

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA E INGENIERIA METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



“MANEJO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL PROCESO DE CIANURACIÓN
DE ORO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA CORPORACIÓN MINERA
ANANEA S.A.”

TESIS

PRESENTADA POR BACHILLER:
EDWIN JACINTO CAHUANA HANCCO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA

PUNO - PERU
2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

"MANEJO AMBIENTAL DE EFLUENTES DEL PROCESO DE CIANURACIÓN DE ORO EN LA
PLANTA DE BENEFICIO DE LA CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A."



TESIS PRESENTADO POR:
EDWIN JACINTO CAHUANA HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO REVISOR:

PRESIDENTE DEL JURADO:

M.Sc. Alberto Maquera Gil

1º MIEMBRO DEL JURADO:

M.Sc. German Coillo Cotrado

2º MIEMBRO DEL JURADO:

Ing. Hugo Fernandez Ochoa

DIRECTOR DE TESIS:

M.Sc. Hector Herrera Cordova

ASESOR DE TESIS:

Ing. Oswaldo L. Maynas condori

AREA: MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD EN PROCESOS METALURGICOS

TEMA: EFLUENTES DEL PROCESO DE CIANURACION DE ORO

PUNO – PERÚ
2017

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy quien soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy, como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mis sobrinos y sobrinas quienes han sido la motivación, inspiración y felicidad.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios, por brindarme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Nacional Del Altiplano – Puno, por haberme dado una oportunidad de estudiar una carrera profesional y formarme como un profesional competitivo.

Les doy las gracias a mis padres Jacinto y Agustina por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por la oportunidad de haber tenido una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi hermano y hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, así como a mis sobrinos y sobrinas que son la inspiración familiar.

También quiero dar mi agradecimiento a mis docentes, que durante toda mi carrera profesional, todos han aportado con un granito de arena en mi formación como profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, a las que me encantaría agradecer por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	

CAPITULO I**PROBLEMA DE INVESTIGACION**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	3
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos Específicos	7
1.6. HIPÓTESIS	8
1.6.1. Hipótesis General	8
1.6.2. Hipótesis Especifico	8

CAPITULO II**MARCO TEORICO**

2.1. MARCO CONCEPTUAL	9
2.1.1. Generalidades	9
2.1.2. El Cianuro	10
2.1.3. Presencia del Cianuro en la Naturaleza	11
2.1.4. Usos Industriales del Cianuro	12
2.1.5. Uso del Cianuro en la Producción de Oro	13
2.1.6. Producción y Manipulación del Cianuro	15
2.1.7. El Cianuro en Soluciones	18

2.1.7.1. Cianuro Libre	18
2.1.7.2. Complejos de Cianuro	20
2.1.7.3. Complejos Débiles y Fuertes de Cianuro	21
2.1.7.4. Análisis y Monitoreo del Cianuro	21
2.1.8. Atenuación de las concentraciones de Cianuro en el Ambiente ...	22
2.1.8.1. Tratamiento y Reutilización de Soluciones de Cianuro	22
2.1.9. Evaluación y Manejo de Los Riesgos Del Cianuro.....	32
2.1.9.1. Impactos del Cianuro Sobre la Salud y el Ambiente.....	34
2.1.9.2. Toxicidad y Epidemiología del Cianuro en Seres Humanos	34
2.1.9.3. Exposición de los Trabajadores.....	35
2.1.9.4. Toxicología e Impactos Ambientales	36
2.1.10. Manejo de Los Riesgos Del Cianuro en la Industria Minera	37
2.1.10.1. Sistemas de Gestión e Investigación y Desarrollo.....	38
2.1.10.2. Manipulación del Producto	39
2.1.10.3. Conservación y Reciclado	40
2.1.10.4. Normativa y Programas Voluntarios Dirigidos a la Seguridad Laboral y la Salud Pública	40
2.1.11. Información Sobre Los Riesgos.....	41

CAPITULO III METODOLOGIA

3.1. MATERIALES	43
3.1.1. Instrumental	43
3.1.2. Reactivos	43
3.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO	44
3.3. TOMA DE MUESTRAS	44
3.4. PARTE EXPERIMENTAL	45
3.4.1. Dosis Óptima de Reactivos Para la Degradación de Cianuros	45
3.4.1.1. Rango de pH	45
3.4.1.2. Dosificación de Sulfato de Hierro	45
3.4.1.3. Dosificación de Sulfato de Cobre	46
3.4.1.4. Dosificación de Peróxido de Hidrógeno.....	46
3.4.2. Ensayos de Tratabilidad de Cianuros	46
3.4.2.1. Remoción Mediante Sistema Combinado FeSO ₄ /H ₂ O ₂	46
3.4.2.2. Remoción Mediante Sistema Combinado CuSO ₄ /H ₂ O ₂ ...	47
3.4.2.3. Remoción Mediante Sistema Combinado FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂	47
3.4.3. Determinación de la Concentración de Cianuros	47

3.4.3.1. Determinación de Cianuro Total	47
3.4.3.2. Determinación de Cianuro Libre	49
3.5. TRATAMIENTO DE DATOS	49

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. RANGO ÓPTIMO DE PH.....	52
4.2. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATO DE HIERRO	53
4.3. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATO DE COBRE	54
4.4. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO ...	55
4.5. DEGRADACIÓN DE CIANURO CON PERÓXIDO DE HIDROGENO Y SULFATO DE HIERRO	57
4.6. DEGRADACIÓN DE CIANURO CON PERÓXIDO DE HIDROGENO Y SULFATO DE COBRE	58
4.7. DEGRADACIÓN DE CIANURO TOTAL, PREVIA MEZCLA DE SULFATO DE HIERRO - SULFATO DE COBRE Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO ...	60
4.8. ESTANDARES NACIONALES	62

CAPÍTULO V DISCUSIÓN

5.1. INFLUENCIA DEL PH EN LA DEGRADACIÓN DE CIANURO	63
5.2. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATOS DE HIERRO Y COBRE	65
5.3. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDROGENO ...	67
5.4. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO CON SULFATO DE COBRE O SULFATO DE HIERRO	70
5.5. ASPECTOS COMPARATIVOS DE LA DEGRADACIÓN DE CIANUROS ENTRE LOS SISTEMAS EXAMINADOS.....	73
5.6. NOCIONES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS COLAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE MENAS.....	74

CAPÍTULO VI ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. IMPACTO SOBRE EL AMBIENTE FÍSICO.	77
6.2. IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL AMBIENTE BIOLÓGICO	79
6.3. IMPACTO EN EL AMBIENTE SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL.....	79
6.3.1. Riesgo de Afectación de la Salud	79
6.3.2. Generación de Empleo	80
6.3.3. Mejora de los Niveles de Capacitación	80
6.4. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL.....	80

6.4.1. Control de la Calidad de Aire	80
6.4.2. Mitigación de Ruidos.....	81
6.4.3. Control de Calidad de Agua	81
6.4.4. Prevención de Efectos Ocupacionales.....	82
6.4.5. Disposición de Desechos Orgánicos.....	83
6.4.6. Mitigación de la Alteración de la Flora y Fauna.....	83
6.5. PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL.....	83
6.5.1. Calidad del Aire y Emisiones Gaseosas	84
6.5.2. Calidad de Agua.....	84
6.5.3. Plan de Manejo Social	84
6.6. ANÁLISIS Y MONITOREO DEL CIANURO.....	85
6.7. CÓDIGO INTERNACIONAL PARA EL MANEJO DEL CIANURO.....	85
6.7.1. Proveedor	85
6.7.2. Transporte.....	85
6.7.3. Manipulación y Almacenamiento.....	86
6.7.4. Operaciones.....	86
6.7.5. Seguridad De Los Trabajadores	87
6.7.6. Respuesta Ante Emergencias.....	87
6.7.7. Capacitación	88
6.7.8. Diálogo.....	88
6.8. PLAN DE CIERRE Y POST CIERRE	89
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Concentraciones de cianuro en plantas	12
Tabla N° 02: Análisis de soluciones estériles.....	20
Tabla N° 03: Degradación natural del cianuro en depósitos de relaves	24
Tabla N° 04: Criterios de Eficiencia en la Prueba	51
Tabla N° 05: Degradación del CNT a Diferentes Valores de pH	52
Tabla N° 06: Degradación del CN _L a Diferentes Valores de pH	53
Tabla N° 07: Degradación del CNT con FeSO ₄ .8H ₂ O	54
Tabla N° 08: Degradación del CN _L con FeSO ₄ .8H ₂ O.....	54
Tabla N° 09: Degradación del CN _T con CuSO ₄ .7H ₂ O	55
Tabla N° 10: Degradación del CN _L con CuSO ₄ .7H ₂ O	55
Tabla N° 11: Degradación del CN _T con H ₂ O ₂	56
Tabla N° 12: Degradación del CN _L con H ₂ O ₂	56
Tabla N° 13: Degradación de CN _T con FeSO ₄ y H ₂ O ₂	57
Tabla N° 14: Degradación de CN _L con FeSO ₄ y H ₂ O ₂	58
Tabla N° 15: Degradación de CN _T con CuSO ₄ y H ₂ O ₂	59
Tabla N° 16: Degradación de CN _L con CuSO ₄ y H ₂ O ₂	59
Tabla N° 17: Degradación de CN _T con FeSO ₄ /CuSO ₄ y H ₂ O ₂	60
Tabla N° 18: Degradación de CN _L con FeSO ₄ /CuSO ₄ y H ₂ O ₂	61
Tabla N° 19: LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA.....	62
Tabla N° 20: Degradación de cianuros totales	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Equilibrio de CN-/HCN con el pH.....	18
Gráfico N° 02: El ciclo del cianuro.....	23
Gráfico N° 03: Proporción de CN _T en función del pH	63
Gráfico N° 04: Proporción de CN _L en función del pH	64
Gráfico N° 05: Degradación de CN _T con FeSO ₄	65
Gráfico N° 06: Degradación de CN _L con FeSO ₄	65
Gráfico N° 07: Degradación de CN _T con CuSO ₄	66
Gráfico N° 08: Degradación de CN _L con CuSO ₄	67
Gráfico N° 09: Degradación de CN _T con H ₂ O ₂	68
Gráfico N° 10: Degradación de CN _L con H ₂ O ₂	68

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 01** AMBITO DE ESTUDIO
- Anexo 02** MARCO LEGAL
- Anexo 03** RESULTADOS ANALÍTICOS
- Anexo 04** TRATAMIENTO DE DATOS

ABREVIATURAS

pH	Variación de hidrogeno
hr	Hora
tn	Tonelada
%	Porcentaje
L/S	Relación liquido-sólido
°C	Grado Celsius
ppm	Partes por millón
g/cm ³	Gramo por centímetro cúbico
kg/m ²	Kilogramo por metro cuadrado
Eh	Equilibrio potencial o diagrama potencial
kg	Kilogramo
cm	centímetro
TM	Toneladas métricas
%R	Porcentaje de recuperación
mg	Miligramo
mg/l	Miligramo por litro
mg/kg	Miligramo por kilogramo
g/l	Gramo por litro
mm	Milímetro
mmHg	Milímetro de mercurio
rpm	Revolución por minuto
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
min	Minuto
m ³	Metro cúbico
H	Altura
pulg	Pulgada
kW	Kilo watt
φ	Diámetro

RESUMEN

La industria minera aurífera tiene como propósito la obtención eficiente de oro, Para este fin utilizan baños que contienen compuestos químicos de elevada toxicidad, tales como el cianuro, que llegan a formar parte de los efluentes, y son considerados una fuente significativa de contaminación. El objetivo de este proyecto es probar a escala de laboratorio, la solución técnica que podría servir como alternativa de tratamiento para el efluente generado en las instalaciones de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea, consiguiéndose una mejora ambiental. Con los resultados obtenidos, la intención es obtener una primera aproximación sobre el posible éxito de la aplicación industrial de la técnica y poder concluir si es técnicamente factible y económicamente viable, para poder plantearla como alternativa de tratamiento.

Este trabajo de tesis está enfocado en la reducción de la cantidad de cianuro de aguas residuales mediante un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno coadyuvado con sales de hierro y/o cobre, provista de agitación durante un periodo de tiempo a un pH alcalino. Los resultados finales evidenciaron que el mejor tratamiento con un rendimiento del 99% se presenta a los 60 minutos. Las condiciones óptimas necesarias para lograr este resultado son un pH de 11, agitación constante para homogenizar los componentes y la aplicación de una proporción de sulfato de hierro, sulfato de cobre y peróxido de hidrógeno de 2.0, 3.0 y 2.5, respectivamente.

Concluyendo que las concentraciones actuales de aniones de cianuro el promedio máximo es de 1541.21mg/l en las muestras de los efluentes del proceso y la degradación de cianuro con peróxido de hidrogeno, resulto más eficiente que las demás pruebas que nos permitió manejar cianuros totales y libres, para alcanzar valores por debajo del límite máximo permisible (0.020 ppm), siendo los resultados en la degradación óptima alcanzada de 99.5% en promedio.

PALABRAS CLAVE: Cianuro, degradación, superoxidantes, catalizador, análisis.

ABSTRACT

The purpose of the gold mining industry is to obtain gold efficiently. To this end, they use baths containing highly toxic chemical compounds, such as cyanide, which become part of the effluent and are considered a significant source of contamination. The objective of this project is to test at laboratory level, the technical solution that could serve as an alternative treatment for the effluent generated at the facilities of the Corporation Minera Anana concentrating plant, achieving an environmental improvement. With the results obtained, the intention is to obtain a first approximation about the possible success of the industrial application of the technique and to be able to conclude if it is technically feasible and economically feasible, to be able to propose it as an alternative treatment.

This work of thesis is focused in the reduction of the quantity of cyanide of waste water by means of a process of oxidation by peroxide of hydrogen contributed with you go out of iron and / or copper, provided with agitation during a period of time for an alkaline pH. The final results demonstrated that the best treatment with a performance of 99 % appears to 60 minutes. The ideal necessary conditions to achieve this one proved sound a pH of 11, constant agitation to homogenize the components and the application of a proportion of sulfate of iron, sulfate of copper and peroxide of hydrogen of 2.0, 3.0 and 2.5, respectively.

Concluding that the current concentrations of anions of cyanide the maximum average is of 1541.21mg/l in the samples of the effluent ones of the process and the degradation of cyanide with peroxide of hydrogen, I turn out to be more efficient than other tests than us it allowed to handle total and free cyanides, to reach values below the maximum permissable limit (0.020 ppm), being the results in the ideal degradation reached of 99.5 % in average.

KEY WORDS: Cyanide, degradation, superoxidant, catalyst, analiysis.

INTRODUCCIÓN

El beneficio de importantes yacimientos de oro, en la región Nornoroeste del departamento de Puno, a través de plantas concentradoras, genera efluentes cianurados con elevadas concentraciones de cianuro de sodio (*i.e.*, de 350 hasta 1500 mg/l); los que posteriormente son detectados en el sistema hídrico contiguo con elevados niveles (80 mg/l) de iones de cianuro total.

Este problema es especialmente preocupante, debido a que se hallan presentes riesgos ambientales que residen en los embalses de relave, donde las filtraciones a través de muros de contención o fisuras podrían producir una catástrofe, así como también las percolaciones hacia acuíferos y/o emanaciones tóxicas gaseosas que, se potencian en la época lluviosa del año que expone la región.

Adicionalmente, es necesario considerar que, los procesos de contaminación por sólidos totales suspendidos en combinación con metales disueltos como el arsénico, cadmio, manganeso y antimonio, así como con metales pesados como plomo, hierro y mercurio representan un riesgo de toxicidad por bioacumulación para la biota y por biomagnificación para el ser humano. Se recomienda, por reglamentación ambiental internacional (OMS, OPS, EPA, *etc.*), disminuir el nivel de cianuros en los efluentes mineros a 1 mg/l de cianuro total, valor muy cercano a la norma para el agua potable que es de 0,2 a 0,5 mg/l.

Existe una serie de alternativas para tratar aguas cianuradas, dentro de ellas constan métodos químicos, biológicos, de fotodegradación, entre los principales. Los métodos químicos incluyen la utilización de compuestos que actúan como agentes oxidantes del ión cianuro, logrando degradarlo a su forma menos tóxica, el cianato. Algunos de los compuestos más empleados con este fin son el hipoclorito de sodio (NaClO), el ácido de caro (H_2SO_5) y el peróxido de hidrógeno (Gaviria *et. al.*, 2006). Previamente se han desarrollado estudios para determinar la eficiencia de reducción de cianuro en el tratamiento de aguas residuales, estableciéndose que mientras mayor es el tiempo de retención, mayor es el rendimiento obtenido en la disminución del ión cianuro, teniendo que en 4 horas se puede reducir un 95% (Gaviria *et. al.*, 2006). Se ha determinado

además que con la adición de pocos ppm de catalizadores que consisten en sales de metales solubles, como el de cobre, la velocidad de reacción y el grado de eliminación del ión cianuro pueden ser reforzados.

De otro lado, la degradación del cianuro por oxidación acelerada es un método conveniente para obtener resultados favorables, y puede realizarse por varios métodos, uno de los cuales, el más conocido y empleado por razones económicas, es el proceso con sulfato ferroso/peróxido de hidrógeno. Sin embargo, este proceso depende de varios parámetros como pH, concentración de Sulfato Ferroso y otros que son propios del efluente de un lugar específico y cuyos valores son desconocidos. Del control de estas variables dependerá la eficacia en la reducción de cianuros de los efluentes provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A., la misma que se pretende plantear en el presente tema de investigación.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

El yacimiento minero Ana María, como otros importantes (e.g, Gavilán de Oro, Untuca, Carabena, La Rinconada, etc.) ubicados en el distrito de Ananea, al nor-noroeste del departamento de Puno; contienen yacimientos estratoligados y vetas que muestran deformaciones correspondientes al tectonismo hercínico inicial, que son explotados mediante labores de cruceros, sub niveles, chimeneas inclinadas y verticales, tratando de seguir la parte más rica del manto y procesarlos en plantas concentradoras como la de la Corporación Minera Ananea S.A., que tiene una capacidad de tratamiento de 22 Ton/día, para una “ley de cabeza” de mineral que varía entre 10 y 20 gr/TM.

Actualmente, las canchas de relave por flotación y cianuración, que son el componente final de la planta de beneficio, reciben afluentes con 350 a 700 ppm de cianuro de sodio (utilizando permanentemente 120 m³ de agua al día), que se depositan como sedimentos. Sin embargo, este tratamiento de degradación natural toma varios días, semanas y aún algunos meses; y el periodo de tiempo de almacenaje representa un riesgo para posibles derrames, percolaciones a acuíferos y/o emanaciones de cianuro de hidrógeno gaseoso en las proximidades de cada cancha de relave. Los efluentes de la laguna Rinconada son un afluente principal de la cuenca de río Ramis, pudiendo desencadenar eventos de contaminación por cianuro, sólidos totales en suspensión y metales disueltos (e.g., As, Pb, Cd, Mn, Fe, Sb, Hg) a través de su asimilación en la cadena trófica, lo que representaría elevados niveles de toxicidad para la biota y el ser humano.

Además, en temporadas de precipitaciones pluviales, las lluvias drenan el contenido metálico de los relaves, contaminando los riachuelos que provienen de sendos deshielos. Análisis efectuados con anterioridad indican concentraciones de hasta 80 ppm de iones de cianuro total en el sistema hídrico receptor, estableciéndose como uno de los mayores impactos que ocasiona la actividad minera extractiva del lugar. Por lo puntualizado líneas arriba, es necesario efectuar acciones concretas de confrontación a este problema, con el fin de lograr reducir la cantidad de cianuro en los afluentes de la parte alta de la cuenca del río Ramis.

Para ello, es pertinente la explicación de las siguientes incógnitas: ¿Cuáles son las concentraciones de cianuro en los efluentes de las concentradoras en la zona de la Rinconada, Antahuila? ¿Los límites máximos permisibles para el vertimiento de este tipo de efluentes, son superados?, si es así ¿En qué proporción y qué representa ello para la salud pública?

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el método adecuado para minimizar el contenido de cianuro, para confrontar la toxicidad de los efluentes del proceso de recuperación del oro de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las concentraciones actuales de aniones de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.?
- ¿Cómo es el desarrollo de un método eficiente de neutralización para minimizar el contenido de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.?
- ¿Cómo es la evaluación de la degradación de cianuro, mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El impacto que posiblemente estaría ocasionando la actividad minera extractiva en la parte alta de la cuenca del río Ramis, debido a los insumos que se utilizan en el proceso de recuperación de oro en las plantas concentradoras, representan un riesgo de toxicidad para la biota y los seres humanos, en razón a que posibles derrames, percolaciones a acuíferos y/o emanaciones de ácido cianhídrico gaseoso, podrían ser las vías de ingreso a la cadena trófica del ecosistema.

Por tal motivo se ha desarrollado el presente estudio basado en el tratamiento de las aguas provenientes de un proceso industrial que genera gran impacto hacia la comunidad: la industria minera aurífera, misma que aplica un conjunto de mecanismos, procesos y agentes químicos, para extraer eficientemente el oro de los minerales.

La técnica de tratamiento escogida corresponde a un estudio de factibilidad – viabilidad de acuerdo con las características y necesidades de nuestro medio, pues el método de oxidación de cianuro con peróxido de hidrógeno, constituye una medida con resultados favorables a corto plazo y es de fácil aplicación para la empresa que la implemente.

El desarrollo de este tipo de estudios aporta en la gestión de reducción de contaminantes tóxicos, para asegurar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de acuerdo a la reglamentación vigente en materia ambiental, lo que incrementa el interés por desarrollar la presente investigación.

1.4. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La industria moderna del oro utiliza el cianuro casi exclusivamente como agente lixivante del oro. Se han utilizado otros agentes acomplejantes como la tiourea, tiocianato, tiosulfato, los cloruros, ioduros y otros haluros para extraer el oro del mineral, pero generalmente no son rentables y presentan problemas particulares para el ambiente y la salud. Los complejos de cianuro son más estables y eficaces y no necesitan otras sustancias químicas agresivas para realizar la recuperación del oro.

El cianuro ha sido utilizado en minería desde hace más de un siglo. Una vieja técnica para la recuperación del oro, que ha dejado de utilizarse en las modernas plantas de extracción de oro, es la amalgamación con mercurio líquido. En algunos países en desarrollo, los mineros artesanales siguen utilizando el mercurio líquido para acomplejar el oro proveniente de pequeñas explotaciones mineras.

Sin embargo, se ha desalentado esta práctica debido a que el deficiente manejo del mercurio líquido y del vapor que surge al volatizar el mercurio provoca serios problemas ambientales, de salud a los colaboradores. Al no desarrollar la recuperación de mercurio volatilizado un sistema lavador con solución alcalina esto permitirá la recuperación de mercurio. Aunque las preocupaciones ambientales por el uso del cianuro en minería se han hecho más públicas sólo en los últimos años, realmente existe una larga historia sobre el uso del cianuro en procesos metalúrgicos y otros procesos en todo el mundo. Dippel y Diesbach descubrieron el “azul de Prusia” (ferrocianuro de hierro) en 1704. El primer trabajo bien documentado fueron los estudios de Scheele sobre la solubilidad del oro en soluciones de cianuro que datan de 1783 en Suecia. La química oro-cianuro se estudió activamente a mediados del siglo XIX en Inglaterra (Faraday), Alemania (Elsner) y Rusia (Elkington y Bagration). Alrededor de 1840, Elkington obtuvo una patente por el uso de soluciones de cianuro de potasio para galvanoplastia oro y plata.

Elsner lideró la evaluación del papel del oxígeno en la disolución del oro mediante soluciones de cianuro. La “Ecuación de Elsner”, que describe la extracción del oro del mineral mediante el cianuro, se conoció en 1846. Las patentes formalizadas por McArthur y los hermanos Forrest en 1887 y 1888 efectivamente establecieron el proceso vigente de cianuración, el uso de la disolución del cianuro y la precipitación por medio del zinc.

Sin embargo, existían patentes anteriores en los Estados Unidos relacionadas con la lixiviación con cianuro (Rae en 1869) y la recuperación a partir de soluciones cloradas utilizando carbón vegetal (Davis en 1880). La primera planta de cianuración a escala comercial comenzó a funcionar en la Mina Crowe en

Nueva Zelanda en 1889, y hacia 1904 los procesos de cianuración también estaban en marcha en Sudáfrica, Australia, Estados Unidos, México y Francia. Por consiguiente, a comienzos de siglo, el uso del cianuro para extraer oro de mineral de baja ley ya era una tecnología metalúrgica plenamente establecida. El yacimiento minero Ana María, está ubicado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental del Perú y en los parajes denominados Rinconada y Lunar de Oro, distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, a 190 km de Juliaca.

