



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“TRATAMIENTO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA, POR ELECTRÓLISIS PARA LA REMOCION DE PLOMO, HUALGAYOC – CAJAMARCA 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniería de minas

Autor:

Bach: Terán Chilon José Abel

Asesor:

Mg ing. Vásquez Mendoza Oscar Arturo

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Esta tesis dedico a Dios y a mis padres. Por estar conmigo en cada paso que doy, dándome fortaleza para continuar con mis metas trazadas, en cada instante con la sabiduría de todos los días.

A mis padres.

A Rosario Terán Cueva, por que fuiste un padre ejemplar, un gran amigo quien as puesto toda tu confianza en mí y me guiaste para ser un a persona de bien cada día. A Domitila Chilon Huatay, quien me distes consejos cada día y por apoyarme en todo tiempo de mi carrera profesional que han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. depositando su entera confianza en cada reto que me ha presentado sin dudar ni un solo momento, en la inteligencia y capacidad, es por ello que he llegado a mi objetivo durante mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis es el resultado del esfuerzo de mis estudios. Y agradecer a Dios por haberme permitido llegar o alcanzar mis objetivos trazados, que me ha dado la salud y trabajo para culminar satisfactoriamente esta investigación.

A Mis Padres.

A Rosario Terán Cueva y a Domitila Chilon Huatay, quienes con su gran ejemplo de superación me inculcaron la formación profesional y ética.

A Mis Profesores.

A quienes les debo una gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un infinito agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como a mi persona, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

A mi Asesor:

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza, por impulsar temas de investigación quien fue mi sponsor durante la investigación haciendo los seguimientos respectivos de la investigación y por su tiempo dedicado para poder desarrollar esta tesis.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
ABSTRAC	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	57
CAPÍTULO III: RESULTADOS	69
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS	97
ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.Fases de la actividad minera y su impacto al ambiente:.....	18
Tabla 2.pasivos ambientales mineros:	20
Tabla 3.clasificación del drenaje de mina:	27
Tabla 4.Clasificación de drenajes de mina:	34
Tabla 5.Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas acidas.	37
Tabla 6.Ventajas y limitaciones del electrolisis.	47
Tabla 7.Modelo matricial para el experimento bifactorial.	58
Tabla 8.Niveles de las variables de estudio.	62
Tabla 9.Matriz de diseño experimental.	62
Tabla 10.características del lugar donde se tomó la muestra:	66
Tabla 11.Materiales en la ejecución de los ensayos de electrolisis.	69
Tabla 12.Densidad de corriente durante el método de electrolisis.	72
Tabla 13. Resultado de (pb)inicial de las aguas residuales.	72
Tabla 14.Información de análisis de laboratorio Universidad después del electrolisis.....	73
Tabla 15.Cálculo de remoción de Plomo(pb).	74
Tabla 16.Remoción del Plomo con sus dos variables (densidad de corriente y tiempo de retención).....	75
Tabla 17.Análisis ANVA.	76
Tabla 18.Sumatoria de ejes.....	77
Tabla 19.Consideración para los cálculos del proceso de electrolisis.	77
Tabla 20.Cálculos con sumatoria de cuadrados y comprobación de error.	78

Tabla 21. Tratamiento de las variables para la remoción de plomo.	79
Tabla 22. ANVA para la remoción del plomo.	80
Tabla 23. Valores según tabla de Fisher.	80
Tabla 24. Resultados de las hipótesis.	81
Tabla 25. Presencia de metales en la muestra del Drenaje Acido de Mina.	82
Tabla 26. Materiales en los ensayos de electrolisis.	84
Tabla 27. Remoción del Plomo, según los ensayos, con muestra Inicial y luego del proceso.	86
Tabla 28. Resultado de la remoción de Plomo (pb) después de los ensayos de electrolisis.	87
Tabla 29. Remoción del Plomo, en base a sus dos variables (tiempo de retención y la densidad de corriente).	88
Tabla 30. Cuadro del análisis de varianza para un diseño bifactorial para el proceso de electrolisis.	92
Tabla 31. Datos obtenidos de los volúmenes de gas producido por electrolisis.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. actividad minera y sus afectados:.....	22
figura 2. electrolisis en el agua. Método donde se basa el tratamiento de las aguas acidas.	44
figura 3. Esquematización de la migración de dichas especies cargadas durante el proceso del electrolisis.....	46
figura 4. Sistema experimental del electrólisis.....	48
figura 5. Diagrama de instalaciones experimentales a escala de laboratorio del electrólisis en el agua.....	49
figura 6. Presentación del área de electrodo a utilizar para los cálculos en el proceso de electrolisis.....	71

RESUMEN:

En esta investigación se estudió la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de retención, para realizar la remoción de Plomo del drenaje ácido de mina Cerro Corona Hualgayoc – Cajamarca.

Para ello se obtuvo 20 litros, de solución debidamente muestreado en diferentes puntos del establecimiento de la mina Cerro Corona.

se realizó utilizando 300 ML del DAM, esta fue sometida a diferentes densidades de corriente 10, 20 y 40 mA/cm² y en diferente tiempo de retención a 15, 30 y 60 minutos.

Al finalizar los 30 experimentos se logró una remoción del 97.55 % de plomo del drenaje ácido de mina, disminuyendo así la toxicidad. Los resultados del estudio concluyeron que la reducción del plomo a 30 minutos y 40 mA/cm², fue de 48.45% de plomo y a medida que siga aumentando, la remoción aumentará, es así que se llegó a obtener una remoción de 98.96% a un parámetro de trabajo de 60 minutos y 40 mA/cm². Asimismo, mediante el análisis ANVA se determinó que el tiempo de retención y la densidad de corriente afectan notablemente en el proceso de electrolisis para remover el plomo.

Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que la remoción de plomo por la influencia del tiempo de retención es de $F_0 = 72479.24$ es mayor a $F_0 = 3.16$, y la influencia de la densidad de corriente es de $F_0 = 4346.03$ es mayor a $F_0 = 3.16$, y con respecto a la influencia del tiempo de retención y la densidad de corriente es de $F_0 = 592.54$ es mayor a $F_0 = 2.46$, obtenido de manera tabular. Esto confirma la

aceptación de la hipótesis alterna, asimismo el tiempo de retención y la densidad de corriente de manera individual y en conjunto si afectan significativamente la remoción del plomo.

Manejando esta técnica de electrolisis se puede remover la toxicidad del drenaje acido de mina, cerro corona ya que está calificado como muy alto riesgo para la salud humana, por parte del Ministerio de Energía y Minas. Es por ello que, con estas demostraciones se puede optar por utilizar la electrolisis como una tecnología limpia y como una alternativa para tratar aguas acidas y realizar un cierre de minas exitoso, ayudando así que los conflictos sociales en nuestra región desaparezcan y mejorar como provincia.

Palabras clave: Drenaje, Acido ,de Mina, método, electrolisis.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN.

Según (EM, 2012). Con el fin de proteger el medio ambiente de las descargas de agua contaminada proveniente de la extracción y refinación de los minerales pesados que se realizan es necesario que las empresas implementen un programa eficaz de monitoreo de la calidad del agua. Este programa debe incluir tanto el monitoreo de las descargas de aguas acidas en el medio ambiente como el monitoreo de las aguas receptoras.

Según. (Quijada CH, 2015) menciona que: “A marzo del 2015, se han registrado 8616 pasivos ambientales mineros –en adelante PAMs- en el país, donde el 50% de ellos son altamente riesgosos. La información que se tiene sobre estos pasivos es muy limitada, y no hay un registro ni instrumentos para el manejo de los pasivos de la pequeña minería y minería artesanal. Por ende, la pronta remediación de los PAMs existentes y la no generación de nuevos PAMs resultan absolutamente necesarias, por cuanto nos encontramos transitando entre PAMs que contienen sustancias tóxicas y bioacumulables (efectos adversos a largo plazo) hacia PAMs que, además, podrían contener o generar sustancias letales (efectos adversos a muy corto plazo).

En todos los inventarios que ha ejecutado el MEM, para precisar el número de PAM, Cajamarca ocupa uno de los principales lugares. En esta región destacan los PAM de Hualgayoc.

Hay más de 970 PAM que afectan a los ríos, Hualgayoc-Arascorgue, Llaucano y a más de 20 mil personas. Se ha precisado que los PAM del Estado son 177 y los PAM del sector

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

privado, 797. Lo que se conoce como el Dorado de Hualgayoc, son cinco depósitos de relaves (ex Banco Minero del Perú). Estos relaves están expuestos a erosión por vientos, lluvias y escorrentías. Son fuentes de contaminación de los lechos de los ríos. El Estado ha priorizado la remediación de 119 PAM por la gravedad que revisten y por la protesta continua de los pobladores. (Gianni , 2013)

Desde 1987 en los Estados Unidos de Norteamérica se han aplicado técnicas de electrolisis a nivel comercial para restaurar suelos contaminados con compuestos orgánicos e inorgánicos (residuos peligrosos y radioactivos, metales, solventes, entre otros), así mismo se han realizado demostraciones a nivel piloto y de campo para determinar la efectividad de la técnica” (Pérez, 2007), actualmente en Estados Unidos de Norteamérica y Europa existen compañías que ofrecen en sus portafolios como remediación de suelos contaminados. Como hace mención “En los siguientes ejemplos se muestra el potencial de la tecnología de Electrolis para remover diversos tipos de contaminantes:

(David, 2007) hace mención tres estudios que reportan lo siguiente. • ” En 1995 Geokinetics International Inc. reportó la remediación de un sitio de 213 m² y 1 m de profundidad, contaminado con cadmio, cobre, níquel, plomo y Zinc, en 18 meses de electrolisis obteniendo eficiencias diferenciadas para cada elemento (desde 75 % para el cobre hasta 99 % para el plomo) con un costo desde 300 hasta 500 dólares por yarda cúbica.

El planteamiento de Carlos (Melendez, 2012) más los hechos que están ocurriendo en Hualgayoc demuestran que la remediación de los PAM y la solución de los conflictos

sociales en esa provincia presentan muchas y complejas dificultades. Según Marita Chappuis² el Estado frente a la remediación de los PAM debe hacer lo siguiente:

Hacer un control de la calidad de agua constante, para el uso de los pobladores ya sea en agricultura y en la ganadería con la remediación del método de electrolisis en función de las aguas ácidas de mina.

En 1996 se realizó una demostración de extracción de plomo de un campo de pruebas balísticas de la armada norteamericana. Los resultados mostraron una disminución del nivel de contaminación de 4500 mg/Kg a menos de 300 mg/Kg de plomo en 30 semanas de operación.

Sin embargo, según Pérez, (2007) hace mención que: “El concepto de electrolisis de aguas ácidas es aparentemente simple, sin embargo, al encontrarse involucrados diversos procesos fisicoquímicos, así como características del suelo se eleva la complejidad de la técnica. Se han desarrollado técnicas mejoradas para aumentar la eficiencia de la tecnología. Las mejoras se enfocan en el control del pH para mantener los contaminantes en solución, en utilizar materiales y arreglos de electrodos adecuados para cada caso, en facilitar la desorción de los contaminantes del agua y en el acoplamiento de biotecnologías en el caso de contaminantes orgánicos, que ayuden a la degradación de los mismos. La electrolisis tiene un gran potencial para descontaminar diversos tipos de aguas ácidas. Aunque en diversos estudios, tanto de laboratorio como de campo se han obtenido buenos resultados, todavía es necesario avanzar en las investigaciones para tener un mejor entendimiento de los fenómenos de transporte involucrados. De esta manera se podrán

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

desarrollar en el futuro mejores técnicas híbridas que aprovechen las capacidades del electrólisis y obtener altas eficiencias de remoción en campo”.

A. Industria Minera:

La minería es una actividad primordial para el crecimiento del Perú Cajamarca. Que contribuye una medida de desarrollo, para el país Según un reciente estudio del Instituto Peruano de Economía.

(IPE, 2012). cerrará con la cifra récord de más de US\$ 9,000 millones, en lo que a inversiones mineras se refiere. Esto, sumado al impacto positivo de la minería en sectores como la metalmecánica, agricultura, ganadería, pesca, informática y comunicaciones, entre otros, demuestra la importancia de este sector para el crecimiento del país.). De acuerdo con información de la Dirección General de Minas, la industria minera nacional es mayoritariamente metálica, y se dedica principalmente a la producción de oro, cobre, zinc, plata y plomo. Debido al desarrollo y modernización en los procesos de extracción y procesamiento de los recursos minerales, así como a la generación de grandes cantidades de residuos provenientes de sus procesos, la industria minera en Perú – Cajamarca ha generado por décadas una gran cantidad de desechos y sitios contaminados a lo largo de todo el país.

Sin lugar a dudas, la minería en el Perú ha logrado tal posicionamiento gracias al arduo trabajo de peruanos como don Alberto Benavides de la Quintana –fundador de Compañía de Minas Buenaventura y propulsor de la minería peruana– quienes con su excepcional

trabajo y dedicación han llevado a Perú a ubicarse entre los primeros productores mundiales de oro, plata y cobre, entre otros metales.

Los drenajes ácidos de la minería metálica son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el Perú, y el mundo, debido que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo.

La generación del drenaje ácido de mina (DAM) y los botaderos de desmonte es un problema en los yacimientos polimetálicos peruanos, perjudican severamente la vida acuática de los ríos y la ecología de su entorno de la flora fauna y seres humanos. Causan conflictos sociales con las empresas mineras que están en explotación, también a los proyectos mineros nuevos, vale decir la actividad minera es mal vista y rechazada. (zevallos, 2016)

Una vez generado el drenaje ácido de mina es difícil y costoso su control, los efectos son a largo plazo, aún a perpetuidad, y afectarán, tanto al uso de aguas superficiales, debido por sus propiedades tóxicas sobre la fauna acuática como a las fuentes de aguas subterráneas debido a la migración de los lixiviados tóxicos. La minería es una de las actividades industriales en la que se utiliza el agua de manera racional. Por un lado, emplea el agua en sus operaciones y, asimismo, en sus excavaciones genera ciertos volúmenes de agua fundamentalmente por infiltración de los acuíferos interceptados y de las aguas superficiales. Los drenajes ácidos son tóxicos en diversos grados para el hombre, la fauna y la vegetación contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos

solubles e insolubles, que generalmente proceden de antiguas labores mineras, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y relavaras de mina. (zevallos, 2016)

La contaminación del agua de mina se debe en general a la introducción de sustancias o de ciertas formas de energía como el calor, que provocan cambios en sus características físicas y químicas.

La acidificación de las aguas de mina crea numerosos problemas, ya que en contacto con el aire producen la oxidación química y biológica de los sulfuros, dando como resultado el incremento de la acidez en el medio. La presencia de aguas ácidas va asociada a explotaciones de sulfuros complejos y la minería del PB y carbón con altos contenidos de pirita, no sólo las minas en actividad pueden provocar efluentes ácidos sino también las explotaciones clausuradas, tanto si son a cielo abierto o subterránea. Estos efluentes afectan al medio físico y la salud humana.

