



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de mina en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTORES:

Jorge Luis Ahumada Melendez (ORCID ID: 0000-0002-3606-3455)

Ricardo Manuel Benites Horna (ORCID ID: 0000-0002-9397-7944)

ASESOR:

Mg.: Juan Carlos Bengoa Seminario (ORCID ID: 0000-0002-7282-0791)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

TRUJILLO – PERÚ

2019

Dedicatorias:

A Dios por la sabiduría que me ha dado para afrontar este objetivo y por permitirme llegar a cumplirlo.

A mi esposa *Marzzia Julizza Cabrera Flores* por la fortaleza que siempre me ha demostrado, por sus sabios consejos y su apoyo incondicional.

A mi compañero de proyecto por toda su esfuerzo y compromiso, a todas aquellas personas que estuvieron pendientes y prestándome su apoyo incondicional para llegar a cumplir este gran objetivo.

Jorge Luis Ahumada Melendez.

A Dios, por permitirme culminar y lograr mi objetivo, por ser el gran inspirador y guía de todas mis metas a cumplir.

A mis padres, a *Don Mariano Antonio Benites Rodríguez* y *Doña Auri Natividad Horna Vera* quienes, con sacrificio, esfuerzo, confianza y con sus sabios consejos me brindaron su apoyo incondicional.

A mi compañero de proyecto por todo su esfuerzo y compromiso, y a todas aquellas personas que me apoyaron incondicionalmente para lograr este objetivo.

Benites Horna Ricardo Manuel

Agradecimientos:

Agradezco a Dios por iluminarme, brindarme fortaleza y guiarme durante todos mis estudios.

Así mismo, agradecerle a mi amada esposa *Marzzia Julizza Cabrera Flores*, quien tuvo la paciencia, tiempo y apoyo durante todo momento en logro de este objetivo.

Mi agradecimiento a la *Universidad Cesar Vallejo*, escuela de *Ingeniería Mecánica Eléctrica*, por la formación profesional, con altos estándares éticos, morales y técnicos.

Jorge Luis Ahumada Melendez.

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y por guiarme a largo de mi vida profesional.

Así mismo, a mis padres *Don Mariano Antonio Benites Rodríguez* y *Doña Auri Natividad Horna Vera*, quienes me dieron valores y principios así mismo confiaron en mi capacidad para lograr este objetivo.

Mi agradecimiento a la *Universidad Cesar Vallejo*, escuela de *Ingeniería Mecánica Eléctrica*, por la formación profesional, con altos estándares éticos, morales y técnicos.

Benites Horna Ricardo Manuel

Página del Jurado

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	Código : F07-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1
--	---------------------------------------	---

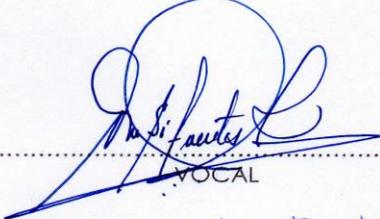
El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don
(a) Jorge Luis Ahumada Melendez y Ricardo Manuel Benites Horna
cuyo título es: Diseño de una planta de tratamiento de aguas
de mina, para los drenajes de mina en el distrito de
Huamachuco, Provincia de Sánchez Cerro

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por
el estudiante, otorgándole el calificativo de: 12 (número)
doce (letras).

Trujillo (o Filial) 23 de Diciembre del 2019


.....
PRESIDENTE
Ing. Marie Armas Alvarado


.....
SECRETARIO
Ing. Victor Hugo Peláez Chávez


.....
VOCAL
Ing. Martin Sifuentes Inestros

			
Revisó	Vicerrectorado de Investigación / <u>IDEVA</u>	Responsable del SGC	Aprobó <u>PERU</u>

NOTA: Cualquier documento impreso diferente del original, y cualquier archivo electrónico que se encuentren fuera del Campus Virtual Trilce serán considerados como COPIA NO CONTROLADA.

Declaración de Autenticidad:

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Ahumada Meléndez Jorge Luis con DNI N° 44651454, Benites Horna Ricardo Manuel con DNI N° 71405361, a afecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me cometo a lo dispuesto en las normas académicas de la universidad César Vallejo.

Trujillo, Julio del 2019



Ahumada Meléndez Jorge Luis

N° 44651454



Benites Horna Ricardo Manuel

DNI N° 71405361

Presentación:

Señores del Jurado:

En cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis: Diseño de una planta de tratamientos de agua ácida, para el tratamiento de los drenajes ácidos de mina en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión, la cual pertenece a la línea de investigación de Generación Transmisión y Distribución.

Las plantas de tratamiento de agua ácida son de gran aporte en la evaluación del sector minero, dado que su intervención ayuda a tratar los drenajes ácidos de mina y permite cumplir con la calidad de agua requerida por la normativa actual vigente

Como objetivo general de esta tesis es el diseño de una planta de tratamiento de agua ácida para tratar los drenajes de ácidos de mina, con el fin de alcanzar los requerimientos de calidad de aguas de la normativa vigente trabajando con responsabilidad y en armonía con el medio ambiente.

Esta tesis contempla el desarrollo de las siguientes instalaciones: sistema de captación, neutralización, sedimentación y clarificación para el tratamiento de los drenajes ácidos de mina.

Expongo la presente tesis a vuestra evaluación y consideración esperando cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Los Autores.

ÍNDICE

Dedicatorias:	ii
Agradecimientos:	iii
Página del jurado.....	iv
Declaración de Autenticidad:	v
Presentación:	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Trabajos Previos	2
1.3 Teorías Relacionadas al Tema	4
1.3.1 Agua Ácida	4
1.3.2 Drenaje Ácido de Mina	4
1.3.3 Caracterización del Agua de Mina.....	4
1.3.4 Sistema Disponible para el Tratamiento de Agua Ácida	5
1.3.5 Ecuación General de la Energía	8
1.3.6 Línea de Impulsión	8
1.3.7 Bombas	8
1.3.8 Caudal en Tuberías Circulares	12
1.3.9 Altura Dinámica Total	12
1.3.10 Perdida de Carga en Tuberías y Accesorios (H_f, H_k)	13
1.3.11 Potencia al Eje de la Bomba	14
1.3.12 El Golpe de Ariete o Pulso de Zhukowski	15
1.3.13 Máxima Demanda	16
1.3.14 Potencia Activa	16
1.3.15 Potencia Reactiva.....	16
1.3.16 Potencia Aparente	16
1.3.17 Factor de Potencia	17
1.3.18 Factor de Simultaneidad	17
1.3.19 Factor de Utilización	17
1.3.20 Soda Cáustica	17
1.3.21 Coagulante MT-8834	17

1.3.22	Floculante MT-6506	18
1.3.23	Límites Máximos Permisibles (LMP)	18
1.4	Formulación de Problema	18
1.5	Justificación del Estudio	18
1.6	Hipótesis	19
1.7	Objetivos	19
1.7.1	Objetivo General	19
1.7.2	Objetivo Específico	19
II.	MÉTODO	20
2.1	Tipo y Diseño de Investigación	20
2.2	Operacionalización de Variables	20
2.2.1	Variables Independientes	20
2.2.2	Variables Dependientes	20
2.2.3	Operacionalización de Variables	20
2.3	Población, Muestra y Muestreo	22
2.3.1	Población	22
2.3.2	Muestra	22
2.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad	22
2.5	Procedimiento	22
2.6	Métodos de Análisis de Datos	24
2.7	Aspectos Éticos	24
III.	RESULTADOS	24
3.1	Determinación las Características Funcionales para el Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Ácida	24
3.2	Propuesta y Selección de la Alternativa para el Tratamiento de Agua Ácida de los Drenajes Ácidos de Mina.	25
3.2.1	Métodos de Tratamiento de Agua Ácida	25
3.2.2	Alternativas de Tratamiento de Agua Ácida	26
3.2.3	Selección de la Alternativa para el Tratamiento de Agua Ácida de los Drenajes Ácidos	26
3.3	Configuración del Proceso de Tratamiento de Agua Ácida, Componentes y Partes	27
3.3.1	Criterio de Diseño	27
3.3.2	Componentes y Partes	27
3.3.3	Proceso de Tratamiento Secuencial	28

3.4	Determinación de los Cálculos para los Componentes Principales de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida.....	28
3.4.1	Dimensionamiento de las de Pozas Sedimentación, Clarificación y Canal de Mezcla.....	28
3.4.2	Selección de Tanque para Preparación y Almacenamiento de Reactivos	30
3.4.3	Determinación de los Parámetros de Operación (Caudal y ADT) para la Selección de las Bombas, Dimensionar el Diámetro, Material y Recorrido de Tuberías de los Sistemas de Bombeo Mediante Software AFT Fathom 9.0.	32
3.4.4	Proceso de Tratamiento Secuencial de Agua Ácida	34
3.5	Determinación de la Máxima Demanda de Energía Eléctrica de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida.....	34
3.6	Elaboración de los Planos Básicos de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida	35
3.7	Elaboración del Análisis Económico y Financieros de la Propuesta.....	35
IV.	DISCUSIÓN.....	36
V.	CONCLUSIONES	39
VI.	RECOMENDACIONES.....	40
	REFERENCIAS	41
	ANEXOS	43

RESUMEN

La presente tesis, contempla la problemática de la contaminación producida por la minería debido a sus operaciones y los efluentes generados, uno de estos problemas, es el drenaje ácido de mina, y se genera mediante sulfuros presentes en rocas mineralógicas expuestas al medio ambiente. Este problema no es atacado de manera adecuada, debido a los elevados costos de inversión en la implementación de la planta tratamiento y de operación.

De acuerdo a las necesidades operativas en la unidad minera, se ha determinado las características funcionales de la planta de tratamiento, con capacidad de diseño de 576 m³/h que garantiza el 100% del tratamiento de los efluentes.

La selección del método y alternativa de tratamiento, se ha realizado mediante comparación de los parámetros siguientes: nivel de eficiencia, costo, capacidad de efluente a tratar, disponibilidad de área, característica del efluente, confiabilidad y flexibilidad del proceso para futuros cambios. Donde la alternativa más eficiente de acuerdo al tipo de operación, ubicación y caracterización del efluente, es la alternativa de tratamiento por método activo y sistema secuencial.

La alternativa que se está proponiendo, contempla dentro del costo capital la captación del efluente desde los botaderos hasta planta de tratamiento y a su vez considera la línea de descarga del efluente tratado hacia el cuerpo colector, las plantas de tratamiento actualmente no contemplan dentro de su costo capital, los sistemas de impulsión de ingreso y descarga del drenaje ácido, en consecuencia se incrementan de manera significativa el costo final de la instalación de la planta de tratamiento.

La propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para el drenaje ácido de mina, nos permite ver y analizar la gran necesidad que hay dentro de las operaciones mineras respecto al tratamiento de los drenajes ácidos, con la implementación de estos procesos se permitirá que los efluentes vertidos a los cauces naturales cumplan con la calidad de agua requerida y especificada en la normativa peruana vigente (Límites Máximos Permisibles).

La selección de los componentes y partes para la implementación de una planta de tratamiento de agua ácida es determinante debido a que cada uno de estos, debe garantizar la funcionalidad, operatividad de la planta y cumplir con cada uno de los beneficios para los cuales han sido seleccionados. Asimismo, ayudar a reducir costos a futuro, porque al elegir una parte inadecuada ésta será reemplazada a corto tiempo por no cumplir la función o por

falla técnica.

Con el transcurso del tiempo, la empresa ha incrementado su capacidad de producción, teniendo mayor generación de efluentes ácidos, que no puede ser vertido directamente en el cuerpo colector porque la normativa nacional es más exigente con la calidad del agua; es por ello que la empresa se ve en la necesidad de instalar una planta de tratamiento de agua ácida con un costo de inversión de 3 millones de dólares, alcanzando una eficiencia por tratamiento del 75%.