Los más importantes yacimientos en el Paleozoico son de oro. Ocurren asociados con volcánicos marinos de edad ordovícica y granitoides de edad Hercínico inicial. Los volcánicos Ananea y los esquistos ordovícicos en la región Sureste (área Sandía), contienen yacimientos estratoligados y vetas que muestran deformaciones correspondientes al tectonismo Hercínico inicial. Las más importantes ocurrencias estratoligadas de este grupo son: Gavilán de Oro, Untuca, Ana María, Carabarena, y La Rinconada.

La mineralización en Ana María es en mantos, fracturas, micro fracturas, dando una caracterización de filón en capa. Los minerales típicos de la zona son: Oro libre de textura irregular “charpas” y finas, asociado al cuarzo, junto a la pizarra, pirita, Arseno pirita, blenda, esfalerita, galena, y minerales de ganga se presentan en proporciones ya sea metálicas y no metálicas constituyendo como impurezas, por no ser económicamente beneficiables. Estos minerales son Cuarzo lechoso, Calcita, Caolín, Calcopirita, etc.

Una característica de la minería que se practica en la zona es la explotación mediante labores de cruceros, sub niveles, chimeneas inclinadas y verticales, tratando de seguir la parte más rica del manto, dejando de tratar áreas mineralizadas de baja ley, que podrían ser trabajadas utilizando con procesos más eficientes.

La Planta concentradora de Corporación Minera Ananea, está localizada a 4820 msnm, tiene una capacidad de tratamiento de 22 ton/día. Con una Ley de cabeza del mineral que varía de 10 a 20 gr/TonM. Está compuesta de circuitos de chancado y molienda, y de concentración por gravimetría y flotación,

recuperándose el Oro grueso por amalgamación y posterior refogado en retorta, obteniendo el Oro refogado y el mineral fino es recuperado por flotación y lixiviación de concentrados de oro por el método de carbón en Pulpa. El mineral es transportado de la mina a tolva de gruesos de planta que atraviesa el grizzly, juntamente con el producto de la chancadora, es alimentado a un circuito cerrado de chancado secundario, compuesto de una chancadora de quijada de 6 x 8 pulgadas de diámetro.

Con la finalidad de liberar las partículas valiosas (oro nativo) y sulfuros auríferos el mineral es alimentado a razón de 1.2 TonM por hora, mediante una faja de 16" x 5", a un molino de bolas de 4" x 4", que opera en circuito cerrado con un clasificador helicoidal de 24" x 16". El producto del circuito es una pulpa de 25 % de sólidos, con una granulometría de 72 % menor que la malla -200.

El relave de flotación es el relave final de la planta de beneficio, el cual se transporta por gravedad hacia la cancha de relaves con capacidad suficiente para 10,000 TonM. Para tratar 22 TonM/día de mineral se necesita 100 m³/día de agua, que es abastecida del drenaje proveniente de la bocamina Lunar de Oro, MAR, Balcón. En la actualidad se registran efluentes permanentes provenientes de las canchas de relaves de flotación y cianuración que se ubican al pie de la planta, dependiendo de la estacionalidad varían de caudal y composición. Se produce 39.9 TonM/día de relaves provenientes de la planta y 120 m³/mes de solución de relave de Cianuración. El efluente de la planta de recuperación de oro contiene de 350 a 700ppm de NaCN, el cual es acumulado en canchas de relave, para su tratamiento por degradación natural. Sin embargo la degradación natural toma varios días a semanas y aun meses, que significa un peligro latente de posibles derrames, percolaciones a un acuífero, emanaciones de HCN gaseoso cerca de la cancha de relave.

Se tiene relaves antiguos y actuales con alto contenido de cianuro que se encuentran acumulados como sedimentos. En la temporada de avenida de precipitaciones las lluvias lavan los contenidos metálicos de los relaves, contaminando los riachuelos que provienen de los deshielos, en análisis efectuados se obtuvo concentraciones de hasta 80 ppm de Cianuro total.

Una de las amenazas que se encuentra son los acuíferos efluentes de la laguna Rinconada que es efluente principal de la cuenca de río Ramis, por contaminación por cianuro, sólidos totales en suspensión y metales disueltos ocasionados por la extracción minera desarrollados. La contaminación por sólidos totales suspendidos en combinación con metales disueltos como As, Pb, Cd, Mn, Fe, Sb, Hg que son altamente tóxicos para la biota y el ser humano.

El riesgo medioambiental reside en los embalses de relave, las filtraciones o roturas que pueden producir una catástrofe. Se plantea la reducción del contenido en cianuros de los efluentes del proceso, antes de su ingreso a la cancha de relave por una razón fundamental, la propia reducción del riesgo medioambiental que supone tener una cancha de relaves de grandes dimensiones con todos los problemas de almacenamiento que ello conlleva. Es recomendable por reglamentación ambiental internacional disminuir el nivel de cianuro en los efluentes mineros a 1 ppm de cianuro total, valor muy cercano a la norma para el agua potable que es de 0.5 a 0.2 ppm.

La degradación del cianuro por oxidación acelerada puede realizarse por varios métodos, uno de los cuales, el más conocido y empleado por razones económicas es el proceso con $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$. Sin embargo, este proceso depende de varios parámetros como pH, concentración de FeSO_4 y otros que son propios del efluente de un lugar específico y cuyos valores son desconocidos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un método adecuado para minimizar el contenido de cianuro, para confrontar la toxicidad de los efluentes del proceso de recuperación del oro de la planta concentradora de Corporación Minera Ananea S.A.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones actuales de aniones de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.

- Desarrollar un método eficiente de neutralización para minimizar el contenido de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.
- Evaluar la degradación de cianuro, mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis General

Es probable que las concentraciones de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro sean reducidas a tal nivel que no superen los límites máximos permisibles, mediante el tratamiento con peróxido de hidrógeno.

1.6.2. Hipótesis Específico

- Es posible determinar las concentraciones actuales de aniones de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.
- Desarrollando un método eficiente de neutralización se conseguirá minimizar el contenido de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro, provenientes de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea S.A.
- Con la evaluación de la degradación de cianuro, mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio, se determinara la minimización del contenido de cianuro en los efluentes del proceso de recuperación del oro.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Generalidades

La química de los compuestos cianógenos no es solamente de las más antiguas, sino también una de las más fascinantes en el campo de la ciencia. Es extraño que siendo el ácido cianhídrico uno de los materiales más tóxicos y mortales, sea uno de los componentes básicos para el germen de la vida. Actualmente encontramos productos de cianuro en todas partes. En diferentes formas se originan de los sectores de la química inorgánica y de polímeros. El cianuro juega un papel indispensable en la industria metalúrgica, electrometalurgia y en la minería.

La aplicación comercial del cianuro para la extracción de oro tiene cerca de un siglo, desde 1898 cuando fue utilizado por primera vez en nueva Zelanda y Sudáfrica. La cianuración es un proceso muy eficiente capaz de extraer oro de menas relativamente pobres con una eficiencia del 90%.

El uso de soluciones a base de agua para extraer y recuperar metales como el oro se denomina hidrometalurgia. Las operaciones de minería del oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0.01% y 0.10% de cianuro (100 a 1000 ppm). El proceso de disolución de metales se denomina lixiviación. El cianuro de sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral. La solución resultante que contiene oro se denomina "solución rica". Luego se agrega zinc o carbón activado a la solución cargada para recuperar el oro

extrayéndolo de la solución. La solución residual o “estéril” puede recircularse para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos. Existen dos enfoques generales para la lixiviación del oro de un mineral mediante el cianuro: la lixiviación en tanque y la lixiviación en pila.

La lixiviación en tanques es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. En algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques para disolver el oro en una solución de cianuro. Cuando el oro se recupera en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se recogerá junto con los residuos sólidos (relaves) en un sistema de depósitos de relaves. Allí, parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y parte se decantará y se recogerá en un estanque encima de los relaves, desde donde se la recicla y se la envía nuevamente a la planta de beneficio.

En la mayoría de las plantas, debido a la acumulación de impurezas, algunas de las soluciones que contienen cianuro deben ser bombeadas a un sistema de tratamiento para su eliminación. Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura y se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se lo coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. Cuando se utiliza la tecnología de lixiviación en pila para extraer oro, la solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

2.1.2. El Cianuro

Cianuro es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. Los compuestos de cianuro contienen sustancias químicas (antropogénicas) que se encuentran presentes en la naturaleza o que han sido producidas por el hombre. Existen más de 2,000

fuentes naturales de cianuro, entre ellos, distintas especies de artrópodos, insectos, bacterias, algas, hongos y plantas superiores. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro sólido de sodio y de potasio. Debido a sus propiedades únicas, el cianuro se utiliza en la fabricación de partes metálicas y en numerosos productos orgánicos comunes como los plásticos, las telas sintéticas, los fertilizantes, los herbicidas, los tintes y los productos farmacéuticos.

Existe una justificable preocupación pública por el uso del cianuro en ambientes industriales. El cianuro es una sustancia tóxica que puede ser letal si se la ingiere o se la inhala en cantidades suficientes. Esto también sucede con muchas otras sustancias químicas como la gasolina y los productos habituales para la limpieza del hogar. Al igual que miles de otras sustancias químicas que se utilizan en nuestros procesos industriales modernos; el conocimiento, los procedimientos adecuados de manipulación y una actitud responsable son fundamentales para el uso seguro y beneficioso del cianuro.

La minería es una actividad industrial que utiliza una cantidad significativa de cianuro, aproximadamente un 20% de la producción total. Desde 1887, las soluciones de cianuro se han utilizado principalmente para extraer oro y plata de material mineral, que de otro modo no podrían extraerse eficazmente, (Eisler, 1991). Además, el cianuro se utiliza en concentraciones bajas como un reactivo de flotación para ayudar a recuperar metales base como el plomo, el cobre y el zinc.

2.1.3. Presencia del Cianuro en la Naturaleza

El carbono y el nitrógeno, los dos elementos que forman el cianuro, están presentes a nuestro alrededor. Juntos forman casi el 80% del aire que respiramos y ambos están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida. El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas del desarrollo de nuestro planeta como precursor de los aminoácidos, a partir de los cuales evolucionó la vida sobre la tierra. El cianuro se forma naturalmente. Las plantas y los animales lo producen y utilizan como un mecanismo de protección que los convierte en una fuente alimenticia poco

atractiva. Muchos organismos pueden adaptarse a la presencia del cianuro o eliminar su toxicidad.

Una fuente natural de cianuro de hidrógeno (HCN) es un compuesto similar al azúcar llamado amigdalina, que existe en muchas frutas, verduras, semillas y nueces, entre ellos los damascos, brotes de poroto, castañas de cajú, cerezas, castañas, maíz, judías, lentejas, nectarinas, duraznos, maníes, pecanas, pistachos, papas, soja y otras nueces. En el corazón de la almendra amarga hay aproximadamente 1 mg de HCN en forma de amigdalina. La tabla N° 01 presenta datos sobre la cantidad de cianuro presente en diversos alimentos.

Tabla N° 01: Concentraciones de cianuro en plantas

Especies de plantas	Concentración (mg/kg)
Yuca (variedades dulces)	
Hojas	377 – 500
Raíces	138
Raíces desecadas	46 – 100
puré	81
Punta de bambú	Máx. 8000
Frejol blanco	2100
Almendra amarga	280 – 2500
Sorgo (planta joven, integral)	Máx. 2500

Fuente: Extractado de Eisler, 1991

Los compuestos de cianuro se producen en miles de especies de plantas y en otras formas de vida. En algunas plantas, el cianuro está presente en concentraciones que podrían juzgarse como “peligrosas” si estuvieran asociadas a fuentes manufacturadas. Plantas tales como la alfalfa, el sorgo y la yuca son conocidas fuentes de envenenamiento por cianuro para el ganado y a los seres humanos. Además de estas formas naturales del cianuro, los compuestos de cianuro también están presentes en fuentes antropogénicas de la vida diaria como los escapes de los automóviles, el humo del cigarrillo e incluso la sal de mesa y la sal usada para derretir el hielo de los caminos.

2.1.4. Usos Industriales del Cianuro

El cianuro es uno de los principales compuestos utilizados por la industria química debido a su composición de carbono y nitrógeno, ambos elementos comunes, y a la facilidad con la cual reacciona con otras sustancias.

Anualmente se utiliza más de un millón de toneladas de cianuro, que representan alrededor del 80% de la producción total, en la producción de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos. Otras aplicaciones industriales incluyen la galvanoplastia, el procesamiento de metales, el endurecimiento del acero, las aplicaciones fotográficas y la producción de goma sintética (Ulman's, 1987).

Los cianuros de hierro se utilizan con frecuencia como aditivo antiaglutinante en la sal usada para derretir el hielo en los caminos. El cianuro de hidrógeno gaseoso se ha utilizado ampliamente para exterminar a los roedores y depredadores grandes, y en la práctica hortícola, para controlar las plagas de insectos que han desarrollado resistencia a otros pesticidas.

Además, el cianuro se utiliza en productos farmacéuticos como el laetril, una sustancia para combatir el cáncer, y el nitroprusiato, una droga para reducir la presión arterial. Los compuestos de cianuro también se utilizan en vendas quirúrgicas que promueven la cicatrización y reducen las cicatrices. El 20% restante de la producción de cianuro se utiliza para fabricar cianuro de sodio, una forma sólida de cianuro cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De este porcentaje, el 90%, es decir, el 18% de la producción total, se utiliza en minería en todo el mundo, mayormente para la recuperación de oro (Ulman's, 1987).

2.1.5. Uso del Cianuro en la Producción de Oro

Una de las razones para el alto valor adjudicado al oro es su resistencia al ataque de la mayoría de los químicos. Una excepción es el cianuro o, más específicamente, una solución que contiene cianuro y que disuelve el metal precioso.

El cianuro se utiliza en minería para extraer oro (y plata) del mineral, en particular mineral de baja ley y mineral que no puede tratarse fácilmente mediante procesos físicos simples como la trituración y la separación por gravedad. El uso de soluciones a base de agua para extraer y recuperar metales como el oro se denomina hidrometalurgia. Las operaciones de minería del oro utilizan

soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón),. El proceso de disolución de metales se denomina lixiviación. El cianuro de sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral. La solución resultante que contiene oro se denomina “solución cargada” (Ulman’s, 1987).

Luego se agrega zinc o carbón activado a la solución cargada para recuperar el oro extrayéndolo de la solución. La solución residual o “estéril” (es decir, carente de oro) puede recircularse para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos. Existen dos enfoques generales para la lixiviación del oro de un mineral mediante el cianuro: la lixiviación en tanque y la lixiviación en pila (por percolación).

La lixiviación en tanque es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. En algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques para disolver el oro en una solución de cianuro. Cuando el oro se recupera en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se recogerá junto con los residuos sólidos (relaves) en un sistema de depósitos de relaves. Allí, parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y parte se decantará y se recogerá en un estanque encima de los relaves, desde donde se la recicla y se la envía nuevamente a la planta. En la mayoría de las plantas, debido a la acumulación de impurezas, algunas de las soluciones que contienen cianuro deben ser bombeadas a un sistema de tratamiento para su eliminación (Stanley, 1987).

Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura y se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se lo coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. Cuando se utiliza la tecnología de lixiviación en pila para extraer

oro, la solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

La industria moderna del oro utiliza el cianuro casi exclusivamente como agente lixiviador del oro. Se han utilizado otros agentes complejantes como la tiourea, los cloruros y otros haluros para extraer oro del mineral, pero generalmente no son rentables y presentan problemas particulares para el ambiente y la salud. Los complejos de cianuro son más estables y eficaces y no necesitan otras sustancias químicas agresivas para realizar la recuperación del oro. El cianuro ha sido utilizado en minería desde hace más de un siglo. Una vieja técnica para la recuperación del oro, que ha dejado de utilizarse en las modernas plantas de extracción de oro, es la amalgama con mercurio líquido.

En algunos países en desarrollo, los mineros artesanales siguen utilizando el mercurio líquido para acomplejar el oro proveniente de pequeñas explotaciones mineras. Sin embargo, se ha desalentado esta práctica debido a que el deficiente manejo del mercurio líquido y del vapor que surge al volatizar el mercurio provoca serios problemas de salud a los mineros artesanales.

2.1.6. Producción y Manipulación Del Cianuro

El cianuro se produce industrialmente de dos maneras: como subproducto de la fabricación de fibras acrílicas y de ciertos plásticos o mediante la combinación de gas natural y amoníaco a altas temperaturas y presiones para producir cianuro de hidrógeno (HCN) gaseoso. Posteriormente, el cianuro de hidrógeno gaseoso se puede combinar con hidróxido de sodio (NaOH) para producir cianuro de sodio (NaCN) y agua (H₂O). Luego se elimina el agua mediante secado y filtrado y el cianuro de sodio se convierte en briquetas blancas y sólidas de aproximadamente 10 centímetros cuadrados.

Las briquetas sólidas de cianuro de sodio se mantienen a temperatura y humedad controladas. En el lugar de fabricación, las briquetas se colocan en contenedores rotulados y sellados para protegerlas y que no se aplasten y humedezcan. Los contenedores pueden ser cajas desechables de “triplay” con revestimientos no retornables, cilindros de acero no retornables o recipientes de

acero reutilizables. En algunas circunstancias, las briquetas se disuelven y la solución de cianuro se transporta en forma líquida en camiones tanque especialmente diseñados.

Todos los embarques de cianuro de sodio se acompañan de las Hojas de Seguridad (MSDS) donde figuran los datos químicos y de toxicidad del cianuro de sodio, instrucciones en caso de accidentes, número de teléfono para solicitar ayuda en casos de emergencia e información adicional del fabricante. Cuando el material sale de la planta productora se realiza el inventario de todos los embarques y dicho inventario se controla contra los registros de entrega para asegurar una adecuada vigilancia en todo momento.

En el mundo hay tres productores primarios de cianuro sólido, líquido y gaseoso: Dupont, en los Estados Unidos, ICI, en Inglaterra y Degussa Corporation, en Alemania. La producción anual mundial es de aproximadamente 1.4 millón de toneladas de HCN. Tal como se mencionó anteriormente, el 20% de la producción total de HCN se usa para producir cianuro de sodio (NaCN) y el 80% restante se usa en numerosas actividades industriales, por ejemplo, en la producción de químicos. FMC Corporation también produce cianuro de sodio en los Estados Unidos. Los tres productores primarios son importantes fabricantes internacionales de productos químicos que comprenden la responsabilidad que tienen respecto de sus productos.

Por ejemplo, las políticas formales de estas empresas aseguran la venta de cianuro sólo a compañías que tengan la capacidad y el compromiso de proteger a los trabajadores, al público y el ambiente. Los fabricantes contratan únicamente a transportistas seleccionados que tengan registros de seguridad en el transporte compatibles con las normas internas de los fabricantes. Éstos, a su vez, tienen entre su personal a especialistas en seguridad y transporte que trabajan junto con los compradores y otras partes involucradas, en las áreas de capacitación, diseño de plantas y medidas de seguridad conexas (Ulman's, 1987).

Las compañías mineras almacenan cianuro de sodio en áreas seguras que se mantienen secas, frías, oscuras y ventiladas. En el área de almacenamiento, los

paquetes de cianuro se colocan sobre cajas paletas en sus contenedores originales encima de pisos impermeables, generalmente de concreto, con adecuada contención para el caso improbable de derrame. Sin tener en cuenta su tipo, los contenedores vacíos se lavan y el agua de enjuague se utiliza en la planta de recuperación de oro del emplazamiento (para aprovechar las pequeñas cantidades de cianuro que podría contener) o se procesa mediante el sistema de tratamiento de efluentes residuales antes de descargarla al ambiente en condiciones controladas y permitidas.

Las compañías mineras mantienen programas especiales de capacitación para todos los empleados que trabajan con el cianuro o cerca de él. También tienen planes de seguridad y manipulación de materiales que han sido preparados por higienistas industriales calificados y supervisados por funcionarios de seguridad del proyecto.

Estos planes de salud y seguridad asignan responsabilidades a los empleados y controlan el manejo y el uso del cianuro de sodio desde su llegada al emplazamiento de la mina y durante todo el proceso metalúrgico. Monitores de gas de área, adecuada vestimenta protectora, aparatos respiratorios autónomos y puestos de primeros auxilios equipados con lavajojos y duchas son utilizados en las operaciones de manipulación de cianuro en las minas. Los programas de higiene industrial de las compañías incluyen capacitación anual, acceso a todas las Hojas de Seguridad y monitoreo del aire para garantizar la seguridad de los trabajadores, así como procedimientos para documentar toda la información sobre salud y seguridad y los incidentes en las minas.

Los programas modernos de higiene industrial en las operaciones mineras del oro han sido eficaces para reducir al mínimo el envenenamiento accidental con cianuro en los emplazamientos mineros. En efecto, una búsqueda en los registros de accidentes industriales en Australia, Canadá, Nueva Zelanda y los Estados Unidos ha revelado sólo dos muertes accidentales en las que estuvo involucrado el cianuro en minas de oro durante los últimos 100 años, el primero de los cuales no estuvo directamente relacionado con la recuperación de oro y el segundo tuvo lugar cuando una persona entró a un espacio cerrado, un error fatal.

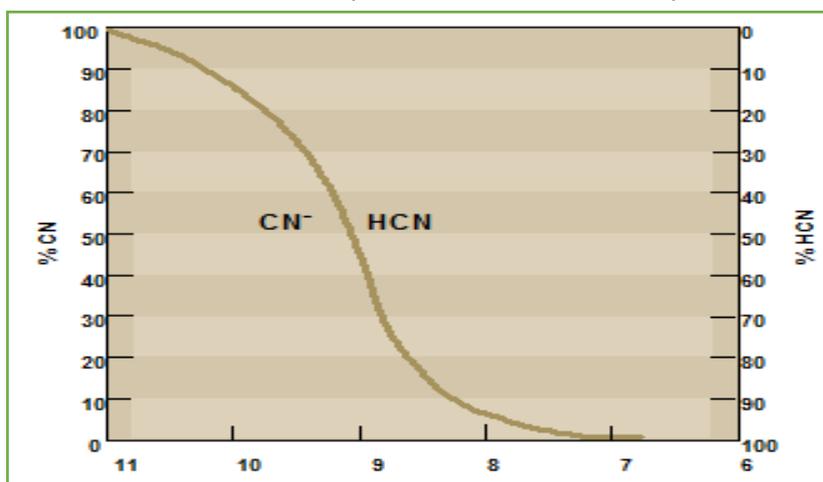
2.1.7. El Cianuro en Soluciones

Después de haber extraído el oro por medio de procesos hidrometalúrgicos, pueden estar presentes tres tipos principales de compuestos de cianuro en los efluentes residuales o en las soluciones de los procesos: cianuro libre, cianuro débilmente acomplejado y cianuro fuertemente acomplejado. Juntos, los tres compuestos de cianuro constituyen el “cianuro total”. Al conocer la química de estos tres tipos de cianuro se puede comprender su comportamiento respecto de la seguridad y el ambiente (US EPA, 1985).

2.1.7.1. Cianuro Libre

Es el término utilizado para describir tanto el ion de cianuro (CN^-) que se disuelve en el agua del proceso como cualquier cianuro de hidrógeno (HCN) que se forma en la solución. Las briquetas sólidas de cianuro de sodio se disuelven en el agua para formar el ion de sodio y el anión de cianuro (CN^-). El anión de cianuro se combina luego con el ion de hidrógeno para formar HCN molecular. La concentración del ion de hidrógeno en el agua del proceso se expresa mediante el conocido parámetro pH.

Gráfico N° 01: Equilibrio de CN^- /HCN con el pH



Fuente: Scott J. S. y J. C. Inglés, 1981

Casi todo el cianuro libre está presente como HCN cuando hay abundantes iones de hidrógeno presentes, es decir, a un valor de pH de 8 o menos. Este HCN, entonces, puede volatilizarse y dispersarse en el aire. Cuando el pH es superior a 10.5, hay pocos iones de hidrógeno presentes y casi todo el cianuro

libre está presente como CN^- . En condiciones normales de temperatura y presión, las concentraciones de HCN y CN^- son iguales a un valor de pH de aproximadamente 9.4 (US EPA, 1985). Estas formas de cianuro libre son importantes porque se consideran como los cianuros más tóxicos. Sin embargo, también son las formas que se eliminan más fácilmente de las soluciones mediante elaborados procesos de tratamiento y mecanismos naturales. Los procesos biológicos, químicos y físicos que afectan a las concentraciones de cianuro en el agua, el suelo y el aire han sido extensamente estudiados durante las dos décadas pasadas, de modo que su comportamiento en el ambiente es bien conocido.