Aun así, ciertos residuos, comúnmente llamados relaves, se encuentran a la intemperie (mezclándose con las aguas) o en el mejor de los casos en unas canchas dispuestas para la recepción de estos materiales. Estos depósitos antiguos, a lo largo de los años terminan cediendo por su pobre o mal diseño y de igual manera terminan contaminando las aguas y los suelos de la zona de impacto aledañas a estos botaderos. Las aguas contaminadas vienen cargadas de una elevada acidez, metales pesados del (pb), sustancias tóxicas y múltiples bacterias y organismos que hacen las fuentes acuosas resultantes no sean aptas para el uso en la ganadería o agricultura (principalmente fuentes económicas de los pobladores en zonas de impacto) y mucho menos para el consumo humano al entrar los

relaves sulfurosos, en contacto con las fuentes acuosas del medio, se producen reacciones de oxidación rápidas que aumentan la acidez del agua y provocan una contaminación fuerte.

La problemática actual del DAM se concentra principalmente en las minas que ya cerraron sus operaciones, las cuales dejaron grandes cantidades de relaves y desechos mezclados con el medio ambiente. (zevallos, 2016)

Formulación del problema

¿De qué manera influye la electrolisis en función de la densidad de corriente y el tiempo de retención, para la remoción de Plomo (Pb) en el tratamiento de aguas ácidas de cerro corona provincia de Hualgayoc – Departamento de Cajamarca?

Objetivos

.1.1. Objetivo general

- Evaluar la remoción de Plomo (Pb), en el tratamiento de drenaje ácido de mina cerro corona, en función de la densidad de corriente y el tiempo de retención por electrolisis.

.1.1. Objetivos específicos

- Determinar el rango de la densidad de corriente para la remoción del Plomo por electrolisis.
- Determinar el rango de tiempo de retención para la remoción del Plomo por electrolisis.

.1. Hipótesis

.1.1. Hipótesis general

- A medida que se incrementa la densidad de corriente y el tiempo de retención, en el tratamiento de drenaje ácido de mina de Cerro Corona, disminuye la concentración del Plomo (Pb).

.1.1. Hipótesis específicas

- Las características físico químicas de las aguas que existe alrededor de la provincia de Hualgayoc, son diferentes a los drenes de agua de mina generadas por los sistemas de explotación de minerales polimetálicos de la mina Cerro Corona.
- Los elementos que permiten la formación de aguas ácidas de mina son los sulfatos, nutrientes y metales pesados disueltos, relación de la actividad minera y su impacto al ambiente:
- La relación de la minería con respecto al impacto con el medio ambiente se detalla de la siguiente manera:

Tabla 1. Fases de la actividad minera y su impacto al ambiente:

Fase	Descripción	Impacto ambiental
Exploración	Obras y perforaciones y Barrenacion	Dstrucción de la vegetación
Explotación	Obras diversas: tiros, socavones, patios para depósito de minerales, zonas para descarga de materiales	Operación de presas de jales: arrastre de residuos peligrosos; descarga de aguas residuales, relaves.
Beneficio	Concentración, trituración y molienda, tratamientos previos	Generación de ruido, vibración y emisión de polvo.
Fundición y refinación	Obtención de metales y sus aleaciones (uso de hornos industriales)	Emisiones a la atmosfera, residuos peligrosos y aguas residuales

Fuente (MEN, 2008)

(Gianni , 2013) que en la provincia de Hualgayoc-Cajamarca, con respecto a los pasivos ambientales por los drenajes de las aguas acidas, producidas por la minería Cerro Corona.

El Estado ha priorizado la remediación de 119 PAM por la gravedad que revisten y por la protesta continua de los pobladores, Se ha intentado remediar los PAM con la implementación de proyectos como El Dorado y La Tahona, también con la Planta de Tratamiento de aguas ácidas de la quebrada de El Sin chao. Resultan intentos minúsculos al lado de la colosal magnitud de los PAM en Hualgayoc.

(MEM, 2013): Mediante Resolución Ministerial N° 430-2013-MEM/DM (04 de octubre de 2013) se actualiza el inventario inicial de pasivos ambientales mineros, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM. Las cifras son poco menos que aterradoras,

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

el Ministerio de Energía y Minas ha identificado y reconocido la existencia de 8206 pasivos ambientales en todo el país, de los cuales 1020 se encuentran ubicados en el departamento de Cajamarca.

Como indica el (Ministerio de Energía y Minas , 2004) hace mención: “Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.” Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas de la república del Perú a través de su página web, menciona y detalla los pasivos ambientales minero, con sus coordenadas, titular minero, concesión, y estado actual de dichos entes, así como podemos apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2.pasivos ambientales mineros:

Nº	Id	Pasivo Ambiental Minero	Tipo	Subtipo	Cuenca	Provincia	Distrito	Coordenadas		Zona	Datum	Código Derecho Minero	Nombre del Derecho Minero	Nombre del Titular del Derecho Minero	Nombre del Responsable del Pasivo	Estudios Ambientales
								Este	Norte							
CAJAMARCA																
2955	6819	OLORTEGUI (LLAUCANO)	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	LLAUCANO	HUALGAYOC	HUALGAYOC	765,243	9,252,904	17	PSAD56	03000374X01 010009372U 010236794	NEPTUNO SAN AGUSTIN Nº1 SAN JOSE Nº 1	COMPAÑIA MINERA COLQUIRILMI S.A. CONSOLIDADA DE HUALGAYOC S.A. GOLD FIELDS LA CIMA S.A.A. VIDALON PAREJA, JAIME DAVID	No identificado	Ninguno
2956	13022	PAREDONES	INFRAESTRUCTURA	PLANTAS DE PROCESAMIENTO	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,673	9,205,085	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2957	13050	PAREDONES	LABOR MINERA	BOCAMINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	741,738	9,204,432	17	PSAD56	010273204 060002396	LUMINOSA NUMERO 2A SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. INCOGNITA 2005 TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2958	13024	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,809	9,205,148	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2959	13025	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	741,123	9,204,764	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060002396	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2960	13026	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	741,308	9,204,502	17	PSAD56	010071904 010163405 010273204 03002138X01 060002396	ANA BEBE V LUMINOSA 2005 A LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL-3 SAN BERNARDINO TRES	CASTRO CASTRO, FLAVIO CISNEROS GONZALES, JOSE CARLOS JESUS GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TEJEDA MOSCOSO, JORGE HECTOR FRANCISCO TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2961	13027	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	741,166	9,204,566	17	PSAD56	010273204 060002396	LUMINOSA NUMERO 2A SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. INCOGNITA 2005 TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2962	13028	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	741,658	9,204,464	17	PSAD56	010273204 060002396	LUMINOSA NUMERO 2A SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. INCOGNITA 2005 TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2963	13029	PAREDONES	INFRAESTRUCTURA	CAMPAMENTO S, OFICINAS, TALLERES	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,814	9,205,051	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2964	13030	PAREDONES	INFRAESTRUCTURA		JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,660	9,205,133	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2965	13031	PAREDONES	RESIDUO MINERO	RELAVES	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,567	9,205,045	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GADNA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2966	13032	PAREDONES	RESIDUO MINERO	RELAVES	JEQUETEPEQUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,342	9,204,545	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060003195	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 OCCIDENTAL CUATRO	S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno

Fuente: (Ventanilla virtual de Energuia y Minas, 2015)

Al año 2018, Activos Mineros, desarrolla la remediación y/o el mantenimiento post cierre de 1,067 pasivos ambientales mineros encargados por el Ministerio de Energía y Minas desde octubre del año 2006. (Energía y Minas, 2015)

Los pasivos ambientales mineros en proceso de remediación se encuentran agrupados en proyectos, distribuidos en siete regiones del país: Cajamarca, Áncash, Pasco, Junín, Lima, Huancavelica y Puno. (Energía y Minas, 2015)

Estos pasivos ambientales están constituidos, principalmente, por relaveras, desmonteras, bocaminas, e instalaciones abandonadas de actividades mineras realizadas por empresas del Estado (CENTROMIN PERÚ, Banco Minero, etc.) y empresas privadas que abandonaron labores y sus titulares no fueron identificados, con la vigencia de la norma de pasivos ambientales, fueron calificados como pasivos huérfanos por el MINEM. (MEM, 2018)

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Figura 1. actividad minera y sus afectados:



Exploración
 Explotación
 Beneficio
 Fundición y refinación



Infraestructura
 Residuos
 Químicos



Salud humana
 (Población)
 Ecosistema
 Propiedad

Afectados

Fuente: elaboración del investigador.

Características de los pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca:

(PEASE, LEY N° 28271 Artículo 2°), Ley que regula los pasivos ambientales de la Actividad Minera define los pasivos ambientales como: aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad; señala también la ley que el Ministerio de Energía y Minas identificará a los responsables de las operaciones mineras que abandonaron depósitos de residuos, labores o instalaciones mineras, generando pasivos ambientales en sus diversas modalidades y que el Estado solo asume la tarea de remediación por aquellos pasivos cuyos responsables no pueden ser identificados.

Como indica Grufides, (2015) hace mención. “Si analizamos las características de los pasivos ambientales de la región Cajamarca, podemos observar que la mayoría de los pasivos son, o bien bocaminas (449) o desmontes de minas (376), en menor medida hay trincheras, tajos, relaves, chimeneas, campamentos y oficinas y otros.”

(ley que regula pasivos ambientales, ELarticulo 8° de la ley N° 28271)–Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, modificado mediante Ley N° 28526– restringe la intervención de los gobiernos regionales a efectuar labores de fiscalización y control del cumplimiento de las obligaciones asumidas por los responsables del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales, conforme al procedimiento establecido en la Ley de Bases de la Descentralización y en la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales; es decir, los Gobiernos Regionales no pueden

intervenir en la identificación de pasivos ambientales o de sus responsables y, mucho menos, realizar acciones de remediación; puesto que, esas son funciones asignadas al todopoderoso Gobierno Central que, dadas las cifras lamentables, ha demostrado una gran incapacidad para asumir sus competencias

Según Diamire, (2014) que los relaves mineros: “Son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y roca. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en "tanques o pozas de relaves" donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada”

Como menciona Minas, Publicaciones DGAAM, (2010). Se definen como el deshecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo. Note que esta definición excluye otras formas de desechos mineros producidos en forma sólida.”

Estos relaves mineros se depositan en depósitos y en los suelos contaminados por todo el metal pesado. Como un infértil, pero se puede recuperar y aprovecharlo del plomo de los relaves mineros en cerro corana Hualgayoc-Cajamarca.

La etapa de concentración es en donde llega el material volado para ser procesado y dispuesto para aprovechar el material con ley valiosa y desechar el relave o material sin valor económico, nulo o despreciable. Al momento de desechar y depositar los residuos, estos aún contienen cierto grado de ley no aprovechable de mineral sulfuroso (productos finales no procesables con leyes mínimas) (LIN 2013)

Los relaves tienen características propias provenientes de la misma geología de los yacimientos minerales de una determinada zona de la mina. Por lo tanto, presentan diversidades mineralógicas y por ende diversas respuestas a los procesos de oxidación que generarán drenajes ácidos con intensidad y velocidad variable, dependiendo de los minerales contenidos. Los residuos dejados por las operaciones de concentración de minerales, principalmente flotación, pueden entrar en contacto con los medios naturales de agua y aire, ya sea a través de mezclas del agua usada para los procesos de concentración o a través de los relaves depositados en las canchas o relaveras de las minas en operación o ya cerradas / abandonadas. Estos residuos o relaves al reaccionar con el medio ambiente natural desencadenarán reacciones de oxidación y producirán también el fenómeno de drenaje ácido de mina (DAM), contaminando las aguas próximas a estos botaderos (LIN, 2013)

El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. El drenaje de la minería ácida (DAM) es esencialmente el mismo proceso, solo que magnificado. Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acides, un tipo de bacteria común llamada “*Tiobacillus Ferroxidante*”, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación,

lixiviando aún más los residuos de metales de desecho. El ácido lixiviara la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuara hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible (LIN 2013)

La contaminación de las aguas por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutral, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de la minería.

El desarrollo minero perturba el suelo y las rocas en el transcurso de la construcción y mantenimiento de caminos, basureros y excavaciones a la intemperie. Por la ausencia de prevenciones adecuadas y estrategias de control, la erosión de la tierra expuesta puede transportar una gran cantidad de sedimentación a arroyos, ríos y lagos. La sedimentación excesiva puede obstruir riveras, la delicada vegetación de estas y el hábitat para la fauna y organismos acuáticos. La caracterización de las aguas acidas precisa del drenaje acido de mina.es muy importante para el tratamiento de acidez en el agua con el tiempo de retención y remoción del plomo(Pb).

Tal como indica en los tratamientos pasivos de drenaje ácido de mina: el boletín geológico minero ,113(1):3-216.para una caracterización adecuada se debe incluir el caudal respectivo del agua.

La acidez y la electrolisis como una medida de reducción del plomo en el agua son parámetros en selección del tratamiento del pasivo básico representa la cantidad de las aguas para tratar una cantidad una base o un ácido.

Tabla 3. clasificación del drenaje de Mina:

Categorías	Descripción	Rango de acidez en el agua
1	Muy ácido	Acidez neta mayor que 300mg/L
2	Modernamente ácido	$100 \leq \text{acidez neta} \leq 300$ mg/L
3	Debidamente ácido	$0 \leq \text{acidez neta} < 100$ mg/L
4	Debidamente alcalino	Alcalinidad neta < 80 mg/L
5	Fuertemente alcalino	Alcalinidad neta ≥ 80 mg/L

Fuente: (hugo , 2015)

La contaminación por metales pesados en la actualidad es uno de los principales problemas principalmente por el efecto negativo que se presenta en el agua, suelo, sedimento, aire, vegetación, animales y salud humana.

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la contaminación por metales pesados en el medio ambiente y el impacto que representan para los ecosistemas. El medio ambiente acuático abarca una amplia variedad de parámetros y prácticamente todos ellos influyen sobre el tratamiento de las aguas contaminadas por los metales pesados del plomo (Pb), siendo

contaminantes para el crecimiento y la reproducción de los peces. Si estos factores se alteran más allá de los límites aceptables pueden predisponer e incluso causarles alguna enfermedad. (González-Dávila , 2012)

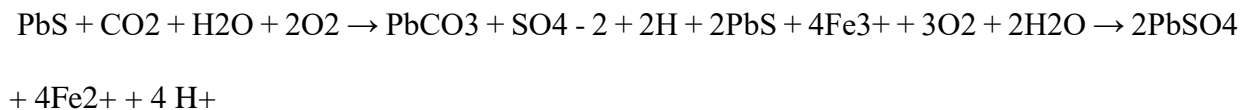
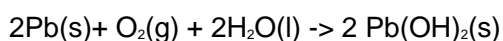
Muchos de los metales que tienen una densidad alta no son especialmente tóxicos y muchos son esenciales en el ser humano, independientemente de que a determinadas concentraciones pueden ser tóxicos. Sin embargo, hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de metales pesados. Debido a su toxicidad, larga persistencia, sus propiedades de bioacumulación y no biodegradabilidad en la cadena alimenticia, los metales pesados constituyen un grupo importante de contaminantes (González-Dávila , 2012)

Así mismo, los niveles de metales pesados en el agua se han incrementado por actividades mineras, industriales, por lo que es importante que sus presencias en el medio acuático sean monitoreadas para verificar la calidad del agua, salud animal y proteger la salud humana ya que los peces son importante fuente de alimentación. Los metales pesados se introducen en el ecosistema acuático tales como ríos, presas, lagos y mares por un gran número de formas. Ellos pueden ser acumulados por los organismos acuáticos tales como peces y mejillones provocando un riesgo en los ecosistemas y organismos. (González-Dávila , 2012)

El plomo (Pb) es un metal pesado de color blanco azulado, con tendencia al gris plateado, de alta densidad (11.35 g/cm³). En estado puro es blando y maleable, poco dúctil y mal conductor de la electricidad. Como muchos metales, en ambientes húmedos se recubre de una capa de óxido. Su número atómico es 207.2, su punto de fusión es 327.4 °C y el de ebullición es 1 740 °C. (4,22)

“El plomo se encuentra presente en un gran número de minerales, siendo la forma más común el sulfuro de plomo (galena: PbS). También son comunes, aunque en orden decreciente, la cerusita (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄). El plomo es un metal difícilmente movilizable, y bajo condiciones oxidantes la galena da origen a minerales tales como la cerusita y anglesita:

En condiciones normales el plomo no reacciona con el agua. Sin embargo, cuando el plomo se pone en contacto con aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta. En la superficie del metal se forma una pequeña capa de óxido de plomo (Pb); en presencia de oxígeno y agua, el plomo metálico se convierte en hidróxido de plomo (Pb(OH)₂):



Así, el principal riesgo relacionado con la minería del plomo no radica en la posible puesta en solución de este metal (precipita rápidamente como carbonato o sulfato), sino en lo que concierne a los tratamientos del plomo en el agua, (compuestos minerales) de plomo (fundiciones). Cabe destacar que el problema con el plomo no es nuevo (ni siquiera de comienzos de la revolución industrial).