PALABRAS CLAVES: NEUTRALIZACIÓN, CALIDAD, EFLUENTE, COSTO

ABSTRACT

This thesis considers the problem of pollution produced by mining due to its operations and the effluents generated, one of these problems is the acid mine drainage, which is generated by sulfides present in mineralogical rocks exposed to the environment. This problem is not attacked in an adequate manner, due to the high investment costs in the implementation of the treatment and operation plant.

According to the operational needs of the mining unit, the functional characteristics of the treatment plant have been determined, with a design capacity of 576 m³ / h that guarantees 100% of the treatment of the effluents.

The selection of the method and the treatment alternative has been made by comparing the following parameters: level of efficiency, cost, treatment capacity, area availability, performance characteristic, reliability and flexibility of the process for future changes. Where the most efficient alternative is the agreement of type of operation, location and characterization of the effluent, is the alternative treatment by active method and sequential system.

The proposed alternative contemplates, within the capital cost, the capture of the effluent from the dumps to the treatment plant and in turn considers the discharge line of the treated effluent towards the collector body, the treatment plants currently do not contemplate within its cost capital, the systems of impulsion of entry and discharge of acid drainage, consequently significantly increase the final cost of the installation of the treatment plant.

The design proposal for an acid water treatment plant for acid mine drainage allows us to see and analyze the great need that exists within mining operations regarding the treatment of acid drainages, with the implementation of these processes. It will allow the effluents discharged into the natural channels to comply with the water quality required and specified in current Peruvian regulations (Maximum Permissible Limits).

The selection of the components and parts for the installation of an acid water treatment plant is a determining factor because each of these must guarantee the functionality, operability of the plant and comply with each of the benefits for which they have been selected. Also, help reduce costs in the future, because when choosing an inappropriate part, it will be replaced in a short time for not fulfilling the function or technical failure.

Over time, the company has increased its production capacity, having a greater generation

of acid effluents, which can not be discharged directly into the collector body because of national regulations are more demanding with water quality; that is why the company sees the need to install an acid water treatment plant with an investment cost of 3 million dollars, reaching an efficiency per treatment of 75%.

KEYWORDS: NEUTRALIZATION, QUALITY, EFFLUENT, COST.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

Económicamente el Perú se sustenta con mayor porcentaje de la industria de la pesca, agroindustria y minería. El 25% de los ingresos fiscales son aportados por la minería y esto aporta cerca al 20% del Producto Bruto Interno (PBI) de la nación, y además el 60% de las exportaciones provienen de este sector (Peru21, 2018).

Los principales metales de explotación la minería del Perú son el cobre, el oro, seguidos del estaño, el zinc, el hierro, teluro, el bismuto, el indio, el selenio y el plomo. El proceso de explotación se realiza por tajo abierto o socavón, dicha actividad procesa grandes cantidades de material, generando drenajes ácidos de mina, los cuales se deben tratar antes de su vertimiento a los cauces naturales de la zona que pueden ser quebradas, lagunas y ríos.

La problemática de la minería en la actualidad se ha generado por el impacto social y ambiental con las comunidades campesinas y nativas donde se lleva a cabo esta actividad, y se tienen varias operaciones mineras con grandes pasivos ambientales desde sus inicios de operación hasta la actualidad, contaminando así grandes cantidades de agua y dejando de lado el cuidado del medio. Las aguas ácidas generadas debido a sus productos y/o servicios son potencialmente tóxicas para la vida acuática, flora, vegetación y humana, por su alto contenido de metales disueltos. (CooperAcción, 2018)

El sector minero en la actualidad no ejecuta un planeamiento estratégico adecuado y, que se ajuste a la realidad de las operaciones mineras desde sus inicios de operación hasta el cierre de mina (exploración, extracción y cierre), además no tiene claro los requerimientos de la normativa y sus componentes ambientales respecto al cuidado del medio ambiente. La falta de conocimiento y compromiso generan la falta de inversión en infraestructura para el tratamiento de agua ácida, debido a los elevados costos de inversión en la implementación de la planta tratamiento y de operación. (Rio Alto Mining, 2018)

A mediados del 2013, la unidad minera Rio Alto Mining construyó un depósito de desmonte para el almacenamiento del material inapropiado producto de sus actividades y servicios, generando drenajes ácidos de mina. Actualmente la empresa brinda tratamiento artesanal de los efluentes provenientes de su botadero con un caudal de 151.2 m³/h. Sin embargo, debido al aumento de los caudales del afluente según la proyección de su estudio hidrogeológico generará como resultados caudales pico de hasta 480 m³/h en los siguientes 5 años.

La calidad del efluente tiene un pH de 2.8, el cual está considerado como agua ácida y requiere tratamiento para el vertimiento del efluente a causes o ríos según la normativa vigente (Ministerio Nacional del Ambiente, 2010).

De acuerdo a esta necesidad, es muy imprescindible que la empresa minera tenga un compromiso, responsabilidad social y ambiental para manejar de manera responsable sus operaciones desde el inicio hasta el cierre de mina. Por ello en esta tesis se diseñó una planta de tratamiento de agua ácida para los drenajes ácidos de mina.

1.2 Trabajos Previos

Según la tesis de (Medina Quispe, 2018) indicó que para tratar aguas ácidas evaluó varios procesos como los lodos de baja y alta densidad el cual para esta tesis selecciono el de alta densidad (HDS) por ser uno de los procesos más eficientes y de bajo costo en el tratamiento de agua ácida debido al uso cal apagada como neutralizante. De acuerdo a las pruebas de jarra que se realizaron ha logrado elevar y mantener el pH de 2.33 a 8.30 cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos de la normativa actual vigente.

Siguiendo con el estudio en la tesis de (Montesinos León, 2017) donde indica que, para iniciar todo diseño de tratamiento de agua ácida, primero se debe realizar de manera correcta la caracterización del drenaje ácido de mina y esta depende de la toma de la muestra, ubicación y condiciones ambientales del lugar. Para esta tesis se analizaron muestras de agua ácida de dos (02) unidades mineras y, se utilizaron el método de neutralización secuencial y la de neutralización directa, contemplando así que los sólidos se separan en etapas intermedias, concluyendo que los tratamientos de los efluentes deben realizarse mediante métodos activos (neutralización secuencial) por ser de menor costo, ya que consume menos reactivos, también la calidad del efluente cumple con la normativa vigente, pero se debe realizar monitoreo periódicamente permanente para asegurar el cumplimiento de la normativa.

Según (Cruz Perea, 2015) indica que diseñar y modelar una planta de tratamiento de agua ácida con el método de neutralización secuencial, es el método ideal y de menos costo, debido al bajo costo de los reactivos (cal apagada). Para los cálculos de tuberías (hidráulico) ha utilizado la herramienta Pipe Dimensión AFT FATHON 7.0, para la determinación de presiones, velocidad en interior de las tuberías y establecer parámetros correctos para el buen funcionamiento del sistema hidráulico.

Según la tesis de (Ayala Rodriguez, 2014) en el mejoramiento de bombeo para la impulsión eficientemente aguas de mina, realizo una evaluación al sistema hidráulico existente de tres bombas de configuración en paralelo y de potencia por equipo de 750 Hp, el cual encontró deficiente debido al mayor consumo de energía por una selección inadecuada de equipos, por lo que implementó un nuevo sistema de bombeo en serie, de potencia de 250 Hp por cada bomba, llegando a tener una disponibilidad del 96 % mientras que el sistema anterior tiene una disponibilidad del 74% mejorando así un 22%, respecto al consumo de energía el nuevo sistema teniendo un ahorro del 18% respecto al anterior.

En la tesis de (López Goicochea, 2013) señala que coexiste relación entre la acidez y el volumen de muestra de agua ácida. Modificando el pH con cal o NaOH al 98% logrando un intercambio de iones con valores iniciales 1 - 1.5g de NaOH y 2g de cal obteniendo después de pasados 4 días el pH entre 6.2 - 7.3, con esto demostró que al elevar el pH los iones solubles de los metales se precipitan fácilmente. Logrando demostrar que con cal al 25% no reacciona y se sedimenta en el fondo en forma de lodo, y mientras que con NaOH se logra una reacción al 100%. Al analizar los metales en los tratamientos, se demostró que los sistemas son efectivos, viendo como resultados menores a 0.001mg/L.

En la tesis de (Ojeda Chinchayán, 2012) y su diseño de automatización de bombas, señala que existe variaciones en la calidad del agua debido a la acción de lixiviación, las que son vertidas en pozas grandes, por tal suceso se desarrolló el proceso de bombeo de aguas ácidas, que consistía en evacuar de la poza de almacenamiento hasta otra poza para la neutralización de las aguas antes de verter al medio ambiente. Para ello desarrolló la ingeniería de detalle, para mejorar el proceso, para lograr ello trabajó con software AFT FATHON 7.0 que le permitió el control del proceso, como también simulaciones y resultados gráficos, haciendo la selección y dimensionamiento de los instrumentos.

En el estudio científico de (Moreno, Rimarachin Varas, & Huaranga, 2015), indican que por medio de los métodos activos y pasivos se tratará el agua de efluente de mina. Para el estudio de metales pesados Cu, As, Zn, Pb, se utilizó el fotómetro Perkin Elmer 601. En el método de membrana semipermeable el As, Cu y Pb se retendrán en niveles por encima al 99 % y también como el Cd y el Hg siendo detenidos completamente; en este caso el metal con poco contenido de detención fue el Cu con un valor de 98.83 % para la membrana del humus y 99.55 % para la membrana del compost. En conclusión, el compost y humus tienen elevadas capacidades de remoción de metales; y al unirlos a la membrana, aumenta los

resultados esperados.

La producción de drenaje ácido es el principal inconveniente de mina. Cuando los minerales se oxidan forman ácidos sulfúricos, ese proceso es llamado ácido de mina (la pirita es el mineral que genera ácido cuando tiene contacto con el agua y el aire), tal como indican en su tesis (Espinoza Rodríguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016). El objetivo es diseñar una planta de tratamiento mediante un estudio analógico, por medio de pruebas de jarras y resultados de caracterización de aguas ácidas. Considerando así el proceso de lodos de alta densidad por la eficiencia en su remoción, reactivos a utilizar y por la cantidad reducida de los componentes.

1.3 Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1 Agua Ácida

Soluciones sulfatadas, con un pH menos a 7 y con metales en su composición. El agua y su pH es afectado directamente por la dependencia de dióxido de carbono bicarbonato. Al elevarse esta relación, más se elevará la acidez del agua.

Tanto en el exterior como en el interior es donde se puede crear el agua ácida, por el contacto con el agua, por oxidación de la pirita o por exposición a la atmosfera (Ayala & Vadillo, 2004), accediendo así a los yacimientos hidráulicos subterráneos, originando la contaminación.

1.3.2 Drenaje Ácido de Mina

El drenaje ácido de mina (DAM), se produce mediante la exposición del material sulfuroso (pirita), el cual tiene contacto con el aire y el agua generándose así el agua de mina (Aduvire, 2006).

La principal causa de contaminación es el drenaje ácido, contaminando aguas subterráneas y superficiales, perdurando el problema durante décadas después de terminado el ciclo productivo, es por ello que es necesario prevenir su formación y tratar de manera adecuada cuando se empieza a manifestar.

1.3.3 Caracterización del Agua de Mina

Para lograr el equilibrio químico del material (mineral, desmonte, relave) se debe lograr la caracterización geoquímica. Usando criterios de fácil interpretación se evalúa la potencia de generación ácida establecidos en dependencia base/ ácido y demás pronósticos a extensos plazos del proceso.

Una buena caracterización del efluente depende de las mediciones de los parámetros (pH, acidez, metales y otros) según (Pamo, Advire, & Baretino, 2002).

Teniendo en cuenta la legislación peruana, la toma de muestra y el análisis se debe realizar conforme al protocolo de monitoreo de agua dado por el MINEM, los datos recopilados deben ser cotejados con los Límites Máximos Permisibles para el arrojado de efluentes líquidos de Actividades Mineras – Metalúrgicas admitidos bajo (Ministerio Nacional del Ambiente, 2010).

1.3.4 Sistema Disponible para el Tratamiento de Agua Ácida

En esta técnica la mano del hombre interviene mínimamente porque no requiere adición rutinaria de activos ni mucho menos mantenimiento.

Se basa en procesos químicos y biológicos proporcionados por humedales naturales en el que modifica el pH, favoreciendo de este modo la formación de especies insolubles las cuales favorece la precipitación y retiene la contaminación. Este tipo de sistema usa:

- Material alcalino para contrarrestar la acidez
- Substratos orgánicos
- Bacterias para catalizar
- Flujo gravitacional que facilita la corriente del agua

Una de sus principales ventajas es que su costo es muy bajo tanto en inversión como de operación, o desventaja que radica en que sólo permite tratar poco caudal, además requiere amplias extensiones de terreno que garanticen una adecuada circulación, y requiere el máximo tiempo de contacto.

Los métodos más usados son: los humedales aerobios y anaerobios, los drenajes anóxicos calizos como ALD, Anoxic, el sistema continuo de elaboración de alcalinidad como SAPS, Seccessuve Alkalinity Producing Systems (López Pamo, 2002)

1.3.4.1 Tratamientos químico activo de drenajes ácidos

Este tipo de planta de tratamiento necesitan mantenimiento, constante monitoreo y necesitan para su funcionamiento energía eléctrica además de reactivos.

Es utilizado en minas operativas, una de sus principales ventajas es que puede tratar elevados volúmenes y todo tipo de acidez, y es adaptable. No requiere de extensas áreas, tiene un

costo de inversión bastante alto que involucra infraestructura, como es el montaje de la planta en el que se realizará el tratamiento químico que a su vez contiene diversos equipos (clarificadores, bombas, tanques, entre otros). Al ser una operación continua se deben adicionar continuamente y de manera rutinaria los activos requeridos además de realizar un monitoreo constante.

Los métodos más usados son: neutralización/ precipitación, intercambio iónico, osmosis inversa, entre otros. El tratamiento que tiene más aceptación es el de neutralización/ precipitación y erradicación de metales al agregar productos neutralizantes como la cal viva (CaO), cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entre demás bases. Este método tiene variaciones que se basa en la densidad del lodo resultante, obteniendo métodos como: el proceso de lodos de baja densidad en el que la densidad final varia de 4 a 15 % de sólidos y el sistema de lodos de alta densidad (HDS) con 15 y 30 % de densidad (Pamo, Advire, & Baretino, 2002)

1.3.4.1.1 Tratamiento de Agua Ácida en una Planta Convencional

Son cinco etapas que comprende el proceso de neutralización: homogeneización, neutralización, sedimentación, aireación y disposición de lodos (Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016)

Como se observa en la Figura 1, es un sistema por gravedad, de flujo continuo y variaciones pequeñas, reduciendo la mano de obra y el sistema de control. Para cumplir con esto, el DAM se recolecta en grandes pozas de homogeneización, estos deben tener una acumulación de 2 o 3 días, siguiendo con su recorrido el drenaje ácido cae a la planta por gravedad, siendo usada la cal como neutralizante en todo el circuito elevando del pH 9 a 12.

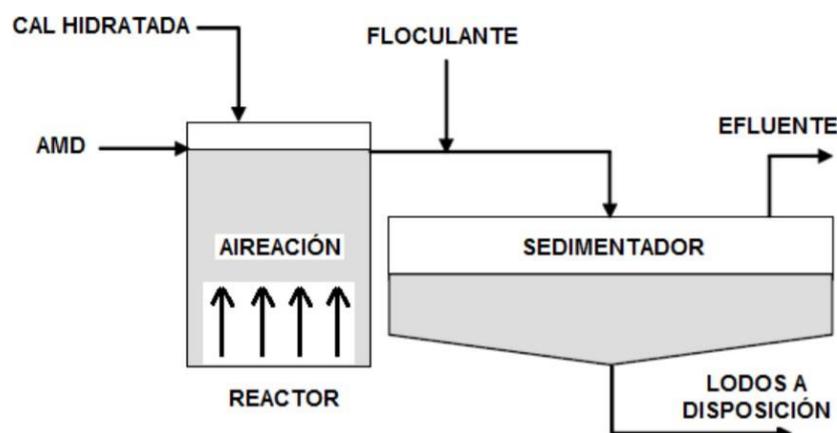


Figura 1. Esquema de una Planta de Tratamiento Convencional para Aguas Ácidas.
Fuente: (Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016)

1.3.4.1.2 Tratamiento de Agua Ácida en una Planta HDS

El proceso HDS (high density sludge) como se observa en la Figura 2, es un proceso sencillo. Con este proceso se logra recircular a través de bombeo un porcentaje del 80% de lodos finales hasta donde inicia el tratamiento. Las partículas de lodo tienen centros que ayudan a la precipitación de nuevos hidróxidos, y teniendo sólidos en peso en 20%.

La sedimentación ofrece grandes oportunidades para aumentar la efectividad el proceso, porque la densidad del lodo de hidróxidos producidos está directamente involucrada con el volumen de los residuos. Al realizar la sedimentación en una planta convencional arroja lodos que contienen sólidos en no más de 5%. (Perú Patente n° 2014/041014 A2, 2014).

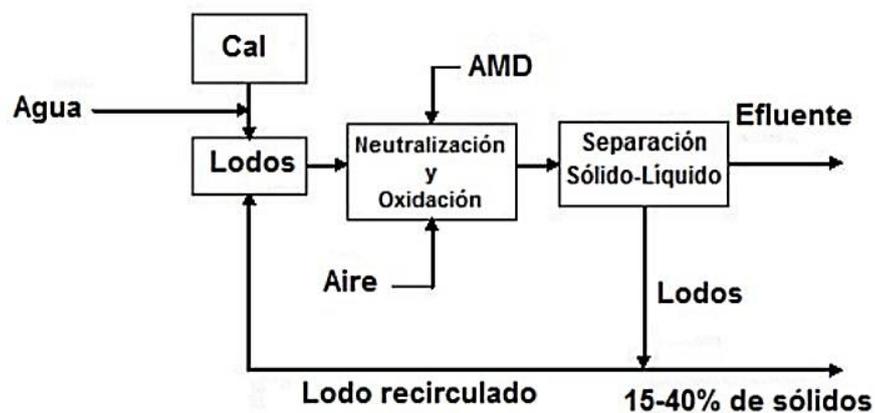


Figura 2. Esquema de una Planta de Tratamiento HDS
Fuente: (Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016)

1.3.4.1.3 Tratamiento de agua Ácida en Sistema Secuencial

En las minas abandonadas se introduce aguas fluviales originando de esta manera efluentes ácidos, para precipitar los hidróxidos fuera de los cauces naturales. Este proceso obliga a la construcción de grandes volúmenes de agua y de pozas de decantación.

1.3.4.1.4 Tratamiento de Agua Ácida Osmosis Inversa

(Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016) estudiaron para el tratamiento del DAM la aplicación de ósmosis inversa (OI), dando como resultado que el OI es sumamente eficiente eliminando los sólidos diluidos en el DAM, en comparación a otros procesos de tratamiento. El costo de tratamiento e implementación es elevado en comparación a otros procesos.

1.3.5 Ecuación General de la Energía

1.3.5.1 Teorema de Bernoulli

Expresa la aplicación de la energía hacia el flujo en tubería. La energía en un punto distinto por arriba de un plano horizontal, centrado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica (energía potencial), la altura debido a la presión (energía de presión) y la altura debido a la velocidad) es decir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad \dots \text{Ecuación 1 (ecuación de Bernoulli)}$$

Por las pérdidas existentes o aumento de energía, se deben incluir en la ecuación de Bernoulli. A su vez, considerando pérdida por rozamiento (h_f) del fluido en dos puntos, se detalla:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \frac{h_f}{2 \cdot g} \quad \dots \text{Ecuación 2 (ecuación general de la energía)}$$

1.3.6 Línea de Impulsión

La línea de impulsión es la distancia de tubería predestinada a llevar los caudales desde el punto de captación hacia la poza o la planta de tratamiento.

Para la línea de impulso se toma como base los parámetros y criterios, siendo su punto de partida la condición que se encuentra sometida la tubería, como su entorno y el tipo de fluido que conducirá. Para ello se requiere datos básicos como caudal, longitud y desnivel entre el punto de carga y descarga. (Zevallos Nancy, 2016).

1.3.7 Bombas

Es una máquina que convierte energía mecánica en energía de fluidos o hidráulica (cinética), el cual genera presión y velocidad al fluido en interior de las tuberías (Ayala Rodriguez, 2014).

1.3.7.1 Tipos de bombas.

Las bombas más utilizadas son la de tipo centrifugas horizontales y sumergibles.

1.3.7.2 Bomba horizontal

Son equipos mecánicos que cuentan con un eje transmisor de manera horizontal, que suelen emplearse en cisternas y embalses, pero también pueden trabajar en varios lugares diferentes

a una fuente de suministro, como en sitios secos y de fácil accesibilidad, siendo muy utilizado por su fácil manejo y mantenimiento como también por su bajo costo.

Su clasificación se basa en la posición del eje de la bomba en relación a la altura del agua del tanque. Si el eje se ubica por encima del agua, la succión es positiva de lo contrario sería negativa véase en la Figura 3.

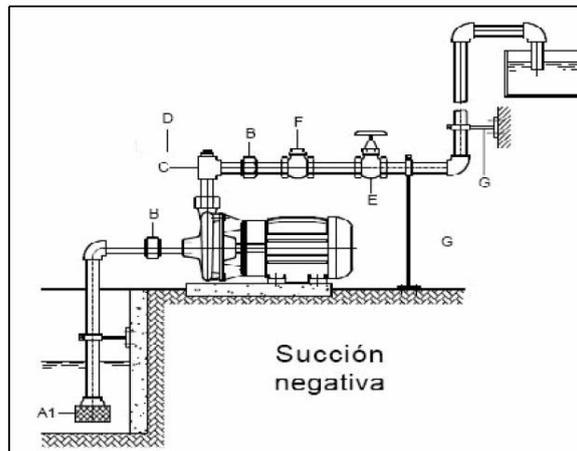


Figura 3. Bombas Centrífugas de Eje Horizontal
Fuente: Manual de Bombeo de Aguas (Grundfos, 2017)

Su mayor desventaja es la limitación de la carga de succión, ya que el valor máximo teórico llega a la presión atmosférica de 10,33 msnm, obteniendo que a la succión de 7 metros ya es deficiente.

1.3.7.3 Bomba sumergible

Consta de una bomba y un motor eléctrico que conforman el mecanismo, apropiada para trabajar en pozas de contenidos líquidos. Estas bombas se conectan a la tubería de impulso con una unión de descarga especial en lo profundo de la poza o tanque para facilitar su montaje y desmontaje, o instalarse mediante mangueras flexibles u otros dispositivos a las tuberías de impulsión. El mecanismo absorbe corriente mediante uno o más cables flexibles, adecuada para su instalación.

Estos equipos tienen ventajas respecto a las bombas horizontales y verticales, debido a que pueden trabajar en espacios reducidos. (Camacho Cruzado, 2016) (Figura 4)

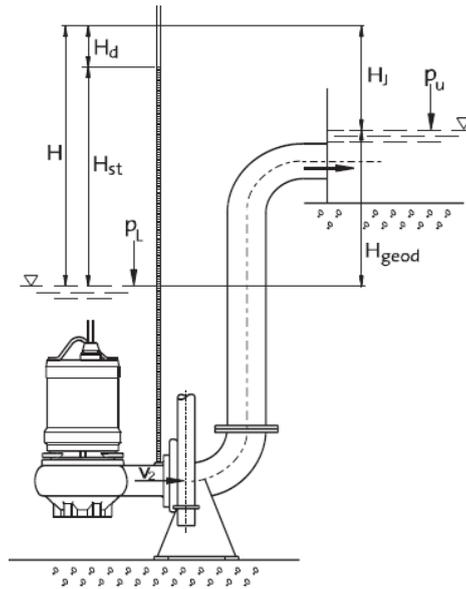


Figura 4. Bomba Sumergible
 Fuente: Manual de Bombeo de Aguas (Grundfos, 2017)

1.3.7.4 Motores Eléctricos

Utilizados para el sistema de bombeo, y de rapidez constante. Se considera 2 tipos.

- a) Síncrono
- b) Inducción

Los motores síncronos son de bajo costo en su accionar, pero a su vez son muy delicados en su operación. En este caso la eficiencia del mismo es más que la del motor de inducción.

En la actualidad, y por su confiabilidad y economía, los motores de inducción con rotor bobinado son los más utilizados en la industria, los motores se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Velocidad de Giro de Motores Eléctricos

Polos	Motor sincrono		Motor de inducción	
	50 ciclos	60 ciclos	50 ciclos	60 ciclos
1	3000	3600	2800	3450
2	1500	1800	1450	1750
3	1000	1200	960	1150
4	750	900	720	870
5	600	720	580	690
6	500	600	480	580
7	428	514	410	495

Fuente: Elaboración Propia.

1.3.7.5 Bombas dobles

1.3.7.5.1 Bombas en paralelo

El montaje de bombas en paralelo es requerido cuando el caudal es variable. Cada bomba se adapta de acuerdo a los requerimientos de operación, siendo la carga de tubería la misma, luego se obtiene los siguientes resultados:

- Se suman la capacidad y las carga para conseguir un caudal en su totalidad.
- La potencia conseguida es la suma total de cargas proporcionada a cada caudal.
- La eficacia se establece para cada carga, mediante la potencia en su mezcla con el aumento de la potencia propia para cargas semejantes.

Si las bombas en paralelo son similares, la capacidad y la potencia se duplicarán, triplicarán, y más; según sea número de bombas la curva de la combinación será el doble o triple de capacidad.

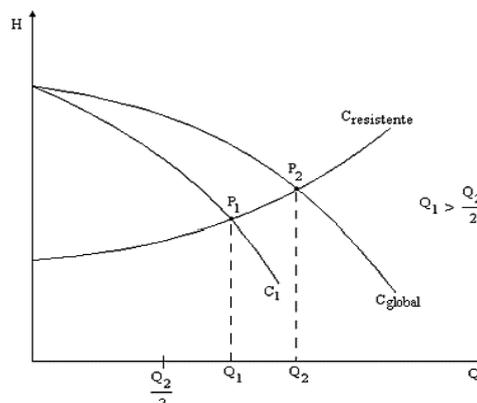


Figura 5. Curva de acoplamiento de dos bombas en paralelo
Fuente: Bombas Hidráulicas Rotodinámicas. (Marbello Pérez)

Las curvas formadas por dos bombas pasan por el punto $Q_1 + Q_2$. Sin embargo, como podemos ver en la Figura 5, Q_2 no es el doble de Q_1 , para el punto de trabajo, se debe tener en consideración que a mayor caudal la pérdida en carga será mayor en su instalación. Si no existe pérdidas en tuberías e instalaciones (pendiente nula de la curva característica del sistema) tendríamos que una es el doble del otro.

1.3.7.5.2 Bombas en serie

Esta instalación no es común sin embargo son utilizadas en instalaciones libres para bombear fluido a diferentes alturas. Para conseguir grandes alturas las bombas disponen de rodets en serie dentro de su carcasa. En este tipo de asociaciones, la impulsión de una se convierte en la aspiración de la otra.

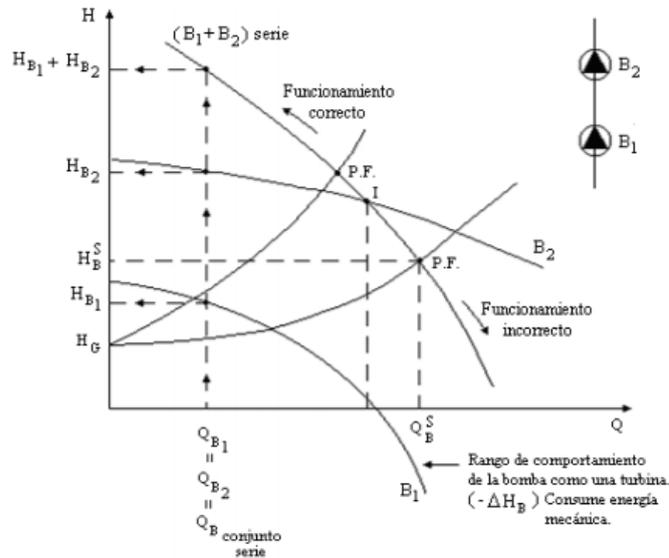


Figura 6. Curva de Instalação de duas Bombas em Serie.
 Fonte: Bombas Hidráulicas Rotodinâmicas. (Marbello Pérez)

1.3.7.5.3 Bombas de reserva o stand by

La bomba de reserva o también llamadas en stand by, son instaladas para respaldar al sistema de bombas en operación ante cualquier parada intempestiva de los equipos. Estos equipos también son utilizados en las paradas de planta cuando se realiza los mantenimientos anuales programados.

1.3.8 Caudal en Tuberías Circulares

$$Q = \frac{V \times \pi \times D^2}{4} \quad \dots \text{Ecuación 3 (Caudal en tuberías)}$$

Dónde:

V: Velocidad del fluido en tubería, m/s.

Di: Diámetro interno de la tubería, m.

Q: Caudal (m³/s)

1.3.9 Altura Dinámica Total

Es la presión que debe suministrar la bomba para vencer la altura estática de succión y descarga y las pérdidas por fricción en las tuberías y accesorios.

$$ADT = H_g + H_f + H_k + \frac{V^2}{2g}$$

...Ecuación 4 (Altura dinámica total)

Dónde:

ADT: Altura Dinámica Total, m.

Hf: Pérdidas por fricción en tuberías, m.

Hk: Pérdidas por fricción en accesorios, m.

Hg: Altura geodésica, m.

1.3.10 Pérdida de Carga en Tuberías y Accesorios (Hf, Hk)

Pérdida de Carga en Tuberías

La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento.

$$h_f = f \times \frac{L}{D_i} \times \frac{v^2}{2g} ; \quad \text{ó} \quad h_f = 0.0826 \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5} \quad \dots \text{Ecuación 5 (Pérdida de carga en tuberías)}$$

Dónde:

hf: Pérdida de carga o de energía, m.

f: Coeficiente de fricción, (adimensional)

L: Longitud de la tubería, m.

Di: Diámetro interno de la tubería, m.

v: Velocidad media, m/s.

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s².

Q: Caudal, m³/s.

Pérdida de Carga en Accesorios

Encontramos pérdidas en válvulas, reducciones, llaves, etc. Produciendo pérdidas de cargas adicionales en la instalación.

$$\sum h_k = \sum k \times \frac{v^2}{2g}$$

...Ecuación 6 (Pérdida de carga en accesorios)

Dónde:

hk : Pérdida de carga o de energía, m.

v : Velocidad media, m/s.

g : Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s².

Número de Reynolds:

$$f = f(Re, \epsilon_r); \quad Re = \frac{D_i \times v \times \rho}{\mu} \quad \& \quad \epsilon_r = \frac{\epsilon}{D_i} \quad \dots \text{Ecuación 7 (Numero de Reynolds)}$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido, kg/m³.

μ : Viscosidad del fluido, N.s/m².

ϵ_r : Rugosidad relativa, (adimensional).

ϵ : Rugosidad absoluta de la tubería, m.

Ecuación Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\left(\frac{\epsilon}{3.71 \times D} \right) + \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \right] \quad \dots \text{Ecuación 8 (Coeficiente de fricción)}$$

Como recomendación práctica se considerarán las máximas caídas de presión debidas a la fricción por longitud de tuberías del 5%.

1.3.11 Potencia al Eje de la Bomba

La potencia al eje de una bomba es la relación entre la energía de flujo proporcionada por la bomba y el tiempo que la misma ha estado en funcionamiento para comunicar dicha energía.

$$Pot = Qx \frac{ADT \times g \times \gamma}{0.746 \times \eta} \quad \dots \text{Ecuación 9 (Potencia en el eje de la bomba)}$$

Dónde:

Pot: Potencia al eje de la Bomba, HP.

ADT: Altura Dinámica Total, m.

- γ : Peso Específico, kg/m^3 .
- Q : Caudal, m^3/s .
- g : Gravedad m^2/s
- η : Eficiencia, %

1.3.12 El Golpe de Ariete o Pulso de Zhukowski

Se desplaza con una sobrepresión por medio de tuberías con una aceleración que logra superar la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime levemente el fluido, disminuyendo su volumen, y dilata sutilmente la tubería. Cuando el fluido que circulaba por la tubería se ha detenido, finaliza el impulso de compresión y, por lo tanto, éste se expande. Por otro lado, las tuberías ensanchadas vuelven a su ancho normal. Simultáneamente, estos efectos inducen otra onda de presión en el sentido inverso. El fluido circula en dirección contraria, pero, al encontrar la válvula cerrada, se origina una depresión con relación a la presión normal de la tubería. (Grundfos, 2017)

Valor de celeridad:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{k}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{kD}{Ee}}} \quad (\text{m/s}) \quad \dots \text{Ecuación 10 (Celeridad)}$$

Dónde:

k : Módulo de compresibilidad volumétrico del fluido, N/m^2

ρ : Densidad del fluido, kg/m^3

D : Diámetro interior de la tubería, mm

e : Espesor de la tubería, mm

E : Modulo de Young N/m^2

Pulso de sobrepresión de Zhukowski

$$\Delta H = \frac{a}{g} V_o \quad \dots \text{Ecuación 11 (Pulso de sobrepresión)}$$

Donde

V_o : Velocidad del fluido (m/s)

a : Celeridad (m/s)

ΔH : Pulso de sobrepresión de Zhukowski

1.3.13 Máxima Demanda

Es la instalación de un sistema eléctrico o parte del mismo que sucede en un tiempo determinado, siendo la mayor demanda y se expresa en unidad de potencia.

1.3.14 Potencia Activa

Es la suma de potencia de un sistema monofásico, obteniendo un sistema triple de una fase al ser el sistema neutral.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi \quad \dots\text{Ecuación 12 (Potencia activa)}$$

Dónde:

$I\varphi$: Corriente en amperes (A)

$V\varphi$: Voltaje en voltios (V)

P: Potencia Activa en Watt (W)

$\text{Cos}\varphi$: Factor de Potencia del sistema

1.3.15 Potencia Reactiva

Esta potencia no es totalmente consumida y surgirá cuando haya condensadores o bobinas en el circuito. Esta potencia posee un valor intermedio nulo, por lo que no origina trabajo útil, su forma de medir es en volamperios (VAR) y se asigna con la letra Q.

La potencia reactiva en función de los valores de tensiones y corrientes:

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \text{sen} \quad \dots\text{Ecuación 13(Potencia reactiva)}$$

Dónde:

Q: Potencia reactiva en (VAR)

V: Voltaje en Voltios (V)

I: Corriente en Amperes (A)

$\text{Sen}\varphi$: Factor de potencia reactivo

1.3.16 Potencia Aparente

Es la adición de energía disipada del circuito en cierto espacio en modo de calor, en sus componentes la energía se utiliza para formar campos eléctricos y magnéticos. Señala que la unidad es el factor de potencia, de lo contrario la potencia no es consumida, y nos indica que el circuito no solo debe complacer a los elementos resistivos, sino también a las bobinas y condensadores. Su símbolo es la S y se puede medir en volamperios (VA)

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2 = \sqrt{(3 * V * \cos\varphi)^2 + (3 * V * \sin\varphi)^2}} \dots \text{Ecuación 14 (Potencia aparente)}$$

Dónde:

I: Corriente en amperes (A)

V: Voltaje en voltios (V)

S: Potencia aparente en voltamperios (VA)

1.3.17 Factor de Potencia

Podemos decir que es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio- amperios (KVA).

$$FP = \frac{P}{S} \dots \text{Ecuación 15 (Factor de potencia)}$$

Dónde:

FP: Factor de potencia

P: Potencia Activa (KW)

S: Potencia Aparente (KVA)

1.3.18 Factor de Simultaneidad

Es la división entre la demanda máxima de un conjunto de instalaciones o cargas y la suma de las demandas máximas de las instalaciones o cargas individuales.

1.3.19 Factor de Utilización

Relación de consumos conectados simultáneamente sobre el total.

1.3.20 Soda Cáustica

La neutralización con soda cáustica incrementará el pH y se fundamenta en la indisolubilidad de los metales pesados en circunstancias alcalinas. Insoluble

1.3.21 Coagulante MT-8834

El coagulante es un reactivo que sirve para la desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado, el mismo que se dosificará en la parte central del canal de neutralización.

1.3.22 Floculante MT-6506

El floculante facilitará la precipitación de los metales, tiene la función de mejorar la formación del floculo y la de incrementar la masa para una precipitación más estable de los flóculos, el mismo que se dosificará en la parte final del canal de mezcla y/o al ingreso a las pozas de sedimentación.

1.3.23 Límites Máximos Permisibles (LMP)

Tabla 2.Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Limite para el Promedio anual
pH		6-9	6-9
TSS	Ppm	50	25
Aceites y Grasas	Ppm	20	16
Cianuro Total	Ppm	1	0.8
Arsénico Total	Ppm	0.1	0.08
Cadmio Total	Ppm	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	Ppm	0.1	0.08
Cobre Total	Ppm	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	Ppm	2.0	1.6
Plomo Total	Ppm	0.20	0.16
Mercurio Total	Ppm	0.002	0.0016
Zinc Total	Ppm	1.5	1.2

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Ministerio Nacional del Ambiente.

1.4 Formulación de Problema

¿Cómo tratar los drenajes ácidos de la minería en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión departamento La Libertad?

1.5 Justificación del Estudio

La presente tesis tiene como objetivo diseñar una planta de tratamiento de agua ácida para tratar de una manera continua y eficaz los drenajes ácidos de mina dentro de las operaciones mineras de tajo abierto en el departamento de la Libertad. Tratamiento que conducirá a realizar sus actividades mineras de forma segura y proteger las fuentes naturales que son los ríos, lagunas, mares y océanos; con el fin de no afectar el medio ambiente. Evitando así incurrir en fuertes multas o sanciones y hasta responsabilidades penales por incumplimientos a la normativa legal vigente.

Lo que originará asegurar la permanencia, tranquilidad (cero conflictos sociales, respecto a este tema) y el desarrollo de las empresas en el mercado en corto, mediano y largo plazo.

1.6 Hipótesis

Establecer por medio de una evaluación económica y proyección de la planta, que la alternativa de tratamiento seleccionada permitirá cumplir con los requerimientos de la unidad minera y con los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa vigente .

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Diseñar una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de mina en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión departamento la Libertad.

1.7.2 Objetivo Específico

- Determinar las características funcionales para el diseño de una planta de tratamiento de agua ácida.
- Propuesta y selección de la alternativa óptima para el tratamiento de agua ácida de los drenajes ácidos de mina.
- Configuración del proceso de tratamiento de agua ácida, componentes y partes.
- Determinar los cálculos de los componentes principales de la planta de tratamiento de agua ácida.
- Determinar el cálculo de la máxima demanda de energía eléctrica de la planta de tratamiento de agua ácida.
- Elaborar los planos básicos de la planta de tratamiento de agua ácida
- Elaborar el análisis económico de la propuesta

II. MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

La tesis a realizar es del tipo aplicado debido a que utilizamos los conocimientos que se han adquirido a lo largo de la formación profesional mientras que a su vez que se adquieren nuevos conocimientos. Con enfoque cuantitativo, no experimental y transversal. Si bien es cierto no se cuenta con variable independiente por ser una propuesta de Diseño de una planta de tratamiento para de agua ácida, para el enfoque cuantitativo y aplicado se trabajará con la variable dependiente que viene a hacer la calidad del agua.

2.2 Operacionalización de Variables

2.2.1 Variables Independientes

- Acidez
- Caudal
- Metales

2.2.2 Variables Dependientes

- Calidad de Agua
- Planta de tratamiento de agua ácida

2.2.3 Operacionalización de Variables

2.3 Población, Muestra y Muestreo

2.3.1 Población

Plantas de tratamiento de agua ácida

2.3.2 Muestra

El drenaje ácido proveniente de la minera, se localiza en el caserío La Arena, del distrito de Huamachuco, en la provincia de Sánchez Carrión, en la región La Libertad.

2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad

En la presente tesis se va a determinar las características funcionales. Selección de la alternativa de tratamiento, las condiciones de operación de los sistemas, definir las características, determinar la máxima demanda de energía eléctrica y la estimación de costo capital que serán necesarios para la implementación de la Planta de tratamiento de agua ácida.

Todos los sistemas deberán encontrarse dentro de los valores establecidos para la condición de flujo requerido y manteniendo los parámetros establecidos en el criterio de diseño. Estas serán técnicas utilizadas para la recopilación de datos para desarrollar esta tesis que serán validadas por 3 especialistas en el área. (Anexo A-8)

2.5 Procedimiento

La elaboración de esta tesis se realizó por la necesidad de la unidad minera para tratar los efluentes ácidos que esta genera.

Determinando así sus características físicas para poder diseñar la planta de tratamiento que está ubicada en Huamachuco a 3300 msnm., dando resultados de efluentes a tratar de 480 m³/h y de pH 2.8, con una proyección de cambio $\pm 18\%$ respecto a su caudal a tratar, con consumo de reactivos de soda cáustica, coagulante y floculante. También la unidad minera cuenta con un área de 20000 m² para la implementación de la planta.

Teniendo los datos proporcionados por la unidad minera mencionados anteriormente y rigiéndonos por la normativa vigente de límites máximos permisibles para la descarga de efluentes, se seleccionó la mejor alternativa para el tratamiento de agua ácida de los drenajes ácidos de mina.

Para la selección de tomaron en cuenta cuatro tipos de tratamientos: convencional, HDS (convencional), HDS y secuencial, los cuales cumplen con la exigencia de pH requerido por

la normativa vigente, pero no todas cumplen con las exigencias de la unidad minera en cuanto a costo, mantenimiento y manejo operativo.

Considerando estos cuatro tratamientos se elaboró una tabla comparativa dando como resultado que la mejor alternativa de tratamiento es el proceso secuencial por sedimentación y decantación en pozas, por ser de menor costo, buena sostenibilidad, alta proyección de la planta, bajo mantenimiento y de buen manejo operativo.

Siendo ya elegida la mejor alternativa de tratamiento, se procede a la configuración del proceso de tratamiento de agua ácida, sus componentes y partes.

Tanto los componentes y equipos a utilizar son seleccionadas y probados de acuerdo a normas y estándares aplicables. Para el tipo de material a utilizar en las distintas partes de los componentes principales, se tomó en cuenta el agua ácida por ser altamente corrosiva, por lo tanto, se utilizó tanques, revestimiento de canal, pozas y tuberías, de polietileno de alta densidad (HDPE) por ser resistente a la corrosión, también se utilizará tuberías y accesorios de acero inoxidable y acero galvanizado.

Siguiendo con el desarrollo, se determinó los cálculos de los componentes principales de la planta de tratamiento, como son el volumen y especificaciones técnicas de las pozas de captación, sedimentación, clarificación y canal neutralizante, también se seleccionó los tanques para la preparación de los reactivos de soda cáustica, coagulante y floculante teniendo en cuenta los requerimientos técnicos para su preparación.

Para la selección de bombas y tuberías se tuvo en cuenta las condiciones ambientales del lugar, características del fluido, caudal, pérdidas de presión del circuito y también se realizó el cálculo de golpe de ariete.

Después de seleccionar los equipos eléctricos y materiales se determinó el cálculo para la máxima demanda de energía eléctrica de la planta, considerando todas las cargas de los equipos y sistemas auxiliares.

Siguiendo con el desarrollo de la tesis se elaboran planos básicos de la planta de tratamiento donde se muestra el diagrama de proceso como también un plano general de la planta y sus diferentes partes.

Finalmente se elaboró un análisis económico de la propuesta, donde se considera la disciplina mecánica, eléctrica, instrumentación y civil, para poder tratar caudales de 576 m³/h de agua ácida, realizando todos los procesos.

2.6 Métodos de Análisis de Datos

En base a la tesis que se está realizando (diseño no experimental -trasversal), no requiere hacer análisis estadístico, debido a que toda la tesis se realizará mediante modelación cuantitativa de procesos (matemática y simulación en software).

2.7 Aspectos Éticos

Esta investigación se realizará basándose en el tipo de materiales, instrumentos, equipos debidamente calibrados y certificados, y técnicas de análisis de datos objetivos para obtener resultados reales. Respetando propiedad intelectual y derechos de autor que aportaran en la elaboración del trabajo de investigación se tendrá respeto y cuidado a las personas involucradas en la realización del trabajo de investigación, al lugar o propiedad de donde se obtendrán las muestras de estudio, así como al medio ambiente, y al contexto social no yendo en contra de costumbres, convicciones políticas y moral.

III. RESULTADOS

3.1 Determinación las Características Funcionales para el Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Ácida

Para el diseño de la planta de tratamiento de agua ácida de los drenajes ácidos de mina se requiere definir las características funcionales para el cálculo de capacidades, cantidades y determinación de las condiciones operativas que se muestran a continuación. (Anexo A-1)

3.1.1.1 Ubicación y Acceso a la Zona de Estudio

El proyecto aurífero está ubicado al este de la ciudad costeña de Trujillo, en el norte del Perú, en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad. La mina se encuentra a una altitud aproximada de 3,300 msnm.

3.1.1.2 Condiciones Ambientales

El diseño tomará en cuenta las condiciones ambientales del lugar, 3300 msnm, temperatura mínima 10 °C y máxima 13 °C.

3.1.1.3 Caudal de Diseño

Según el estudio hidrogeoquímico realizado por la unidad minera, brindó como resultado que el caudal máximo de agua ácida de mina a tratar sería de 480 m³/h. durante los próximos 5 años. Así mismo indica que este sufrirá una variación de ±18% el cual tiene que

considerarse para fines de diseño.

Tabla 4. Caudal de Diseño

Caudal máximo diario		Factor de seguridad	Caudal de diseño (Contingencia)	
m ³ /h	m ³ /día	K	m ³ /h	m ³ /día
480.00	11,520.00	1.20	576.00	13,824.00

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.4 Consumo Unitario de Reactivos

Para la neutralización y precipitación de los drenajes ácidos de mina se tiene definido el siguiente consumo:

Tabla 5. Consumo Unitario de Reactivos

Agente Neutralizante	Consumo Unitario (kg/m ³)	Precio Unitario (US\$/TM)	Costo Unitario (US\$/m ³)
Soda caustica	0.333	1479.90	0.493
Coagulante	0.006	1800.00	0.011
Floculante	0.0005	4500.00	0.002

Fuente: Rio Alto Mining

3.1.1.5 Disponibilidad de Área

La unidad minera tiene como disponibilidad de área para la construcción de la planta de tratamiento de 20000 m².

3.1.1.6 Tiempo de Retención del Sistema de Tratamiento

La unidad minera a determinado de acuerdo a las pruebas metalúrgicas realizadas, que el tiempo de mínimo de retención que debe tener el agua tratada será de 8 horas antes de su descarga a los puntos de vertimiento.

3.2 Propuesta y Selección de la Alternativa para el Tratamiento de Agua Ácida de los Drenajes Ácidos de Mina.

3.2.1 Métodos de Tratamiento de Agua Ácida

a) Método Activo

Este método comprende en la neutralización del drenaje ácido de mina a través de la dosificación de reactivos químicos (cal viva o apagada, coagulante y floculante).

b) Método Pasivo

Este método comprende en un procesos químicos y biológicos de forma natural que mejoran la calidad del efluente. El método pasivo no requiere utilizar reactivos químicos.

3.2.2 Alternativas de Tratamiento de Agua Ácida

- A. Planta de tratamiento convencional
- B. Proceso de lodos de alta densidad convencional (HDS convencional).
- C. Proceso de lodos de alta densidad (HDS).
- D. Planta de tratamiento secuencial por sedimentación y decantación en pozas.

3.2.3 Selección de la Alternativa para el Tratamiento de Agua Ácida de los Drenajes Ácidos

3.2.3.1 Criterio de Selección

Para seleccionar la alternativa de tratamiento de los drenajes ácidos se ha determinado los criterios de selección, de acuerdo a requerimientos de la unidad minera y la normativa vigente; siendo el área de planta, proyección de la planta, costos, eficiencia, mantenimiento, sostenibilidad y manejo operativo.

3.2.3.2 Matriz de Selección de Alternativa

Tomando en consideración el método de clasificación de factores o también llamado calificación del factor cualitativo, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 6. Matriz de Selección de Alternativas

Ítem	Criterio	Porcentaje (%)	CONVENCIONAL		HDS (Convencional)		HDS		SECUENCIAL	
			P	R	P	R	P	R	P	R
1.1	Área de la Planta	5	10	0.50	10	0.50	10	0.50	5.0	0.25
1.2	Proyección de la Planta	10	0.0	0.00	5.0	0.50	10	1.00	10	1.00
1.3	Costos	35	5.0	1.75	2.5	0.88	2.5	0.88	10	3.50
1.4	Eficiencia de Remoción	30	5.0	1.50	7.5	2.25	10	3.00	7.5	2.25
1.5	Mantenimiento	5	7.5	0.38	7.5	0.38	10	0.50	10	0.50
1.6	Sostenibilidad	10	0.0	0.00	7.5	0.75	10	1.00	10	1.00
1.7	Manejo Operativo	5	2.5	0.13	7.5	0.38	10	0.50	10	0.50
TOTAL		100	4.25		5.63		7.38		9.00	

P: Puntaje de calificación

R: Resultado

Fuente: Elaboración propia.

De la evaluación realizada se determina que el tratamiento óptimo es el proceso de tratamiento secuencial por sedimentación y decantación en pozas.

3.3 Configuración del Proceso de Tratamiento de Agua Ácida, Componentes y Partes.

3.3.1 Criterio de Diseño

Los criterios de diseño establecen las pautas, referencias, principios, reglas, normas y responsabilidades aplicables al diseño y manufactura de los equipos mecánicos, eléctricos e instrumentación. Todos los componentes y equipos serán diseñados, seleccionados, manufacturados y probados de acuerdo a las normas, códigos, regulaciones, especificaciones y estándares aplicables. (Anexo B-2)

3.3.2 Componentes y Partes

En el presente documento se establece la configuración de los componentes y partes del proceso de tratamiento de agua ácida para fines de especificación de parámetros de diseño, de acuerdo a las etapas de tratamiento según el proceso secuencial. (Anexo B-3)

Para la selección del tipo de material de las partes de los componentes principales del proceso de tratamiento, se ha considerado como criterio principal el agua ácida que por su composición es altamente corrosivo debido a su acidez dónde se van a utilizar diferentes tipos de materiales como:

- Polietileno de alta densidad (HDPE): Será utilizado para tanques, revestimiento de canal y pozas, tuberías y accesorios.
- Acero Inoxidable: Tuberías, accesorios y válvulas de los diferentes sistemas de bombeo.
- Acero Galvanizado: Tuberías y accesorios eléctricos

3.3.3 Proceso de Tratamiento Secuencial

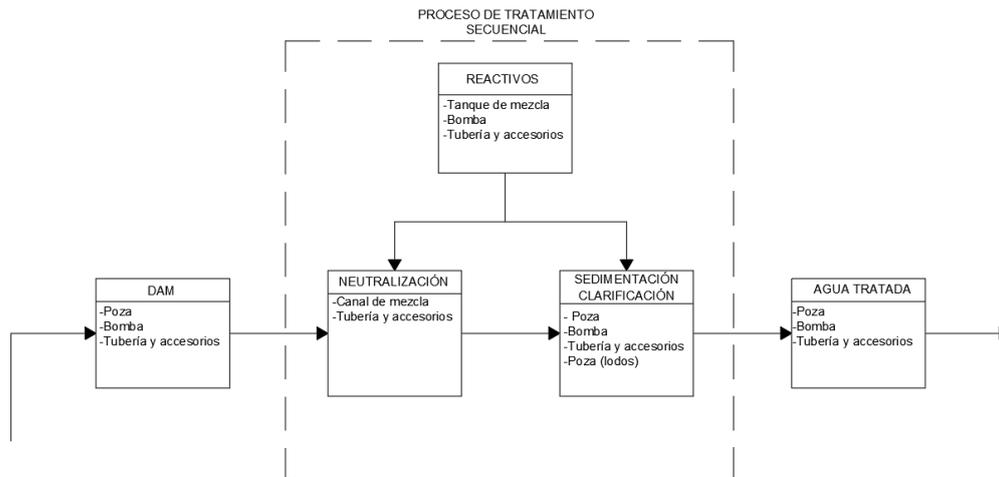


Figura 7. Proceso de Tratamiento Secuencial

3.4 Determinación de los Cálculos para los Componentes Principales de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida.

3.4.1 Dimensionamiento de las de Pozas Sedimentación, Clarificación y Canal de Mezcla.

3.4.1.1 Pozas de Captación

La poza de captación, se encargará de sedimentar todas las aguas de drenaje ácido de mina que ingresará a la planta de tratamiento de agua ácida. En la Tabla 7 se muestran las especificaciones técnicas de la poza de captación.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas de la Poza de Captación

Características	Unidad	Dimensiones
Caudal de diseño	m ³ /h	576
Volumen	m ³	4855
Área inferior útil (Ari)	m ²	932
Largo inferior útil (Li)	m	33
Ancho inferior útil (Ai)	m	28
Área superior útil (Ars)	m ²	1734
Lago superior útil (Ls)	m	44
Ancho superior útil (As)	m	40
Altura Útil	m	3.7
Tiempo de retención	h	8.4
Talud	m/m	1:1.5
Diámetro de tuberías ingreso	Pulg.	20
Diámetro de tuberías salida	Pulg.	10

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2 Pozas de Sedimentación

El tratamiento físico de sedimentación y/o decantación, se inicia con el proceso de

precipitación de las partículas discretas y estará comprendido por cinco (05) pozas de sedimentación. La sedimentación primaria se efectúa mediante 02 pozas que funcionan en paralelo y de forma alternada, seguidas de 03 pozas de sedimentación secundaria, estas últimas ubicadas en serie.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas de la Poza de Sedimentación

Características	Unidad	Dimensiones
Caudal de diseño	m ³ /h	576
Volumen	m ³	703
Área inferior útil (A _{ri})	m ²	132
Largo inferior útil (L _i)	m	20
Ancho inferior útil (A _i)	m	6
Área superior útil (A _{rs})	m ²	415
Lago superior útil (L _s)	m	29
Ancho superior útil (A _s)	m	15
Altura Útil	m	2.7
Tiempo de retención	h	1.2
Talud	m/m	1:1.5
Diámetro de tuberías ingreso	Pulg.	20
Diámetro de tuberías salida	Pulg.	20

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 Pozas de Clarificación

La poza de clarificación de agua tratada, es la etapa final del proceso y se tomará como parte del conjunto de pozas de sedimentación.; el caudal de diseño que ingresará es 576 m³/h. Las aguas tratadas serán derivadas mediante una tubería de HDPE de 20” Ø hacia la poza de 4855 m³ de capacidad ubicada en la parte final, del cual el efluente tratado será evacuado con bombas sumergibles hasta el punto de descarga.

Tabla 9. Especificaciones Técnicas Poza de Clarificación

Características	Unidad	Dimensiones
Caudal de diseño	m ³ /h	576
Volumen	m ³	4855
Área inferior útil (A _{ri})	m ²	932
Largo inferior útil (L _i)	m	33
Ancho inferior útil (A _i)	m	28
Área superior útil (A _{rs})	m ²	1734
Lago superior útil (L _s)	m	44
Ancho superior útil (A _s)	m	40
Altura Útil	m	3.7
Tiempo de retención	h	8.4
Talud	m/m	1:1.5
Diámetro de tuberías ingreso	Pulg.	20
Diámetro de tuberías salida	Pulg.	18

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 Canal de Neutralización

El canal de mezcla de reactivos, inicia el proceso de tratamiento del agua ácida mediante la dosificación de reactivos como son soda cáustica, coagulante y floculante. Los reactivos serán vertidos proporcionalmente a lo largo del canal (Soda cáustica 0 m, Coagulante 60 m y Floculante 110 m).

El canal tiene una longitud de 120 m y un talud de 1:5 para evitar derrumbes o deslizamientos, generando un ancho superior de 3 m y ancho inferior de 1.6 m y una altura útil de 0.8 m.

Tabla 10. Especificaciones Técnicas de Canal de Mezcla

Características	Unidad	Dimensiones
Caudal de diseño	m ³ /h	576
Volumen	m ³	216
Área inferior útil (A _i)	m ²	188
Largo inferior útil (L _i)	m	118
Ancho inferior útil (A _i)	m	1.6
Área superior útil (A _s)	m ²	361
Largo superior útil (L _s)	m	120
Ancho superior útil (A _s)	m	3.0
Altura Útil	m	0.8
Tiempo de retención	h	0.37
Talud	m/m	1:1.5
Diámetro de tuberías ingreso	Pulg.	10
Diámetro de tuberías salida	Pulg.	20

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Selección de Tanque para Preparación y Almacenamiento de Reactivos

3.4.2.1 Tanque de Soda Cáustica

De acuerdo al volumen de operación para la preparación y almacenamiento de soda cáustica, se considera un factor de seguridad del 10%, donde se obtiene el volumen de diseño de 25 m³.

De acuerdo al volumen de diseño y el tipo de producto químico a utilizar se requiere la construcción de un tanque de acero inoxidable SS 316 de acuerdo a especificaciones de los criterios de diseño (API 650).

Para reducir costos de inversión de la planta de tratamiento se ha evaluado la instalación de tres (3) tanques de polietileno de alta densidad de 10 m³ que cumple con el requerimiento técnico para la preparación del reactivo.

Tabla 11. Capacidad del Tanque de Soda Cáustica

Caudal máximo diario		Factor de seguridad	Caudal de diseño (Contingencia)	
m ³ /h	m ³ /día	K	m ³ /h	m ³ /día
0.96	23.00	1.10	1.1	25

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2 Tanque de Coagulante

De acuerdo al volumen de operación para la preparación y almacenamiento de coagulante, se considera un factor de seguridad del 10%, donde se obtiene el volumen de diseño de 7 m³.

De acuerdo al volumen de diseño y el tipo de producto químico a utilizar se requiere la construcción de un tanque de acero inoxidable SS 316 de acuerdo a especificaciones de los criterios de diseño (API 650).

Para reducir costos de inversión de la planta de tratamiento se ha evaluado la instalación de dos (2) tanques de polietileno de alta densidad de 10 m³ que cumple con el requerimiento técnico para la preparación del reactivo.

Tabla 12. Capacidad del Tanque de Coagulante

Caudal máximo diario		Factor de seguridad	Caudal de diseño (Contingencia)	
m ³ /h	m ³ /día	K	m ³ /h	m ³ /día
0.27	6.40	1.10	0.29	7.0

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3 Tanque de Flocúlatele

De acuerdo al volumen de operación para la preparación y almacenamiento de floculante, se considera un factor de seguridad del 10%, donde se obtiene el volumen de diseño de 7,7 m³.

De acuerdo al volumen de diseño y el tipo de producto químico a utilizar se requiere la construcción de un tanque de acero inoxidable SS 316 de acuerdo a especificaciones de los criterios de diseño (API 650).

Para reducir costos de inversión de la planta de tratamiento se ha evaluado la instalación de dos (2) tanques de polietileno de alta densidad de 10 m³ que cumple con el requerimiento técnico para la preparación del reactivo.

Tabla 13. Capacidad del Tanque de Floculante

Caudal máximo diario		Factor de seguridad	Caudal de diseño (Contingencia)	
m ³ /h	m ³ /día	K	m ³ /h	m ³ /día
0.29	7.00	1.10	0.32	7.7

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Determinación de los Parámetros de Operación (Caudal y ADT) para la Selección de las Bombas, Dimensionar el Diámetro, Material y Recorrido de Tuberías de los Sistemas de Bombeo Mediante Software AFT Fathom 9.0.

3.4.3.1 Parámetros de Diseño

Condiciones Ambientales

- Presión Atmosférica : 68.7 kpa
- Temperatura Promedio : 12 °C

Características del Fluido Impulsado

Tabla 14. Características del Fluido Impulsado

Descripción	Sistema de Impulsión Poza de captación	Sistema de Impulsión poza de clarificación	Sistema de Impulsión poza de sedimentación de lodos
Fluido	Agua ácida	Agua tratada	Lodos sedimentados
Temperatura de diseño (°C)	10,7	10,7	10,7
Gravedad específica (kg/m ³)	1000	1000	1000
Viscosidad dinámica (N. s/m ²)	0.001308	0.001308	0.001308
pH	2.8	7,0 -8,5	7,0 -8,5

Fuente: Elaboración propia

Parámetros de Operación

Tabla 15. Parámetros de Operación del Sistema de Impulsión

Origen	Sistema de Impulsión Poza de captación	Sistema de Impulsión poza de clarificación	Sistema de Impulsión poza de sedimentación de lodos
Caudal de Diseño	160 l/s= 576 m3/h	160 l/s=576 m3/h	65 l/s= 234 m3/h
Presión en la descarga	2 psig	2 psig	2 psig
Cantidad de bombas	2 operación + 1 standby	2 operación + 1 standby	2 operación + 1 standby
Nivel de succion de las bombas	3,255 msnm.	3,259 msnm.	3,270 msnm.
Nivel de descarga	3,261 msnm.	3,332 msnm.	3,332 msnm.

Fuente: Elaboración propia

Herramienta de Cálculo

El análisis hidráulico se ha realizado mediante el software AFT Fathom v.9.0.

3.4.3.2 Parámetros de Operación de la Bomba

Los parámetros de operación para la selección de las bombas son los indicados en la Tabla 16.(Anexos B-4)

Tabla 16. Parámetros de operación de la bomba

Sistema de impulsión	Equipo	Condición	Flujo (m ³ /h)	ADT (mca)	Eficiencia η (%)	Potencia al eje KW (HP)
Poza Captación	S1-PU-001 A@C	2 operación + 1 standby	230.400	10.60	60.00	15.85
			288.800	12.00		(21.2)
			331.200	13.50		
Poza de Clarificación	S3-PU-003 A@C	2 operación + 1 standby	230.40	79.10	60.00	123.1
			288.40	79.70		(165.2)
			331.20	80.30		
Poza de Sedimentación de lodos	S2-PU-002 A@B	1 operación + 1 standby	187.20	73.40	60.00	94.6
			234.00	75.50		(126.9)
			269.10	77.50		

Fuente: Elaboración propia

- Poza de captación: Altura dinámica total 12 m.c.a. y potencia en el eje de la bomba 30 HP
- Poza de clarificación: Altura dinámica total 79.7 m.c.a. y potencia en el eje de la bomba 200HP
- Poza de sedimentación de lodos: Altura dinámica total 75.5 m.c.a. y potencia en el eje de la bomba 150 HP

3.4.3.3 Características de Operación de las Tuberías

Los parámetros de operación en las tuberías de las líneas de impulsión son las indicadas en la Tabla 17.

Tabla 17. Características de Operación de las Tuberías

Descripción	Material	Longitud** (m)	Diám. (pulg)	Flujo total (m ³ /h)	Velocidad (m/s)	Presión de operación	Presión nominal* (psig)
Poza Captación	SS Sch40S	2.00	10"	576.00	3.60	22.00	1570.00
	HDPE SDR 21	85.00	10"	576.00	2.00	22.00	100.00
	HDPE SDR 13.5	2.00	10"	288.00	2.20	122.60	160.00
Poza de Clarificación	SS Sch40S	2.00	16"	576.00	1.50	122.60	1570.00
	HDPE SDR 13.5	780.00	18"	576.00	1.50	122.60	160.00
Poza de Sedimentación de lodos	HDPE SDR 13.5	2.00	8"	234.00	2.40	116.60	160.00
lodos	SS Sch40S	2.00	10"	234.00	1.30	116.60	1570.00
	HDPE SDR 13.5	800.00	10"	234.00	1.50	116.60	160.00

Fuente: Elaboración propia

Notas:

* La presión nominal indicada corresponde a la presión de operación especificada por el fabricante de la tubería

* La longitud indicada es referencial, la longitud real de la tubería se muestra en los planos de tuberías del proyecto.

3.4.3.4 Presión máxima por Golpe de Ariete

Tabla 18. Presión Máxima por Golpe de Ariete

Presión Total	Hgolpe (m.c.a.)	ADT (m.c.a.)	P Max (m.c.a.)
Poza Captación	133.6	12.3	145.9
Poza de Clarificación	38.99	79.70	118.69
Poza de Sedimentación de	53.23	75.50	128.73

Fuente: Elaboración propia

Dado que la presión de trabajo (clase) de los accesorios y tubería superan la presión máxima, incluida la sobre presión por golpe de ariete, la línea de impulsión no requiere válvulas de alivio.

3.4.4 Proceso de Tratamiento Secuencial de Agua Ácida

- a) Poza de Captación
- b) Canal de mezcla y preparación de reactivos
 - ✓ Tanque de preparación de soda Cáustica
 - ✓ Tanque de preparación de coagulante
 - ✓ Tanque de preparación de floculante
 - ✓ Sistema de dosificación
- c) Pozas de sedimentación primaria y secundaria:
- d) Poza de clarificación o almacenamiento

Para mayor detalle revisar Anexo B-5.

3.5 Determinación de la Máxima Demanda de Energía Eléctrica de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida

Para el cálculo de la máxima demanda de energía eléctrica de la planta de tratamiento de agua ácida, se han considerado todas las cargas de los equipos eléctricos y sistemas de servicios auxiliares.

La demanda de potencia a considerar se muestra en la siguiente Tabla 19.

Tabla 19. Demanda Eléctrica PTAM.

Descripción	Tag	Potencia instalada (KW)	Máxima demanda (KVA)
Cargas en 460 Vac	PTAM	909.45	630

Fuente: Elaboración propia

El detalle de las cargas consideradas para la planta de tratamiento se detallada en el Anexo B-6.

Los resultados finales pueden variar cuando se adquieran los equipos, por tanto, se debe actualizar el presente documento con la información certificada del proveedor.

3.6 Elaboración de los Planos Básicos de la Planta de Tratamiento de Agua Ácida

1. Diagrama de procesos
2. Plano general de la planta de tratamiento
3. Plano de canal de mezcla y preparación de reactivos de la planta de tratamiento
4. Trazo de tuberías de línea de impulsión de planta de tratamiento
5. Sistema de bombas de planta de tratamiento
6. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de planta de tratamiento

Los planos se encuentran adjuntados en el Anexo B-7

3.7 Elaboración del Análisis Económico y Financieros de la Propuesta

De acuerdo con la información obtenida y generada en los párrafos anteriores, se pudieron determinar los costos de inversión de la planta de tratamiento donde se ha considerado las disciplinas mecánica, eléctrica, instrumentación y civil, la cual podrá operar a niveles de 576 m³/h de tratamiento de drenajes ácidos y realizar todos los procesos, como son: captación, neutralización y separación líquido/sólido hasta obtener las aguas de drenaje ácido de mina complementamente tratadas.

Al realizar esta estimación se consideró un costo por concepto de contingencia debido a los costos no previstos en este nivel de estudio, este costo representa el 10% de los costos de construcción. (Anexo B-8)

El detalle de la inversión se muestra en la Tabla 20

Tabla 20. Resumen del Estimado costo Capital.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Suministro	Instalación	Sub total (US\$)
				Precio parcial (US\$)	Precio parcial (US\$)	
1	Mecánica	1	GLB	647,638.81	366,204.26	1,013,843.07
2	Eléctrica	1	GLB	434,649.00	63,327.94	497,976.94
3	Instrumentación	1	GLB	54,460.32	36,995.87	91,456.19
4	Estructuras	1	GLB	0.00	36,521.93	36,521.93
5	Civil	1	GLB	341,724.50	243,299.38	585,023.88
Costo directo de construcción (CD)				1,478,472.63	746,349.38	2,224,822.01
Contingencia 10% (CC)						222,482.20
Gastos generales 25% (GG)						186,587.35
Utilidad, (U), 10%CD						222,482.20
Costo total de construcción (CT)						2,856,373.76

Fuente: Elaboración propia

Notas:

La precisión del presente CAPEX es del +/-5%.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Según Medina Quispe y su tesis, diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha Cerro de Pasco, utilizó el proceso HDS por ser eficiente y a su vez utilizó cal apagada para reducir costos en el tratamiento. En sus pruebas realizadas logro elevar y mantener un pH de 2.33 a 8.30 cumpliendo así los requerimientos de la normativa vigente; mientras que la presente tesis seleccionaremos un proceso similar que cumpla los requerimientos de la unidad minera y de la normativa vigente, de bajo costo en su implementación y en su tratamiento, que cumpla con 20% adicional en su capacidad para procesos futuros y que eleve un pH de 2.8 a 8.

4.2. Según Montesinos León, en su tesis caracterización de efluente de mina para elección de la alternativa optima de tratamiento, señala que para iniciar un diseño de tratamiento, primero se realiza una correcta caracterización del drenaje ácido de mina. Utilizó el método de neutralización secuencial por ser de menos costo al consumir menos reactivos; lo cual para esta tesis se realizó una matriz de selección de los procesos de tratamiento de las mismas, realizando una comparación a los siguientes parámetros: área de planta, proyección de planta, costos, eficiencia, mantenimiento, sostenibilidad y manejo operativo; asimismo se otorgó porcentaje de acuerdo al nivel importancia de cada uno de ellos. Siendo los más importantes el costo y la eficiencia de remoción alcanzando estos valores de 30% y 35% respectivamente. También, se evaluó el nivel

de satisfacción de cada parámetro, dándole una puntuación desde 0 a 10 puntos. Es así como al aplicar la matriz de selección se determina lo siguiente:

- La alternativa menos viable es la del método convencional, esto debido al bajo puntaje en proyección de la planta, sostenibilidad y manejo operativo.
- La alternativa HDS convencional también se hace poco viable respecto a la proyección de planta y costos de implementación debido a que se arriesgaría a que no se cumpla con los requerimiento y necesidades futuras de las operaciones.
- La alternativa HDS, podría ser la más viable por el área de planta, proyección de planta, eficiencia y remoción, mantenimiento, sostenibilidad y manejo operativo; a su vez presenta un punto importante en contra que sería el costo de su implementación.
- La alternativa secuencial es la más viable por su proyección de planta, mantenimiento, sostenibilidad y manejo operativo; si bien presenta dos puntos en contra, que serían la remoción, lo cual no cumple al 100%, pero el 75% es bastante aceptable. El otro punto en contra sería el área de planta, el cual no nos preocupa ya que contamos con un área superior a lo requerido para su implementación.

El proceso secuencial obtuvo un nivel de puntuación de 9.0 en comparación a las demás alternativas que obtuvieron una puntuación de 7.4, 5.6 y 4.2. Siendo este el más adecuado teniendo en cuenta los criterios con los que dispone y necesita la empresa.

4.3. Según Medina Quispe señalo que todo proceso debe contar con una poza de sedimentación antes de entrar al sistema de tratamiento de agua ácida, también indica que utilizara neutralización secuencial ya que utiliza menos reactivos los cuales redujera sus costos: para la presente tesis tomaremos en cuenta la recomendación de Medina colocando una poza de sedimentación antes del proceso de tratamiento, luego un canal de mezcla y preparación de reactivos, poza de sedimentación y poza de clarificación. A través de este circuito por el que circulara el agua ácida se le adicionarán agentes químicos como soda cáustica, coagulante floculantes. La planta tendrá una capacidad de tratamiento de 576 m³/h, en un sistema continuo de tratamiento, asimismo estará equipada con equipos, como bombas, tanques y otros, para elegir cada uno de estos equipos se ha tomado en consideración las condiciones en las que van a trabajar ya que

esto es un punto determinante para la selección adecuada de cada componente de la planta.

4.4. Cruz Perea y su tesis de diseño y modelamiento de una planta de tratamiento de agua ácidas en la unidad minera Iscaycruz, señala que su herramienta principal para para los cálculos de tuberías fue el Pipe Dimensión AFT FATHON 7.0, para determinar presiones, velocidades dentro de la tubería y los correctos parámetros para su funcionamiento; lo cual para nuestra tesis realizamos los cálculos con un software más actual AFT Fathom v.9.0 en lo que respecta a bombas y tuberías. Así mismo se ha hecho uso de fórmulas y ecuaciones determinadas en la especialidad de mecánica de fluidos, las cuales han sido incluidas en el desarrollo de esta investigación.

4.5. Según Ayala Rodríguez y su tesis de mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía minera, indica que para una buena evacuación de aguas es necesario un sistema de bombeo en serie ya que cumple con un 96% de eficiencia; lo cual para nuestra tesis utilizaremos el mismo sistema pero con mejoras en los cálculos de tubería para no perder presión disminuyendo los costos de suministro del sistema de impulsión que obedecen al diámetro y tamaño de la tubería según lo siguiente:

- A menor diámetro de la tubería y accesorios, el costo de suministro e instalación bajan.
- Al realizar un análisis o cálculo deficiente en las tuberías (perdidas de energía), genera que la selección de equipos sea de mayor potencia, aumentado los costos de suministro, montaje y operación correspondiente al consumo de energía.

4.6. Según varios autores de tesis como Montesinos León, Medina Quispe, otros, indican que el diseño de su planta de tratamiento de agua ácida debe ser de bajo costo pero no indican un monto exacto; lo cual para nuestra tesis y su instalación de la planta de tratamiento de agua ácida y su desarrollo del proyecto se ha considerado una inversión de US\$ 2.856.373.76, en los cuales está incluido la parte mecánica, eléctrica, instrumentación, estructuras y obras civiles. Además, se considera un costo de contingencia del 10% para algunos imprevistos como es el caso de aumento de costos de componentes en el tiempo, se prevé el 25% de gastos administrativos, oficina entre

otros. Con estos porcentajes de márgenes económicos se desprende no surgir contratiempos por falta de recursos económicos.

V. CONCLUSIONES

- 5.1.** La propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de mina, nos permitió ver y analizar la gran necesidad que tienen las unidades mineras en sus operaciones, debido a que el destino final de estas aguas son los ríos, para realizar este vertido de agua se debe cumplir con los Límites Máximos Permisibles especificados en la normativa peruana, con la finalidad de no contaminar y lograr así mejorar la responsabilidad social con la población y contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- 5.2.** El factor indiscutible al desarrollar el diseño de la planta de tratamiento de agua ácida, es el costo de la inversión (instalación y operación), ya que los recursos económicos es uno de los pilares con las que las empresas miden su rentabilidad. El segundo parámetro es el nivel de eficiencia y remoción; debido que las empresas apuntan a reducir la acidez y el porcentaje de metales pesados en sus efluentes con la finalidad de mejorar la calidad del efluente y cumplir con la normativa peruana vigente (Ministerio Nacional del Ambiente, 2010).
- 5.3.** Elegir los componentes adecuados para la instalación de una planta de tratamiento de agua ácida es determinante con la elección correcta de cada componente, garantizaremos cumplir con cada uno de los beneficios para la cual ha sido diseñada la planta, asimismo ayuda a reducir costos a futuro, ya que, al elegir un componente inadecuado, éste será reemplazado a corto tiempo por no cumplir su función o por falla mecánica.
- 5.4.** Teniendo en consideración de abalar los cálculos realizados para una adecuada selección de los equipos de bombeo usados en la impulsión de los efluentes, se utilizó el software AFT FATHON V.9.0, el cual nos brinda la confiabilidad, respecto a los cálculos básicos de diseño.

Con los resultados se determinará una adecuada selección de los equipos de bombeo. La velocidad del fluido en el interior de las tuberías está dentro de los valores recomendados en los criterios de diseño. Lo cual indica que el diámetro seleccionado de las tuberías es el adecuado.

Finalmente, para el funcionamiento de los sistemas de impulsión se utilizará lo siguiente:

- Sistema de impulsión de poza captación: dos (2) bombas en operación y una (1) en standby de tipo sumergible.
- Sistema de impulsión de poza de almacenamiento: dos (2) bombas en operación y una (1) en standby de tipo sumergible.
- Sistema de impulsión de líquidos con sólidos en suspensión: una (1) bomba en operación y una (1) bomba en standby, de tipo sumergible.

5.5. La captación de efluentes para su tratamiento y posterior vertido en el cuerpo colector, es un costo que no se contempla dentro del costo de inversión de la mayoría de proyectos, siendo el sistema de captación y posterior vertido parte vital del proceso y la razón de ser del mismo, es por ello que este trabajo incluye estos costos dentro del monto total de inversión, siendo US\$ 2,856,373.76 que contempla la adecuada selección de cada uno de los componentes.

VI. RECOMENDACIÓN

- En la selección de todos los equipos es importante utilizar los manuales técnicos de los fabricantes, esto nos asegura una acertada y correcta selección en menor tiempo.
- Capacitar al personal técnico de la planta sobre el manejo de los equipos, con la finalidad de asegurar la vida útil y la producción.
- El proveedor de los equipos de bombeo deberá seleccionar las bombas considerando las condiciones de sitio, la calidad del fluido y la elevación sobre el nivel del mar donde operará el equipo.
- La presión de operación de las tuberías obtenidas en los cálculos deberá estar por debajo de los valores de presión nominal de las mismas. Por lo cual las tuberías no presentarán problemas debido a la presión durante la operación.
- Monitoreo externo para garantizar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento

REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido de Mina Generación y Tratamiento*. Madrid.
- Ayala Rodriguez, Y. M. (2014). *Mejoramiento del Sistema de Bombeo para Evacuar Eficientemente de Aguas Subterráneas en Volcan Compañía Minera*. Huncayo.
- Azevedo Netto, Guillermo, & Acosta. (1975). *Manual de Hidraulica*. Sao Paulo.
- Camacho Cruzado, D. R. (2016). *Evaluacion del Sistema de Bombeo de Soluciones Cianuradas del PAD LQ8 para la Planta Columnas de Carbon en Minera Yanacocha*.
- CooperAcción. (2018). *Funcionamiento de la Minería en el Perú*. Obtenido de ritmo.org: <https://www.ritimo.org/El-funcionamiento-de-la-mineria-en-el-Peru>
- Cruz Perea, P. M. (2015). *Diseño y Modelamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas en la Unidad Minera Iscaycruz-Oyon*. Cerro de Pasco.
- Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado. (2016). *Diseño de un Sistema De Tratamiento para el Drenaje Acido de Mina Basado en el Proceso de Lodos de Alta Densidad (HDS)*.
- Flores Chávez, S., Zegarra Luna, E., & Tinoco Moleros, O. (2014). *Perú Patente n° 2014/041014 A2*.
- Grundfos. (2017). *Manual de Bombeo de Aguas*. Obtenido de magazines.grundfos: <http://magazines.grundfos.com/Grundfos/SU/ES/catalogo-domestico-bombas-grundfos-2017/?page=6>
- López Goicochea, J. W. (2013). *Tratamiento De Aguas Ácidas Provenientes del PAD de Lixiviación con NaOH-Almidón, en Cia Minera Sipán SAC*. Trujillo.
- López Pamo. (2002). *Tratamientos Pasivos de Drenajes Acidos de Mina: Estado Actual y Perspectivas de Futuro*. *Boletín Geológico y Minero*, 113 (1): 3-21.
- Marbello Pérez, R. (s.f.). *Bombas Hidraulicas Rotodinamicas. Teoria y Aplicaciones*. Medellín, Colombia.
- Medina Quispe, R. (2018). *Diseño y Operatividad de la Planta de Neutralizacion de Aguas Acidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcan S.A.A*. Ceero de Pasco.
- Ministerio Nacional del Ambiente, M. (2010). *D.S. N° 010-2010 MINAM*. lima: El perunao.
- Montesinos León. (2017). *Caracterización de Efluentes de Mina para Elección de la Alternativa Óptima de Tratamiento*. Lima.
- Moreno, Rimarachin Varas, & Huaranga. (2015). *Tratamiento de Aguas de Efluentes Minero-Metalúrgico Utilizando, Métodos Pasivos y Activos en Sistemas Experimentales*. Trujillo.
- Ojeda Chinchayán, C. M. (2012). *Diseño de un Sistema de Automatización Industrial para el Sistema de Bombeo de Aguas Acidas*. Lima.
- Pamo, L., Advire, & Baretino. (2002). *Tratamientos Pasivos de Drenajes Ácidos de Mina Estado Actual y Perspectiva de Futuro*. Madrid.
- Peru21. (2018). *Peru21*. Obtenido de <https://peru21.pe/economia/economia-peruana->

desacelera-crece-1-58-enero-nndc-465825

Rio Alto Mining. (2018). *Cierre de Minas*. Trujillo.

Zevallos Nancy. (2016). *Lineas de Impulsión*.

ANEXOS

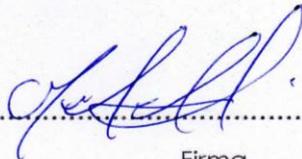
Yo, María Elisa Armas Alvarado
....., docente de la Facultad... de Ingeniería.....y
Escuela Profesional Ins. Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo Trujillo
(precisar filial o sede), revisor (a) de la tesis titulada

"Diseño de una planta de tratamiento de agua de mina para los
dringos de la S. de mina en el distrito de Huamachuco,
provincia de Sánchez Cerro."

del (de la) estudiante Alumado Melendez Jorge Luis y Benites Norma
Ricardo Manuel..... constato que la investigación tiene un índice de
similitud de 1.6% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las
coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la
tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas
por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha..... Trujillo, 20 de Diciembre de 2019



Firma
María Elisa Armas Alvarado
Nombres y apellidos del (de la) docente
DNI: 44073059

 <p>Revisó <u>Vicerrectorado de Investigación</u></p>	  <p>/Responsable del SAC</p>	 <p>Aprobó <u>Rectorado</u></p>
--	--	--

NOTA: Cualquier documento impreso diferente del original, y cualquier archivo electrónico que se encuentren fuera del campus Virtual Trilce serán considerados como COPIA NO CONTROLADA.



- Home icon
- Feedback icon
- 16 (Selected)
- Download icon
- Filter icon
- Download icon
- Info icon

Resumen de coincidencias

16 %

2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	Entregado a Escuela P... Trabajo del estudiante	1 %
4	Entregado a Tecsup Trabajo del estudiante	1 %
5	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
6	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
7	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
8	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo Ricardo Manuel Benites Horna....., identificado con DNI N° 71405361, egresado de la Escuela Profesional de Ing. Mecánica Eléctrica..... de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado " Diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de .. mina en el Distrito de Humachuco, Provincia de Sánchez Carrión....."; en el Repositorio institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....


FIRMA

DNI: 71405361

FECHA: 24 de... Diciembre... del 2019.

Revisó	Vicerrectorado de Investigación/ DEVAC /Responsable del SGC	Aprobó	Rectorado
--------	---	--------	-----------

NOTA: Cualquier documento impreso diferente del original, y cualquier archivo electrónico que se encuentren fuera del Campus Virtual Trilce serán considerados como COPIA NO CONTROLADA.