Una de las reacciones más importantes que afectan a la concentración de cianuro libre es la volatilización de HCN , que, al igual que la mayoría de los gases, se separa del agua y escapa al aire. El cianuro libre no es persistente en la mayoría de las aguas superficiales porque el pH de dichas aguas generalmente es de 8, de modo que el HCN se volatiliza y dispersa. La volatilidad del cianuro de hidrógeno y su posterior transformación en compuestos benignos en el aire son importantes porque actúan como un mecanismo natural que controla las concentraciones de cianuro libre en los efluentes residuales y de los procesos en las minas (Khandaker R., 2008).

Los procesos naturales pueden reducir por sí solos a valores muy bajos la concentración de cianuro libre de las soluciones en lugares al aire libre en las instalaciones de producción de oro, tales como depósitos de relaves, a menudo a niveles por debajo de lo establecido en los reglamentos o incluso por debajo de los límites de detección.

Sin embargo, en la planta de extracción de oro, los operadores mantienen el pH de la solución a valores cercanos a 10.5 con el fin de impedir la volatilización. Esto preserva el cianuro en el sistema de extracción de oro, donde es necesario y, al mismo tiempo, limita el riesgo de inhalación por parte de los trabajadores de altas concentraciones de HCN gaseoso en un espacio cerrado.

2.1.7.2. Complejos de Cianuro

Aunque las soluciones que contienen cianuro se utilizan en minería porque reaccionan con el oro, también reaccionan con otros metales. El mineral aurífero casi siempre contiene otros metales, entre ellos hierro, cobre, zinc, níquel y plata, así como otros elementos, como el arsénico. En la mayoría de los cuerpos mineralizados, las concentraciones de otros metales típicamente son mayores que la concentración de oro en varios órdenes de magnitud. Por ejemplo, un mineral aurífero de baja ley apropiado para lixiviación con cianuro podría contener 0.5 a 1 gramo de oro por tonelada (0.5 a 1 parte por millón ppm de oro); por el contrario, la concentración de hierro de las rocas cristalinas promedio es de aproximadamente 3.5% (35,000 ppm). Los metales como el cobre, el zinc y el níquel pueden estar presentes en concentraciones que varían entre decenas y miles de partes por millón.

Tabla Nº 02: Análisis de soluciones estériles

ELEMENTOS	RANGO DE CONCENTRACIÓN (MG/L)
Cianuro Total	50-2,000
Arsénico	0-115
Cobre	0.1-300
Hierro	0.1-100
Plomo	0-0.1
Molibdeno	0-4.7
Níquel	0.3-35
Zinc	13-740

Fuente: Scott J. S. y J. C. Inglés, 1981

Los análisis químicos de las soluciones utilizadas en los procesos y de los efluentes residuales derivados del procesamiento indican que la mayor parte del cianuro en solución está químicamente ligado a metales distintos de las pequeñas cantidades de oro o plata.

Cuando los elementos químicos se combinan en una solución para formar especies solubles, los químicos se refieren a ellas como “complejos”. Existe una amplia gama de interacciones químicas y físicas entre los componentes de los complejos. Algunos complejos son muy estables, mientras que otros se destruyen fácilmente. Los químicos analíticos pueden definir la estabilidad relativa de los complejos de cianuro de diferentes metales con gran precisión. La evaluación de la cantidad y los tipos de cianuro es importante para todos los

aspectos del uso del cianuro. Es particularmente importante poder distinguir tanto con exactitud como con precisión entre los distintos compuestos de cianuro para asegurar la elección de una metodología eficaz de detoxificación.

2.1.7.3. Complejos Débiles y Fuertes de Cianuro

Convencionalmente, los químicos en cianuro distinguen entre los complejos “débiles” y “fuertes” de cianuro. Los complejos débiles de cianuro, con frecuencia denominados cianuros “disociables en ácidos débiles” o cianuros DAD (WAD), pueden disociarse en solución y producir concentraciones ambientalmente significativas de cianuro libre. Los complejos débiles incluyen complejos de cianuro de cadmio, cobre, níquel, plata y zinc. El grado al cual se disocian estos complejos depende en gran medida del pH de la solución. Por otra parte, los complejos fuertes de cianuro se degradan mucho más lentamente que el cianuro DAD en condiciones químicas y físicas normales. Los complejos de cianuro con oro, cobalto y hierro son fuertes y estables en solución.

Esta estabilidad del complejo oro-cianuro es un factor clave en el uso del cianuro para la extracción del oro del mineral. Una vez que el oro entra a la solución ligado al cianuro, permanece acomplejado con el cianuro hasta que las condiciones del proceso se cambian con el fin de removerlo de la solución. El cobalto está presente únicamente en trazas, pero el hierro está virtualmente presente en todos los materiales geológicos. Para la mayoría de las situaciones mineras, los complejos fuertes de cianuro son predominantemente cianuros de hierro, (US EPA, 1985).

La velocidad a la cual los complejos se disocian y liberan cianuro libre en la solución depende de varios factores, entre ellos, la concentración inicial del complejo de cianuro, la temperatura, el pH de la solución y la intensidad de la luz, especialmente de la radiación ultravioleta (Mudder *et al.*, 2001).

2.1.7.4. Análisis y Monitoreo Del Cianuro

El cianuro generalmente se mide mediante el método de fotometría: análisis de cianuro total o análisis de cianuro DAD (disociable en ácidos débiles). El primero se utiliza para determinar el cianuro total en soluciones, incluso el cianuro libre y

los cianuros ligados a metales, como los cianuros de hierro no tóxicos y más estables. El procedimiento analítico para determinar el cianuro DAD se utiliza para las formas libres y complejadas de cianuro, excepto para el cianuro de hierro. Un método más antiguo pero que todavía se emplea en lugar del análisis de cianuro DAD es el denominado “cianuro dócil a la cloración” (Khandaker R., 2008).

Los análisis de cianuro son necesarios para controlar las operaciones, evaluar la toxicidad y el cumplimiento normativo, así como para informar al público sobre la manipulación de materiales peligrosos. Monitorear el cianuro durante y después la recuperación del oro es esencial para la buena práctica operativa y la protección de la salud y el ambiente. Con el fin de asegurar la calidad de la información disponible y tomar decisiones, son necesarios rigurosos protocolos de muestreo y procedimientos analíticos. Esto exige una estricta planificación y un desempeño excelente por parte del personal entrenado para trabajar con sistemas bien diseñados y bien administrados.

2.1.8. Atenuación de las Concentraciones de Cianuro en el Ambiente

Una vez que se ha recuperado el oro, la solución queda desprovista de oro pero sigue conteniendo cianuro. El proceso que disminuye la concentración de cianuro en solución, ya sea en el ambiente natural o en instalaciones creadas a tal fin, se denomina “atenuación”. La volatilización de HCN, que reduce la concentración de cianuro libre en solución, es el principal proceso de atenuación natural. Representación esquemática de las relaciones entre las formas del cianuro y los procesos que las controlan (Emmanuel I. y Jonah C., 2012). Durante las dos décadas pasadas, las industrias química y minera lograron grandes avances en la manipulación de soluciones residuales de cianuro para que no perjudiquen a la salud pública ni al ambiente. Se utilizan las tecnologías, con frecuencia en forma combinada: tratamiento y reciclado.

2.1.8.1. Tratamiento y Reutilización de Soluciones de Cianuro

Se emplean algunas formas generales de tratamiento de la solución de cianuro:

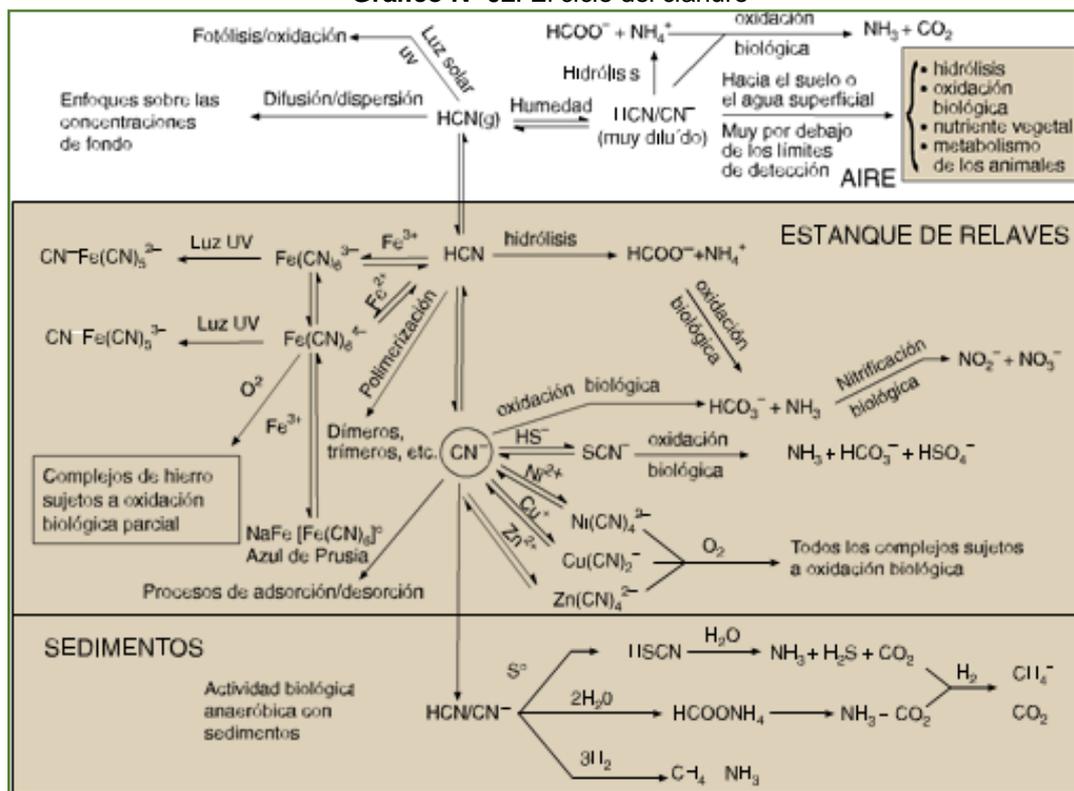
- Degradación natural

- Oxidación química
- Precipitación
- Biodegradación

Además, existen varios métodos que permiten la reutilización del cianuro mediante el reciclado.

Degradación Natural: El principal mecanismo de degradación natural es la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas. Otros factores como la oxidación biológica, la precipitación y los efectos de la luz solar también contribuyen a la degradación del cianuro. Las especies de cianuro pueden ser adsorbidas sobre las superficies de los minerales o del desecho de carbono orgánico en los suelos del terraplén de un estanque, en un recubrimiento de arcilla o a lo largo de una vía de agua subterránea. En los suelos, las bacterias asimilan el cianuro mediante diversas reacciones aeróbicas y anaeróbicas. En algunos casos, la combinación de estos procesos de degradación natural es suficiente para satisfacer los requisitos que reglamenta la descarga de soluciones que contienen cianuro.

Gráfico N° 02: El ciclo del cianuro



Fuente: Emmanuel I. y Jonah C., 2012

En los depósitos de relaves, la gran superficie permite la descomposición del cianuro DAD. Las velocidades reales de degradación deben determinarse mediante ensayos basados en la especificidad del emplazamiento y empleando condiciones que imiten, tanto como sea posible, los tipos de soluciones y los procesos naturales que probablemente ocurran en ese lugar.

Oxidación Química: Los procesos de oxidación química para el tratamiento del cianuro incluyen el proceso con SO_2 /Aire (desarrollado por la compañía minera canadiense INCO) y el proceso de tratamiento con H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) iniciado por Degussa. Una alternativa de oxidación química más antigua, el Proceso de Cloración Alcalina, se utiliza rara vez en la industria minera en la actualidad.

Tabla Nº 03: Degradación natural del cianuro en depósitos de relaves

MINA	CN que ingresa al sistema de relaves (mg/l)	CN que egresa del sistema de relaves (mg/l)
Lupin, NWT, Canadá (a)	184	0.17
Holt McDermott, Ontario, Canadá (a)	74.8	0.02
Cannon, Washington, EE.UU. (b)	284	<0.05
Ridgeway, Carolina del Sur, EE.UU. (b)	480	0.09
Golden Cross, Nueva Zelanda (b)	6.8 (CN DAD)	0.33 (CN DAD)

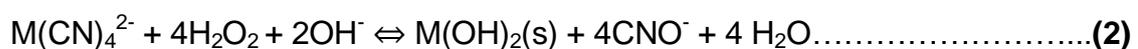
Fuente: a) Scott, 1993; b) Smith y Mudder, 1991

En el proceso con SO_2 /Aire, el cianuro libre y el cianuro DAD se oxidan y el cianuro de hierro se precipita como un sólido insoluble. El proceso puede aplicarse a soluciones o a lodos y la reacción es rápida. Las posibles limitaciones son la necesidad de obtener una licencia para utilizar el proceso, el costo de construcción de una planta procesadora, la necesidad de realizar ensayos empíricos para optimizar el sistema y la incapacidad del proceso para oxidar subproductos intermedios del cianuro (Huanqing X. y Aiping L., 2012).

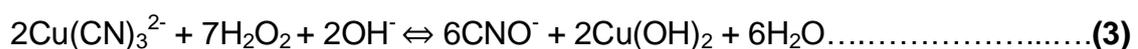
El peróxido de hidrógeno es un potente oxidante no contaminante, cuyo uso se ha extendido a lo largo de los años, siendo utilizado en numerosas instalaciones metalúrgicas de todo el mundo (sobre todo para tratamientos de efluentes cianurados residuales). El reactivo se comercializa normalmente en contenedores de plástico de 1 m^3 con concentraciones superiores al 70 % en H_2O_2 . El peróxido de hidrógeno, un potente oxidante, oxida el cianuro libre y el

cianuro DAD y los convierte en amonio y carbonato. Los cianuros de hierro no se oxidan mediante el peróxido, pero precipitan como sólidos insolubles y estables. Algunas veces es necesario añadir sustancias químicas para controlar la concentración de cobre en las soluciones con el fin de cumplir con las normas ambientales. El sistema con peróxido no se adapta bien al tratamiento de lodos debido a los irregulares requerimientos de peróxido de hidrógeno cuando hay sólidos presentes. Ambos métodos de oxidación química son capaces de producir concentraciones residuales de cianuro que pueden satisfacer exigentes normas de descarga.

Ambos procesos exigen la realización de pruebas en muestras representativas de materiales específicos al sitio antes del diseño final de la planta. Las reacciones de oxidación tienen lugar al pH natural del efluente (que generalmente es de 10), y no requiere control de dicho parámetro, puesto que el H₂O₂ sólo presenta un suave carácter ácido (Sharma V., 2003).



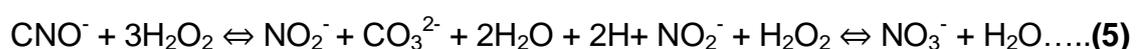
Complejos cianurados de metales como el Cu y Zn son oxidados, permitiendo la precipitación espontánea de los hidróxidos correspondientes en el rango de pH 9:



En el caso de los ferrocianuros no son oxidados, pero precipitan como sales de metal insoluble (Fe, Cu, Zn) junto con los precipitados de hidróxido:



Una presencia de peróxido en exceso durante el proceso puede favorecer la formación de iones carbonato y nitrito. Éste último, a su vez, puede derivar en nitrato:



El cianato formado durante el proceso se hidroliza espontáneamente formando ion amonio e ion carbonato (la reacción sólo ocurre de forma apreciable a temperatura ambiente y a valores de pH por debajo de 7). Se estima que, entre un 10 y un 15 % de los iones cianato, generados, reaccionan de este modo:



Finalmente, cualquier nivel residual de oxidante se descompone espontáneamente generando oxígeno:



El tiocianato no es oxidado, lo que puede constituir una ventaja en plantas donde no es necesario este control, porque así se evita el consumo excesivo de reactivo. Para las instalaciones donde se hace necesario la destrucción del tiocianato serán necesarios procesos oxidativos más drásticos. Todo el proceso se realiza en tanques abiertos. Aunque la reacción es homogénea (la cinética no se ve afectada por la agitación), la agitación es necesaria para realizar una buena mezcla del oxidante con el efluente, y evitar además la acumulación de precipitados en los tanques de reacción. Se requieren 1,31 gramos de H_2O_2 por gramo de CN oxidado, aunque actualmente, el consumo es de 2 a 8 gramos de H_2O_2 por gramo de CN oxidado (Emmanuel I. y Jonah C., 2012).

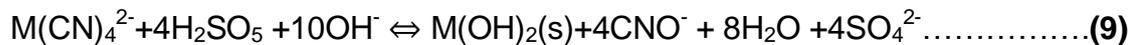
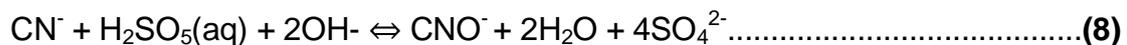
La reacción cinética de oxidación está marcadamente afectada por la presencia de pequeñas concentraciones de iones de Cu (10-20 mg/l) que actúan como catalizadores. Por tanto, está indicado especialmente para el tratamiento de efluentes que contienen iones Cu en solución por encima de 20 mg/l. En ausencia de dichos iones, la reacción de oxidación tiende a hacerse lenta, necesitándose un elevado exceso de H_2O_2 para acelerar el proceso o bien añadirlos en forma de CuSO_4 . La lentitud de dicha reacción es incluso mayor que la que tendría lugar usando UV-fotoactivación, Ácido Caro o Hipoclorito.

El proceso de oxidación mediante el uso del ácido de Caro se desarrolló a escala industrial a finales de los noventa, apareciendo como una alternativa frente a otros métodos oxidantes gracias a las ventajas que presenta. Actualmente se

usa en algunas plantas de USA sustituyendo a métodos anteriores (Danielle H., 2010).

El ácido de Caro es una solución de H_2SO_5 (peroxo-mono-sulfuric-acid.) producido mezclando altas concentraciones de H_2SO_4 (mínimo del 95%) con H_2O_2 (concentración del 50-60 %). El reactivo se genera continuamente según demanda en la instalación mediante un generador compacto apropiado según patente (Solvay/Peróxidos), ya que tiene que ser dosificado inmediatamente en el tanque de tratamiento para realizar el proceso de oxidación. La reacción es casi instantánea y muy exotérmica obteniéndose a la salida una solución caliente (110 a 120 °C).

A pesar de ser un ácido, requiere la presencia de una base como el NaOH o Ca $(OH)_2$, que tiene que ser añadida al efluente al mismo tiempo, para así poder mantener el pH de operación deseado (9 a 9,5). El proceso de oxidación es el siguiente:



Comparado con otros oxidantes incluido el H_2O_2 , el ácido de Caro tiene una elevada velocidad de oxidación, no requiere adicción de catalizadores y es muy eficaz, tanto en soluciones claras como en fangos. Como en el caso del H_2O_2 , el cianato formado se hidroliza espontáneamente generando carbonato y amonio.

El residuo de H_2SO_5 que puede permanecer en la solución se descompone según la reacción siguiente generando ácido sulfúrico y oxígeno:



El ácido de Caro, al contrario que el H_2O_2 , es capaz de oxidar al tiocianato según la reacción:



Esto constituye una ventaja particularmente importante para el reciclado de efluentes tratados que van a ser reenviados a lechos biológicos para tratamiento

de menas de matriz sulfúrica. Mejora, además la precipitación de metales pesados al eliminar los complejos de SCN⁻.

Precipitación: La precipitación de cianuros estables se puede obtener mediante el agregado deliberado de complejantes tales como el hierro. Esto reduce la concentración de cianuro libre y también es eficaz para controlar los elevados niveles de otros metales que pueden estar presentes. Los cianuros de hierro pueden reaccionar con otras sustancias químicas en solución y producir precipitados sólidos, que pueden contener una docena de sales insolubles de cianuro, removiendo de esta manera el cianuro de la solución. Parte del cianuro de las soluciones de los procesos reaccionará con otros componentes químicos que se encuentren dentro del sistema y formarán concentraciones mucho menos tóxicas de compuestos tales como el amoníaco, el nitrato y el dióxido de carbono (Huanqing X. y Aiping L., 2012).

Biodegradación: La biodegradación del cianuro es la base de los sistemas de tratamiento de los efluentes residuales industriales, como los utilizados por Homestake Mining Company en los Estados Unidos e ICI Bioproducts en el Reino Unido. Durante más de una década, se ha empleado un proceso biológico para tratar el cianuro en la Mina Homestake en Lead, Dakota del Sur, con el fin de satisfacer los criterios ambientales de descarga.

Las condiciones aeróbicas son mucho más favorables para la degradación del cianuro que las condiciones anaeróbicas, aunque los organismos anaeróbicos pueden ser eficaces para tratar el cianuro en concentraciones de hasta varios miligramos por litro. Se han creado tanto sistemas activos como sistemas pasivos de tratamiento biológico; estos sistemas remueven el cianuro empleando microorganismos aeróbicos o anaeróbicos. En Homestake, la solución estéril del molino aurífero se canaliza a través de recipientes para reacciones que contienen bacterias (Dwivedi N. y Majumder C, 2011).

Las bacterias utilizan el oxígeno del aire para descomponer los compuestos de cianuro en nitratos, bicarbonatos y sulfatos. Este proceso microbiano es capaz de oxidar los complejos de cianuro metálico, los iones metálicos de las especies de cianuro DAD y los subproductos intermedios de la oxidación del cianuro.

Las ventajas del proceso de tratamiento biológico son su diseño simple y el control del proceso operativo, los bajos costos de las sustancias químicas y la capacidad para tratar todas las formas del cianuro y sus subproductos. Las posibles limitaciones de los sistemas de tratamiento biológico son su reducido rendimiento con temperaturas frías y con concentraciones muy altas de cianuro.

La capacidad de ciertas especies de microorganismos (bacterias, algas, etc) para degradar ciertos tipos de compuestos de cianuro y amonio, así como para acumular (por ingestión) metales pesados es conocida desde hace tiempo. Estos métodos fueron empleados por primera vez a escala industrial para el tratamiento de efluentes de procesos de cianuración en minería de oro en el distrito minero de Homestake (Dakota del Sur, USA) en 1984, y han sido operativos con éxito en algunas otras plantas desde entonces.

El proceso requiere una adaptación gradual de especies de bacterias mutantes a hábitats con altas concentraciones de cianuro libre, tiocianato y metales pesados. Así por ejemplo, en el caso de Homestake, la bacteria más adecuada fue una variedad de la cepa pseudomonas ("rod-type"), que resulta efectiva a 30 °C y en un rango de pH entre 7 y 8,5 (Dwivedi N. y Majumder C, 2011).

El fundamento de la técnica es la consecución de un elevado ratio de conversión metabólica de cianuro a cianato (bio-oxidación) mediante la actividad bacteriana, teniendo en cuenta que, tanto el carbono como el nitrógeno son nutrientes:

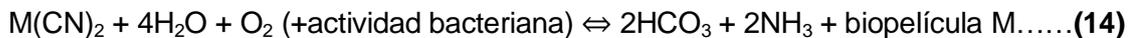


El cianato producido es entonces hidrolizado para producir ión amonio e ión carbonato:



En las condiciones de operación, los nitratos y los nitritos no sufren transformación alguna, y no se produce ácido sulfhídrico, pero el ión amonio liberado es considerado como tóxico, con lo que debe ser tratado, generalmente por desnitrificación, antes de la descarga.

La mayoría de los cianuros metálicos son también eficazmente oxidados, y los metales adsorbidos, ingeridos y/o precipitados por la acción de las bacterias, mediante el siguiente proceso:



Dónde: M representa un metal divalente (Fe, Zn, Ni, Cu, etc.).

El régimen de degradación de los complejos de cianuro metálicos decrece en el siguiente orden: Zn>Ni>Cu>Fe, aunque incluso los ferrocianuros más estables llegan a ser degradados por esta vía. A su vez, el tiocianato que pueda haber en la solución también se oxidará de forma instantánea según la siguiente expresión:



Es importante hacer notar que la población bacteriana considerada vive, en parte, de la oxidación del cianuro y del tiocianato, pero necesita de algunos otros componentes (nutrientes) para desarrollarse (principalmente P y Na). Se hace entonces necesaria la adición al sistema de ácido fosfórico y de carbonato de sodio.

Como el objetivo final es una detoxificación total de la solución, es inevitable el empleo de una segunda etapa para eliminar el ion amonio y el amoníaco producidos. Este proceso, que genera ion nitrito e ion nitrato, se denomina “nitrificación”, y se logra mediante la actividad de ciertas bacterias aerobias. Las reacciones más relevantes de la descomposición son:



Algunas de las reacciones anteriormente descritas, son alcanzadas a velocidad adecuada únicamente por vía microbiológica, y no pueden ser reproducidas en las mismas condiciones cinéticas únicamente por procedimientos químicos. Debido a que la oxidación biológica es un método natural, los efluentes tratados por esta vía suelen poseer unas calidades finales más adecuadas para una

descarga directa que los detoxificados por algunos métodos activos, como los previamente descritos.

La degradación biológica, junto con la adsorción de compuestos tóxicos por la biomasa, ha demostrado ser capaz de eliminar el 92 % del cianuro total, más del 99 % del cianuro WAD y más de un 95 % de cobre y otros metales tóxicos (Dwivedi N. y Majumder C, 2011). Además, los costes de establecimiento y operación del sistema son competitivos con los de los métodos de oxidación química.

Reciclado: Aunque las tecnologías para el manejo del cianuro se han centrado en la destrucción del cianuro en sistemas de paso único, es posible recuperar y reutilizar el cianuro, y de este modo reducir al mínimo la cantidad total de cianuro utilizado y disminuir los costos operativos para algunas minas. El reciclado reduce las concentraciones de cianuro en las soluciones residuales y disminuye el costo de la destrucción del cianuro.

La recuperación y el reciclado de cianuro se utilizan desde la década de 1930, especialmente en Flin Flon (Manitoba, Canadá), Pachuca (Hidalgo, México) y Golconda Minerals (Tasmania, Australia). El proceso básico abarca tres pasos: control de pH, volatilización en condiciones muy controladas y captura del cianuro que se ha liberado. Los recientes avances de la ingeniería han convertido este proceso en una posibilidad mucho más atractiva que en el pasado y la recuperación del cianuro ha sido adaptada en la última década al tratamiento de lodos en un proceso comercial patentado denominado Cyanisorb. El proceso se está aplicando en la Mina Golden Cross (Waikato, Nueva Zelanda) y en la Mina Delamar Silver (Idaho, EE.UU.). Recientemente se han abierto dos plantas más de Cyanisorb en Brasil y Argentina.

Las investigaciones sobre la recuperación del cianuro continúan. Una de ellas es la prueba de un tratamiento que separa los complejos de cianuro de las soluciones y los absorbe en perlas de resina de poliestireno denominadas Vitrokele (el proceso Cyanosave). La modificación de este proceso puede aplicarse a las soluciones o a los lodos y se puede recuperar tanto el cianuro como los metales. El cianuro recuperado se recicla luego para utilizarlo en la

planta de recuperación de oro. Aunque ha habido pruebas exitosas del proceso en minas de Canadá, Australia y los Estados Unidos, todavía no existe ninguna planta comercial y la investigación continúa.

2.1.9. Evaluación y Manejo de Los Riesgos Del Cianuro

El enfoque integral para tratar los riesgos se compone de tres actividades clave que ocasionalmente se superponen: la evaluación de riesgos, el manejo de riesgos y la información de riesgos. Las tres actividades se describirán en ésta y en las siguientes secciones, comenzando con la evaluación de riesgos. Como ya se mencionó, es bien conocido el hecho de que el cianuro de sodio y algunos de sus derivados son venenosos y que los compuestos de cianuro se clasifican como peli- grosos. Sin duda, la sociedad moderna utiliza de manera segura muchas sustancias que son potencialmente peligrosas gracias a la capacidad de evaluar y manejar los riesgos asociados.

Desde la década de 1970, la evaluación de los riesgos asociados a los procesos y materiales peligrosos mediante un proceso sistemático de “evaluación de riesgos” se ha convertido en una práctica común. Muchos de los conceptos de evaluación de riesgos surgieron de métodos más generales desarrollados por la industria de seguros. Dichos métodos tienen su base teórica en las probabilidades y las estadísticas matemáticas. Uno de los conceptos clave que se ha extendido a la evaluación de riesgos ambientales es la definición fundamental del riesgo como la probabilidad de una consecuencia definida. La evaluación del riesgo consta de cuatro partes:

Identificación del Peligro: Se la define como la determinación de la capacidad inherente o potencial de los agentes químicos, físicos y biológicos para causar efectos adversos a los seres humanos y al ambiente. Los peligros físicos incluyen la combustión, la explosividad, la inflamabilidad y la corrosividad. Los peligros para la salud se clasifican en: agudos (por ejemplo, irritación de la piel y los ojos, efectos letales, asfixia) o crónicos (por ejemplo, carcinogenicidad, sensibilización, efectos sobre el sistema reproductivo, efectos sobre el sistema nervioso, efectos sobre los órganos). Entre los peligros ecológicos se encuentran

la mortalidad (agudos) y la reducción en el crecimiento y la reproducción (crónicos) en las especies representativas.

La identificación de los peligros es únicamente el primer paso en la evaluación de los riesgos. No es una base apropiada sobre la cual se pueda tomar una decisión respecto del manejo de riesgos. Sin embargo, la identificación de los peligros es un paso crítico que generalmente se da antes de introducir las sustancias químicas y los productos en el mercado. En el caso de la salud humana y el ambiente, se utilizan los resultados de las pruebas de toxicidad/ecotoxicidad y los datos epidemiológicos con el propósito de determinar el peligro.

Evaluación de Dosis-Respuesta: Es la determinación de la relación entre la magnitud de una dosis administrada, aplicada o interna y una respuesta biológica específica. La dosis es la cantidad total de una sustancia administrada a un organismo o ingerida, inhalada o absorbida por él en condiciones estandarizadas de laboratorio utilizadas para pruebas de toxicología. Los puntos de equivalencia de la toxicidad (o respuesta a la dosis) pueden expresarse como la incidencia medida u observada, la respuesta porcentual en grupos de sujetos (o población) o la probabilidad de que ocurra una respuesta en una población.

Evaluación de la Exposición: Es la evaluación de las vías por las cuales el peligro puede ponerse en contacto con un receptor sensible. El receptor puede ser una única persona, una población real o hipotética o un conjunto de receptores ecológicos como peces o aves silvestres. La evaluación de la exposición determina cómo y en qué circunstancias el receptor pueden estar expuesto al peligro. También puede determinar las cantidades de la sustancia peligrosa y el tiempo de exposición.

Caracterización del Riesgo: Resume la información proveniente de la identificación del peligro, la evaluación de la dosis-respuesta y la evaluación de la exposición en una conclusión general sobre el riesgo en una forma que sea útil a quienes toman decisiones, los legisladores, la prensa y los miembros del público. La caracterización del riesgo suministra una descripción cuantitativa o cualitativa de los peligros potenciales de una exposición en particular. La

caracterización cuantitativa del riesgo brinda una estimación numérica de la magnitud del riesgo que representa una sustancia para los seres humanos o para el ambiente. Este riesgo puede expresarse como un riesgo individual o un riesgo para la población. La caracterización cualitativa del riesgo describe, en forma narrativa, el efecto o los efectos adversos asociados con la exposición a un agente y proporciona alguna medida de las evidencias de dicha asociación.

2.1.9.1. Impactos del Cianuro Sobre la Salud y el Ambiente

Las evaluaciones completas del riesgo exigen especificaciones detalladas de las condiciones inherentes al sitio. En el caso del cianuro, su uso varía tanto que el riesgo puede evaluarse significativamente sólo si se consideran los procedimientos operativos inherentes a un sitio en particular. No obstante, es posible describir los peligros que representan el cianuro y las posibles exposiciones.

2.1.9.2. Toxicidad y Epidemiología del Cianuro en Seres Humanos

El cianuro es un veneno de acción rápida capaz de matar a una persona en cuestión de minutos si está expuesta a una dosis suficientemente elevada. Los seres humanos pueden estar expuestos al cianuro mediante inhalación, ingestión o absorción a través de la piel. El cianuro impide a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y “cianosis” (decoloración azulada de la piel). El sistema respiratorio deja de nutrir a las células con oxígeno, un estado que, si no se trata, causa respiración rápida y profunda seguida por convulsiones, pérdida del conocimiento y asfixia. El antídoto más común es el nitrito de amilo, que puede administrarse en forma oral o por inyección.

Aunque hay muchas fuentes diarias de exposición al cianuro (escapes de los automóviles, humo de tabaco, incendios), el cianuro no se acumula en los tejidos porque el cuerpo transforma esas pequeñas cantidades en un compuesto menos tóxico llamado tiocianato, que luego se excreta. No es conocido que el cianuro cause cáncer o defectos congénitos o que pueda afectar adversamente la reproducción. La forma más tóxica del cianuro es el HCN gaseoso. La Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales

(ACGIH) establece el límite de umbral tope de HCN en 4.7 ppm. En concentraciones de 20 a 40 ppm de HCN en el aire, se puede observar cierto malestar respiratorio después de varias horas. La muerte ocurre en pocos minutos con concentraciones de HCN por encima de aproximadamente 250 ppm en el aire.

Para el cianuro libre, la dosis letal en humanos por ingestión o inhalación varía entre 50 y 200 mg (1 a 3 mg de cianuro libre por kilogramo de masa corporal). La dosis letal por absorción dérmica es considerablemente mayor, alrededor de 100 mg por Kg de peso corporal, (US EPA, 1981).

2.1.9.3. Exposición de los Trabajadores

Las evaluaciones de riesgos incluyen no sólo los impactos sobre la población en general, sino también los impactos sobre quienes tienen mayor probabilidad de estar expuestos al peligro que quienes trabajan en un sitio específico. La posibilidad de que un trabajador entre en contacto con cianuro en las minas tiene lugar durante la recepción, descarga, manipulación y almacenamiento de briquetas sólidas de cianuro de sodio.

Si el proceso de cianuración se mantiene en un alto nivel de alcalinidad (pH de 10.5 o superior), casi todo el cianuro libre está presente como CN^- en las soluciones del proceso. En tales condiciones, la volatilidad del cianuro de hidrógeno (HCN) de las soluciones es bajo, de manera que el riesgo de inhalación para los trabajadores es manejable.

Los trabajadores deben usar protección respiratoria contra los posibles peligros a través del aire. La capacitación para la colocación, uso y prueba de dicho equipo se incorpora a los procedimientos de la compañía relacionados con la salud y la seguridad. La mayoría de las modernas operaciones mineras tienen detectores o monitores de HCN gaseoso que hacen sonar alarmas en áreas cerradas donde pueda haber HCN gaseoso. La mayoría de los seres humanos pueden detectar el olor del cianuro de hidrógeno gaseoso (olor a almendra amarga) en concentraciones inferiores a las que pueden resultar peligrosas para su salud, (US EPA, 1981).

2.1.9.4. Toxicología e Impactos Ambientales

Los materiales peligrosos afectan no sólo a los seres humanos, sino también a los receptores ecológicos. En los ambientes mineros, hay tres grupos importantes de receptores ecológicos o ambientales: los mamíferos, los reptiles y los anfibios; las aves (especialmente las aves silvestres migratorias); y los peces y otros integrantes de la vida acuática.

Existen pocos informes sobre impactos adversos importantes sobre los animales causados por el cianuro en emplazamientos mineros. El cianuro de sodio y las soluciones que contienen cianuro se manejan en áreas restringidas de los emplazamientos mineros. El acceso de los animales que caminan o se arrastran está limitado por paredes, plataformas de hormigón, bermas y vallas, y al mismo tiempo, la presencia de personas alrededor de las instalaciones mineras también disuade a los animales de acercarse. Evaluaciones del gobierno en los Estados Unidos demostró que los diseños de contención estándar y un buen control de ingeniería han mitigado eficazmente los riesgos para los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

La principal preocupación respecto de las aves silvestre siempre ha sido la exposición al cianuro en estanques abiertos, especialmente para las aves migratorias que pasan a través de regiones relativamente áridas como el oeste de los Estados Unidos, donde el uso del cianuro en minería se ha hecho bastante común. Sin embargo, se debe observar que la mortalidad de las aves en Nevada debido a la exposición a soluciones de cianuro se ha reducido notablemente de aproximadamente 1,300 en 1990 a 220 en 1995, o sea, una disminución del 83%.

Esta mejora se debe en gran parte a la limitación a menos de 50 ppm en la concentración de cianuro DAD en estanques descubiertos. Esta concentración de cianuro DAD no es agudamente tóxica para los patos, que han demostrado ser muy sensibles al cianuro en comparación con otras aves y vida silvestres (US Fish and Wildlife Service, 1991). Como resultado de normas eficaces y las buenas prácticas de manejo en la actividad minera, se han dado pasos

específicos para limitar aún más las concentraciones de cianuro y la exposición a las aves silvestres en estanques abiertos.

La colocación de redes ha resultado útil para cubrir pequeños estanques donde se realiza el proceso, pero la colocación de redes en depósitos de relaves de gran escala está limitada por el peso de las redes, especialmente cuando se acumula nieve o hielo en climas fríos y debido a que los animales silvestres quedan atrapados accidentalmente en ellas. Sin embargo, en la actualidad se siguen colocando redes para cubrir estanques en los que se deben mantener concentraciones máximas con fines metalúrgicos. Otros métodos para mantener a las aves lejos de las soluciones de cianuro de los estanques son el uso de cañones de aire, dispositivos que producen ruido, pelotas plásticas u otros dispositivos flotantes que se utilizan en forma creciente para cubrir toda la superficie de los pequeños estanques de procesamiento. Este último método también ayuda a reducir la pérdida de cianuro libre debido a la volatilización.

Peces jóvenes de agua fría, como los salmónidos, parecen ser una de las especies acuáticas más sensibles al cianuro. Los insectos acuáticos como las moscas piedra, las frigáneas, las moscas de mayo o cachipollas y los escarabajos, generalmente son menos sensibles a la sustancia. Son las formas débiles disociables ácidas del cianuro las que se consideran como las más “significativas toxicológicamente”. Estudios de laboratorio y de campo han demostrado que incluso las especies acuáticas, como la trucha, pueden tolerar bajos niveles de cianuro DAD. Muchos permisos de descarga y estándares normativos se basan en el cianuro DAD. Además, se han promulgado estándares para sitios específicos para el cianuro DAD utilizado en operaciones mineras en jurisdicciones como los Estados Unidos y Nueva Zelanda.

2.1.10. Manejo de Los Riesgos Del Cianuro en la Industria Minera

Existen cuatro principales escenarios de riesgos que deben ser encarados mediante planes específicos para cada sitio:

- Exposición de seres humanos o receptores ecológicos al cianuro derramado durante un accidente de transporte.

- Exposición de los trabajadores, especialmente al cianuro de hidrógeno gaseoso en lugares cerrados.
- Exposición de seres humanos por escapes de cianuro en solución al agua superficial o subterránea que puede ser ingerida.
- Exposición de receptores ecológicos, como aves o peces, a soluciones que contienen cianuro.

Los reglamentos para el transporte y los minuciosos programas de seguridad limitan los riesgos asociados al primer escenario. Con respecto al segundo, aunque en el pasado han ocurrido impactos adversos causados por escapes de las soluciones de los procesos, existen procedimientos científicos y de ingeniería para permitir la operación segura y confiable de los procesos de cianuración. Cuando se fijan normas específicas para cada sitio en relación con el tercero y cuarto escenarios dentro del marco normativo para la calidad del agua, se puede proteger eficazmente la salud humana y ambiental.

2.1.10.1. Sistemas de Gestión e Investigación y Desarrollo

La industria minera actualmente entiende que el manejo de los riesgos en todos sus aspectos desde la salud y la seguridad hasta las prudentes operaciones financieras es parte integral de la gestión de una compañía y un factor crítico para el éxito de una empresa industrial o comercial. Las modernas compañías mineras aplican el concepto generalizado de “sistemas de gestión” a sus programas en los que está involucrado el cianuro. Cada vez más, esta metodología se ve como parte de una buena administración en minería, así como en otras actividades industriales. Los sistemas de gestión eficaces abarcan cuatro pasos formales:

Planificación: Se redactan planes para detallar los procedimientos adecuados de manipulación y la respuesta en caso de accidentes en relación al transporte y recepción de cianuro, almacenamiento, preparación de soluciones, procesos metalúrgicos y manejo de residuos. Dichos planes incluyen procedimientos sobre derrames y contención en las operaciones mineras, así como procedimientos sobre salud y seguridad para proteger a los empleados de los posibles peligros del cianuro.

Ejecución: Para que un programa sea eficaz, debe haber un compromiso para ejecutar en forma automática y continua en cada operación, los planes redactados. Además, las responsabilidades de cada uno de los empleados en cuanto a la ejecución y documentación de las acciones exigidas por los planes, debe ser explicada en detalle y claramente definida.

Revisión y Documentación: Parte de la responsabilidad de la gerencia es auditar el desempeño operativo como rutina. La responsabilidad por la revisión y documentación del desempeño operativo normalmente se adjudica a personas que no son parte de la operación de línea y que reportan a los funcionarios de nivel superior de la empresa. Esto asegura una evaluación independiente del desempeño del sistema. También asegura que el nivel apropiado de la gerencia de la compañía esté informada sobre el desempeño operativo. Por lo tanto, la autoridad de la empresa podrá revisar y manejar eficazmente los posibles riesgos mediante la implementación de políticas y programas aplicables a múltiples lugares.

Toma de Acciones Correctivas, Si Fuese Necesario: Los programas de manejo de riesgos pueden tener deficiencias que luego se tornan evidentes en las operaciones y procesos diarios. Cuando se identifican estas deficiencias en el proceso de revisión, se debe dar prioridad a la toma de las acciones correctivas apropiadas y se deben revisar y documentar los efectos de esas acciones en las auditorías posteriores.

2.1.10.2. Manipulación del Producto

El aspecto más importante de un sistema bien administrado es comprender que la gente que está en contacto con el cianuro debe asumir la responsabilidad por su utilización segura. Los productores de cianuro auditan a los compradores y a los sistemas de transporte. También diseñan embalajes especiales para el transporte del cianuro. Los tres principales productores de cianuro industrial, Degussa, Dupont e ICI, se han comprometido con los principios de Cuidado Responsable®. Los transportistas por camión, ferrocarril y barcas examinan a sus empleados, hacen un cuidadoso inventario de los paquetes, y establecen y

mantienen sistemas de carga y descarga. Los productos se manipulan y transportan de acuerdo con protocolos establecidos por las respectivas industrias y en cumplimiento de normativas nacionales e internacionales.

Las compañías mineras establecen sistemas de control de inventario, mantienen la capacitación de los trabajadores y los programas de higiene industrial, y, al mismo tiempo, crean y mantienen sistemas relativos a las soluciones de los procesos y al manejo de residuos específicamente diseñados para mitigar y evitar la exposición al cianuro. Para lograr el éxito, se deben integrar todos los componentes del manejo de riesgos de manipulación de productos, sobre la base de cada proyecto específico.

2.1.10.3. Conservación y Reciclado

Otro componente de buena manipulación de los productos con cianuro es el concepto general de reducción de residuos. Al reducir la cantidad de cianuro físicamente presente en un emplazamiento minero, las posibles vías de exposición se reducen inevitablemente y, por consiguiente, también el riesgo total. Cuanto la cantidad de cianuro utilizada en una operación se mantiene al nivel mínimo necesario para alcanzar las metas de producción, se reducen tanto los costos como los riesgos. Este objetivo exige enfoques, como la ingeniería de valor, que ayuden a conservar la cantidad total de cianuro utilizado y consumido en un proceso de minería. El advenimiento de procesos de reciclado del cianuro brinda alternativas a los proyectos mineros con el fin de conservar la cantidad total de cianuro requerida.

2.1.10.4. Normativa y Programas Voluntarios Dirigidos a la Seguridad Laboral y la Salud Pública

Las normas, con frecuencia impuestas por los gobiernos, intentan hacer cumplir el manejo de riesgos. Algunos ejemplos de normativas durante el ciclo de vida del cianuro son: (a) establecer estándares de empaque y transporte; (b) fijar estándares de higiene industrial para las concentraciones de cianuro en el aire y la seguridad de los trabajadores; y (c) establecer limitaciones a la descarga de efluentes en aguas superficiales y subterráneas. Los gobiernos han utilizado los

resultados de investigación y desarrollo y un proceso de política pública para establecer procedimientos y normas que protejan la seguridad de los trabajadores, la salud pública y el ambiente. Por ejemplo, la forma más tóxica del cianuro, el cianuro de hidrógeno gaseoso, está regulado por estándares de higiene industrial, como los estándares ACGIH de 4.7 ppm para el aire.

En el ámbito mundial, el límite de cianuro total para la protección de la salud humana se fija generalmente cerca del estándar de 0.2 mg/l para el agua potable, propuesta por la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos. También, un incipiente consenso internacional, basado en datos técnicos, determina que las concentraciones de cianuro DAD en estanques abiertos debería mantenerse en concentraciones inferiores a 50 mg/l con el fin de proteger a las aves migratorias y a otras aves silvestres contra un impacto adverso (US EPA, 1981).

Pero el manejo de los riesgos y su cumplimiento no son impuestos por los gobiernos solamente ni deberían serlo. Los programas voluntarios pueden tener el mismo efecto que las normas sin el estigma de la coerción legal. Por ejemplo, los principales productores de compuestos de cianuro han tomado la decisión interna de tratar únicamente con usuarios finales y compañías de transporte que tengan registros comprobados de desempeño seguro. Aunque los métodos aplicados por cada productor puedan diferir, todos tienen el mismo resultado al usar mecanismos de mercado que exigen criterios específicos de cumplimiento para proteger al público en general de los peligros del cianuro.

2.1.11. Información Sobre Los Riesgos

La información o comunicación sobre riesgos es un componente clave en cualquier programa integral para tratar adecuadamente los riesgos relacionados con el cianuro en el ambiente minero. La comunicación debe efectuarse tanto dentro de la planta operativa como externamente al público.

La educación y la capacitación interna de los gerentes y los trabajadores en un emplazamiento minero son críticas. Los empleados de una mina o de cualquier otra instalación industrial también son miembros del público que vive cerca del

emplazamiento. Ellos y sus familias, amigos y vecinos tienen muchas de las mismas preocupaciones por el uso seguro del cianuro y por la protección del ambiente que cualquier otra persona que viva en las cercanías. Por lo tanto, la comunicación apropiada de toda la información relacionada con el cianuro al personal interno es el primer paso en la comunicación al público en general de la naturaleza y el alcance del riesgo (US EPA, 1981).

Más allá de cumplir con los requisitos formales y normativos, la comunicación real sobre los riesgos implica la información y la participación del público. Además de coordinar los programas de planificación de emergencias con las autoridades locales pertinentes, significa facilitar el acceso a datos sobre los tipos y las cantidades de compuestos de cianuro en los procesos operativos de la mina y el inventario, así como los datos de monitoreo. Una comunicación pública eficaz también es bidireccional, ya que alienta a expresar las preocupaciones públicas y ocuparse de ellas.

Las prácticas de administración de la mina respecto al cianuro deben hacerse públicas e implementarse a través de programas que sean explicados a los miembros de las comunidades locales por aquellos representantes de la compañía que sean eficaces comunicadores. Al mismo tiempo, los programas de relaciones positivas con la comunidad pueden aportar tanto sustancia como forma, y servir para demostrar a la población en general que el cianuro y otros peligros se están manejando sin riesgos para la comunidad. En la actualidad, un número creciente de compañías mineras de todo el mundo ha adoptado este enfoque y de este modo ha abierto las líneas de comunicación con las comunidades locales para el mayor beneficio de todas las partes involucradas (US Fish and Wildlife Service, 1991).

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. MATERIALES

Por la complejidad de este estudio, se necesita una cantidad regular de instrumental para análisis, preparación y manejo del proceso.

3.1.1. Instrumental

- Fotoreactor para pruebas de diseño experimental.
- Balanza analítica (OHAUS GA 200, precisión de 0,1mg).
- Bureta digital.
- Plancha con agitador magnético.
- Potenciómetro (pHmeter, resolución de 0,01 pH).
- Electrodo con Ion selectivo de cianuro (HANNA - HI 4109).
- Agitador de velocidad variable (AGV-8 de 200 a 2000 r.p.m.)
- Material de vidrio.

3.1.2. Reactivos

- Cianuro de sodio - QP.
- Hidróxido de sodio - GR.
- Óxido de calcio o cal - GR.
- Nitrato de plomo - QP.
- Zinc en polvo - GR.
- Ácido sulfúrico - GR.
- Peróxido de hidrógeno - QP.
- Nitrato de plata - GR.
- Yoduro de potasio - GR.

- Carbonato de plomo - GR.
- Cloruro de magnesio - GR.

3.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la planta concentradora de la Corporación Minera Ananea, la misma que se halla entre la cuenca alta del río Carabaya (afluente del río Ramis, uno de los principales tributarios del Lago Titicaca, con aportes del 40% de escorrentía, aproximadamente), donde toma el nombre de río Grande; recibe deshielos del nevado Ananea y reboses de las lagunas Rinconada, Sillacunca, Huicha y Chullpacocha. Esta zona se ubica a una altitud que varía entre 4932 y 4837, al interior del cuadrilátero, en las siguientes coordenadas UTM (PSAD 56).

- 1: 8381543,36N y 449897,71E
- 2: 8381147,75N y 450127,74E
- 3: 8381039,68N y 449941,88E
- 4: 8381412,86N y 449724,88E

3.3. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras representativas se ejecutó para desarrollar su posterior análisis en concentraciones de cianuro total (CN_T) y cianuro libre (CN_L) presentes en la solución cianurada percolada proveniente de la cancha de relaves (muestra problema).

La extracción de muestra se efectuó en dos lugares, establecidos como puntos de recolección, las mismas fueron combinadas para obtener una muestra compuesta representativa de toda el área de relave. Las muestras recolectadas fueron pretratadas mediante filtrado bajo presión positiva, con éstas se desarrollaron las pruebas a nivel de laboratorio con la finalidad de comprobar la factibilidad de la destrucción del cianuro presente en las muestras problema.

Las recomendaciones adoptadas para preservar las muestras en las que se determinó el contenido de cianuros, fueron: la extracción de 3 litros de muestra por punto de recolección, cada vez, almacenándolos en recipientes de polietileno

(PHDD). Luego, éstas muestras se preservaron adicionando hidróxido de sodio (NaOH) al 20 % hasta pH mayor o igual a 12 en el momento de la colecta, para evitar alterar las características del cianuro presente en la muestra (lo que considera las interferencias que pueden causar el ácido sulfhídrico o sulfuros metálicos entre otros).

Las muestras se refrigeraron a 4°C hasta el momento de su análisis. El tiempo máximo de almacenaje previo al análisis, en ningún caso excedió los 14 días.

De modo complementario, se tuvo en consideración criterios de toma de muestra, como su disponibilidad permanente, su recolección segura y sencilla, además de que los lugares preseleccionados sean accesibles al procedimiento de muestreo, propendiendo a que la concentración se mantenga representativa e invariable a través del tiempo.

3.4. PARTE EXPERIMENTAL

3.4.1. Dosis Óptima de Reactivos Para la Degradación de Cianuros

3.4.1.1. Rango de pH

Dentro del presente estudio fue importante determinar el rango de pH óptimo en el que se desarrollarían los procesos de degradación de cianuros presentes en los efluentes cianurados. En este contexto se evaluó el comportamiento de los cianuros con peróxido de hidrógeno a diferentes índices de pH. Estas disoluciones se acondicionaron con un agente acidificante y otro alcalinizante (ácido clorhídrico y hidróxido de sodio, respectivamente) hasta los valores de pH deseados. Finalmente se analizó las soluciones degradadas (CN_T y/o CN_L) por separado.

3.4.1.2. Dosificación de Sulfato de Hierro

Se examinó el efecto del proceso de remoción del cianuro (CN_T y/o CN_L) por un periodo de 4 horas, en 500 ml de muestra problema acondicionada a pH alcalino (i.e., 10.5); al agregar cantidades (i.e., 0.5:1, 1:1, 2:1, 3:1 y 3.5:1) de agente precipitante de una sal de hierro ($FeSO_4 \cdot 8H_2O$) en disolución, con la intención de mejorar la cinética de la reacción en el proceso de precipitación de los

ferrocianuros formados en la solución acuosa, la que finalmente se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN^- , por separado.

3.4.1.3. Dosificación de Sulfato de Cobre

Se investigó el efecto del proceso de remoción del cianuro (CN_T y CN_L), también por un periodo de 4 horas, en 500 ml de muestra problema acondicionada a pH alcalino (i.e., 10.5); al agregar las mismas cantidades que el reactivo anterior (i.e., 0.5:1, 1:1, 2:1, 3:1 y 3.5:1), de agente precipitante de una sal de cobre ($CuSO_4 \cdot 7H_2O$) agregada en solución con la intención de mejorar la cinética de la reacción en el proceso de precipitación de los tetracianocupratos formados en la disolución, la que finalmente también se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN_L , por separado.

3.4.1.4. Dosificación de Peróxido de Hidrógeno

Se examinó el efecto del proceso de oxidación del cianuro (CN_T y/o CN_L) en 500 ml de muestra problema, al agregar cantidad (i.e., 0.5:1, 1:1, 2:1, 3:1 y 3.5:1) de agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la solución acuosa, la que finalmente se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN^- , por separado.

3.4.2. Ensayos de Tratabilidad de Cianuros

3.4.2.1. Remoción Mediante Sistema Combinado $FeSO_4/H_2O_2$

Se examinó el proceso de degradación de cianuros (CN_T y/o CN_L) en 500 ml de muestra problema, al agregar cantidades proporcionales de agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) respecto al contenido de cianuros (i.e., 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1 y 2.5:1); a los que también se adicionó volúmenes (2:1 y 3:1) de una sal de hierro ($FeSO_4 \cdot 8H_2O$) agregados de modo que se logró formular combinaciones diferentes. Adicionalmente, se estabilizó el pH de las muestras problema a 11.0 aproximadamente, previa agitación constante durante 60 minutos, la disolución resultante se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN_L por separado.

3.4.2.2. Remoción Mediante Sistema Combinado $\text{CuSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$

Se examinó el proceso de degradación de cianuros (CN_T y/o CN_L) en 500 ml de muestra problema, al agregar cantidades proporcionales de agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) respecto al contenido de cianuros (i.e., 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1 y 2.5:1); a los que también se adicionó volúmenes (2:1 y 3:1) de una sal de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) agregados de modo que se logró formular combinaciones diferentes. Adicionalmente, se estabilizó el pH de las muestras problema a 11.0 aproximadamente, previa agitación constante durante 60 minutos, la disolución resultante se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN_L por separado.

3.4.2.3. Remoción Mediante Sistema Combinado $\text{FeSO}_4/\text{CuSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$

Se examinó el proceso de degradación de cianuros (CN_T y/o CN_L) en 500 ml de muestra problema, al agregar cantidades proporcionales de agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) respecto al contenido de cianuros (i.e., 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1 y 2.5:1); previa adición de una mezcla de volúmenes (2:1 y 3:1) de sales de cobre y hierro agregados de modo que se logró formular combinaciones diferentes. Adicionalmente, se estabilizó el pH de las muestras problema a 11.0 aproximadamente, previa agitación constante durante 60 minutos, la disolución resultante se almacenó para determinar su contenido de CN_T y/o CN_L por separado.

3.4.3. Determinación de la Concentración de Cianuros

3.4.3.1. Determinación de Cianuro Total

Este procedimiento se basó en la lectura de cianuro total en soluciones cianuradas previa destilación con NaOH como un procedimiento para medir los niveles de cianuro total, éste método consiste en volatilizar todas las formas de cianuro para luego condensarlas con NaOH. Método Volumétrico: El CN_L presente en la muestra luego se valoró con nitrato de plata (AgNO_3), en presencia de indicador, para formar un complejo de cianuro soluble: $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$. Esto sucede al hallarse acomplejado todo el cianuro, y al suministrar un pequeño exceso de plata (Ag^+), este exceso es detectado por el indicador sensible a la

plata y ocasiona un viraje en la solución, lo que puede relacionarse directamente a la cantidad presente de cianuro total, a través de la ecuación 1.

Reactivos

- Solución de SnCl_2 (se añadió 6 ml de HCl a 40 g de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, se aforó a 100 ml con agua y se calentó para disolver.
- Solución de AgNO_3 (0,01414 M) para titulación, estandarizada con solución de NaCl de la misma concentración.
- Indicador Rodanina (0,02 gr de *p*-dimethylaminobenzylidene, rhodanine disueltos en 100 ml de acetona).
- Solución de NaOH al 20%.

Procedimiento

Se limpió el área de trabajo y el instrumental de vidrio a utilizar (pipetas, matraz, vasos, etc.). Se añadió 30 ml de solución de NaOH al 20% a una junta absorbedor. Se conectó todas las partes del sistema de destilación, de modo neumático. Se añadió 20 ml de HCl al 25% y 4 ml de solución de SnCl_2 al frasco destilante.

Se ajustó la temperatura de la plancha caliente a una temperatura media y el vacío si es necesario para mantener la acción de burbujeo bajo en la junta absorbedora, de manera que no cause flujos de retorno en el frasco destilador. Se destiló de 1.5 a 2 horas. Con el vacío encendido se desconectaron los equipos (en la parte superior fría del absorbedor), se agregó NaOH y se enjuagó con H_2O a través del absorbedor por la parte superior.

Se determinó la concentración de cianuro total midiendo el gasto de AgNO_3 en el procedimiento de titulación.

Tabulación de Datos

Cálculo de los ppm (mg/l) de cianuro libre en la solución:

$$\text{CN}_T = [(\text{ml AgNO}_3) / (\text{tamaño de muestra})] \times 1000 \dots \dots \dots (18)$$

3.4.3.2. Determinación de Cianuro Libre

Este procedimiento se basó en la valoración de soluciones básicas con ácidas de concentración conocida.

Reactivos:

Solución de AgNO_3 (3.27 gr/l).

Solución de NaOH (1.6 gr/l).

Procedimiento:

Se limpió el área de trabajo y el instrumental de vidrio a utilizar (pipetas, matraz, etc.). Se diluyó una muestra de 10 ml de solución cianurada con 90 ml de solución de NaOH . Se añadió 0.5 ml de indicador rodamina al 0.02%. Se tituló con la solución de AgNO_3 (hasta el viraje de color amarillo canario a rosado salmón) anotando los mililitros de AgNO_3 gastados (A).

De otra parte, se tituló con la solución de AgNO_3 una muestra blanco continuada (90 ml de solución de NaOH + 10 ml de agua destilada) adicionando indicador, anotando los mililitros de AgNO_3 gastados (B).

Tabulación de Datos

Cálculo de los ppm de cianuro libre en la solución:

$$\text{CN}_L = [(ml A - ml B) \times 1000] / ml \text{ muestra}] \times 0.579 \dots \dots \dots (19)$$

$$\text{Factor NaCN/AgNO}_3 = 0.579$$

3.5. TRATAMIENTO DE DATOS

Se desarrolló un ordenamiento y análisis numérico de los datos con el objeto de evidenciar magnitudes, comportamiento y tendencias de la información. A continuación, se realizó un análisis estadístico, con el objeto de examinar:

La media aritmética, calculada al sumar el grupo de determinaciones analíticas y dividir a continuación por el recuento de dichos números, con el fin de medir la tendencia central, que es la ubicación del centro del grupo de números en su

distribución estadística. La desviación estándar como medida de la dispersión de los valores con respecto a la media, debido a que las determinaciones analíticas reportadas representan la muestra de la población total de los datos considerados.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots(20)$$

El intervalo de confianza correspondiente a la desviación estándar hallada para la población de datos analizada con un nivel de confianza del 95%, entendiéndose que en este intervalo, la probabilidad de obtener una media de muestra más alejada de μ_0 que del total de la población de datos es mayor que 0,05. Asimismo, para cualquier media de población μ_0 fuera de este intervalo, la probabilidad de obtener una media de muestra más alejada de μ_0 que del tamaño de muestra es menor que 0,05.

$$IC = \bar{x} \pm 1.96 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \dots\dots\dots(21)$$

Otro indicador estadístico calculado, fue la varianza en función del total de la población representada.

$$VAR = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n} \dots\dots\dots(22)$$

Luego de efectuar el análisis de la confiabilidad de los datos reportados, se desarrolló un análisis que implicó el esclarecimiento de la significancia de los tratamientos evaluados durante el presente estudio, para lo cual se ejecutó una prueba de Tukey en función de la evaluación de los porcentajes de remoción de cianuros. Para ésta prueba se determinó previamente los siguientes criterios de porcentajes de eficiencia para los grupos homogéneos a considerar.

Tabla N° 04: Criterios de Eficiencia en la Prueba

Grupo Homogéneo	% Eficiencia
A	100.0 – 97.0
B	98.5 – 95.5
C	97.0 – 94.0
D	95.5 – 92.5
E	94.0 – 91.0
F	92.5 – 88.0
G	91.0 – 85.0
H	88.0 – 82.0
I	85.0 – 79.0
J	82.0 – 76.0
K	79.0 – 73.0
L	76.0 – 68.5
M	73.0 – 64.0
N	68.5 – 59.5
O	64.0 – 55.0
P	59.5 – 50.5
Q	55.0 – 46.0
R	50.5 – 40.0
S	46.0 – 34.0
T	40.0 – 28.0
U	34.0 – 22.0
V	28.0 – 16.0

Fuente: Tukey

Dicha estrategia consiguió demostrar disimilitudes entre los diferentes experimentos establecidos en el presente estudio. Finalmente, se estimó la velocidad de remoción de los cianuros que envuelve a los procesos evaluados (i.e., oxidación y acomplejamiento del cianuro), con base a la ecuación 6, que considera su remoción como una reacción de primer orden que calcula sus velocidades específicas de reacción.

$$-k_1 = \ln [CN^-]_t - \ln [CN^-]_0 \dots \dots \dots (23)$$

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. RANGO ÓPTIMO DE PH

Se realizó ensayos, en los que se analizó cianuros totales (CN_T) a diferentes valores de pH, donde se observó que la eficiencia de degradación del cianuro total es notoria; disminuyendo su concentración desde 1541 mg/l hasta 1428.68 mg/l en medio ácido; lo que finalmente, por acción oxidante catalítica del peróxido de hidrógeno descendió hasta 0.51 mg/l en medio alcalino.

Tabla N° 05: Degradación del CNT a Diferentes Valores de pH

Ensayo #	pH	Concentración [mg/l]	Degradación (%)
1	1.0	1533.30	0.50
2	2.0	1522.56	1.20
3	3.0	1508.86	2.09
4	4.0	1492.26	3.16
5	5.0	1472.86	4.42
6	6.0	1428.68	7.29
7	7.0	1371.53	11.00
8	8.0	1193.23	22.57
9	9.0	644.34	58.19
10	10.0	212.63	96.41
11	11.0	55.28	99.21
12	12.0	12.16	99.83
13	13.0	2.55	99.97
14	14.0	0.51	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Los cianuros libres (CN_L) a diferentes valores de pH, disminuyeron su concentración desde 1332.35 mg/l hasta 1208.9 mg/l en medio ácido y por la acción oxidante catalítica del peróxido de hidrógeno descendió hasta valores de 0.29 mg/l en medio alcalinizado.

Tabla N° 06: Degradación del CNL a Diferentes Valores de pH

Ensayo #	pH	Concentración [mg/l]	Degradación (%)
1	1.0	1323.02	0.70
2	2.0	1312.44	1.49
3	3.0	1298.00	2.58
4	4.0	1283.34	3.68
5	5.0	1266.13	4.97
6	6.0	1208.90	9.27
7	7.0	1159.21	13.00
8	8.0	989.97	25.70
9	9.0	507.46	61.91
10	10.0	173.30	97.14
11	11.0	38.13	99.43
12	12.0	7.64	99.89
13	13.0	1.51	99.98
14	14.0	0.29	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Estas pruebas se realizaron con el fin de conocer la concentración más adecuada de peróxido de hidrogeno que permita degradar cianuro a niveles permisibles, los tiempos requeridos y para comparar otras alternativas propuestas. En estos ensayos se evidenció la conversión del cianuro, posiblemente a ion cianato y otras especies degradadas en presencia del oxidante fuerte.

Con esta base experimental, se resolvió trabajar durante el desarrollo del estudio a pH alcalino en el rango de 10.5 a 11.5.

4.2. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATO DE HIERRO

Los resultados de los ensayos del uso de sulfato ferroso octahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) a diferentes proporciones respecto a soluciones provenientes de los relaves cianurados (con una concentración inicial de cianuro total de 1541 mg/l) y en diferentes periodos de tiempo, se observan en las tablas N° 07 y 08, las mismas que se elaboraron tanto para cianuros totales y cianuros libres, respectivamente.

Tabla N° 07: Degradación del CNT con $\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Tratamiento Código	Kg de FeSO_4 Kg de CN	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T1 _T = FeSO_4 0.5:1	0.5	1100.71	714.75	441.20	275.42	82.13	10.50	8.70
T2 _T = FeSO_4 1:1	1.0	887.67	525.25	287.02	145.63	90.55	10.50	8.31
T3 _T = FeSO_4 2:1	2.0	534.74	312.72	162.03	78.35	94.92	10.50	8.50
T4 _T = FeSO_4 3:1	3.0	316.42	152.12	70.10	34.38	97.77	10.50	8.64
T5 _T = FeSO_4 3.5:1	3.5	197.76	79.42	33.80	18.32	98.81	10.50	8.69

Fuente: Elaboración Propia

La interacción entre la sal de hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) y la cantidad de cianuro total presente en la muestra problema, sigue una tendencia uniforme a lo largo de las 4 horas de duración de este ensayo.

Tabla N° 08: Degradación del CN_L con $\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Tratamiento Código	Kg de FeSO_4 Kg de CN	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T1 _L = FeSO_4 0.5:1	0.5	1032.83	717.24	640.40	321.76	71.22	10.50	8.70
T2 _L = FeSO_4 1:1	1.0	832.93	410.31	286.93	112.37	89.95	10.50	8.31
T3 _L = FeSO_4 2:1	2.0	616.98	306.96	236.12	78.45	92.98	10.50	8.50
T4 _L = FeSO_4 3:1	3.0	313.19	116.86	74.43	21.48	98.08	10.50	8.64
T5 _L = FeSO_4 3.5:1	3.5	172.08	69.11	44.02	13.99	98.75	10.50	8.69

Fuente: Elaboración Propia

Al buscar determinar la capacidad de acomplejamiento del cianuro total (el que incluye al cianuro libre, los cianuros simples y todos los cianuros complejos), también se ensayó por separado la determinación del cianuro libre que es su especie con mayor presencia en porcentaje, partiendo de una concentración inicial de 1332.35 mg/l.

4.3. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATO DE COBRE

Los resultados de los ensayos del uso de sulfato de cobre heptahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a diferentes proporciones respecto a soluciones provenientes de los relaves cianurados (con una concentración inicial de cianuro total de 1541mg/l) y en diferentes periodos de tiempo, se observan en las tablas N° 09 y 10.

Tabla Nº 09: Degradación del CN_T con CuSO₄.7H₂O

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN ⁻	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T6 _T = CuSO ₄ 0.5:1	0.5	1328.45	922.53	823.69	413.85	73.14	10.50	9.40
T7 _T = CuSO ₄ 1:1	1.0	991.38	488.36	299.61	117.34	92.39	10.50	7.48
T8 _T = CuSO ₄ 2:1	2.0	516.34	256.89	197.61	65.66	95.74	10.50	7.99
T9 _T = CuSO ₄ 3:1	3.0	253.11	94.44	60.16	24.11	98.44	10.50	8.44
T10 _T = CuSO ₄ 3.5:1	3.5	154.34	61.98	39.48	15.82	98.97	10.50	9.55

Fuente: Elaboración Propia

La interacción entre la sal de Cobre (CuSO₄.7H₂O) y la cantidad de cianuro total presente en la muestra problema, sigue una tendencia uniforme a lo largo de las 4 horas de duración de este ensayo. Esta propensión se puede advertir en la tabla Nº 10.

Tabla Nº 10: Degradación del CN_L con CuSO₄.7H₂O

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN ⁻	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T6 _L = CuSO ₄ 0.5:1	0.5	931.71	647.02	577.70	322.51	75.79	10.50	9.40
T7 _L = CuSO ₄ 1:1	1.0	608.96	299.98	184.04	72.08	94.59	10.50	7.48
T8 _L = CuSO ₄ 2:1	2.0	451.08	224.42	172.63	57.36	95.69	10.50	7.99
T9 _L = CuSO ₄ 3:1	3.0	176.20	65.75	41.88	27.47	97.94	10.50	8.44
T10 _L = CuSO ₄ 3.5:1	3.5	146.84	58.97	54.10	15.06	98.87	10.50	9.55

Fuente: Elaboración Propia

4.4. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

El desarrollo experimental incluyó 5 pruebas con diferentes proporciones de H₂O₂/CN⁻. En cada una de estas pruebas, fueron tomadas muestras de 0.5 litros para adicionarles la cantidad de H₂O₂ correspondiente, de acuerdo a las proporciones estipuladas. Las muestras reaccionaron durante 4 horas, con una agitación periódica para simular el movimiento de la pulpa, y se controló el nivel de cianuro con el método volumétrico aplicado cada hora. Al final de las 4 horas a cada muestra se le determinó además, el pH final.

Este ensayo permitió observar el proceso de oxidación del peróxido de hidrógeno (como agente destructor del triple enlace covalente entre el carbono y el nitrógeno del cianuro), el efecto se puede advertir al observar el cianuro total desde niveles situados por encima de 1541mg/l al inicio del tiempo de reacción hasta concentraciones de 11.95mg/l en un periodo de 60 minutos y de 1.43mg/l luego de 240 minutos (llegando a registrar un porcentaje de degradación del 99.9 %) a diferentes proporciones respecto a soluciones provenientes de los relaves

cianurados y en diferentes periodos de tiempo, lo que se observa en las tablas N° 11 y 12.

Tabla N° 11: Degradación del CN_T con H_2O_2

Tratamiento Código	Kg de $FeSO_4$ Kg de CN^-	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T11 _T = H_2O_2 0.5:1	0.5	670.00	465.28	415.43	208.73	86.46	10.50	7.70
T12 _T = H_2O_2 1:1	1.0	319.05	157.17	96.42	37.76	97.55	10.50	7.31
T13 _T = H_2O_2 2:1	2.0	212.70	105.82	81.40	27.05	98.24	10.50	7.50
T14 _T = H_2O_2 3:1	3.0	38.26	10.40	6.62	2.65	99.83	10.50	7.64
T15 _T = H_2O_2 3.5:1	3.5	11.95	3.43	2.18	1.43	99.91	10.50	7.69

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 11, se aprecia la variación de la concentración de cianuro con el tiempo para diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno adicionadas a la solución. Para concentraciones de peróxido de hidrógeno entre 0.5 y 3.0 Kg de H_2O_2 /Kg de CN^- , no fueron alcanzados los límites de concentración permisibles (0.2 ppm), no obstante, para 3.5 Kg de H_2O_2 /Kg de CN^- , el cianuro es degradado hasta concentraciones menores de 1.43 ppm en 4 horas; concentración que se acerca al límite permisible.

Además se observó una disminución del pH de 10.50 a 7.69, de acuerdo con lo esperado en la teoría; este resultado presenta una ventaja del método, debido que a estas condiciones de pH algunos metales son precipitados. En todas las pruebas realizadas se observó la formación de estos precipitados.

Tabla N° 12: Degradación del CN_L con H_2O_2

Tratamiento Código	Kg de $FeSO_4$ Kg de CN^-	[mg/l] por Tiempo				Degrad. (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	4 h		Inicial	Final
T11 _L = H_2O_2 0.5:1	0.5	625.52	434.39	387.85	194.87	85.37	10.50	7.70
T12 _L = H_2O_2 1:1	1.0	324.10	159.66	97.95	36.95	97.23	10.50	7.31
T13 _L = H_2O_2 2:1	2.0	175.19	87.16	67.05	22.28	98.33	10.50	7.50
T14 _L = H_2O_2 3:1	3.0	31.28	18.62	11.86	2.14	99.84	10.50	7.64
T15 _L = H_2O_2 3.5:1	3.5	9.78	3.93	2.67	1.10	99.92	10.50	7.69

Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo, la interacción entre el agente superoxidante (H_2O_2) y la cantidad de cianuro total presente en la muestra problema, sigue una tendencia uniforme a lo largo de las 4 horas de duración de este ensayo. Esta propensión se puede advertir en la tabla N° 12.

4.5. DEGRADACIÓN DE CIANURO CON PERÓXIDO DE HIDROGENO Y SULFATO DE HIERRO

Los resultados de los ensayos para determinar la capacidad de oxidación del cianuro total y cianuro libre, mediante el uso de una pre mezcla de un superoxidante (peróxido de hidrogeno) y sulfato ferroso octahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) en soluciones provenientes de los relaves cianurados, a diferentes periodos de tiempo, se observan en las tablas N° 13 y 14.

Este ensayo permitió observar el proceso complementario entre el peróxido de hidrógeno (como agente destructor del triple enlace covalente entre el carbono y el nitrógeno del cianuro) reforzado con la acción del sulfato ferroso (como agente precipitador de las moléculas recientemente formadas de ferrocianuro); el efecto se puede advertir al observar el cianuro total desde niveles situados por encima de 532 mg/l al inicio del tiempo de reacción hasta concentraciones de 6.8 mg/l en un periodo de 60 minutos (llegando a registrar un porcentaje de degradación del 96.4%).

Tabla N° 13: Degradación de CN_T con FeSO_4 y H_2O_2

Tratamiento Código	FeSO_4 CN	H_2O_2 CN	Ensayos [mg/l]			Conc. [mg/l]/1h	Degrad. (%)	pH	
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			Inicial	Final
T16 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	362.59	358.96	398.85	373.47	75.76	11.0	8.36
T17 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	235.68	233.33	259.25	242.75	84.25	11.0	8.39
T18 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 2:1, 1:1	2.0	1.0	141.41	140.00	155.55	145.65	90.55	11.0	8.32
T19 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 3:1, 1:1	3.0	1.0	77.78	77.00	85.55	80.11	94.80	11.0	8.34
T20 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	38.89	38.50	42.78	40.05	97.40	11.0	8.36
T21 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	32.28	31.95	35.50	33.24	97.84	11.0	8.37
T22 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 2:1, 2:1	2.0	2.0	27.76	27.48	30.53	28.59	98.14	11.0	8.41
T23 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 3:1, 2:1	3.0	2.0	24.70	24.46	27.18	25.45	98.35	11.0	8.27
T24 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	18.03	17.85	19.84	18.58	98.79	11.0	8.31
T25 _T = $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	8.12	8.03	8.93	8.36	99.46	11.0	8.36

Fuente: Elaboración Propia

Con la intención de mejorar la cinética (velocidad de reacción) del ensayo, se incrementó la proporción de peróxido de hidrógeno respecto al contenido cianuro total esperado en la solución. Por ello, se decidió estandarizar el lapso de tiempo de degradación, en 60 minutos para el desarrollo de los ensayos sucesivos, considerando que su tendencia se mantiene hasta finalizar el experimento. De hecho al variar las proporciones mezcladas se obtuvieron resultados similares

tomando en cuenta el tiempo, aunque mejorando las capacidades de degradación.

Tabla N° 14: Degradación de CN_L con $FeSO_4$ y H_2O_2

Tratamiento Código	$FeSO_4$ CN	H_2O_2 CN	Ensayos [mg/l]			Conc. [mg/l]/1h	Degrd. (%)	pH	
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			Inicial	Final
T16 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	213.86	211.7	235.2	220.28	83.47	11.0	8.36
T17 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	139.01	137.6	152.9	143.18	89.25	11.0	8.39
T18 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 2:1, 1:1	2.0	1.0	83.41	82.6	91.7	85.91	93.55	11.0	8.32
T19 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 3:1, 1:1	3.0	1.0	45.87	45.4	50.5	47.25	96.45	11.0	8.34
T20 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	22.94	22.7	25.2	23.62	98.23	11.0	8.36
T21 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	17.20	17.0	18.9	17.72	98.67	11.0	8.37
T22 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 2:1, 2:1	2.0	2.0	14.45	14.3	15.9	14.88	98.88	11.0	8.41
T23 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 3:1, 2:1	3.0	2.0	10.84	10.7	11.9	11.16	99.16	11.0	8.27
T24 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	5.74	5.7	6.3	5.92	99.56	11.0	8.31
T25 _L = $FeSO_4/H_2O_2$ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	3.73	3.7	4.1	3.85	99.71	11.0	8.36

Fuente: Elaboración Propia

Al observar el comportamiento de la solución problema, con un incremento en la proporción de peróxido de hidrógeno, se advierte una mejora en la velocidad de degradación, reduciendo casi por completo los niveles de cianuro libre en un tiempo aproximado de 45 minutos; obteniéndose así las dosificaciones ideales del reactivo.

Otro parámetro considerado y evaluado en el presente estudio fue el potencial de hidrogeniones, el mismo que se valuó a pH de 11. Frente a la adición de sulfato de hierro, exhibió la tendencia de disminuir, precisamente, a esos niveles de pH, la acción de sulfato de hierro es óptima en la formación de precipitados ferrocianurados. La inmediata reacción del sulfato ferroso durante los ensayos, generó precipitados consistentes, cuya estabilidad en función del pH se evaluó en el presente documento, de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.6. DEGRADACIÓN DE CIANURO CON PERÓXIDO DE HIDROGENO Y SULFATO DE COBRE

Los resultados de los ensayos para determinar la capacidad de oxidación del cianuro total, mediante el uso de una pre mezcla de un superoxidante (peróxido de hidrogeno) y sulfato de cobre heptahidratado ($CuSO_4 \cdot 7H_2O$) en soluciones provenientes de los relaves cianurados, a diferentes periodos de tiempo, se observan en las tablas N° 15 y 16.

Tabla N° 15: Degradación de CN_T con CuSO₄ y H₂O₂

Tratamiento Código	FeSO ₄ CN ⁻	H ₂ O ₂ CN ⁻	Ensayos [mg/l]			Conc. [mg/l]/1h	Degrd. (%)	pH	
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			Inicial	Final
T26 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	261.63	259.0	287.8	269.48	82.51	11.0	8.32
T27 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	172.68	170.9	189.9	177.86	88.46	11.0	8.35
T28 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2.0	1.0	105.33	104.3	115.9	108.49	92.96	11.0	8.33
T29 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3.0	1.0	58.99	58.4	64.9	60.76	96.06	11.0	8.32
T30 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	41.88	41.5	46.1	43.14	97.20	11.0	8.38
T31 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	31.83	31.5	35.0	32.78	97.87	11.0	8.41
T32 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2.0	2.0	25.78	25.5	28.4	26.55	98.28	11.0	8.35
T33 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3.0	2.0	22.17	22.0	24.4	22.84	98.52	11.0	8.32
T34 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	11.31	11.2	12.4	11.65	99.24	11.0	8.40
T35 _r = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	5.20	5.1	5.7	5.36	99.65	11.0	8.41

Fuente: Elaboración Propia

El efecto entre el peróxido de hidrógeno reforzado con la acción del sulfato de cobre se puede advertir al observar el cianuro total desde niveles situados por encima de 1541mg/l al inicio del tiempo de reacción hasta concentraciones de 5.36 mg/l en un periodo de 60 minutos (llegando a registrar un porcentaje de degradación del 99.65%).

En la tabla N° 15 se observa como varia la concentración de cianuro con el tiempo para diferentes concentraciones de sulfato de cobre adicionadas a la solución. Para concentraciones de sulfato de cobre entre 2 y 3 Kg de NaOCl/Kg de CN⁻, no fueron alcanzados los límites de concentración permisibles (0.2 ppm), a pesar de exhibir un porcentaje de degradación máxima del 99.6 %. Además, se observó una disminución del pH de 11.0 a 8.41, al igual que con el peróxido de hidrógeno, se favorece la formación de precipitados, atribuidos a la precipitación de los metales presentes en la solución.

Tabla N° 16: Degradación de CN_L con CuSO₄ y H₂O₂

Tratamiento Código	FeSO ₄ CN ⁻	H ₂ O ₂ CN ⁻	Ensayos [mg/l]			Conc. [mg/l]/1h	Degrd. (%)	pH	
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			Inicial	Final
T26 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	181.27	179.5	199.4	186.71	85.99	11.0	8.32
T27 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	119.64	118.4	131.6	123.23	90.75	11.0	8.35
T28 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2.0	1.0	72.98	72.3	80.3	75.17	94.36	11.0	8.33
T29 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3.0	1.0	40.87	40.5	45.0	42.09	96.84	11.0	8.32
T30 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	29.02	28.7	31.9	29.89	97.76	11.0	8.38
T31 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	24.95	24.7	27.4	25.70	98.07	11.0	8.41
T32 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2.0	2.0	22.71	22.5	25.0	23.39	98.24	11.0	8.35
T33 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3.0	2.0	17.26	17.1	19.0	17.78	98.67	11.0	8.32
T34 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	8.80	8.7	9.7	9.07	99.32	11.0	8.40
T35 _l = CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	4.05	4.0	4.5	4.17	99.69	11.0	8.41

Fuente: Elaboración Propia

4.7. DEGRADACIÓN DE CIANURO TOTAL, PREVIA MEZCLA DE SULFATO DE HIERRO - SULFATO DE COBRE Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

Estas pruebas se realizaron con el fin de estudiar el sinergismo entre estos reactivos, las combinaciones adecuadas, así como el tiempo necesario y condiciones del pH, para comparar estos resultados con los alcanzados en los demás métodos propuestos. Se experimentó la degradación del cianuro libre por etapas del siguiente modo:

1. Etapa de mezcla de sulfato de fierro y sulfato de cobre
2. Etapa de reacción del peróxido de hidrógeno

Esta alternativa permite combinar las cinéticas previamente estudiadas para cada reactivo individualmente, la segunda adición se hizo luego de un tiempo en el cual el peróxido de hidrogeno se empieza a descomponer en H₂O y O₂, después del cual no se presenta disminución significativa en la concentración de cianuro y se puede hacer la adición de sulfato de fierro y sulfato de cobre para disminuir las concentraciones de cianuro hasta los límites permisibles.

Como se muestra en la tabla N° 17 la mezcla de sulfato de fierro y sulfato de cobre actúa conforme pasa un breve tiempo con la solución cianurada al ser tratada con el super oxidante peróxido de hidrógeno; disminuyendo el cianuro total desde 1541mg/l hasta 0.15 mg/l.

Tabla N° 17: Degradación de CN_T con FeSO₄/CuSO₄ y H₂O₂

Tratamiento Código	FeSO ₄ CN ⁻	CuSO ₄ CN ⁻	H ₂ O ₂ CN ⁻	Conc. [mg/l]/1h	Degrad (%)	pH	
						Inicial	Final
T36 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 0.5:1	1.0	2.0	0.5	289.64	81.20	11.0	8.56
T37 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 0.5:1	2.0	3.0	0.5	188.27	87.78	11.0	8.60
T38 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1:1	1.0	2.0	1.0	112.96	92.67	11.0	8.42
T39 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1:1	2.0	3.0	1.0	62.13	95.97	11.0	8.59
T40 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1.5:1	1.0	2.0	1.5	31.06	97.98	11.0	8.66
T41 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1.5:1	2.0	3.0	1.5	13.98	99.09	11.0	8.79
T42 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2:1	1.0	2.0	2.0	5.59	99.64	11.0	8.50
T43 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2:1	2.0	3.0	2.0	1.96	99.87	11.0	8.67
T44 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2.5:1	1.0	2.0	2.5	0.59	99.96	11.0	8.75
T45 _T = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2.5:1	2.0	3.0	2.5	0.15	99.99	11.0	8.81

Fuente: Elaboración Propia

De otro lado, se ensayó el incremento en la proporción de sulfato ferroso donde se observó que no existen diferencias sustanciales al mismo valor de pH.

Tabla N° 18: Degradación de CN_L con FeSO₄/CuSO₄ y H₂O₂

Tratamiento Código	FeSO ₄ CN-	CuSO ₄ CN-	H ₂ O ₂ CN-	Conc. [mg/l]/1h	Degrd (%)	pH	
						Inicial	Final
T36 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 0.5:1	1.0	2.0	0.5	188.51	85.85	11.0	8.56
T37 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 0.5:1	2.0	3.0	0.5	122.53	90.80	11.0	8.60
T38 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1:1	1.0	2.0	1.0	73.52	94.48	11.0	8.42
T39 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1:1	2.0	3.0	1.0	40.43	96.97	11.0	8.59
T40 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1.5:1	1.0	2.0	1.5	20.22	98.48	11.0	8.66
T41 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1.5:1	2.0	3.0	1.5	9.10	99.32	11.0	8.79
T42 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2:1	1.0	2.0	2.0	6.37	99.52	11.0	8.50
T43 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2:1	2.0	3.0	2.0	3.50	99.74	11.0	8.67
T44 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2.5:1	1.0	2.0	2.5	1.86	99.86	11.0	8.75
T45 _L = FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2.5:1	2.0	3.0	2.5	0.46	99.97	11.0	8.81

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la tabla N° 18 indican como disminuye la concentración de cianuro a medida que el peróxido y las sales se combinan en diferentes proporciones. Para la combinación de 2.0:3.0:2.5 (de sulfato de hierro, cobre y peróxido de hidrógeno, respectivamente), se obtiene degradación hasta los límites permisibles. La degradación de cianuro ocurre en los primeros 30 minutos después de los cuales, la concentración de cianuro no presenta cambios significativos, este método permite degradar cianuro en el menor tiempo. Al igual que los métodos anteriores se presenta disminución de pH y se observó formación de precipitados metálicos.

Del estudio realizado al proceso, se revela que es necesaria la adición de cobre para alcanzar la remoción de cianuro, debido a que se demostró que el mecanismo de este proceso es mayormente eficiente mediante la adsorción de cianuro en primera fase, seguido de una oxidación catalítica. Se puede inferir entonces, que este proceso según los resultados generados podría ser viable para la eliminación de trazas de cianuro.

En las pruebas realizadas se pudo observar que el comportamiento de las curvas de las proporciones 2.0, 3.0 y 2.5 es muy similar. Esto indica que si se utiliza una proporción mayor a 2.5 la degradación de cianuro no disminuye sustancialmente, por lo que, este valor podría ser considerada como económicamente recomendable. La aplicación de este método de tratamiento implica la construcción de agitadores cuya capacidad de almacenamiento dependen del tiempo de residencia, en nuestro caso de 4 horas y que se adapta a las recomendaciones de bibliografías revisadas.

4.8. ESTANDARES NACIONALES

Tabla N° 19: LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO – METALÚRGICAS (D.S. N°010-2010-MINAM)

PARAMETRO	UNIDAD	LMP	
		LIMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LIMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
PH	-	6 - 9	6 – 9
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	mg/L	50	25
ACEITES Y GRASAS	mg/L	20	16
CIANURO TOTAL	mg/L	1	0.8
ARSENICO TOTAL	mg/L	0.1	0.08
CADMIO TOTAL	mg/L	0.05	0.04
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	0.1	0.08
COBRE TOTAL	mg/L	0.5	0.4
HIERRO (DISUELTO)	mg/L	2	1.6
PLOMO TOTAL	mg/L	0.2	0.16
MERCURIO TOTAL	mg/L	0.002	0.0016
ZINC TOTAL	mg/L	1.5	1.2

Fuente: D.S. N°010-2010-MINAM

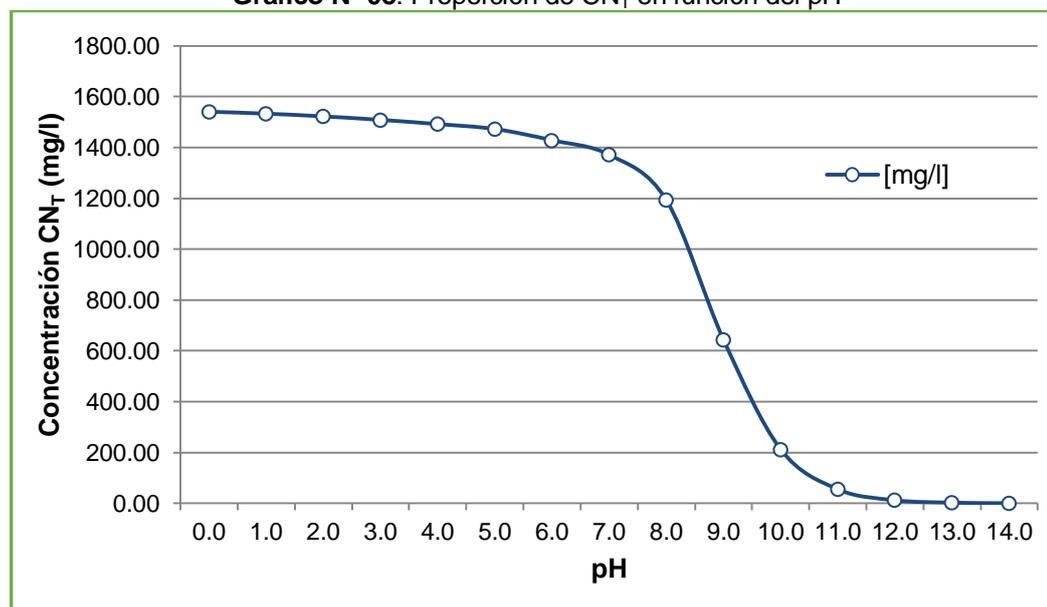
CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. INFLUENCIA DEL PH EN LA DEGRADACIÓN DE CIANURO

Se determinó la capacidad de degradación de cianuro en la solución problema de relave, en función del pH para obtener las condiciones de máxima degradación. El comportamiento de las especies se advierte en los gráficos N° 03 y 04.

Gráfico N° 03: Proporción de CN_T en función del pH

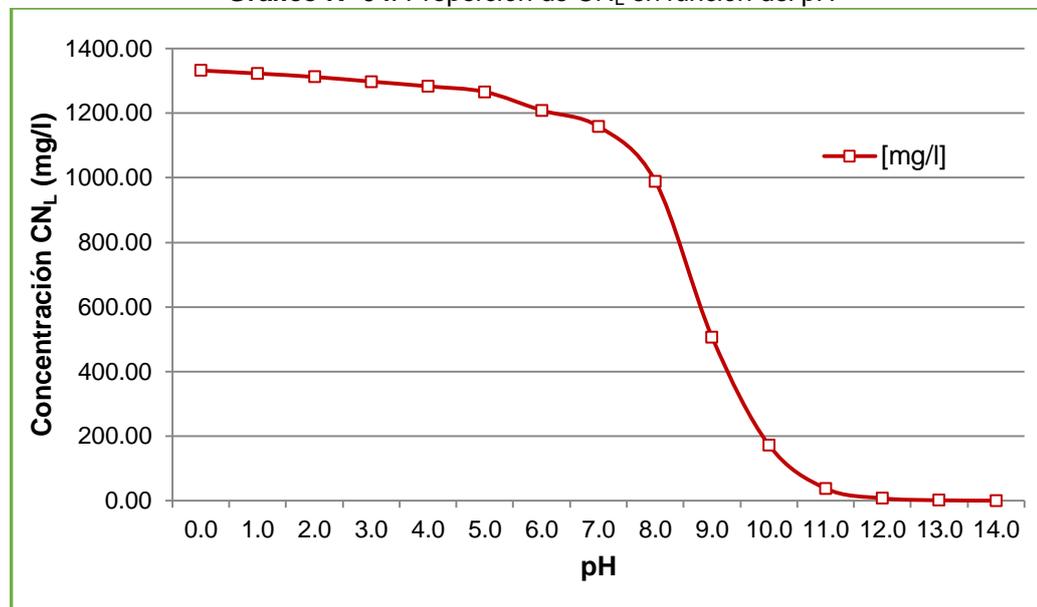


Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se definió la sensibilidad del proceso como una alternativa de holgura en el proceso de cada etapa de trabajo, esto ciertamente se debe al contenido de metales que influyen en la capacidad de acomplejamiento. Según los resultados obtenidos se decidió trabajar con pH de 10 y 11 para la degradación del cianuro, generalmente distinguido como un precipitado blanco coloidal, que

luego se convierte en azul al exponerse a la luz y a la atmósfera, y siempre que se le encuentra en la práctica es una señal inequívoca de que existe "destrucción" de cianuro.

Gráfico N° 04: Proporción de CN_L en función del pH



Fuente: Elaboración Propia

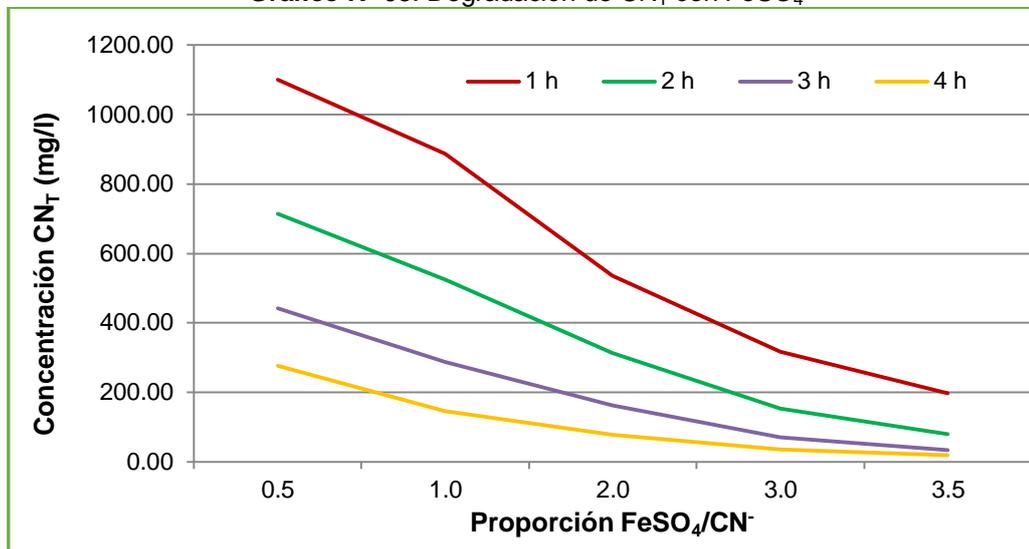
En los gráficos anteriores se puede percibir que, al incrementar el índice de pH en la disolución, disminuye el grado de disociación de cada uno de los complejos de cianuro metálico, así como sus velocidades de atenuación natural. La disminución en la velocidad de atenuación natural es consecuencia del decrecimiento en la formación de cianuro libre en favor de otras formas de cianuros presentes en la solución problema, dilucidando la dependencia entre las especies de CN^- y HCN en función del pH como también fue observado por Quispe y colaboradores (2011) en su estudio de "Eliminación de Cianuro Mediante Sistema Combinado $UV/H_2O_2/TiO_2$ ".

Este comportamiento según Yazici (2009), es debido a que el nivel de cianuro libre en equilibrio con el ácido cianhídrico gaseoso disminuye con la disminución del pH en el medio, a $pH < 9.3$, según lo reportado en su estudio.

5.2. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON SULFATOS DE HIERRO Y COBRE

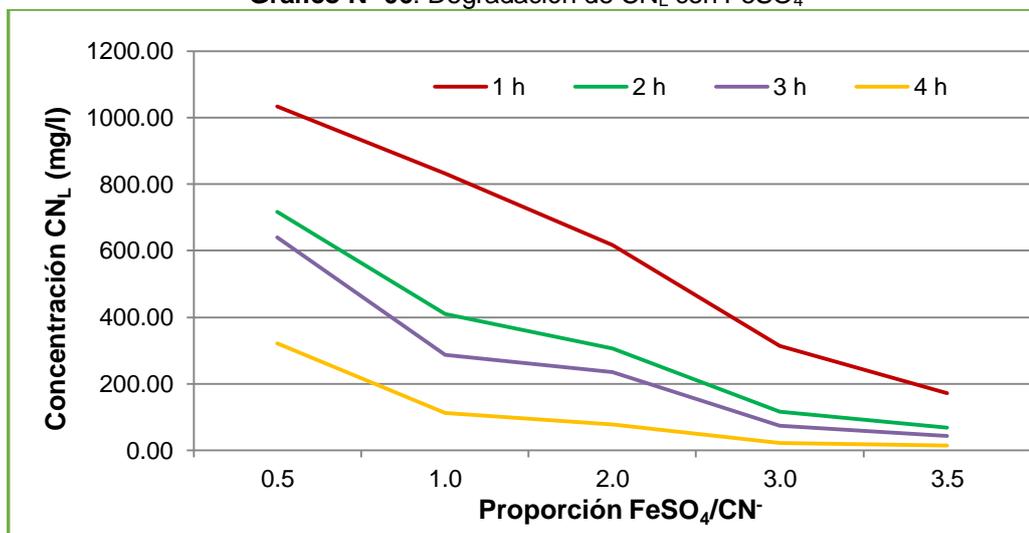
La cantidad de sulfato de hierro añadido al proceso de oxidación y la presencia de oxígeno en la solución debido al burbujeo en la matriz, representa una mayor pérdida de cianuro libre. Los gráficos N° 05 al 08 ilustran el incremento en la pérdida de ion cianuro libre al introducir al proceso sales de hierro y cobre (FeSO_4 y CuSO_4). En todos los casos el proceso de remoción del ion cianuro en solución, se inicia con una cinética elevada, reduciéndose paulatinamente hasta llegar a estabilizarse, como se nota en los gráficos.

Gráfico N° 05: Degradación de CN_T con FeSO_4



Fuente: Elaboración Propia

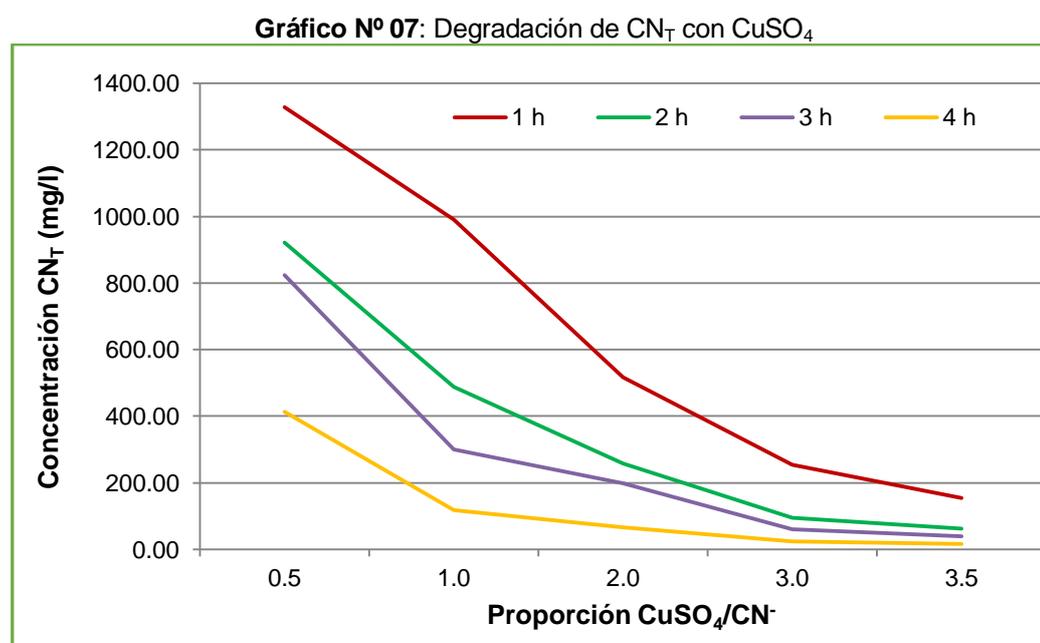
Gráfico N° 06: Degradación de CN_L con FeSO_4



Fuente: Elaboración Propia

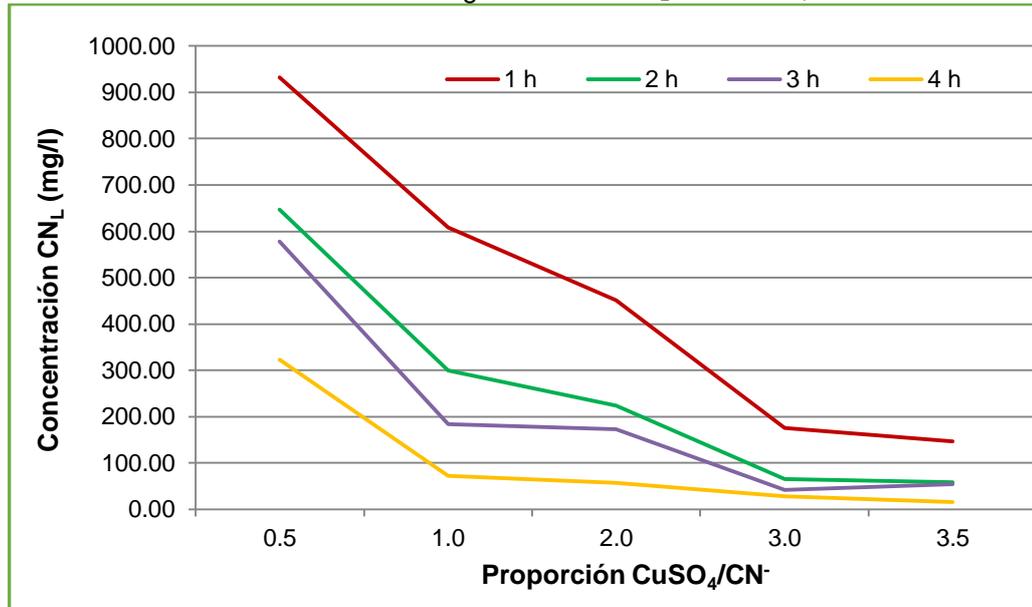
Este comportamiento, de acuerdo a Deveci y colaboradores (2006), y Lu y colaboradores (2002), posiblemente esté relacionado con la disminución de la concentración del ion cianuro en solución y con la lenta dilución - difusión de los reactivos hacia el resto de la mezcla, donde las sales mencionadas representan los reactivos limitantes de la disolución. Además, sería indicativo de que las reacciones entre las especies se saturarían por el acomplejamiento del $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ y $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$, según la distribución de las especies ciano-cuprosas dominantes en estas condiciones.

La cinética de oxidación envuelve dos procesos: la reacción de las sales de hierro y cobre acomplejados con las especies cianuradas y la reacción de oxidación como tal del ion cianuro y de los complejos cianurados que ocurre en exceso de oxidante según Deveci y colaboradores (2006) de esta forma se puede observar en los gráficos N° 05 al 08, la tendencia inicial y final del proceso de remoción del cianuro, dando como resultado visible que al inicio de los ensayos el proceso se desarrolle muy rápidamente mediante la disminución de la concentración del cianuro libre y en una segunda parte (luego de una hora de reacción), un trabajo de acomplejamiento de las especies presentes en la solución que pertenece a una cinética más lenta (ver anexo).



Fuente: Elaboración Propia

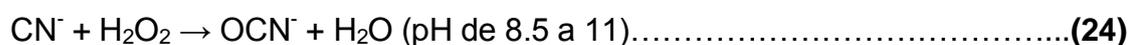
Gráfico N° 08: Degradación de CN_L con CuSO₄



Fuente: Elaboración Propia

5.3. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDROGENO

En concordancia con la literatura consultada, las reacciones de oxidación, son responsables de la mayor pérdida de cianuro en las soluciones acuosas, en estas, el cianuro es fácilmente oxidable a cianato o cianógeno, que son significativamente menos tóxicos que el gas cianhídrico “HCN” (Dash *et al.*, 2009). De hecho, el peróxido de hidrógeno deshace el triple enlace carbono – nitrógeno del cianuro mediante un proceso de oxidación para formar cianatos los cuales a continuación son hidrolizados para formar carbonato de amonio. Las reacciones de neutralización, según Barbosa y Castro (2012) en su estudio de sistemas de degradación de cianuro en función del tipo de oxidante, serían:



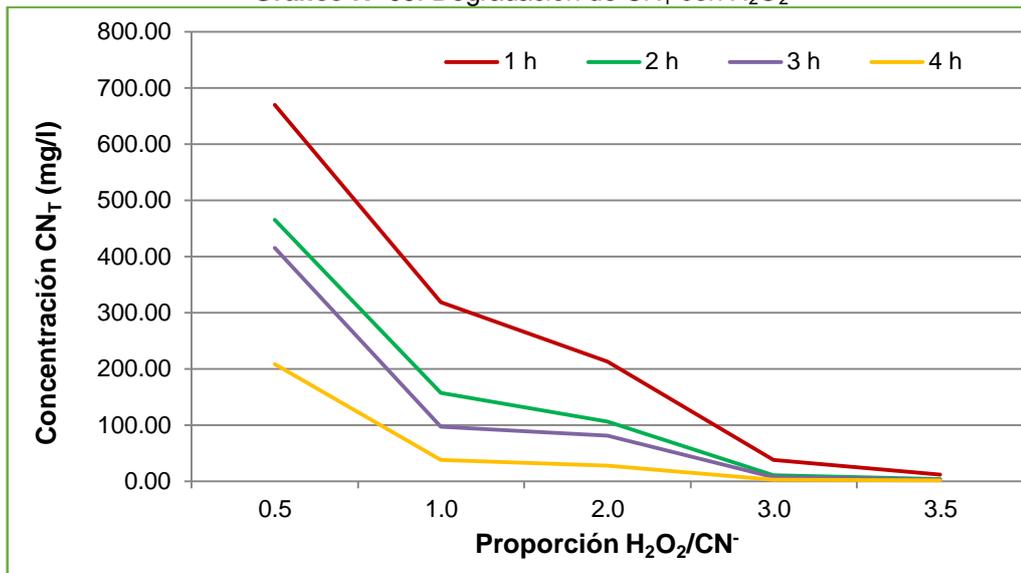
En un exceso de peróxido ocurriría la reacción:



Esta última acción ocurre a diferentes niveles dependiendo de la naturaleza del efluente, la acción del peróxido oxida los cianuros libres y complejos como por ejemplo: CN^- , HCN^- , $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$, $\text{Cu}(\text{CN})_4^{-3}$

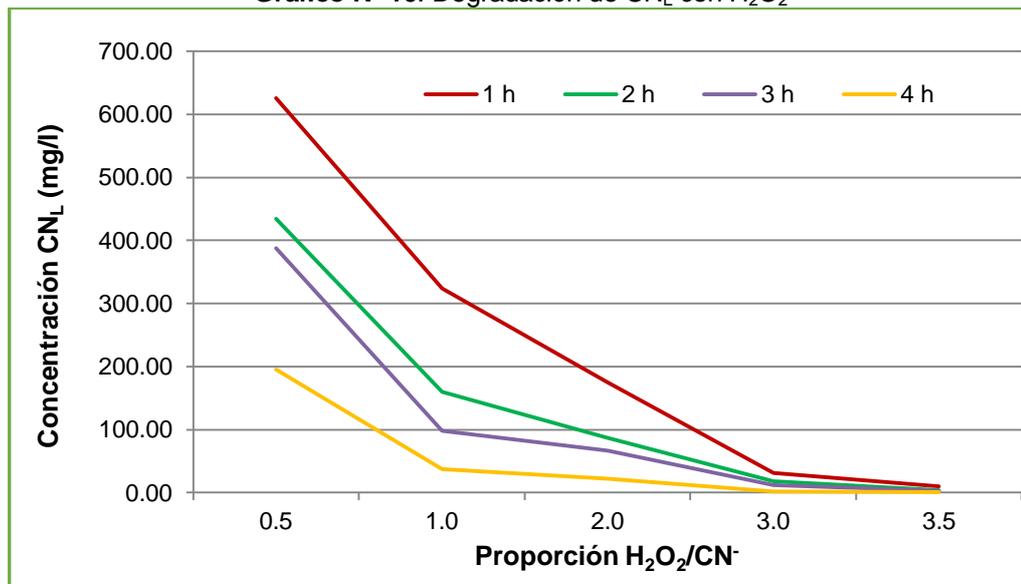
Los precipitados de ferrocianuro son muy estables, a pesar de que los complejos cianurados de hierro son considerados no tóxicos y muy estables estos se fotodegradan, al exponerse a la luz, liberando HCN.

Gráfico N° 09: Degradación de CN_T con H_2O_2



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 10: Degradación de CN_L con H_2O_2



Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos N° 09 y 10, se distingue el efecto de la adición de H₂O₂ en la eliminación de cianuro. A medida que se va incrementando la cantidad y el tiempo de residencia del H₂O₂ (ver tablas N° 11 y 12), la remoción de cianuros también va incrementándose, observándose alta eliminación de cianuro hasta una concentración de 0.03 ppm; discrepando con estudios como los de Yazici y colaboradores (2009) en el que evaluó el tratamiento de efluentes cianurados por oxidación y adsorción, donde a mayores proporciones de H₂O₂ el cambio en la concentración de cianuro es menor. No obstante, concuerda en que a medida que va transcurriendo el tiempo de reacción se tiene un incremento en la remoción de cianuro la misma es consistente con la disminución de pH, dando lugar a la reacción entre los iones H₃O⁺ y CN⁻ con formación hacia el ácido cianhídrico volátil, en afinidad con las reacciones propuestas por Chaudhuri (1999):



Así también, según Tennakone y Bandara (2000) en su estudio de fotocatalisis de semiconductores multifotónicos, ocurren varias reacciones entre los compuestos presentes en la disolución: la reacción entre iones cianuro con radicales oxidrilos, iones cianuro con oxhidrilos (pH básico) entre otros:



Los gráficos N° 09 y 10 muestran las curvas de degradación catalítica de cianuro total y libre en presencia de peróxido de hidrógeno en la concentración óptima arrojada por el diseño de experimentos para cada catalizador, podemos apreciar que tanto el sulfato de hierro como el de cobre mostraron un porcentaje elevado de remoción arriba del 75 %, durante la primera hora de reacción con un periodo de inducción largo debido a su solubilidad pobre, una vez es agitado por más tiempo, registró un mejoramiento en su comportamiento alcanzando cerca de un

90 %; esto, según Wachs y colaboradores (1996) debido a la presencia de enlaces tipo Fe-O-Fe y Cu-O-Cu y estiramientos simétricos Fe=O y Cu=O los cuales marcan su carácter reductor, los que podrían ser los causantes de facilitar rápidamente la oxidación del cianuro libre.

La adición de H₂O₂ el cual se ioniza a un pH alcalino demostrado ampliamente en la literatura consultada como la de Sarla y colaboradores (2004), en presencia de las sales de hierro y cobre hidratados, promoverían la formación de complejos peroxo-hierro y peroxo-cobre los cuales se reportan en la bibliografía de Ramalho (2009) y Silva (2011), como generadores de una actividad química alta para la reacción de oxidación de compuestos orgánicos lo que propagaría un incrementando en la degradación del ion cianuro, desde los primeros minutos de la reacción como se aprecia en los gráficos N° 09 y 10. A esto puede sumarse la acción del anión perhidroxilo (-OOH) que al ser una especie activa de propiedad oxidante, ataca el triple enlace en los iones de cianuro para oxidarlo hasta cianato, favoreciendo el aumento de la degradación para alcanzar más del 90% de su remoción.

5.4. DEGRADACIÓN DE CIANUROS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO CON SULFATO DE COBRE O SULFATO DE HIERRO

De acuerdo a las necesidades de este rubro industrial, la reducción del tiempo de reacción es uno de los parámetros más importantes en consideración, por tanto se observó la degradación del cianuro a diferentes proporciones de reactivos. De allí, se distinguió una tendencia, que a mayor proporción de reactivos, se reduce el tiempo de conversión del cianuro, consecuentemente, se tuvo un elevado consumo de reactivos, principalmente de peróxido.

Entonces, para el desarrollo del proceso se prevé un incremento en el tiempo de residencia de la solución cianurada, lo que significaría incrementar el número de tanques de agitación y finalmente adicionar un espesador para una etapa de sedimentación donde se precipitaría metales acomplejadas. Como se observa en las tablas N° 17 y 18, la termodinámica de la reacción del cianuro a cianato indica que a condiciones naturales sería el cianato el compuesto predominante. Sin embargo se sabe que es difícil oxidar el cianuro a cianato en condiciones

ambientales normales y, más aún a las condiciones del ámbito de estudio. Para tal efecto, se hace necesaria la intervención de un oxidante fuerte, como el peróxido de hidrógeno para desencadenar esta reacción.

Actualmente, la degradación de cianuro mediante este proceso se ejerce utilizando los equipos disponibles a escala industrial a diferencia de los resultados de laboratorio. Algo que se puede objetar en este proceso es el consumo adicional de peróxido, debido al mayor ratio adicionado en la degradación del cianuro. El peróxido de hidrógeno oxida tanto al cianuro libre (CN⁻) y al cianuro débil dissociable en ácido (WAD) mediante la reacción:

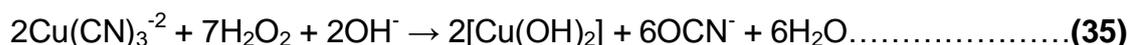


Además, de acuerdo a la literatura, el proceso de “destrucción” de cianuro con peróxido de hidrógeno es gobernado por las reacciones químicas que ocurren en solución (reacciones homogéneas en estado acuoso de 6.5 a 28 Kcal/mol como lo reportado por Frank y Bard en 1997). Asimismo, propusieron que para acelerar esta oxidación son necesarias enzimas bacterianas, iones de cobre o superficies catalíticas de bióxido de titanio, sulfuro de cinc o carbón.

Sin embargo, es más apropiado mencionar que el cianuro realmente no es destruido, sino que solamente el cianuro libre es cambiado a la forma más estable, como ferrocianuros, el cual puede formar precipitados altamente insolubles con otros metales:



Durante la oxidación de complejos cianuro-metálicos (i.e., metales pesados), estos son precipitados como hidróxidos, así:



Los complejos fuertes fierro-cianurados (ferrocianuros) son estables bajo condiciones de oxidación con H₂O₂, pero los iones ferrocianuros pueden ser removidos en una segunda etapa de tratamiento, mediante la adición de iones Cu⁺².



El gráfico N° 08 ilustra el incremento en la pérdida de ion cianuro libre al introducir al proceso sales de cobre (CuSO_4). En este caso el proceso de remoción del ion cianuro en solución, se inicia con una cinética elevada, reduciéndose paulatinamente hasta llegar a estabilizarse. Este comportamiento podría estar relacionado con la disminución de la concentración del ion cianuro en solución y con la lenta reacción de acomplejamiento y posterior precipitación de los reactivos. Además los flóculos sedimentables formados se saturan por la adsorción de los complejos $\text{Cu}(\text{CN})^{-2}$ y $\text{Cu}(\text{CN})^{-3}$, según la distribución de las especies ciano-cuprosas dominantes en estas condiciones. (Deveci y col., 2006; Lu y col., 2002).

El catalizador probado en los sistemas presentaría una mejor actividad mediante la inclusión de radiación solar o radiación UV específica, para lograr excitar fotones energéticos ($\lambda = 385\text{nm}$) e inducir la transición de electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción del semiconductor y generar pares de vacancias catiónicas (h^+) favoreciendo la reacción rédox, de acuerdo a las experiencias de Kepa y colaboradores (2008), Frank y Bard (1997) y Chiang (2002). El comportamiento cinético correspondió con una cinética de pseudo-primer orden para bajas concentraciones de este contaminante, reportado por los autores Kepa y colaboradores (2008), Frank y Bard (1997), lo que se debe a la afinidad alta que poseen los iones cianuro libres por la superficie de las sales durante la reacción. Confirmándose por la realización de ensayos de foto-oxidación de iones cianato, realizados por Chiang y colaboradores (2002) los cuales no presentaron afinidad por otro oxidante (i.e., TiO_2) de una manera significativa en comparación con los iones cianuro cuando están presentes en solución.

De modo adicional, la descomposición del peróxido en medio acuoso, que a su vez depende del pH de la solución y de la temperatura del medio, es iniciada por los iones hidroxilos generando oxígeno y el ion perhidroxilo. Barriga y adjuntos (2006) analizaron la reacción de oxidación del cianuro en presencia de ozono (otro superoxidante) y esta última fue más rápida que la descomposición de

ozono y es proporcional a la concentración de ozono en el medio. En nuestro estudio el peróxido que interviene en la reacción de oxidación incrementa cuando la concentración de cianuro es baja (e.g., 30 mg/l), esto nos da un indicio que el tamaño del reactor no afectaría el consumo de peróxido y que todo el cianuro reaccionaría con el peróxido presente (constituyéndose como el reactivo limitante) oxidando el cianuro libre a cianato, el que según Mudder (1999), Rajeswari y Kanmani (2009), se transformaría posteriormente en CO₂ y amoníaco. Con la finalidad de mejorar el comportamiento catalítico en la remoción de cianuro se empleó peróxido como coayudante de oxidación, el cual registró una remoción superior al 80 %, en las tablas N°17 y 18, se puede apreciar una clara diferencia en comparación con la curva cinética del H₂O₂ como agente oxidante, presentando un comportamiento más lineal, alcanzando una saturación cerca del 70 %.

En relación a los estudios de Rajeswari y Kanmani (2009) quienes usaron ozono como oxidante, y Hernández y colaboradores (2002), quienes usaron también ozono y dióxido de titanio; esto se debe a que cuando el ozono está presente en la solución acuosa de iones cianuro, varias rutas de reacción pueden estar presentes, para pH básicos como los estudiados, el ozono disuelto reaccionó indirectamente en sendos estudios a través de la generación de radicales OH· los cuales son cinéticamente más reactivos que el ozono puro de acuerdo a Oyama (2001), los cambios de pendiente de la curva cinética estarían asociados con reportes en la bibliografía que describen que la descomposición del ozono en el agua se produce a través de un mecanismo de cadena de radical complejo que es iniciada por los iones hidroxilo.

5.5. ASPECTOS COMPARATIVOS DE LA DEGRADACIÓN DE CIANUROS ENTRE LOS SISTEMAS EXAMINADOS

La comparación de alternativas se enfocó principalmente en el consumo y el valor de los reactivos usados. Con los resultados obtenidos en las pruebas, se puede predecir que los costos en reactivos para el sistema premezclado entre las sales de hierro y cobre más el peróxido son mayores a los costos de reactivos independientes o con su mezcla binaria con el peróxido; siendo la cinética de la reacción es mucho mayor en el sistema premezclado.

El tiempo de residencia requerido en la degradación con sales y/o peróxido independientes es de aproximadamente 4 horas mientras que en el sistema compuesto es de 15 minutos. Esto implica que en los reactivos singulares o de mezcla binaria se requiera del diseño de tanques de almacenamiento con capacidades acordes al volumen de pulpa efluente, además del consumo de energía para agitar la pulpa. En cambio en el sistema premezclado no se requeriría nada de esto, puesto que su aplicación podría practicarse sobre la misma línea de descarga.

Después de realizado el análisis de varianza (ver Anexo), que determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, se efectuaron pruebas de Tukey para los porcentajes de remoción de cianuro total y libre. Según estas pruebas se encontraron varios grupos homogéneos diferentes entre sí, de los cuales se recomienda el Grupo A, por presentar los más altos porcentajes de remoción. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental se recomienda los tratamientos T14= H_2O_2 3/1 y T45= $FeSO_4/CuSO_4/H_2O_2$ 2/1, 3/1, 2.5/1 por manifestar ventajas con respecto a los otros neutralizantes como: la no formación de excesiva cantidad de precipitado a diferencia de sulfato ferroso, lo cual puede generar problemas cuando se tratan grandes cantidades de arenas puesto que se incrementa la cantidad de sustancias tóxicas de difícil degradación; además el exceso de peróxido se puede descomponer en agua y oxígeno.

5.6. NOCIONES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS COLAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE MENAS

Las pulpas residuales agotadas, generadas con el procesamiento de la mena aurífera, reportaron concentraciones promedio de 1541 ppm por encima de la concentración máxima admisible establecida en la NC 27:1999, clasificando el cuerpo receptor como clase (C). Atendiendo a estos resultados se impone definir una solución de tratamiento para la remediación ambiental de las pulpas residuales, que garantice su disposición segura sin peligros para el medio ambiente.

A continuación en la tabla N° 20 se muestra el comportamiento de los indicadores de la contaminación de las pulpas residuales tratadas, con los mejores resultados alcanzados en las pruebas de tratamiento con dosis de sulfato de hierro octahidratado, sulfato de cobre heptahidratado, peróxido de hidrógeno y las mezclas de ellos.

Tabla N° 20: Degradación de cianuros totales

Código	Sistema de tratamiento	Proporción	Concentración (mg/l)	Degradación (%)
T14	H ₂ O ₂	3.0 : 1	2.65	99.83
T15	H ₂ O ₂	3.5 : 1	1.43	99.91
T43	FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂	2:1, 3:1, 2:1	1.96	99.87
T44	FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂	1:1, 2:1, 2.5:1	0.59	99.96
T45	FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂	2:1, 3:1, 2.5:1	0.15	99.99

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la fase líquida de las pulpas residuales tratadas, el sistema de tratamiento de código T45 cumple la norma de vertimiento para las concentraciones de cianuros. El resto de las concentraciones de cianuro se encuentra por encima del límite máximo permisible (LMP) no obstante, teniendo en cuenta que en el diseño inicial de la planta de beneficio se ha previsto vertimientos controlados, al disponer las pulpas tratadas en la presa de colas, revestida con geomembrana, los complejos estables de cianuro y metales presentes se descomponen o se precipitan por efecto del sol y la evaporación del agua.

Con el tratamiento estudiado se puede avalar una eficiente gestión ambiental al poder recircular entre un 50 – 60 % de los licores tratados al proceso (de las pruebas de sedimentación), y se lograrían disminuir sustancialmente las concentraciones de cianuros a valores por debajo de las normas de vertimiento ambiental. No obstante, las pulpas tratadas y espesadas, se deberían depositar a una presa de colas, con un sistema de tratamiento con peróxido, para emergencias (por problemas operacionales, fenómenos meteorológicos como lluvias, etc.). Esto se realiza mediante lagunas de emergencias contiguas a la presa de colas; que serían hacia donde rebosan los licores, en caso de vertimientos controlados, y donde se les añaden las cantidades requeridas de

peróxido de hidrógeno, con vista a lograr un efluente ($CN < 0,05 \text{ mg/L}$), sin riesgos para el medio ambiente.

En base a los criterios antes expuestos se propone como esquema de tratamiento para la mitigación ambiental de las colas residuales agotadas del procesamiento de la mena, que la pulpa residual del último tanque de la sección de adsorción se alimente a un tren de reactores colocados en serie, provistos con agitación mecánica, para la remoción de impurezas durante 0,5 horas, donde se adicione cal para mantener el pH por encima de 11,5 aplicando una dosis de 5,5 Kg/Ton. Posteriormente se descargue la pulpa agotada tratada a un espesador donde alcanzaría una concentración de hasta un 50%. El licor tratado y clarificado se recircularía hasta un 40% en el proceso industrial, y la pulpa espesada tratada se descargaría a la presa de cola para su disposición final.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. IMPACTO SOBRE EL AMBIENTE FÍSICO.

- **Calidad del Aire.-** Es un impacto causado por el deterioro de la calidad del aire, se trata de un impacto indirecto de moderada significación, la generación de partículas en suspensión como producto de la ejecución del proyecto de tratamiento de minerales.

Las actividades correspondientes al transporte, almacenamiento de mineral y la consiguiente modificación topográfica, modificará la calidad del aire en el área de trabajo influenciando en ello la dirección y velocidad predominantes del viento, pudiendo afectar la salud del personal que labora en la planta y a poblaciones del entorno.

- **Niveles de Ruido.-** Por las características de la operación se va a producir un aumento de ruido en los niveles superficiales, en la sección chancado, molienda y/o electrógenos (casa fuerza) producen ruidos altos, sin embargo las labores a ejecutarse en el Proyecto están ubicadas lejos de agrupaciones poblacionales. Por lo que este impacto es considerado poco significativo, las actividades de transporte incidirán directamente sobre los niveles superficiales, sin embargo el ruido sólo afectará principalmente el área de trabajo.

Para el cuidado de la salud, los trabajadores que estén expuestos a estos ruidos deberán utilizar protectores auditivos.

- **Calidad de Suelos.-** Se da el impacto por alteración de los suelos, es un impacto directo de moderada significación, la pérdida de suelo se produce como producto de las actividades a realizar, ocupación de áreas para los componentes operacionales como el depósito de relaves, así como las trincheras de residuos sólidos, los depósitos de mineral, instalación de planta beneficio, etc.

En el área del proyecto y donde se emplazaran sus componentes operacionales y por consiguiente la maquinarias y/o vehículos existe el riesgo de afectación del suelo por derrame de combustible, aceites, grasas y lubricantes como producto de la manipulación de éstos. A esto se adiciona pero en menor extensión y magnitud, la disposición de residuos orgánicos, que se efectuará en el pozo séptico, la disposición de residuos sólidos se realizará hacia el depósito de residuos de la Empresa.

- **Calidad del Agua.-** La afectación de aguas superficiales será en mayor proporción por la existencia de ellas en la mayor parte del año y por lo general después de largas temporadas, es un impacto indirecto, de alta significación en vista de los niveles de precipitación promedio anuales que se registran en el área que son extremadamente altos, y la existencia de cursos de agua permanentes.

Ya que la operación a desarrollar en el proyecto incluye tratamiento de minerales, con la consiguiente generación de relaves y la existencia de una alta probabilidad de presencia de aguas pluviales por lo que se requerirán de pozas de sedimentación.

- **Modificación de la Topografía.-** El desarrollo de las actividades como la disposición de mayores volúmenes de relaves en el área adyacente a la planta de beneficio en el Proyecto, producirá una mayor modificación de la topografía.

El efecto de modificación de relieve será principalmente visual y ha sido calificado como muy significativo por lo se requerirán medidas de mitigación destinadas a estabilizar taludes.

6.2. IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL AMBIENTE BIOLÓGICO

- **Riesgo de Afectación a la Flora.-** La reducción de cobertura vegetal en el área del proyecto no es un impacto significativo puesto que es escasa, existe vegetación en sector de la quebrada seca y húmeda con mínima densidad poblacional.

Un gran porcentaje mayoritario del terreno superficial donde se emplazan los componentes del proyecto está formado por terrazas aluviales, de característica eriaza y baja vegetación.

- **Riesgo de Afectación a la Fauna.-** El riesgo de afectación está dado sobre todo por:
- **Migración de Fauna:** La modificación y pérdida de hábitat y la presencia humana y de maquinaria. Así como las actividades de transporte alejará a la escasa fauna que en ocasiones se encuentra en tránsito por el área, la que no hará su paso por el sector.

De las evaluaciones hechas, se ha determinado que la fauna local está compuesta principalmente por aves, y mamíferos, estos últimos presentan una población es casa.

El riesgo de migración de fauna se ha calificado como poco significativo puesto que los efectos serán localizados y por lo que la densidad de fauna es baja y con poca diversidad.

6.3. IMPACTO EN EL AMBIENTE SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL

6.3.1. Riesgo de Afectación de la Salud

Los niveles de emisión de partículas en las áreas de origen como los depósitos de relaves, el recorrido de vehículos a través de los accesos así como la contaminación por polución generan un riesgo sobre la salud, principalmente en las vías respiratorias.

Por lo que será necesario implementar con equipos de protección respiratoria al personal, desarrollando asimismo el cumplimiento y práctica efectiva de las normas de seguridad e higiene minera. Se trata de un impacto adverso y significativo.

6.3.2. Generación de Empleo

Es un Impacto positivo y significativo, por la influencia en el incremento en el empleo local durante las operaciones.

Se usa principalmente mano de obra correspondiente a la circunscripción del área de influencia y distrital, principalmente de poblaciones vecinas, siendo este impacto de calificación positiva.

6.3.3. Mejora de los Niveles de Capacitación

La capacitación del personal se realiza en forma permanente, en los aspectos técnicos como en los aspectos de seguridad e higiene y medio ambiente, permitiendo mejorar los índices de seguridad y producción de la empresa, así como la sensibilizar al personal entre más relacionados con el ambiente, siendo éste un impacto positivo y significativo, generado por la actividad productiva en torno a la planta.

6.4. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL

De acuerdo al diagnóstico ambiental efectuado, y a los impactos potenciales identificados, se propone un conjunto de medidas de mitigación para los impactos negativos y medidas de potenciación para los impactos positivos:

6.4.1. Control de la Calidad de Aire

Las medidas de control de calidad de aire que se tendrán en cuenta para el desarrollo de las actividades son las siguientes:

- Control de velocidad máxima de vehículos hasta 20km/hr en el área de ejecución del proyecto, mediante avisos colocados en lugares estratégicos.

- Se utilizará un camión tipo cisterna para el riego frecuente de las vías de acceso para disminuir la generación de partículas en suspensión.
- Mantenimiento y ripiado de la carretera en las áreas de trabajo.
- Mantenimiento de equipos y maquinaria, para reducir riesgos de emisión de contaminantes.
- Prohibir la quema de residuos sólidos que pueda alterar la calidad del aire.
- Prohibir la acumulación de residuos sólidos en lugares no autorizados para su disposición.
- Cubrir con mantas la tolva de los vehículos que transportan mineral.
- Realizar periódicamente monitoreo de calidad del aire.
- Protección del personal en áreas de trabajo (protección visual, auditiva y respiratoria dentro del área del proyecto)

6.4.2. Mitigación de Ruidos

Los ruidos se generaran por el funcionamiento de las maquinarias y equipos dentro del área de trabajo.

Los cuales se podrán mitigar con las acciones siguientes:

- Realizar periódicamente monitoreo de Ruidos, en el área de trabajo y alrededores, para identificar los puntos críticos.
- Se protegerá a la maquinaria que produzca ruido que sobrepasa los niveles máximos permisibles que establecen las normas ambientales.
- Prohibir el uso de sirenas u otro tipo de fuente de ruido innecesario en los vehículos. Las sirenas solo serán utilizadas en casos de emergencia.
- Proporcionar protección auditiva a sus trabajadores, cuando el nivel de ruido o el tiempo de exposición sean superior a lo establecido en la legislación vigente.

6.4.3. Control de Calidad de Agua

El desarrollo del proyecto, generará un requerimiento uso de agua, dado que estas son necesarias para su operación, así mismo estas sufrirán cambios en su calidad por lo que se prevé el control o monitoreo de éstas.

Así mismo la ocupación de áreas por los componentes del proyecto son un factor de alteración de las escorrentías superficiales naturales que puedan existir, por consiguiente se ha previsto la mitigación de este impacto acondicionando las siguientes medidas de mitigación:

- Mantenimiento de canales de coronación en el sector a aguas arriba que no permitan ingreso de aguas de escorrentía en cada una de las áreas en las que se emplazan los componentes operacionales (Depósito de relaves, La Planta, Canchas de Almacenamiento de Mineral, etc.)
- Mantenimiento de cauces naturales existentes.
- Se deberá efectuar monitoreo frecuente de aguas superficiales o escorrentías cercanas al proyecto de la Planta de Beneficio.

6.4.4. Prevención de Efectos Ocupacionales

La contaminación por polución y gases, además del incremento de los niveles de ruido en las áreas de trabajo generan un riesgo sobre la salud de los trabajadores. A continuación se detallan las medidas más relevantes para la prevención de efectos ocupacionales:

- Usar equipo de protección personal tales como: protector de cabeza, botas con punta de acero, guantes, zapatos de seguridad, lentes protectores, protectores de ruido, correa de seguridad, etc. De acuerdo al tipo de trabajo que realizarán las personas
- Los trabajadores de planta de beneficio, usarán además de los mencionados en el párrafo anterior, equipo de protección respiratorio con filtros especiales para las partículas sólidas y gases.
- Disposición de carteles, indicadores de peligro y señalización de labores, maquinarias y equipos.
- Los trabajadores que laboren en áreas de elevados y prolongado niveles de ruido deberán utilizar tapones de oído.

- El personal que realice trabajos donde los materiales extraños puedan herir los ojos, usarán anteojos de protección para minimizar el riesgo.
- Efectuar jornadas de capacitación a los trabajadores y a la comunidad sobre normas de seguridad y salud ambiental. Editar boletines, etc.

6.4.5. Disposición de Desechos Orgánicos

Para la disposición final de los desechos orgánicos se ha previsto construir un sistema convencional de tratamiento y disposición de efluentes mediante la operación de un tanque séptico y una poza de percolación, que serán construidos en el área de campamento y dentro del perímetro del proyecto. Además para los desechos orgánicos sólidos se implementará un programa de manejo que incluye a una EPS – RS autorizada que maneje y realice su disposición final con equipos y tecnología acordes a las necesidades.

6.4.6. Mitigación de la Alteración de la Flora y Fauna

Para mitigar la alteración del ecosistema por el ruido que se generará por las actividades del proyecto.

La que podría alejar temporalmente a la escasa fauna, se tomaran las siguientes medidas:

- Forestación del área con árboles que puedan crecer en el medio de acuerdo a los suelos y clima existente.
- Cubrimiento de los equipos que generen ruidos, de tal manera que no perturbe a la poca fauna existente y permanezca en el área.
- Impartir capacitación y crear conciencia sobre el cuidado de la flora, fauna y en general el cuidado del medio ambiente.
- Prohibición de la caza de animales o aves en la zona del proyecto.

6.5. PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL

Son acciones programadas que están orientadas al control de los componentes ambientales que se consideran serán afectados por las actividades del proyecto.

Dentro de las acciones de monitoreo a llevar acabo se tienen las siguientes:

6.5.1. Calidad del Aire y Emisiones Gaseosas

Se establecerán dos puntos de monitoreo de la calidad de aire, a fin de controlar la polución y mantenerlo. Si fuera el caso, por debajo de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por la Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM y del D.S.N° 074-2001-PCM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, teniendo en cuenta para ello los puntos ya establecidos.

6.5.2. Calidad de Agua

Se establecerán puntos de monitoreo: 01 muestra en los pozos de los cuales se extrae el agua y que en la actualidad corresponde a un punto de monitoreo de calidad de agua. A fin de controlar la posible contaminación generada por el procesamiento de minerales de la Planta, sus parámetros serán controlados acorde a la Ley de Recursos Hídricos.

No se tendrán vertimientos en el sistema de procesamiento de minerales y en general de las operaciones.

Los efluentes domésticos serán manejados a través de un tanque séptico y poza de percolación en el sector donde no exista presencia de aguas subterráneas y también a través de una EPS Ambiental, quien dará la certificación de disposición final del producto. La frecuencia del monitoreo de agua será trimestral, siendo informadas oportunamente a la Autoridad Regional Ambiental y a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

6.5.3. Plan de Manejo Social

El desarrollo de las actividades del proyecto será ajena a las poblaciones del entorno, y de manera positiva contribuirá a su desarrollo, ya que no habrá conflictos de intereses sino más bien confluencias de necesidades, siendo el interés común de la población y el titular de la unidad minera establecer lazos de comunicación para coordinar algunas acciones de apoyo para el beneficio de la población tales como: el mejoramiento de las vías de acceso.

6.6. ANÁLISIS Y MONITOREO DEL CIANURO

Los análisis de cianuro son necesarios para controlar las operaciones, evaluar la toxicidad y el cumplimiento normativo, así como para informar al público sobre la manipulación de materiales peligrosos. Monitorear el cianuro durante y después la recuperación del oro es esencial para la buena práctica operativa y la protección de la salud y el ambiente. Con el fin de asegurar la calidad de la información disponible y tomar decisiones, son necesarios rigurosos protocolos de muestreo y procedimientos analíticos. Esto exige una estricta planificación y un desempeño excelente por parte del personal entrenado para trabajar con sistemas bien diseñados y bien administrados.

6.7. CÓDIGO INTERNACIONAL PARA EL MANEJO DEL CIANURO

Teniendo en cuenta que el Código se aplica a operaciones mineras de oro, el Código consta de dos componentes principales. En la parte de «Principios», se detallan, a grandes rasgos, los compromisos que los signatarios adquieren para manejar el cianuro de una manera responsable. En la sección de «Normas de Procedimiento» se sigue cada Principio y se identifican metas y objetivos de desempeño que deben ser cumplidos para acatar cada Principio:

6.7.1. Proveedor

Comprar cianuro de aquellos fabricantes que utilicen las prácticas y los procedimientos apropiados para limitar la exposición de sus trabajadores al cianuro y para prevenir escapes de cianuro al medio ambiente.

6.7.2. Transporte

Proteger a las comunidades y al medio ambiente durante el transporte de cianuro:

- Establecer líneas claras de responsabilidad en cuestiones de seguridad, protección, prevención de escapes, capacitación y respuestas de

emergencia, mediante acuerdos escritos establecidos con fabricantes, distribuidores y transportistas

- Exigir que los transportistas de cianuro implementen planes y adopten aptitudes de respuesta ante emergencia adecuados, y que tomen las medidas pertinentes para el manejo del cianuro.

6.7.3. Manipulación y Almacenamiento

Proteger a los trabajadores y al medio ambiente durante la manipulación y el almacenamiento del cianuro:

- Diseñar y construir instalaciones para la descarga, el almacenamiento y mezclado que estén en consonancia con prácticas de ingeniería sólidas y aceptadas, así como con los controles de calidad y los procedimientos necesarios para garantizar la calidad, evitar derrames y proporcionar medios de contención de derrames.
- Operar las instalaciones de descarga, almacenamiento y mezclado utilizando inspecciones, mantenimiento preventivo y planes de contingencia para prevenir o contener escapes y para controlar y responder a la exposición de los trabajadores.

6.7.4. Operaciones

Manejar adecuadamente las soluciones del proceso de cianuración y los flujos de desecho, para proteger a la salud humana y al medio ambiente:

- Implementar sistemas de gestión y operación diseñados para proteger a la salud humana y al medioambiente, lo que incluye planificación de contingencia, inspecciones y procedimientos de mantenimiento preventivo.
- Introducir sistema operativos y de gestión para minimizar el uso de cianuro, y así limitar la concentración de cianuro en los relaves de tratamiento.
- Implementar un programa integral de gestión del agua para evitar escapes accidentales.

- Implementar medidas para proteger las aves, otro tipo de vida silvestre y ganado contra los efectos adversos de las soluciones del proceso de la cianuración.
- Implementar medidas diseñadas para manejar la filtración de las instalaciones de cianuro y así proteger los usos beneficiosos del agua subterránea.
- Proporcionar medidas de prevención y contención de derrames para tanques y tuberías del proceso.
- Implementar procedimientos de control o de garantía de la calidad para confirmar que las instalaciones de cianuro están construidas según normas y especificaciones de ingeniería aceptadas.
- Implementar programas de monitoreo para evaluar los efectos del uso de cianuro en la vida silvestre y en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

6.7.5. Seguridad De Los Trabajadores

Proteger a la salud de los trabajadores y su seguridad de la exposición por cianuro:

- Identificar escenarios posibles de exposición a cianuro y tomar las medidas para eliminar, reducir y controlar dichos escenarios.
- Operar y monitorear las instalaciones de cianuro, con el fin de proteger la salud y la seguridad de los trabajadores y evaluar periódicamente la efectividad de las medidas de salud y seguridad.
- Diseñar e implementar planes y procedimientos de respuesta ante emergencias para responder ante la exposición de los trabajadores al cianuro.

6.7.6. Respuesta Ante Emergencias

Proteger a las comunidades y al medio ambiente mediante el diseño de estrategias y capacidades de respuesta ante emergencias:

- Preparar planes detallados de respuesta ante emergencias para casos de escapes potenciales de cianuro.
- Hacer participar en el proceso de planificación al personal del lugar de trabajo y a los demás interesados.
- Designar personal apropiado y comprometer los equipos y recursos para la respuesta ante emergencias.
- Diseñar procedimientos para la elaboración de informes y notificaciones internas y externas sobre emergencias.
- Incorporar, a los planes de respuesta, elementos de monitoreo y medidas de saneamiento que contemplen los peligros adicionales relacionados con la utilización de químicos en tratamientos de cianuración.
- Evaluar periódicamente los procedimientos y capacidades de respuesta, y proceder a corregirlos cuando sea necesario.

6.7.7. Capacitación

Capacitar a los trabajadores y al personal de respuesta ante emergencias para que manejen el cianuro de un modo seguro y respetuoso del medioambiente:

- Capacitar a los trabajadores para que comprendan los peligros asociados al uso del cianuro.
- Capacitar al personal correspondiente para operar las instalaciones según sistemas y procedimientos que protejan la salud humana, las comunidades y el medio ambiente.
- Capacitar a los trabajadores y personal correspondiente para responder ante la exposición de los trabajadores o ante el escape de cianuro al medio ambiente.

6.7.8. Diálogo

Participar en tareas de divulgación y consultas públicas:

- Proporcionar a los interesados la oportunidad de comunicar temas de su inquietud.
- Establecer un diálogo para describir los procedimientos de manejo del cianuro y abordar responsablemente las inquietudes identificadas.

- Poner a disposición de los interesados la información apropiada relacionada con cuestiones operativas y medioambientales del cianuro.

6.8. PLAN DE CIERRE Y POST CIERRE

El plan de cierre y post cierre es un programa de acciones que se deben ejecutar para que el medio ambiente del entorno de las operaciones sea restituido a una condición similar, o mejor, a la que existía antes de que se iniciara la actividad minera. Las acciones del plan de cierre y pos cierre deben garantizar que las condiciones ambientales se mantengan en el largo plazo y se logre entonces un uso apropiado de la tierra.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que Las concentraciones actuales de aniones de cianuro (cianuro de hidrogeno), el promedio máximo es de 1541.21mg/l en las muestras provenientes de los efluentes del proceso de recuperación de oro, conocida en el proceso metalúrgico como solución barren.
2. El proceso de degradación de cianuro con peróxido de hidrogeno, el resultado más eficiente que las demás pruebas experimentales realizadas para nuestro fin. Este proceso nos permitió manejar cianuros totales, cianuros libres, para alcanzar valores por debajo del límite máximo permisible (0.020 ppm para el caso del cianuro total), muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N° 010-2010-MINAM.
3. Según los resultados obtenidos en laboratorio, La degradación óptima alcanzada es de 99.5% en promedio, en un periodo de tiempo de 1 hora, el tratamiento de estos efluentes residuales, mientras mayor sea el tiempo de retención, posiblemente mayor a 4 horas mejor será el resultado.

Por otro lado, se observó que con la adición de cantidades definidas de catalizadores que consisten en sales de metales solubles (i.e. cobre y hierro) la velocidad de reacción y el grado de eliminación del ion cianuro pueden ser reforzados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar el proceso de degradación de cianuro con peróxido de hidrogeno por ser optimo en los resultados obtenidos, a las plantas de beneficio del sector de la pequeña minería artesanal PMA y pequeño productor minero PPM, para evitar efectos negativos nocivos al medio ambiente.
2. Implementar un sistema de gestión ambiental para el manejo adecuado del cianuro, tanto en su almacenamiento, proceso y relaves (solución barren).
3. Establecer en los reglamentos internos de seguridad y medio ambiente de la empresa Corporación Minera Ananea S.A, el uso obligatorio de EPPs de protección en contra de los insumos químicos como el cianuro y otros, velando así la integridad y salud de los trabajadores.
4. A la Escuela profesional de ingeniería Metalúrgica a sus Docentes, Egresados y Alumnos comprometerse con la minería a pequeña escala, realizando investigaciones para implementar tecnologías limpias y optimas, en vista que el sector minería a pequeña escala está olvidado en nuestra región Puno y Gran parte del País.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adams M. (1990) *The Chemical Behavior of cyanide in the extraction of gold 1. Kinetics of Cyanide loss in the Presence and absence of Activated Carbon*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 90 (2). 37.
2. ASTM (1985) *Annual Book of Standards* [Libro Anual de Normas]. Sección D2036-98 Standard Test Methods for Cyanide in Water
3. Barbosa L; Castro S. (2012) “*Estudio catalítico comparativo de los sistemas TiO_2 y $Nb_2O_5 \cdot 3H_2O$ en la degradación de cianuro en función del tipo de oxidante*”, Rev. ing. cienc., vol 8, N°16, pp. 257–280, julio-diciembre.
4. De la Cruz A; Figueredo F; Montejo S; Bugallo D; Velázquez G; Marín C; Pérez M; Pérez P; Lubían M; Calzada G; (2013) “*Tratamiento de residuales cianurados generados en el procesamiento de menas auríferas empleando una sal de hierro*” Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana.
5. De la Torre E; Guevara A. y Pilco Y. (2008) *Alternative Methods for the Treatment of Cyanide Effluents by air and Activated Carbon*. Hydroprocess, Santiago de Chile.
6. Gaviria A; Meza L. (2006) Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos. Dyna, julio, Año 73, número 149, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, pp 31–34.
7. González I; Pulido J. (2004) *Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en la planta de beneficio de la empresa Mineros Nacionales, Marmato, Caldas, T.D.G.* Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
8. González S. (2004) *El Cianuro es Tóxico y Letal*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, (en línea). Consulta: 12-10-2015, desde: <http://argentina.indymedia.org/news/2004/07/212476.php>
9. Hernández A; Coronado J; Maira J; Soria J; Loddó V; Augugliaro V; (2002) “*Ozone enhanced activity of aqueous titanium dioxide suspensions*

- for photocatalytic oxidation of free cyanide ions*". Appl. Catal. B: Environmental, vol. 39, pp. 257-267.
10. Mudder T. *How to treat cyanide*. [en línea]. Obtenido el 05-12-2015, desde: <http://www.cyantist.com/treatment.htm>
 11. Pesántez D; De la Torre, D. y Guevara, A. (2010) *Influencia del ion cúprico y del cobre metálico en la oxidación del cianuro libre con aire y carbón activado*. Revista Politécnica, Vol. 29(1): 1–7
 12. Quispe L; Arteaga M; Cárdenas E; López L; Santelices C; Palenque E; Cabrera S. (2011) *“Eliminación de Cianuro Mediante Sistema Combinado UV/H₂O₂/TiO₂”*, Revista Boliviana de Química, Vol. 28, No.2.
 13. Ramalho T y Oliveira L., Carvalho K., Souza E., Cunha E. da, Nazzaro M. 2009 *“The molecular basis for the behaviour of niobia species in oxidation reaction probed by theoretical calculations and experimental techniques”*, Mol. Phys. , vol. 107, pp. 171-179.
 14. Scott J. (1981) *“Removal of Cyanide from Gold Millings Effluents”*. