DE TUBERIAS EN NIVEL PLANTA 1	7	100%	0%	100%	DESARROLLO DE PERNAS PARA ENCONTRAR POSICION NUEVA				
5	INSTALACION DE TUBERIAS EN NIVEL INFERIOR PLANTA 1 (SAUDA)	7	100%	5%	100%	INSTALACION DE TUBERIAS FALTANTE EN ENTRADA A CICLONES				
6	ACOPLE DE TUBERIAS A BOMBAS	7	100%	30%	100%	ACOPLE DE TUBERIA A BOMBA				
7	ACOPLE DE TUBERIAS A CICLONES	7	80%	20%	100%	ACOPLE DE TUBERIA A CICLONES				
8	ORCEN Y LIMPIEZA	7	70%	30%	100%	RETIRO DE TUBERIAS FLEXIBLES DE ACOPLE DE TUBERIAS				
9	PRUEBAS EN DE LINEAS 2A-2B	7	0%	30%	30%	SE ENCUENTRA EN PLANEO LA LINEA 2A				
10										
11										
12										
13										
<b>TRABAJOS COMPLEMENTARIOS</b>										
Trabajos en Seguridad: Llenado de documentos de gestión formal de firma para permisos de Ordenes de Trabajo / Montaje										
<b>NOTA:</b>										
REPORTE FOTOGRAFICO										
										
Personal operativo: 05 Mecánico Montajes / 01 Supervisor Mecánico / 01 Ingeniero de Seguridad.										
Item	Actividad Especifica para 31/01/2022	Requisito (Cant.)				Observaciones				
1		7								
										
Residente de Obra - Aguara Ingenieros SAC		Jefe de Mantenimiento								

### Anexo 13

#### La fórmula de velocidad límite

$$V_L = F_L \times \sqrt{2 \times g \times D \times \left( \frac{GE_s - GE_L}{GE_L} \right) \left( \frac{m}{s} \right)}$$

Donde:  $V_L$ : velocidad límite (m/s)

$GE_L$ : gravedad específica del líquido.

$GE_s$ : gravedad específica del sólido.

$F_L$ : factor de Durand basado en el tamaño de la partícula ( $d_{50}$ ) y la concentración de sólidos en volumen ( $C_V$ ).

$D$ : diámetro interno de la tubería (m).

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

#### Anexo 14

$$H_{f_u} = 10,643 * L * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} * D^{-4,87} * f_c$$

Donde:

$H_{f_u}$ : pérdida de presión debido a la fricción en la tubería (m)

$L$ : longitud de la tubería (m)

$Q$ : caudal (m<sup>3</sup>/s)

$D$ : diámetro interno de la tubería (m)

$C$ : coeficiente adimensional que depende de la naturaleza de las paredes del tubo y de la concentración en peso de la pulpa

$f_c$ : coeficiente adimensional que depende de  $C$

## Anexo 15

### Fórmula de pérdida de presión

$$H_f = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$H_f$ : pérdida de presión debido a la fricción en la tubería (m)

$L$ : longitud equivalente de la tubería (m)

$V$ : velocidad del fluido (m/s)

$d$ : diámetro interno de la tubería (m)

$g$ : gravedad (m<sup>2</sup>/s)

## Anexo 16

### La relación de Moody

$$f = 0.0055 * \left[ 1 + \left( 200 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

Donde:

$f$ : factor de fricción

$e$ : rugosidad absoluta

$\frac{e}{D}$ : rugosidad relativa

$R_e$ : número de Reynolds

## Anexo 17

### Fórmula de altura de columna de agua

$$H_W = \frac{HDT}{HR}$$

Donde:

$H_W$ : altura de columna de agua (m)

$HDT$ : altura de columna de pulpa (m)

$HR$ : factor de corrección

**Anexo 18**  
**Factor de corrección**

$$HR = 1 - 0,000385 \times (GE_s - 1) \times \left(1 + \frac{4}{GE_s}\right) \times C_v \times \ln\left(\frac{d_{50}}{22,70}\right)$$

Donde:

*HR*: factor de corrección

*GE<sub>s</sub>*: gravedad específica del sólido

*C<sub>v</sub>*: porcentaje del sólido en peso

*d<sub>50</sub>*: tamaño de partícula en micras

**Anexo 19**  
**Potencia de la bomba**

$$P_n = Q * H_w * GE_p$$

Donde:

$P_n$ : potencia de la bomba

$Q$ : caudal del fluido

$H_w$ : altura de columna

$GE_p$ : peso específico de la pulpa

## Anexo 20

### Fórmula de altura de aspiración positiva neta (NPSH)

$$NPSH = \frac{P_{atm} - P_v}{GE_p} - Z_s - h_s$$

Donde:

$NPSH$ : altura neta positiva de aspiración

$P_{atm}$ : presión atmosférica

$P_v$ : presión del líquido a la temperatura de bombeo

$Z_s$ : altura estática de succión

$h_s$ : pérdidas debido a la fricción en la tubería de succión