El mineral más común es el sulfuro (la galena), los otros minerales de importancia comercial son el carbonato (cerusita) y el sulfato (anglesita) que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Los minerales comerciales pueden contener poco plomo (alrededor del 3 %), pero lo más común es un contenido de poco más o menos el 10 %. Los

minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40 % o más antes de fundirse.
(universidad catolica, 2010)

En los años 90 se constató en la ciudad de Antofagasta (Chile) que había niños que presentaban altos contenidos de plomo en la sangre. La fuente del problema pudo ser determinada, y eran minerales y concentrados de plomo que se acumulaban sin protección en las instalaciones portuarias (pertenecientes a Bolivia), para su posterior envío. Esto nos lleva a encaminar nuestra mirada no solo a las fundiciones, sino también a las zonas donde se acumulan minerales o concentrados de plomo (F, 2001)

(fundacion , 2012). Si la electrolisis, se clasifican según el tipo de tratamiento, los tratamientos biológicos usan la actividad metabólica natural de ciertos microorganismos para degradar, transformar o remover los contaminantes, los tratamientos fisicoquímicos logran la separación, contención o destrucción de contaminantes en el medio aprovechando las propiedades físicas y químicas de ellos y los tratamientos térmicos utilizan altas temperaturas para descomponer, volatilizar o fundir los contaminantes.

Finalmente, si se clasifica según el grado de desarrollo, las tecnologías tradicionales se refieren a las que son comúnmente usadas a gran escala y cuyos costos y accesos son relativamente fáciles. Las tecnologías innovadoras involucran a las que se encuentran recientemente propuestas o en etapas de investigación.

En la actualidad el desarrollo y la creación de nuevas tecnologías de tratamiento de las aguas acidas, principalmente para las aguas de influencia minera, es de gran interés.

(fundacion , 2012). Existe una gran variedad de tecnologías de tratamientos, las cuales se pueden clasificar bajo distintos criterios: objetivo del tratamiento, lugar en que se aplica el proceso de

tratamiento y tipo utilizado. Además de los criterios anteriores, también pueden clasificarse en base al grado de desarrollo técnico en el que se encuentran.

(volque, 2012) Las tecnologías y los sistemas para el tratamiento de agua de minas son cada vez más complejos. Las empresas destinan inversiones para optimizar uno de sus recursos más valiosos, el agua. Es sabido que el tratamiento adecuado del agua procedente de los relaves mineros, dependerá del contexto y balance hídrico de la mina. En esta línea, cabe mencionar que los relaves mineros concentran una cantidad considerable de agua y si la mina se ubica en una zona con deficiencia del recurso, las soluciones deben orientarse a recuperar y reutilizar la mayor cantidad del agua presente en el relave.

Según (Ramirez , 2015) la electrolisis es una tecnología para tratar la acidez del agua contaminada que se basa en la generación de un campo eléctrico a partir de imponer corriente directa. Para la aplicación de una diferencia de potencial, o una corriente directa el empleo de electrodos (ánodos cátodos), los cuales son colocados en pozos de agua, usualmente estos se humectan con un electrolito para mejorar las condiciones de conducción del campo eléctrico. La acción del electrolisis permite transportar el contaminante hacia los pozos en donde será extraído. Al contrario del del arrastre de fluidos, esta técnica permite establecer una migración dirigida, la cual evita la dispersión del contaminante fuera de la zona de tratamiento. ya sea en estudios de laboratorio, a nivel piloto y de campo, sin embargo, su principal aplicación en las aguas contaminadas con metales, para remover elementos como: cromo, cadmio, mercurio, plomo, manganeso, Zinc y Arsénico.” En nuestro estudio lo utilizaremos para la remoción de plomo.”

Clasificación de tecnologías el tratamiento de aguas acidas según al lugar donde se va a realizar:

Según el (congresos de EM, 2012) En términos generales las tecnologías tratamiento de las aguas subterráneas abarcan todas aquellas operaciones que tienen por objetivo reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante, mediante la sustancia peligrosa o del medio, a través de acciones químicas, físicas o biológicas. La elección de cada tecnología depende del tratamiento y del contaminante, de la eficacia esperada y por supuesto de la factibilidad técnico-económica y el tiempo requerido para su ejecución.

Según Ríus (2011). En la actualidad se dispone de un amplio abanico de tecnologías para el tratamiento de las aguas contaminadas, algunas de aplicación habitual y otras todavía en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos. Su aplicación depende de las características del agua y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo, Según la forma en la que se apliquen las técnicas de aplicación del electrolisis se habla de tratamientos in situ, que actúan sobre el agua.

La velocidad de reacción depende de numerosas variables, como:

- pH y temperatura, del agua y ambiente
- tipo de mineral sulfuroso y superficie expuesta
- concentración de oxígeno • agentes catalíticos y actividad química del hierro férrico
- energía de actuación química requerida para que se inicie la reacción
- presencia de Thiobacillus ferrooxidans u otras bacterias, que actúan como catalizadoras

Sobre algunas de estas variables se puede actuar, para reducir dichas aguas ácidas. El problema se plantea, muchas veces, cuando sobre una explotación minera subterránea se implanta una a cielo abierto, que es colectora de aguas de escorrentía, las cuales se introducen en la mina; este ha sido el caso, de la mina cerro corona que en su gran mayoría las aguas que están alrededor de la mina son contaminadas por los metales pesados como el plomo(Pb), esto afectaría en un 80% de la población que está expuesta a las aguas que utilizan para su consumo diario.

En ocasiones, las generaciones de aguas ácidas muestran fluctuaciones estrechamente ligadas a los ciclos de lluvias como ha sido puesto de manifiesto en la mina de cobalto cuprífero, por término medio, cerca del 75% de la descarga de metales pesados, tiene lugar en los meses de abril y mayo. LA acidez, con el descenso del pH del agua, tiene las siguientes consecuencias principales, el agua se hace fuertemente corrosiva la solubilidad de muchos metales pesados aumenta, con lo que las aguas llegan a ser tóxicas. El ecosistema fluvial se degrada, hasta ser incapaz de mantener muchas formas de vida acuática, y los sistemas acuíferos se contaminan.

(verdejo , 2010) Cuando existe riesgo de generación de aguas ácidas, con el fin de eliminar o, al menos, minimizar su aparición, deberían tenerse en cuenta los siguientes criterios gestión del riesgo:

- Prevenir y minimizar la generación de aguas ácidas: Planificar adecuadamente la actividad y su entorno, caracterizando los posibles efluentes (sistemáticos o accidentales), así como sus efectos sobre el medio.
- Detectar y caracterizar (caudales y concentraciones), tanto posibles focos generadores de contaminación (equipos o actividades), como puntos de vertido (continuo o accidental)

- Actuar con rapidez y eficacia en la construcción de barreras.
- Concentrar los efluentes y aislarlos del entorno.
- Controlar la red hidráulica del entorno de forma continua, espacio-temporal, de acuerdo con valores guía.
- Realizar el tratamiento de las aguas ácidas (caso de producirse).
- Regenerar el medio.
- Cuantificar los efectos.

La prevención de la contaminación derivada de las actividades mineras se relaciona, estrechamente, con los métodos de explotación, el aporte de aguas (superficiales y subterráneas) y el tratamiento de las mismas.

Con respecto a las formas de actuar, cabe distinguir aquellas acciones que se orientan hacia el objetivo de reducir la formación de contaminantes, y aquellas otras que implican el tratamiento de las aguas contaminadas.

Tabla 4. Clasificación de drenajes de Mina:

clase	PH	Descripción
Acido	< 6	Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. - Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros. - Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.
alcalino	> 9 ó 10	- Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. - Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros.

		- Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.
Casi neutro	6 – 9 ó 10	Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos - Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.
Otros	Irrelevante	Puede afectar la concentración de metales - Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Fuente: (Osvaldo Aduvire , 2006)

El drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotina, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua: Sulfuro mineral + Oxígeno + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

También otros oxidantes como hierro férrico puede reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno del agua: Sulfuro mineral + Hierro férrico + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

Sucede lo contrario en los drenajes alcalinos de mina (LMD) ya que es el resultado de la disolución de óxidos, hidróxidos y silicatos minerales: Oxido/hidróxido mineral + Agua = Alcalinidad + Metal Silicato mineral + Agua = Alcalinidad + Metal + Sílice acuosa

Según el objetivo de tratamiento, las técnicas de descontaminación se enfocan en la disminución o eliminación de la concentración de los contaminantes del medio, las técnicas de contención son las que aíslan los contaminantes del medio sin tener que actuar en él, y

las técnicas de confinamiento alteran las condiciones fisicoquímicas del medio consiguiendo las reducciones de la movilidad de los contaminantes.

Si se considera el lugar de aplicación, las técnicas In Situ son las que se aplican directamente en el sitio contaminado y las técnicas son aquellas en que se requiere de la extracción del medio contaminado para poder ser tratado.

Las técnicas típicamente aplicadas in situ que tienen como objetivo separar los contaminantes del suelo para su posterior tratamiento depurador. Son tratamientos sencillos que requieren las aguas sean permeables y que las sustancias contaminantes tengan suficiente movilidad. Esta técnica posee algunas ventajas que cabe destacar. Por ejemplo, permite tratar una amplia variedad de contaminantes, tales como: compuestos orgánicos, semivolátiles, hidrocarburos, cianuros y por supuesto, metales. Es eficiente en la extracción de compuestos inorgánicos como el arsénico. Otra ventaja que se puede mencionar es que esta tecnología permite tratar formas absorbidas de los metales y que puede ser aplicada On Site (realizada en el mismo lugar, pero extrayendo el agua contaminado del terreno) (fundacion , 2012)

Tabla 5. Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas acidas:

	In situ	Ex situ
Ventajas	Permiten tratar el agua sin necesidad de tener altas concentraciones de metales y sin ser trasportados.	Menor tiempo de tratamiento Más seguros en cuanto a uniformidad: tener muestras de campo para el tratamiento y ver la cantidad de metal existente en el agua.
Desventajas	Mayores tiempos de tratamiento puede ser mayor la reacción para el tratamiento de las aguas acidas, en función del plomo para su tratamiento realmente eficaz	Necesidad de llevar a un laboratorio vigente Aumento en costos e ingeniería para equipos Debe considerarse la manipulación del agua para su tratamiento la posible exposición al contaminante

Fuente : (EPA, 2014)

E-Tech (2015) Los mecanismos que se aplican para tratar las aguas son una combinación de esos aplicados las aguas contaminadas. Los requerimientos de caracterización son muy similares e incluyen evaluaciones fisicoquímicas y biológicas. Una diferencia importante en el tratamiento

de sedimentos es la gran cantidad de agua que requiere separar antes de aplicar los mecanismos de tratamiento. Sin embargo, en corrientes pequeñas, la corriente puede ser desviada aguas arriba del proyecto de sedimentos para reducir al mínimo el transporte de contaminantes aguas debajo de los sedimentos contaminados. conocer ciertas características, tanto del agua (ambientales), como del contaminante y de los organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) presentes en el sitio, con potencial metabólico para degradar los contaminantes”

Los factores ambientales son importantes y dentro de ellos es el tratamiento de las aguas acidas de drenaje de mina, que están expuestos a diferentes condiciones ambientales y sus características fisicoquímicas del agua. Para mejor análisis presentaremos a continuación los principales factores.

La filtración de Los drenajes ácidos son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna y la vegetación, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de antiguas labores mineras, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y relaveras de mina. En el Perú existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos de ríos, afecciones a ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como la introducción de una coloración y turbiedad en las aguas de ríos y lagos.

pH. Él pH aporta una información de suma importancia en diversos ámbitos de la edafología. Uno de la más importante deriva del hecho de que las plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales.

tecnologías in situ. En general, una baja permeabilidad en el agua disminuye la efectividad de la mayoría de las tecnologías de tratamiento

La naturaleza física y composición de los contaminantes químicos atmosféricos es muy variada. Además de por su origen natural o antropogénico, los contaminantes se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son sustancias vertidas directamente a la atmósfera, entre los que se encuentran los aerosoles o partículas, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos. Los contaminantes secundarios son sustancias que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera.

El factor clave para decidir la remediación de un sitio es la toxicidad para los seres vivos. La descarga de químicos tóxicos a un suelo implica, entre muchos otros problemas, que son generalmente resistentes a la biodegradación.

La concentración de un compuesto en el agua es un factor de gran importancia para definir el uso de una tecnología de tratamiento en particular. En general, altas concentraciones inhiben la actividad microbiana; Algunos químicos pueden ser inhibitorios en baja concentración, en aguas de bajas concentraciones de contaminantes), mientras que otros pueden serlo en cantidades mayores).

es la cantidad de elementos que se disuelven en agua, para disolver una sustancia solida añadiendo un soluto a un volumen dado disolventes se llega a un punto a partir del cual si la solución no admite más soluto. En general, ésta disminuye al aumentar el tamaño de la molécula y los compuestos polares son más solubles que los no polares. Mientras mayor es la solubilidad de un compuesto, mayor es su biodisponibilidad.

La volatilidad es una medida de la tendencia de una sustancia de pasar a vapor. Es decir, es una medida de la facilidad con que una sustancia se evapora, Es la tendencia de un compuesto o un elemento para moverse de una fase líquida o sólida a una gaseosa. Entre los metales, el mercurio y el Selenio tienen formas volátiles

Los compuestos no polares tienden a ser hidrofóbicos y se concentran en la materia orgánica del suelo. La carga iónica determina la capacidad de un compuesto para su adsorción en un sólido.

(sanchez, 2016) La electrólisis consiste, básicamente, en la separación de sustancias por medio del uso de la electricidad. La aplicación de un potencial eléctrico entre dos electrodos causa una corriente eléctrica que pasa a través de la solución y, a su vez, causa la migración de cationes hacia el electrodo negativo, y de aniones hacia el electrodo positivo. Un reactor, o celda, electrolítico tiene dos electrodos sumergidos en sal fundida o en una solución donde la reacción es propiciada por una batería externa o por cualquier otra fuente de corriente continua; dicha fuente actúa como una bomba de electrones, impulsando los electrones hacia un electrodo y retirando los del otro. En la electrólisis de la sal común los iones Na^+ reciben electrones del electrodo negativo, y son reducidos mientras que hay un movimiento de iones Cl^- hacia el electrodo positivo, donde son oxidados.

La electrolisis de agua usa la conductividad eléctrica en un medio líquido para crear la reacción química de oxidación, reducción denominada también como retox.

La electrolisis de agua necesita de recipientes electrolicas que deben contener una disolución con mayor cantidad de iones o electrolitos para su conductividad que sea ideal. En esta cuba electrolicas se sumerge electrodos conectados a una corriente continua por donde se reciben los electrones

Es común en la disolución del electrolisis de agua la adición de una pequeña cantidad de ácidos sulfúrico, cuando se efectúa la Electrolisis de agua en este medio. Por ejemplo, se obtiene Oxígeno debido a la oxidación en el ánodo (electrodo conectado al polo positivo de la fuente de corriente).

Hidrógeno debido a la reducción del cátodo (electrodo conectado al polo negativo de la fuente de corriente).

Las reacciones de la electrolisis, que tienen lugar en los electrodos de la electrólisis están en general determinadas por leyes energéticas, así como en la pila, la reacción en cada electrodo es la que corresponde a una reacción que produzca la máxima disminución de energía libre, en la electrólisis se producirán las reacciones que correspondan a una reacción total que produzca el mínimo aumento de energía libre. En el caso de electrólisis de sales fundidas como el Cloruro de sodio (NaCl), en el cátodo solo puede verificarse una reacción que es la reducción de los iones Sodio (Na) pues el ion Cloro (Cl) solo puede oxidarse, y en el ánodo se produce la oxidación de los iones Cloro (Cl), pues el Sodio (Na) solo puede reducirse. (sanchez, 2016)

Electrólisis de disoluciones acuosas:

Cuando se trata de la electrolisis de disoluciones de diversos electrolitos, las reacciones que tienen lugar en el ánodo deben escogerse de acuerdo con los principios energéticos a que nos hemos referido antes, pues existen más de una oxidación posible en el ánodos más de una reducción posible en el cátodo, debido a que además de las especies iónicas producidas por los electrolitos están presentes las moléculas de agua y la misma puede oxidarse y reducirse de forma similar a las sales. Y se muestran de la siguiente manera.

Sobre el cátodo(-): $2\text{Cu} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cu}$

Sobre el ánodo (+): $3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{O}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$

Sobre el ánodo en este caso se separa el oxígeno, que se elimina como gas, y en la solución, en las proximidades del ánodo, se acumulan los iones hidrógeno (H⁺), que pueden estar presentes solo con una cantidad equivalente de algunos aniones. tales aniones son sulfuros (SO₄²⁻), que se desplazan durante la electrólisis hacia el ánodo y se acumulan en las proximidades de este junto con los iones hidrógeno (H⁺). Por consiguiente, junto al ánodo, además del oxígeno se forma también el ácido sulfúrico (como iones correspondientes), es decir la solución se acidifica.

Como expresa G.I., (2012): “electrolisis es una técnica, es del tipo de descontaminación, generalmente aplicada In Situ y de tratamiento fisicoquímico. La remediación electrolisis es un método para descontaminar suelos que contienen metales pesados y compuestos polares orgánicos mediante el paso de una corriente directa a través del suelo”.

Según García Hernández & Vargas Ramírez, (2011) de fine que La electrólisis es un proceso químico que usa la propiedad de la conductividad eléctrica de algunos materiales o sustancias para generar una reacción de oxidación-reducción no espontánea, La conductividad eléctrica se presenta en los metales como, por ejemplo, el cobre y la plata y también a través de líquidos como el agua.

Como (expresa & G.I, 2012) La electrólisis consiste, básicamente, en la separación de sustancias por medio del uso de la electricidad “Extraer metales pesados del suelo mediante el paso de una corriente directa a través del suelo, basada en los tres mecanismos descritos. En este caso la realización de esta técnica se enfocará a la remoción”.

La aplicación de los procesos electrolíticos, principalmente para el tratamiento de aguas residuales, se presentó a finales del siglo XIX en Europa, y, de manera especial, a inicios del siglo XX en Estados Unidos y Canadá, donde los objetivos iniciales de dichos trabajos se resumían en: producir sedimentos no putrescibles, evitar el desprendimiento de gases fétidos y esterilizar los vertimientos efluentes.

Según Alcaino Concha, (2012) aporta con un objetivo que detalla lo siguiente. “Extraer metales pesados del suelo mediante el paso de una corriente directa a través del suelo, basada en los tres mecanismos descritos. En este caso la realización de esta técnica se enfocará a la remoción de As y Cu.” En nuestra investigación será la remoción de plomo.

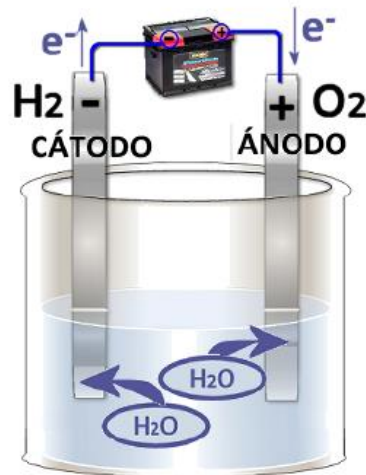
Según Moreira (2016) la electrolisis es llegar a un solo objetivo y conseguir la remoción del suelo contaminado. Y así tener una mejora recuperación de suelos.

Como define (Hernandez, 2010) La electrólisis se realiza en las celdas electrolíticas, que son unos depósitos que contienen el electrolito disuelto o fundido y dos electrodos. Los electrolitos disueltos o fundidos conducen la corriente eléctrica por medio de los iones positivos y negativos, al mismo tiempo que se produce algún cambio químico en los electrodos. En cada electrodo de una celda electrolítica se produce una de las semirreacciones del proceso redox:

En el cátodo o electrodo negativo se descargan los cationes. Se produce la reducción.

Un ejemplo importante de este tipo de proceso es la electrólisis del agua. El agua es una sustancia muy estable que se descompone en sus elementos mediante corriente eléctrica.

figura 2. electrolisis en el agua. Método donde se basa el tratamiento de las aguas acidas.



Fuente: (Hernandes, 2010)

La electrólisis es una técnica química muy importante que emplea corriente eléctrica para provocar una reacción de oxidación-reducción no espontáneo, al contrario de lo que ocurren en una pila.

La electrólisis del agua para producir hidrógeno y oxígeno se verifica al hacer pasar una corriente a través de una solución acuosa. Así, al cargar un acumulador de plomo o "pasarle carga" se producen mezclas potencialmente explosivas de H₂ y O₂ debido al flujo de corriente a través de la solución en la batería. Por eso es muy importante no producir una chispa cerca de ella al efectuar este proceso”

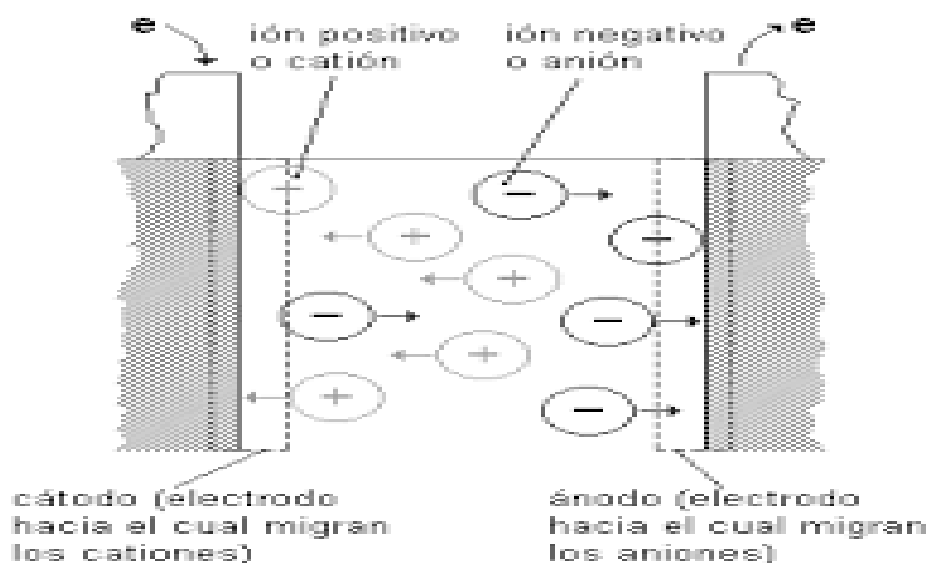
a López R., (2013) Esta técnica de remediación engloba a diferentes procesos que tienen lugar en un suelo cuando se aplica una diferencia de potencial entre un conjunto de electrodos posicionados en el mismo. Estos procesos pueden ser de naturaleza física, electroquímica o electrocinética, y los principales son:

Procesos de electrolisis, que incluye a los procesos reactivos que ocurren sobre la superficie de los ánodos y cátodos que se han posicionado en el suelo, bien directamente o bien en el seno de una disolución de electrolito en contacto con dicho suelo. Los más importantes son la oxidación del agua sobre la superficie anódica, y la reducción del agua o la electrodeposición de metales sobre la catódica.

El Electro migración, que consiste en el movimiento de los iones contenidos en el suelo, atraídos por los electrodos de signo opuesto, mediante la acción del campo eléctrico generado entre ánodo/s y cátodo/s

Según Volke V., (2012) menciona que sus principios se basan: “en la aplicación de una corriente directa de baja intensidad a través del suelo contaminado, con el uso de electrodos divididos en extremos anódicos y catódicos La corriente eléctrica genera la formación de un frente ácido en el ánodo y uno básico en el cátodo a partir de la disociación de algunas moléculas de agua; esta generación de condiciones ácidas puede ayudar a la desorción, disolución y transporte de algunos contaminantes metálicos hacia sistemas de recolección ubicados en el cátodo

*figura 3. Esquematización de la migración de dichas especies cargadas durante el proceso del
 electrolisis:*



Fuente: (Hernandez, 2014)

(Lopez R, 2013) menciona las siguientes ventajas

- Flexibilidad para su uso como método de remediación ex situ o in situ.
- Aplicable a suelos de baja permeabilidad y heterogéneos.
- Aplicable a suelos saturados y no saturados.
- Aplicable a suelos contaminados con compuestos inorgánicos iónicos, metales pesados, radio nucleídos y contaminantes orgánicos polares, así como en cualquiera de sus combinaciones.
- Fácil integración con las tecnologías convencionales y tratamientos posteriores de los efluentes generados.

Tabla 6. Ventajas y limitaciones del electrolisis:

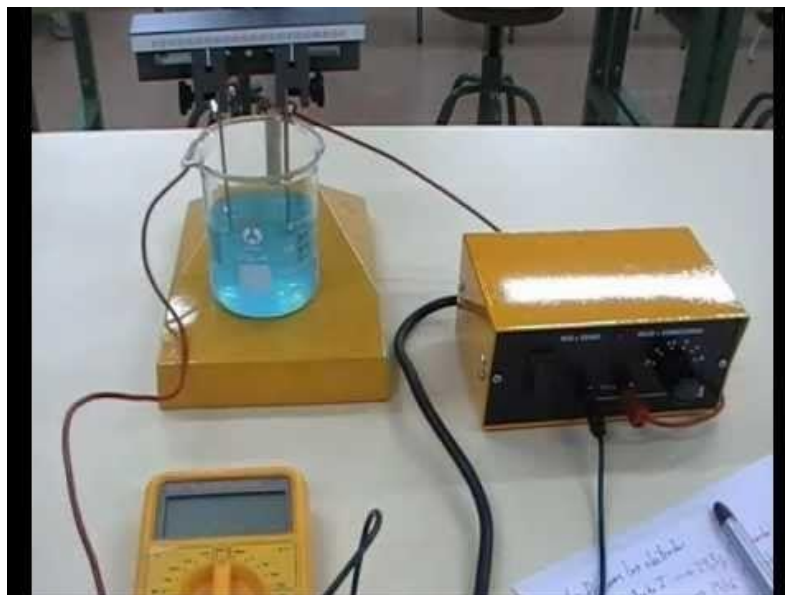
Ventajas	Limitaciones
Es una tecnología comercialmente	No es aplicable para todo tipo de suelos
El contaminante puede separarse con facilidad del suelo, incluso en forma pura	El suelo tratado pierde ligeramente su fertilidad
Es una alternativa eficiente para la remediación in situ de sitios contaminados con metales	Es necesario hidratar el suelo al menos 24 horas antes de iniciar el tratamiento
Se puede aplicar eficientemente en suelos arcillosos (poco permeables)	Valores extremos de pH y reacciones redox pueden disminuir su eficiencia y formar productos indeseables

Fuente: (Lopez R, 2013)

Diseño e implementación

Según (Alcalino comcha, 2012) menciona que. “El sistema de estudio para desarrollar esta técnica consiste en una celda electrolítica de dimensiones 33cmx7cmx7cm, compuesto por un compartimento que contiene el agua, dos electrodos y contactos eléctricos. Además, El compartimento para el agua puede contener una muestra de agua de aproximadamente 600 kg/L. Los electrodos utilizados son de acero inoxidable 316, ya que es un material resistente a la oxidación y también accesible económicamente.

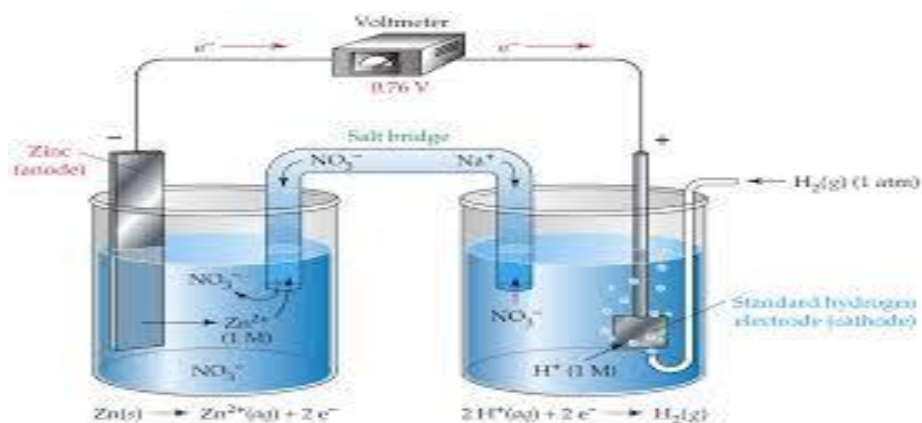
figura 4. Sistema experimental del electrólisis.



Fuente. (Alcaino Concha, 2012)

Los electrodos, tanto ánodos como cátodos, son barras de grafito que se introducen sin ninguna separación física tanto en los electrodos como en la propia agua. La corriente eléctrica se suministra mediante una fuente de alimentación DC Power Suupply FA-376promax. el intervalo de trabajo de la fuente es de 0 A 30 Voltios para el potencial (precisión 0.1Voltio) y de 0 a 5 Amperios para la intensidad (precisión 0.01Amperios). la intensidad de corriente eléctrica se monitoriza empleando un multímetro digital de alta precisión KEITHLEY.”

*figura 5. Diagrama de instalaciones experimentales a escala de laboratorio del electrólisis en
 el agua:*



Fuente: (López R., 2013)

Densidad de corriente

Definición densidad de corriente:

Según la (U,N, 2017) Las corrientes eléctricas tienen todas en común el movimiento de cargas por el vacío o el interior de un material, pero el mecanismo por el que esto ocurre es muy diverso. Para describirlos se usan los modelos de conducción, que tienen una parte cualitativa y una descripción matemática (que no consideraremos)

La magnitud que mide el movimiento promedio de las cargas en un material es la densidad de corriente. Para definirla se toma un elemento de volumen Δv (que es microscópico, pero contiene millones de cargas en su interior), situado en el punto \vec{r} , y se calcula el promedio del producto de las cargas por la velocidad.

La densidad de corriente es una magnitud vectorial, análoga hasta cierto punto a la cantidad de movimiento: cuanta más carga haya, mayor es la densidad de corriente; cuanto más rápido se

nueva, mayor es la densidad. Si no hay cargas (vacío) o no se mueven (electrostática) la densidad de corriente se anula.

Por otro lado, podemos hacer la aproximación de que todos los iones de la especie k se mueven con la misma velocidad promedio. En ese caso, podemos agrupar términos y escribir la densidad de corriente como:

$$\vec{J} = \sum_k N_k Z_k e \vec{v}_k$$

Donde:

La suma se hace sobre el número de especies (una en un conductor metálico, dos en un semiconductor, unas cuantas en una disolución).

N_k es la densidad numérica del portador k (p.ej. cuantos electrones libres hay por unidad de volumen).

Z_k , es la valencia de la especie k , que sería -1 para los electrones.

e : es la carga elemental, que vale aproximadamente 1.6×10^{-19} C.

\vec{v}_k es la velocidad promedio de los iones de la especie k . A esta velocidad se la conoce como velocidad de arrastre.

La densidad de corriente es una medida adecuada de lo que ocurre en cada punto de un material, de si las cargas se están moviendo o no y hacia a donde lo hacen.

En la mayoría de las aplicaciones, en particular en la teoría de circuitos, interesa más el efecto global del movimiento de las cargas.

U.N. SELVA (2017). Nos preguntamos entonces cuanta carga atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo. Esta cantidad es la intensidad de corriente definida como el flujo de la densidad de corriente través de una sección del conductor

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

Donde:

I es la corriente eléctrica en amperios A

- J es la densidad de corriente en A·m⁻² –

S es la superficie de estudio en m²

Ley de la conservación de la carga:

una de las propiedades fundamentales de la interacción eléctrica es que la carga eléctrica se conserva. Para cualquier volumen la cantidad de carga contenida en su interior solo puede cambiar porque entre carga desde fuera o porque salga al exterior, nunca porque se cree de la nada

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$-\frac{dQ}{dt} = \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

donde:

S es una superficie cerrada que contiene un volumen v .

$Q = Q(t)$ es la carga contenida en v

dQ / dt es el aumento de la carga contenida por unidad de tiempo.

$-dQ / dt$ es la disminución de la carga contenida por unidad de tiempo.

\oint_S representa la integral sobre toda la superficie cerrada S .

\vec{J} es la densidad de corriente en todos los puntos de la superficie S

$d\vec{S}$ es el vector diferencial de superficie

Definición del tiempo de retención:

U.N. SELVA (2017). El tiempo de retención asegura que se haya alcanzado el equilibrio entre el líquido y el gas a presión del separador. El tiempo de retención en un separador se determina dividiendo el volumen del líquido dentro del recipiente por la tasa de flujo del líquido. El tiempo de retención varía, normalmente, entre 30 segundos y 3 minutos. Si hay presencia de crudo espumoso, el tiempo de retención podría aumentar cuatro veces su valor normal.

Tiempo de retención:

La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía. Para altos consumos de energía se presentan pérdidas por la transformación de energía eléctrica en calórica, produciéndose un aumento en la temperatura del medio acuoso.

El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o hierros Fe^{+2} , liberados por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura. (Zurita, 2012)

Según (Aragón C 2015), Tiempo de Retención en los metales pesados plomo(Pb), cobre(Cu)es
Tiempo de Retención de Lodos de suelos contaminados o aguas acidas - Relación entre la masa de los suelos contaminados existente en el sistema (kg) y la masa de de los suelos contaminados eliminados (kg) por unidad de tiempo (días)

$$Trc=M(Kg)/M(Kg)*T(días)$$

Donde:

M: masa de los suelos contaminados:

M: masa de los contaminados eliminados.

T: tiempo.

Usos e Intereses:

Según (Aragón C 2015) El tiempo de retención describe el tiempo en el que un volumen de agua acidas de drenaje de mina, pozas de lixiviaciones, tuberías, colector de detención, etc. El tiempo de retención se puede estimar dividiendo el volumen almacenado entre el caudal de descarga desde la estructura de contención.

Como expresan García Hernández & Vargas Ramírez, (2011) “Se obtuvo remoción de pb en todos los experimentos, con mejores resultados cuando se utilizó el tiempo de retención en función de la densidad de la corriente alcanzando una remoción del 12 % al final de las 24 horas de tratamiento.

(Zurita, 2012), Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrolisis y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado. La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl₂ generan un aumento en la conductividad del agua residual. Además, se ha encontrado que los iones de cloro pueden reducir los efectos adversos de iones como HCO₃⁻ y SO₄⁼ pues la presencia de iones carbonatos o sulfatos pueden conducir a la precipitación de Ca⁺² y Mg⁺² produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos que aumentaría el potencial entre éstos, decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrolisis normal se mantengan cantidades de Alrededor del 20%.

muestran que conforme se incrementa el tiempo de retención de la solución en estudio y la densidad de corriente aplicada disminuyen la concentración de plomo (Pb) desde 15.02 mg / litro (ppm) hasta 0.12 mg / litro en el mejor de los casos, que es valor correspondiente al 99.20% de reducción de plomo(Pb); de las variables en estudio (tiempo y densidad de corriente) se observa un efecto compartido sobre la capacidad de retención de plomo(Pb) (solo ligeramente mayor el efecto de la densidad de corriente), así pues a 15 minutos de tratamiento y a 40.0 mA / cm² , la concentración ya es de solo 3.16 mg/litro (en el mejor de los casos), que representa similar valor de reducción lograda a 20.0 mA / cm² , y un tiempo de 30 minutos. Además, podemos notar que, al incrementar el tiempo de retención, la concentración inicial disminuye independientemente de la densidad de corriente aplicada, notándose una mayor pendiente en los primeros 15 minutos, con una tendencia a ser constante a partir de los 30 minutos de tratamiento.

Según U.N Trujillo (2012) Este fenómeno se debería principalmente a que el incremento de la densidad de corriente genera mayor velocidad de formación de los elementos coagulantes (ya que en el caso de cationes la forma de reducción de contaminantes es por precipitación y/o precipitación) en la celda de electrolisis, llámese la formación de cationes o la formación de aniones OH⁻, los cuales a su vez desarrollan las reacciones típicas del proceso de electrolisis. Esta tendencia se contrasta con lo obtenido experimentalmente por otros investigadores, los cuales afirman que el incremento de la densidad de corriente aplicada es directamente proporcional a la disminución de los cationes en cuestión; además afirman que la forma de reducción de los mismos se realiza en forma de hidróxidos.

Tratamiento de datos:

Para el análisis estadístico de cada una de las variables respuestas: disminución de plomo, se usará el análisis de varianza (ANVA) de los resultados obtenidos.

Análisis de varianza (ANVA) Se obtendrán la suma de cuadrados mediante las cuales calcularemos los resultados que se mostrarán en la tabla de análisis de varianza que nos permitirá realizar dicho análisis a fin de predecir la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de retención en los datos observados.

El análisis de la varianza permite superar las limitaciones de hacer contrastes bilaterales por parejas que son un mal método para determinar si un conjunto de variables con $n > 2$ difieren entre sí. El primer concepto fundamental es que todo valor observado puede expresarse mediante la siguiente función:

$$SS_T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Tr} = \sum_{i=1}^K \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^K \frac{y_i^2}{n}$$

Luego se busca el valor $F_{\alpha, V1, V2}$ de las tablas de distribución de Fisher, donde α es el grado de confiabilidad (0.05), $V1$ es el grado de libertad entre grupos y $V2$ es el grado de libertad entre niveles. Entonces tendremos como resultados los siguientes parámetros:

Si $F_0 > F_{\alpha, V1, V2}$ se acepta la hipótesis alternativa

Si $F_0 < F_{\alpha, V1, V2}$ se acepta la hipótesis nula.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente trabajo es:

Experimental puro, puesto que para desarrollar el tema de electrolisis son aquellos que reúnen los requisitos para lograr la validez y el control del tratamiento de aguas acidas, estos diseños llegan a incluir una o dos variables independientes y uno o más dependientes, así mismo pueden utilizar prepruebas y pos pruebas para analizar la evolución de las muestras después del tratamiento experimental ((Wiersma, 2008)

Para la demostración de la hipótesis de la investigación, el modelo experimental a utilizar será bifactorial con tres niveles independientes con un tamaño muestral de tres repeticiones para cada nivel.

Los tres niveles son de Tiempo de Retención (M1, M2, M3); interactuando con la densidad de corriente, se realizó tres pruebas para cada interacción.

La remoción dl Plomo (Pb), se obtiene de la recolección de datos correspondiente a cada una de las interacciones del tiempo de retención y la densidad de corriente.

En este diseño se llegó a evaluar pruebas pre y post - pruebas para analizar la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental con electrolisis.

Tabla 7. Modelo matricial para el experimento bifactorial.

	Y1			Y2			Y3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
X1	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
X2	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
X3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3

Donde:

M: Medición a efectuar.

X1....X3: Tiempo de Retención (Min)

Y1....Y3: Densidad de corriente (mA/cm2)

En el presente estudio se considera como:

Variable independiente

Y 1: Densidad de corriente (Amp/cm²)

X 1: Tiempo de Retención (Min)

Variables dependientes:

Remoción de plomo (mg/L)

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población:

La población la compone 20 Lts del proceso de electrolisis del Drenaje Acido de Mina – Cerro Corona, durante el periodo febrero de 2019 a junio de 2019.

2.2.2. Muestra:

Para ello se obtuvo 20 Lts, de solución debidamente de muestreado en diferentes puntos del establecimiento.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos:

- El procedimiento de realizo en las instalaciones de la dirección regional del agua ubicada en el departamento de Cajamarca. Y en el laboratorio de minas de la universidad privada del norte.
- El área de la dirección regional del agua nos proporcionó los frascos de recolección de muestra, para un análisis de un barrido de metales que pude recolectar en campo.
- El área de laboratorio de minas nos proporcionó la celda, las láminas de acero inoxidable con sus respectivas dimensiones, el cual usamos para realizar las pruebas y los cálculos correspondientes.
- Luego realice el reconocimiento del ambiente, materiales e instrumentos, necesarios para el desarrollo de las pruebas a realizar.
- Para iniciar estas pruebas, corte 4 electrodos de acero inoxidable.
- Segundo tome una muestra de 20 litros de agua ácida de la mina Cerro Corona Hualgayoc.
- Luego se procedió extraer 300 ml de muestra de agua ácida para obtener la caracterización del pH, Ti, realizados en el laboratorio regional del agua, y en el laboratorio de minas.
- Se realizó la calibración de todo equipo e instrumento antes de iniciar cada prueba.
- A continuación, se procedió a pesar cada electrodo, teniendo en cuenta que este peso se debe realizare al inicio y al culminar la prueba.
- Realice 27 pruebas teniendo en cuenta 3 pruebas madres o de sacrificio, así mismo teniendo en cuenta el amperaje en la densidad de corriente y en el tiempo de retención cada prueba realizada, de 0 a10 Amperios

- De acuerdo se realizaba las pruebas durante el proceso, tome cada medida y el control del tiempo para cada muestra a realizarse y evaluar las variaciones del pH, temperatura inicial y temperatura final, coloración, olor haciendo un promedio de 15,30 y 60 min.
- Al tiempo transcurrir el tiempo de cada prueba realizada en el tiempo mayor de ensayo se observa que el electrodo de sacrificio presenta una corrosión muy notoria, mientras que el otro electrodo tenia mayor concentración de metales que haya sido captado por los electrodos, antes de las pruebas se realizó la limpieza con agua destilada.
- Al culminar cada prueba se identificó las coloraciones diferentes en los electrodos.
- En la parte superior del electrodo se observa de un color naranja con presencia de burbujas pequeñas. (**zona de flotación**), en la parte del centro se observa un color azul oscuro (**zona de reacción**).
- A continuación, se procedió a separar la reacción del agua ácida en los frascos para sus respectivos análisis.
- Luego se pesó este electrodo teniendo un peso húmedo seguidamente de la temperatura final y un pH, final para obtener los resultados finales y hacer los cálculos respetivos.
- Al culminar de las pruebas realizadas la celda electrolica tenía que pasar por un proceso de limpieza realizada con agua destilada del mismo modo todo el equipo que fue utilizados.

Tabla 8. Niveles de las variables de estudio.

VARIABLES INDEPENDIENTES DE ESTUDIO	NIVELES DE ESTUDIO
Factor (A): Tiempo de Retención (Min)	X1, X2, X3
Factor (B): Densidad de corriente (mA/cm ²)	Y1, Y2, Y3,
Variable Dependiente de Estudio	
Remoción de Plomo (% de reducción)	

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Matriz de diseño experimental.

		DENSIDAD DE CORRIENTES (mA/cm ²)		
		Remoción del Plomo (% de reducción)		
		Y1	Y2	Y3
Tiempo de Retención (Min)	X1	M1	M1	M1
		M2	M2	M2
		M3	M3	M3
	X2	M1	M1	M1
		M2	M2	M2
		M3	M3	M3
	X3	M1	M1	M1
		M2	M2	M2
		M3	M3	M3

$$\begin{aligned}\text{Número total de pruebas} &= (\text{N}^\circ \text{ de matriz}) * (\text{N}^\circ \text{ de Réplicas}) + \text{Prueba Patrón} \\ &= (3) \times (3) \times (3) + (3) \\ &= 30\end{aligned}$$

Prueba (unidad de medida) = 300 mL.

Cálculos de la densidad de corriente:

Para el cálculo de la densidad de corriente utilizaremos las siguientes fórmulas.

$$\text{Densidad de corriente} = \text{Amperaje} / \text{área del electrodo}$$

Donde:

El amperaje y voltaje nos da la fuente poder.

Área del electrodo nos da midiendo el electrodo, pero solo la parte sumergida en la muestra. (Como se muestra en el cálculo del área del electrodo).

Tiempo de retención:

En la siguiente investigación solo utilizaremos tres tiempos diferentes como son: 15, 30 y 60 minutos. La cual estos tiempos son prolongados y permiten, que se desarrollen los procesos biológicos y químicos.

2.4. Procedimiento

La recolección de datos como se viene desarrollando la investigación y como se está manejando el proceso de recolección de datos se da de la siguiente manera.

Se revisó información sobre el tema de electrolisis en las aguas contaminadas de drenaje de mina (DAN), por metales pesados como plomo (Pb), entre otros metales que puedan tener en la concentración del drenaje ácido de agua, y las tecnologías que podemos aplicar para la remoción del plomo en el mismo sitio (sin ser trasladado), ya que es un tema de mucha importancia para los pobladores que habitan en el mismo lugar de los hechos, porque en los inicios de los conflictos sociales en nuestra región se viene haciendo sobre el tema del agua, para un bienestar propio de las comunidades, tema complicado por el descuido de cierre de minas y que estas labores ya han sido abandonadas sin tener las medidas correspondientes de controlados de estas aguas ácidas que están a un dren abierto que está abandonada sin ser tratado, obteniendo una información desde el lugar mismo de los hechos y también de títulos profesionales de diferentes universidades y pos grado, informes especializados, artículos científicos como se menciona en la biografía para que nos ayude hacer esta investigación sobre el tema de electrolisis y ser aplicada para una mejora y el bienestar de todos los pobladores y brindarles un líquido vital sin contaminación.

Ubicación:

Nuestra operación minera Cerro Corona se ubica en la región Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, en la comunidad campesina El Tingo, anexo predio La Jalca, caseríos Complace y Pilancones.

Asimismo, Cerro Corona se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los andes peruanos, hacia la vertiente continental del Atlántico, entre los 3 600 y 4 000 metros de altitud, donde se encuentran las cuencas de los ríos Tingo / La Quebrada o Tingo / Maygasbamba, y Hualgayoc / Arascorgue.

Su ubicación dista 10 kilómetros al noreste del poblado de Hualgayoc,

- Distrito: Hualgayoc
- Provincia: Hualgayoc
- 90 kilómetros de Cajamarca (capital de la región)

Altitud: entre los 3,600 y 4,000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) aproximadamente

Se procedió a elegir el drenaje minero de agua acida, en la región de Cajamarca. Para poder aplicar lo teórico (mina cerro corona).

Se realizó una muestra en el lugar con las coordenadas correspondientes

UTM (N 9252187: S 07638: Margen de error /altura 4)

Tabla 10. características del lugar donde se tomó la muestra:

Sistema	Aplicación al diseño de muestreo	Ventajas y desventajas
Muestra de agua acida	Suelo rocoso agua color anaranjado en su totalidad	Peligrosa, fácil de contaminar a la piel si tocas sin protegerte, bastante fuerte el acides

Fuente: del investigador.

Se trajo la muestra en 2 baldes de 18 litros

Se llevó al laboratorio regional del agua para medir el pH de acidez del agua o de la muestra tomada.

Se sacó el contenido de plomo presente en el agua del drenaje de mina.

se procedió a realizar la electrolisis en el laboratorio autorizado.

Luego se realizó hacer los ensayos de electrolisis en una celda de vidrio con 2 electrodos un ánodo y un cátodo para la corriente de energía.

En esta investigación he utilizado el tiempo de retención para que no surja una precipitación del plomo si no nos ayude a la remoción del plomo.

También se aplicó la densidad de corriente para la electrolisis para que ayude remover el plomo del agua.

Una vez con los resultados del laboratorio se procedió a hacer los cálculos del porcentaje de disminución del plomo.

Para dar validez y /o negar nuestra hipótesis y las variables de esta investigación se utilizó el método del electrolisis en función de la densidad de la corriente y el tiempo de retención para la remoción del plomo

Equipos:

GPS

Multiparámetro de pH

Cámara fotográfica

Brújula para a la orientación del lugar

Equipo de protección personal.

Computadoras e impresoras entre otros

Wincha de 5 metros

Instrumentos:

Depósitos para sacar las muestras y medir el pH

Cintas de pH

Ficha de recolección de datos

Materiales:

Baldes grandes para almacenar la muestra.

Vasos de plástico de 10 ml.

4 cocodrilos de batería.

Cable de 1 metro de doble color.

Lapiceros.

Libreta de apuntes.

Placas inoxidables de 5x5cm

Guantes quirúrgicos

Materiales de laboratorio:

Depósitos para las muestras tomadas

30 vasos de plástico para procesar las muestras.

Un tubo de ensayo

Un vaso de precipitación de 600 ml

100 gramos de sulfato de cobre.

Una varilla de cobre de 0.50 cm

Agua destilada de medio litro

Una fuente de poder de energía.

Un multímetro

Un multiparámetro de pH

Procedimientos de análisis de datos:

Se aplicó un diseño experimental, bifactorial donde la variable en él estudió se muestran en la tabla 8 y la matriz de diseño de muestra en la tabla 9 y la tabla 12.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

4.1. Materiales en la ejecución de los ensayos de electrolisis:

Los materiales usados en la construcción del reactor de electrolisis para aguas acidas, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Materiales en la ejecución de los ensayos de electrolisis.

MUESTRA	DRENAJE ACIDO DE MINA HUALGAYOC - CAJAMARCA
Liquido Por Ensayo	300 mL
Concentración Inicial del Plomo	0.386
Tipo De Reactor	Batch
Numero De Electrodo Por Ensayo	02
Cátodo De Celda	SS-AISI 304

Ánodo De Celda	SS-AISI 304
Tamaño De Electrodo	(50 mm x 50 mm x 30 mm x 2mm)
Tiempo De Ensayo	72 horas
Parámetros De Corriente (Voltaje, Amperaje)	Variable
Separación Entre Electrodo	4 cm
Electrodo De Referencia	Sulfato de Cobre

Fuente: Elaboración del Investigador.

4.2. Establecimiento del diseño de la celda para los ensayos de electrolisis:

Para la evaluación de los ensayos de electrolisis se empleó una celda de Polietileno de 15 cm de altura, de 9 cm de radio con una capacidad aproximadamente 300 ml, en la parte de la tapa se hicieron 4 agujeros de las dimensiones correspondientes al material que se colocaran para que sujetaría las placas de los electrodos de material acero inoxidable SS – AISI 304 de 30 mm de espesor, 50 mm x 50 mm x 2 mm de superficie), el establecimiento principal para colocar la muestra (DAM Golf Fields) el segundo agujero para poner el electrodo (sulfato de cobre), y el siguiente para medir el pH metro, para un mejor entendimiento ver en el panel fotográfico (fotografía N° 21 reactor para el proceso de electrolisis del drenaje de mina (DAM) utilizada en la presente investigación.)

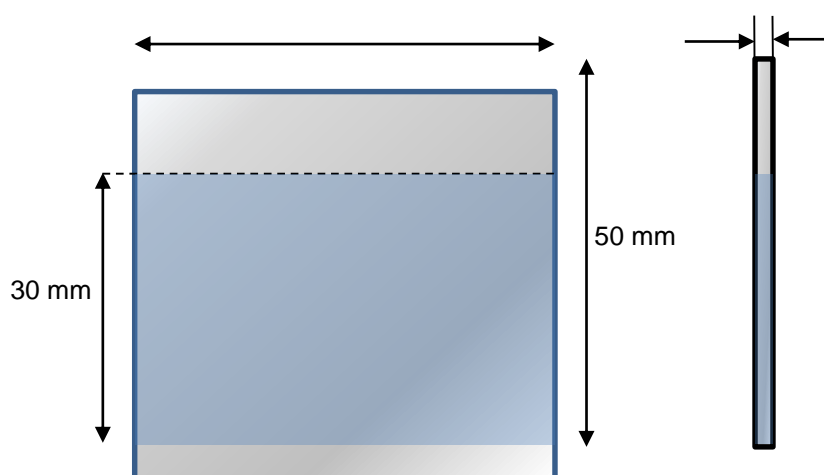
4.3. Cálculos de la densidad de corrientes obtenidas durante el método de electrolisis:

En la siguiente imagen se puede valorar las medidas de los electrodos utilizados, siendo el área efectiva utilizada la siguiente: $2*((3*5) + (3*0.2) + 5*0.2)) \text{ cm}^2$, lo que da un valor de 33.2 cm^2 , por electrodo, como se utilizaron 2 electrodos por celda, eso significa que el área real expuesta por ensayo fue de 66.4 cm^2

En la siguiente tabla se muestra los voltajes suministrados a las celdas de electrocoagulación, los amperajes registrados al aplicar el voltaje en cuestión y las densidades de corriente obtenidas de esto.

Voltajes suministrados a las celdas de electrocoagulación, los amperajes registrados.

figura 6. Presentación del área de electrodo a utilizar para los cálculos en el proceso de electrolisis.



Fuente: Elaboración del Investigador.

4.4. Cálculos de la densidad de corriente durante el método de electrolisis:

En la siguiente tabla se muestra los voltajes suministrados a las celdas de electrolisis, los amperajes registrados al aplicar el voltaje en cuestión y las densidades de corriente obtenidas de esto.

Tabla 12. Densidad de corriente durante el método de electrolisis.

Voltaje aplicado (V)	Amperaje registrado (mA)	Área de electrodos (cm ²)	Densidad de corriente
1.8	669.47	66.4	10.21
2.4	2754.00	66.4	20.07
3.7	5549.00	66.4	40.12

Fuente: Elaboración del Investigador

4.5. Resultado del Plomo (pb) inicial del drenaje ácido de mina (DAM) Hualgayoc, obtenido antes de los ensayos del barrido de metales.

Tabla 13. Resultado de (pb) inicial de las aguas residuales.

MUESTRA	Plomo (Pb) mg/L
Plomo inicial	0.386

Fuente: Elaboración del Investigador.

Resultados del Plomo (Pb), obtenidos después del electrolisis de agua de Drenaje acido de mina (DAM)

Tabla 14. Información de análisis de laboratorio Universidad después del electrolisis.

DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/cm ²)											
TIEMPO DE RETENCIÓN (MIN)		10	pH	T°	20	pH	T°	40	pH	T°	
	15		0.345	2.72	18.7	0.324	2.74	19.2	0.297	2.83	19.5
			0.339			0.312			0.261		
			0.335			0.304			0.245		
	30		0.232	2.75	20.6	0.201	2.77	21.3	0.178	2.8	24.6
			0.226			0.199			0.165		
			0.218			0.181			0.199		
	60		0.099	3.04	22.8	0.062	3.45	26.5	0.033	3.69	36.3
			0.096			0.047			0.016		
			0.075			0.039			0.004		

Fuente: Elaboración del Investigador

Contenido Inicial = 0.386 mg/L

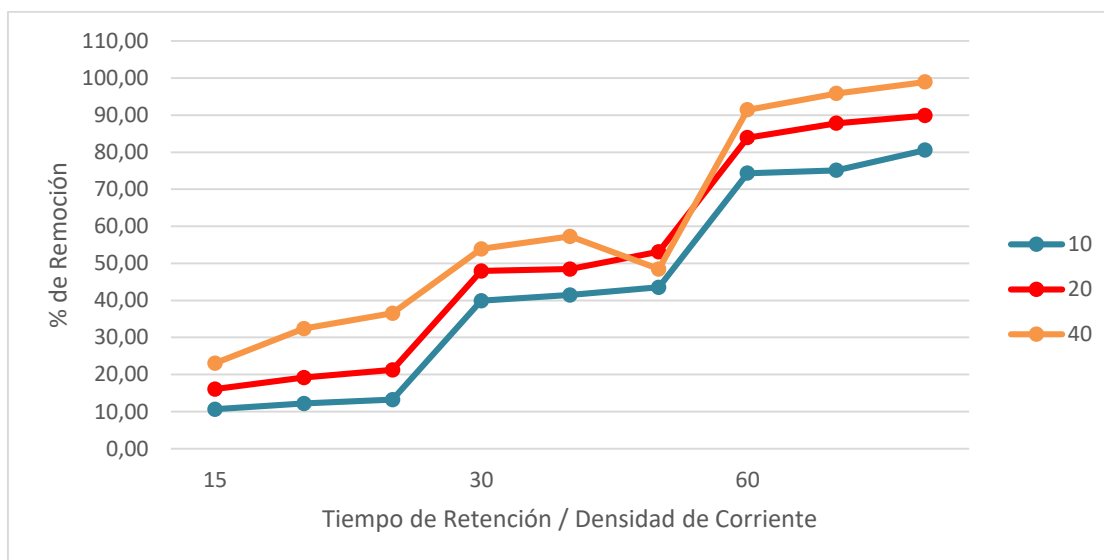
4.6. Resultado del cálculo de porcentaje de remoción de Plomo (Pb).

Tabla 15. Cálculo de remoción de Plomo(pb).

		DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/cm ²)		
		Porcentaje de Reducción		
		10 (Y ₁)	20 (Y ₂)	40 (Y ₃)
TIEMPO DE RETENCIÓN (MIN)	15 (X ₁)	10.62	16.06	23.06
		12.18	19.17	32.38
		13.21	21.24	36.53
	30 (X ₂)	39.90	47.93	53.89
		41.45	48.45	57.25
		43.52	53.11	48.45
	60 (X ₃)	74.35	83.94	91.45
		75.13	87.82	95.85
		80.57	89.90	98.96

Fuente: Elaboración del investigador.

Tabla 16. Remoción del Plomo con sus dos variables (densidad de corriente y tiempo de retención)



Fuente: Elaboración del investigador.

4.7. Resultados de análisis de varianza (ANVA) para la remoción del plomo mediante electrolisis:

A continuación, se presenta los resultados individuales del tiempo de retención y de la densidad de corriente para la remoción del plomo de las aguas del drenaje ácido de Mina, (DAM).

Tabla 17. Análisis ANVA.

Factor		Densidad de Corriente		
Tiempo de Retención		10 (Y ₁)	20 (Y ₂)	40 (Y ₃)
15	1	10.62	16.06	23.06
	2	12.18	19.17	32.38
	3	13.21	21.24	36.53
30	1	39.90	47.93	53.89
	2	41.45	48.45	57.25
	3	43.52	53.11	48.45
60	1	74.35	83.94	91.45
	2	75.13	87.82	95.85
	3	80.57	89.90	98.96

Fuente: Elaboración del investigador.

A continuación, mostramos los resultados de las sumatorias del tiempo de retención y de la densidad de corriente:

Tabla 18. Sumatoria de ejes:

sumatoria Yi (Horizontal)	sumatoria Yj (Vertical)	sumatoria Yij (Combinación)		
184.45	391.93	36.01	56.47	91.97
434.95	467.62	125.87	149.49	159.59
777.97	537.82	230.05	261.66	286.26

Fuente: Elaboración del investigador:

Mostramos los valores de N, a, b, r y C, utilizados para cálculos.

Tabla 19. Consideración para los cálculos del proceso de electrolisis.

Consideraciones Para Los Cálculos	
N = Número de variables	27
a = Densidad de Corriente	3
b = Tiempo de Retención	3
r = Replicas	3
C = Y^2/N	72320.108

Fuente: Elaboración del investigador.

Asimismo, la suma de cuadrados.

Tabla 20. Cálculos con sumatoria de cuadrados y comprobación de error.

Cálculos	
Y ² /N= Constante de corrección	72320.108
SS _t = Sumatoria de cuadrados de los tratamiento totales	21236.87
SS _a = Sumatoria de cuadrados del tiempo de retención	19728.85
SS _b = Sumatoria de cuadrados de la densidad de corriente	1182.99
Subtotales=	20992.32
Sse= Dispersión / error	2.45
SS _{ab} =	322.58
Comprobación del error	2.45

Fuente: Elaboración del investigador:

Análisis de Varianza ANVA para la remoción del plomo (pb) del drenaje acido de mina.

Tabla 21. Tratamiento de las variables para la remoción de plomo:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F _o (observado)	F _{TABULAR}
Tratamiento A (Tiempo de Retención)	3	19728.85	9864.425	72479.24	3.16
Tratamiento B (Densidad de Corriente)	3	1182.99	591.495	4346.03	3.16
A x B	9	20992.32	80.645	592.54	2.46
Error	18	2.45	2.45		
Total	27	21236.87	14.98		

Fuente: Elaboración del investigador.

Tabla 22. ANVA para la remoción del plomo.

Fuente de variación	F ₀
Tratamiento A (Tiempo de Retención)	72479.24
Tratamiento B (Densidad de Corriente)	4346.03
Interacción AB (Tiempo de retención / Densidad de Corriente)	592.54

Fuente: Elaboración del investigador.

Utilizando la tabla de Fisher “F” nivel de significancia del 95%.

Tabla 23. Valores según tabla de Fisher:

F ₀	F _{α, v1, v2}	RESULTADO
FA	3.18	3.16
FB	3.18	3.16
FAB	9.18	2.46

Fuente: Elaboración del investigador:

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Finalmente obtenemos como resultado:

Tabla 24. Resultados de las hipótesis:

F0	F α , v1, v2	Resultado
72479.24	3.16	Hipótesis alterna
4346.03	3.16	Hipótesis alterna
592.54	2.46	Hipótesis alterna

Nota: Elaboración del investigador:

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4) Discusión

4.1. Caracterización de del drenaje acido de mina (DAM), Hualgayoc.

4.1.1. Metales presentes en las aguas residuales del drenaje acido (DAM) de Mina de Cerro Corona, Hualgayoc – Cajamarca.

Tabla 25. Presencia de metales en la muestra del Drenaje Acido de Mina.

PARAMETRO	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO DE METALES
Plata (Ag)	0.021	mg/L	-
Aluminio(Al)	0.025	mg/L	10.48
Arsenico (AS)	0.005	mg/L	4.242
Boro(B)	0.022	mg/L	0.404
Barrio (Ba)	0.003	mg/L	0.044
Berilio (Be)	0.002	mg/L	-
Calico (Ca)	0.124	mg/L	323.4
Cadmio (Cd)	0.002	mg/L	0.86
Colbalto(Co)	0.002	mg/L	0.007
Cromo (Cr)	0.006	mg/L	0.021
Cobre (Cu)	0.006	mg/L	0.990
Hierro (Fe)	0.020	mg/L	830.4

Mercurio (Hg)	0.003	mg/L	-
Potasio (K)	0.005	mg/L	1.469
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.022
Magnecio (Mg)	0.018	mg/L	45.44
Manganeso (Mn)	0.005	mg/L	148.7
Molibdeno (Mo)	0.003	mg/L	0.012
Sodio (Na)	0.021	mg/L	1.879
Niquel (Ni)	0.006	mg/L	0.085
Fosforo (P)	0.024	mg/L	2.355
Plomo (Pb)	0.004	mg/L	0.386
Antimonio (Sb)	0.007	mg/L	0.10
Selenio (Se)	0.021	mg/L	-
Silicio (Si)	0.104	mg/L	10.88
Estaño (Sn)	0.041	mg/L	-
Estroncio (Sr)	0.002	mg/L	0.671
Titanio (Ti)	0.005	mg/L	0.037
Talio (Tl)	0.004	mg/L	0.007
Vanadio(V)	0.004	mg/L	0.072
Zinc(Zn)	0.023	mg/L	173.0

Fuente: dirección regional del agua.

Los resultados de la tabla 23 muestran un porcentaje alto en aluminio(Al), Arsenico(Ac), plomo(Pb), calcio(Ca), hierro(Fe), magnesio(Mg), manganeso(Mn), zinc(Zn).

En los resultados brindados por el laboratorio indican, que la contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, el oro, la plata y el zinc, estos son contenidos en las rocas excavadas o expuestos.

4.2. Para el tipo de materiales en los ensayos de electrolisis:

Los principales materiales que utilizamos en el proceso de electrolisis se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 26. Materiales en los ensayos de electrolisis:

Material	Descripción
Tipo de reactor	Polietileno
Cátodo de celda	SS – AISI 304
Ánodo de celda	SS – AISI 304
Electrodo de referencia	Sulfato de cobre
Parámetro	pH metro / Termómetro

Fuente: Elaboración del investigador:

se utilizó el reactor de material polietileno ya que es más fácil y efectivo para el proceso de electrolisis y es eficientemente económico para el proceso.

Para el cátodo y el ánodo de la celda se utilizó placas de acero inoxidable de 30mm de espesor de marca SS-AISI304, tiene una gran resistencia de oxígeno, soporta la corrosión de los ácidos más oxidantes. Este acero inoxidable al sumergirse en el área de la muestra del agua no se oxida, la cual no dificulta el proceso de electrolisis.

Para el caso del electrodo de referencia lo utilizamos para medir el potencial de los electrodos en una celda electroquímica del plomo, ya que el plomo tiene que estar en la zona estable para que pueda removerse. Nos brindara la información como el potencial y el pH del plomo. Una vez estando en la zona estable empieza el proceso de migración, utilizamos el sulfato de cobre porque es más económico.

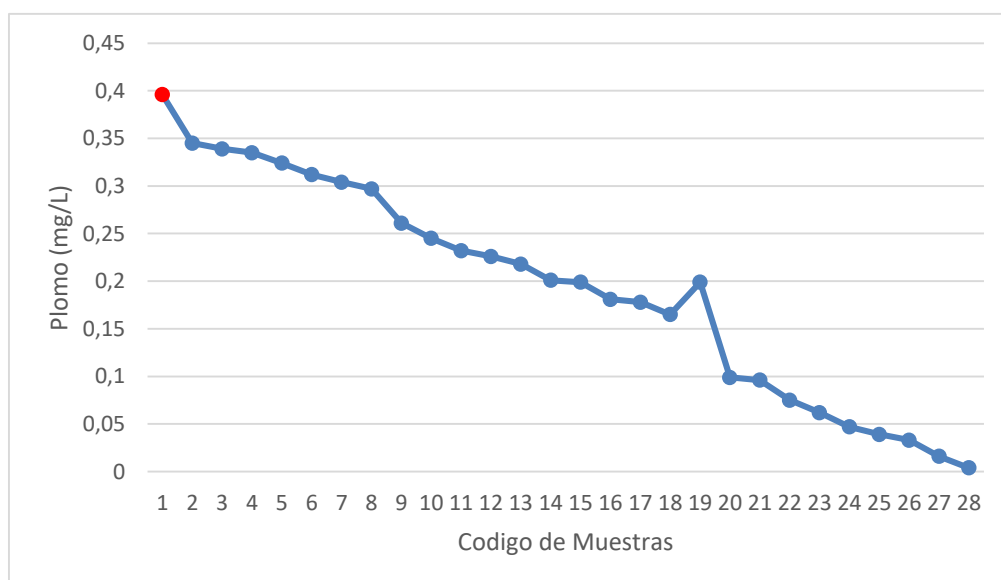
4.3. Para los Resultados de Remoción del plomo (pb) del Drenaje Acido de Mina, (DAM):

En el resultado de los análisis de los ensayos, podemos mencionar que se realizaron 30 experimentos para evaluar el contenido de plomo, como podemos apreciar en el resultado 4.1 Certificado de los ensayos de electrolisis del drenaje acido de Mina (DAM), Hualgayoc.

Empezamos con una la primera muestra (M1) que nos indica que existe 0.386 mg/L de plomo presente en la muestra del drenaje acido de mina. Este valor es antes de ser tratado por el proceso de electrolisis (Resultado 5.1).

Como se puede apreciar en la tabla N°13 – Resultado del plomo inicial del drenaje acido de mina obtenido antes de los ensayos de electrolisis y en el resultado 4.1 certificado de los ensayos de electrolisis del drenaje acido de mina, como código M1

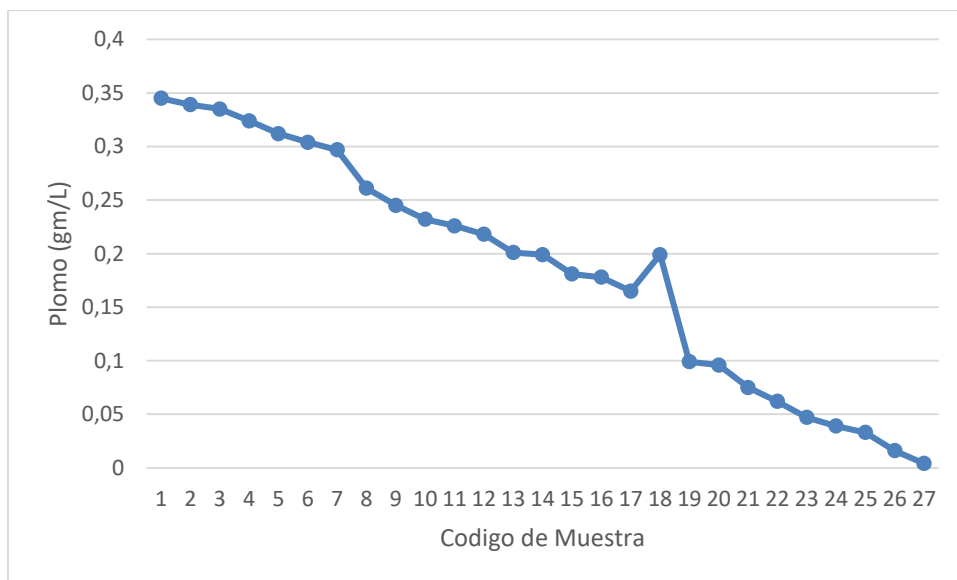
Tabla 27. Remoción del Plomo, según los ensayos, con muestra Inicial y luego del proceso de electrolisis.



Fuente: Elaboración del investigador:

En la Tabla N°26 – (Remoción de plomo según los ensayos, con muestra inicial y luego del proceso de electrolisis). Podemos observar que la muestra inicial (M1), contiene una cantidad de plomo de 0.386 mg/L; y aplicando la técnica de electrolisis en base a la densidad de corriente y el tiempo de retención; se llega a disminuir la concentración de plomo como se observa en muestra (M30) que es de 0.004 mg/L.

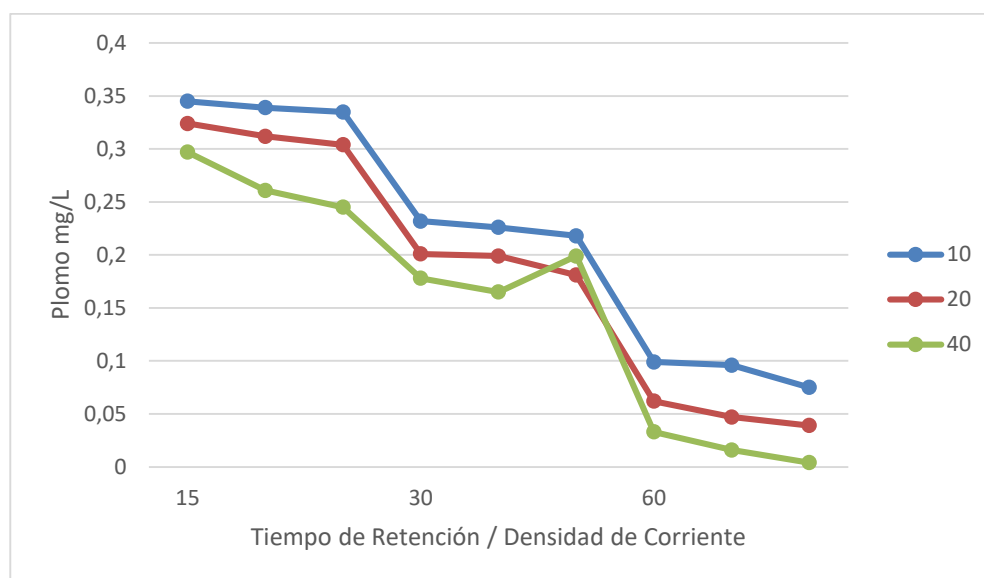
Tabla 28. Resultado de la remoción de Plomo (pb) después de los ensayos de electrolisis.



Fuente: Elaboración del investigador:

Según tabla 27. (Resultado de remoción de plomo después de los ensayos de electrolisis).
Teniendo en cuenta la segunda muestra (M2) (0.335) mg/L de plomo del drenaje ácido de Mina),
esto nos indica que en la M30 ha bajado el porcentaje de plomo (0.004 mg/L de plomo en el
relave).

Tabla 29. Remoción del Plomo, en base a sus dos variables (tiempo de retención y la densidad de corriente).



Fuente: Elaboración del investigador:

También según la Tabla 28 –Podemos mencionar que el tiempo de retención está en función de la densidad de corriente y afectan notablemente en el proceso de electrolisis para la remoción de plomo.

4.2 Análisis ANVA

Según los datos obtenidos estadísticamente mediante el análisis de varianza efectuado a un nivel de confianza del 95%, Para:

FA: Tiempo de Retención, tenemos que $F_0 > F_{tabular}$: $72479.24 > 3.16$ entonces las hipótesis.

Hipótesis nula (H0): El tiempo de retención no afecta la remoción del Plomo.

Hipótesis alterna (H1): El tiempo de retención si afecta la remoción del Plomo.

Vamos a elegir la Hipótesis Alterna: El tiempo de retención si afecta la remoción del plomo

FB: Densidad de corriente tenemos que $F_0 > F_{tabular}$: $4346.03 > 3.16$ entonces las hipótesis.

Hipótesis nula (H0): La densidad de corriente no afecta la remoción del plomo.

Hipótesis alterna (H1): La densidad de corriente si afecta la remoción del plomo.

Vamos a elegir la Hipótesis alterna: La densidad de corriente si afecta la remoción del plomo.

Fab: Interacción entre el tiempo de retención y la densidad de corriente, tenemos que $F_0 > F_{tabular}$ $592.54 > 2.46$

Hipótesis nula (H0): El tiempo de retención y la densidad de corriente no afecta la remoción de plomo.

Hipótesis alterna (H1): El tiempo de retención y la densidad de corriente si afecta la remoción de plomo.

Vamos a elegir la Hipótesis alterna: La interacción del tiempo de retención y la densidad de corriente si afecta la remoción del plomo.

4.3 Conclusiones:

La electrolisis tiene un potencial elevado para el tratamiento de agua acida de minería, en este caso dicha investigación se utilizó para hacer la remoción del plomo(pb) un 97.55%, siendo la muestra inicial de 0.386 mg/L de plomo(pb) y la final de 0.004 mg/L de plomo(pb).

En los ensayos de electrolisis se logró una remoción del plomo (pb) 97.55%, siendo la muestra inicial 0.386 mg/L de plomo y la final de 0.004 mg/L de plomo(pb)

Se concluye que mediante los ensayos ya demostrado que el tiempo de retención y la densidad de corriente influye de una manera notable en el proceso de electrolisis para la remoción del plomo(pb) de agua acida del drenaje acido de mina.

Se determinó que los valores promedios en la remoción de plomo(pb), fue influenciados por el tiempo de retención a diferencia de la densidad de corriente.

APÉNDICE

ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON UN FACTOR (ANVA)

Calculo para el Análisis de Varianza (ANAVA) para reducción de plomo (pb) del drenaje acido de Mina(DAM)

Permite determinar si las medidas de cada nivel del proceso de electrolisis son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

Datos previos:

Planteamiento de hipótesis alterna

H1: a mayor tiempo y densidad de corriente en método de electrolisis reducirá el valor de (pb) en el drenaje acido de Mina.

Nivel de significancia.

En ingeniería se trabaja con un 95% de confianza ($\alpha = 0.05$)

Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis si $F_o > F_{\text{tabular}}$, donde el F_o se obtiene experimentalmente y el F_{tabular} se obtiene de tablas.

Tabla 30. Cuadro del análisis de varianza para un diseño bifactorial para el proceso de electrolisis.

Factor de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F_o	$F_{0.05;v1;v2}$
A	a - 1	SS_A	MS_A	72479.24	3.16
B	b - 1	SS_B	MS_B	4346.03	3.16
Error	a(n-1)	SS_E	MS_E	592.54	2.46
Total	N - 1	SS_T			

Fuente: Elaboración del investigador.

Tabla 31. Datos obtenidos de los volúmenes de gas producido por electrolisis.

Factor B Factor A			Densidad de corriente (mA/cm ²)			
			10	20	40	SUMA B
			b ₁	b ₂	b ₃	
Tiempo de tratamiento	15	a ₁	0.345	0.324	0.297	
			0.339	0.312	0.261	
			0.335	0.304	0.245	
		SUMA	1.019	0.94	0.803	2.762
	30	a ₂	0.232	0.201	0.178	
			0.226	0.199	0.165	
			0.218	0.181	0.199	
		SUMA	0.676	0.581	0.542	1.799
	60	a ₃	0.099	0.062	0.033	
			0.096	0.047	0.016	
			0.075	0.039	0.004	
		SUMA	0.27	0.148	0.053	0.471
SUMA A			1.965	1.669	1.398	10.064

Fuente: Elaboración del investigador:

Grados de libertad

$$a \text{ (niveles)} = 3$$

$$b \text{ (niveles)} = 3$$

$$r \text{ (número de repeticiones)} = 3$$

Grados de libertad de A:

$$(a-1) = 3-1 = 2$$

Grados de libertad de B:

$$(b-1) = 3-1 = 2$$

Grados de libertad del error:

$$a*b (r-1) = 3*3*(3-1) = 18$$

Suma de cuadrados para el factor A (tiempo de tratamiento)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \left(\frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} \right) = 19728.85$$

Suma de cuadrados para el factor B (densidad de corriente)

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \left(\frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} \right) = 1182.99$$

Cálculo de la suma de cuadrados subtotales

$$SS_B = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ij}^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 14.62$$

Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción de factores AxB

$$SS_{AXB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B = 20992.32$$

Cálculo de la suma de los cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 21236.87$$

Cálculos de la suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} = 2.45$$

MEDIA DE CUADRADOS

Cálculo de la media de cuadrados del factor A

$$MS_A = \frac{19728.85}{3 - 1} = 9864.425$$

Cálculo de la media de cuadrados del factor B

$$MS_B = \frac{1182.99}{3 - 1} = 591.495$$

Cálculo de la media de cuadrados del MS_{AB}

$$MS_{AXB} = \frac{322.58}{(3-1) \times (3-1)} = 80.645$$

Cálculo de la media de cuadrados debido al error (MS_E)

$$MS_E = \frac{SS_E}{abx(n-1)} = 0.1361$$

CALCULANDO EL F_0 :

Para el factor A (tiempo de tratamiento)

$$F_o(A) = \frac{9864.425}{0.1361} = 72479.24$$

Para el factor B (densidad de corriente mA/cm²)

$$F_o(B) = \frac{591.495}{0.1361} = 4346.03$$

Para el factor AxB:

$$F_o(A \times B) = \frac{80.645}{MS_E} = 592.54$$

REFERENCIAS

- Alcalino comcha. (2012). *Diseño e implementación de electrolisis universidad de colombia*.
- congresos de EM. (2012). *clasificación de tecnologías del tratamiento de aguas acidas . chile .*
- David, P. (2007). *remediación de aguas acidas .* Puebla, Pue., México: Instituto Nacional de Ecología, Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.
- EM. (2012). *Protección del Medio Ambiente de las Aguas Contaminadas*. lima: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR).
- EPA. (2014). *ventajas y desventajas de DAM*. chile.
- expresa, & G.I. (2012). *objetivos de la electrolisis*.
lima.<http://karenladybluelq.blogspot.com/2014/04/practica-electrolisis-objetivo-que-el.html>
- F, J. (2001). *plomo en el agua .* universidad de chile.
- fundacion , c. (2012). *tecnologías para el tratamiento del agua DAM*. chile: Guillermo Ignacio Alcaíno Concha.
- Gianni , G. (2013). *Los pasivos mineros ambientales y los conflictos sociales en Hualgayoc*.
proyectado en el Centro Cultural Ricardo Palma, 05/03/2013: Pasivos ambientales .

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro Corona por electrolisis para la remoción de plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

González-Dávila . (2012). *contaminacion del agua por los emtales pesados* . mexico: Sergio Abraham COVARRUBIAS y Juan José PEÑA CABRIALES*.

Hernandes. (2010). *aplicacion de la electrolisis en el agua*. lima: proceso de electolisis .

Hernandez. (2010). *fundamentos y sus principios basicos de electrolisis*. lima.

Hernandez. (2014). *esquimatizacion de cargas electricas*. lima.

hugo , A. (2015). *clasificacion del drenaje de mina*.

IPE. (2012). *La Minería Responsable*. Cerro de Pasco: Prólogo desarrollo en el Peru.

ley que regula pasivos ambientales. (ELarticulo 8° de la ley N° 28271). lima: gobierno regionales.

LIN. (2013). *concentracion de minerales en DAM*. lima: MEM.

Lopez R. (2013). *ventajas de electrolisis*. web.

Melendez, C. (2012). *Los pasivos mineros ambientales y Los conflictos sociales en Hualgayoc*. lima: Mitin. .

MEM. (2013). *mediante la resolucion ministerial*. lima: Actualizacion de pasivos Ambientales.

MEM. (2018). *Pasivos ambientales en cartera de Activos Mineros* . PERU: Proyectos Ambientales.

MEN. (2008). *Fases de la Actividad y sus Impactos Ambiental*. Lima: Fase Descripción Impacto ambiental.




Minas, M. d. (2012). *Proteccion de Medio Ambiente de energuia y minas* .

Minas, M. d. (2012). *Proteger el Medio Ambiente* .

Ministerio de Energuia de Minas . (2004). *pasivos ambientales* . lima.

- Oswaldo Aduvire . (2006). *DRENAJE ACIDO DE MINA*. Univercidad de madrid.
- PEASE, H. (LEY N° 28271 Artículo 2°). *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. Lima: EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA.
- Perez. (2007). *Remediacion De Suelos Contaminados de plomo(pb)*. Universidad de Epaña.
- Quijada CH, M. (2015). *pasivos ambientales mineros (PAMS)*. Av. República de Chile 641 -
Jesús María : Red Muqui .
- Ramirez . (2015). *metodo de elctrolisis*. lima. <https://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis>
- sanchez, o. (2016). *definicion de la electrolisis*. lima:
electrolisis. <http://www.fq.uh.cu/dpto/qf/uclv/infoLab/practics/practicass/Electrolisis/teoria.htm>
- U,N, S. (2017). *definicion de la dencidad de corriente*. UN de Selva.
- universidad catolica. (2010). *plomo en el agua* . chile.
- Ventanilla virtual de Energuia y Minas. (2015). *pasivos ambientales mineros* .
- verdejo , S. (2010). *gestion preventiva de aguas acidas articulos científicos*. lima.
- volque. (2012). *tecnologuias para el tratamiento de las aguas acidas de mina* . chile.
- zevallos, f. (2016). “*ESTABILIZACION DEL DRENAJE ACIDO*. HUancayo: tesis.

ANEXOS:1.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1118651			
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	JOSE ABEL TERAN CHILON		
Dirección	Jr. Catalina Ortiz N° 135		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	jose_estudiotv@hotmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	08.11.18	Hora:	05:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	01	N° Frascos x muestra	02
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	HUALGAYOC		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 763	Cadena de Custodia	CC - 651 - 18
N° Orden de Trabajo	1118651		
Fecha y Hora de Recepción	08.11.18	15:24	Inicio de Ensayo 08.11.18 17:00
Reporte Resultado	15.11.18	10:30	
 Bigo. Enver Zulueta Santa Cruz Responsable Técnico (e) CBP: 9778			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
Cajamarca, 16 de Noviembre de 2018.			
1 de 3			
<small>"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO" JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe FONVO: 599000 anexo 1140</small>			

ANEXO:1.1.



INFORME DE ENSAYO N° IE 1118651

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	JTCH		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1118651-01		-	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Cerro Corona-Hualgayoc		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/L	0.021	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.025	10.48	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	4.242	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.022	0.404	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.003	0.044	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	323.4	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.86	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.007	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.006	0.021	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.006	0.990	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.020	830.4	-	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.005	1.469	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.022	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.018	45.44	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.005	148.7	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.003	0.012	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.021	1.879	-	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	0.085	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	2.355	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.386	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.007	0.10	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.021	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	10.88	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.041	<LCM	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.671	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.005	0.037	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	0.007	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	0.072	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.023	173.0	-	-	-	-	-

Cajamarca, 16 de Noviembre de 2018.

2 de 3




LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1118651

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS				
Código Cliente	JTCH		-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1118651-01		-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL		-	-	-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Cerro Corona-Hualgayoc		-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
pH a 25°C	pH	NA	2.54	-	-	-	-


Ing. Qco Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Totales por ICP-OES(Al,Sb,As,Ba,Be,B, Cd, Ca,Cr, Co,Ce,Cu,Fe, Pb,Li,Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se,Si,Ag,Na,Sr,Tl,Sn,Ti,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7, Rev 4.4.1994, (Validado) 2017, Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017, pH Value: Electrometric Method.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, VE: Valor Estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.1, <1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha : 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



Cajamarca, 16 de Noviembre de 2018.

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

ANEXO:2.

LABORATORIO DE MINAS

REPORTE DE ANÁLISIS

Solicitante	: José Abel Terán Chilon
Muestra	: Tratamiento de Agua de Drenaje Mina de la Minera Gold Field, mediante el método de Electrolisis Cajamarca-2019
Fecha de ingreso	: 01/04/2019
Muestras puestas en laboratorio	(30 Muestras de Agua de Drenaje Mina)

N°	Tiempo (min)	Densidad de corriente (mA/cm ²)	T° inicial (°C)	T° final (°C)	pH inicial	pH final	Remoción de Pb(mg/L)
1	0	0	16,8	-	2,42	-	0,396
2							0,411
3							0,398
4	15	10	17,9	18,7	2,49	2,72	0,345
5							0,339
6							0,335
7		20	17,6	19,2	2,54	2,74	0,324
8							0,312
9							0,304
10	40	17,8	19,5	2,46	2,83	0,297	
11						0,261	
12						0,245	
13	30	10	71,4	20,6	2,51	2,75	0,232
14							0,226
15							0,218
16		20	17,7	21,3	2,52	2,77	0,201
17							0,199
18							0,181
19		40	18,8	24,6	2,41	2,8	0,178
20							0,165
21							0,199


Oscar Vásquez Méndez
Coordinador de Laboratorio de Minas
Universidad Privada del Norte
Cajamarca

“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Fotografía:1 ubicación del punto de muestreo



fotografía N° 2: vasos de muestreo



Fotografía N°3: Ph metrohm



fotografía N°4:3 baldes para recolectar la muestra



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Fotografía N°5: lugar donde se tomará las muestras



fotografía Calibración del Ph metrohm



fotografía N°7: toma de medidas del lugar de muestreo



fotografía N° 8: toma de muestra de DAM



}

fotografía N°8: toma de muestra de DAM



fotografía N°9: toma de Ph del DAM



Fotografía N° 10: recojo de muestra de DAM



fotografía N° 11: envase de la muestra



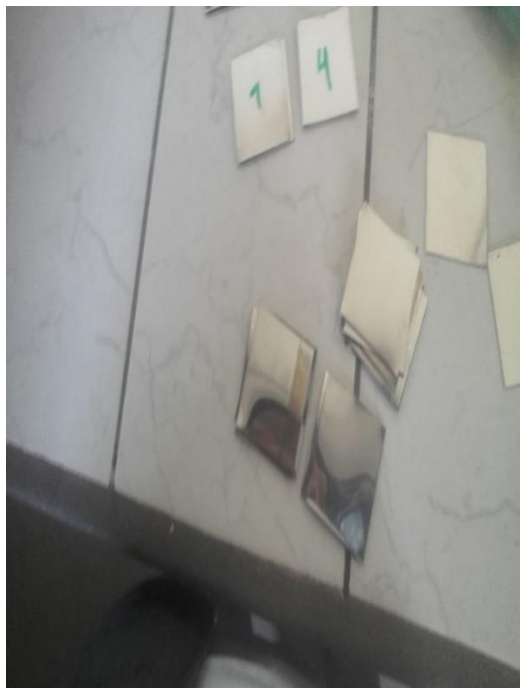
Fotografía N° 12: muestras puesto en laboratorio



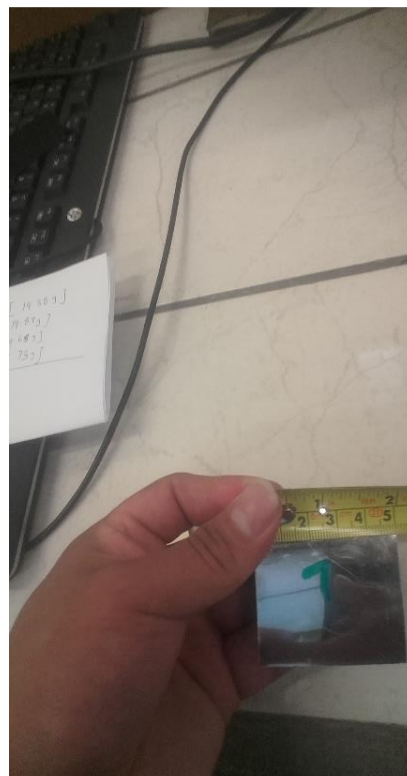
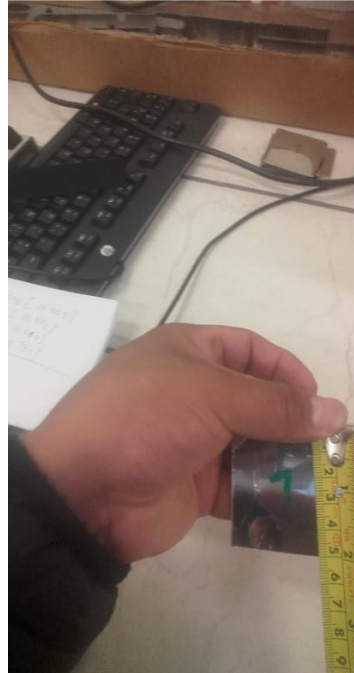
Fotografía N° 13: balanza analítica



fotografía N° 14: placas de aluminio inoxidables



Fotografía N° 15: toma de medidas de las placas inoxidable de 5x5cm



Fotografía N°16: cocodrilos y cables.



Fotografía N° 17 pesos de placas



Fotografía N° 18: Agua destilada para preparación de electrodo de referencia; Recipiente de vidrio para electrodo:



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Alambres de cobre.



Fotografía N°19: Solución saturada de sulfato de cobre; Vertido de solución de sulfato;

Obtención de electrodo de referencia



FotografíaN°20: vaso de presipitacion para vasiar la muestra de DAM.



Fotografía N°21: señalizacion de los vasos para las muestras según las densidades.y el diseño
del reactor utilizada en la presente investigación de electrolisis del (DAM).



Fotografía N°22: proceso de tratamiento de electrolisis de DAM.



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”



Fotografia N° 23: Primera prueba de electrolisis de DAM.



fotografia N° 24: segunda prueba de electrolisis de DAM.



“tratamiento de drenaje ácido de Mina Cerro
Corona por electrolisis para la remoción de
plomo, Hualgayoc – Cajamarca 2019”

Fotografía N° 25: tercera prueba de electrolisis de DAM .

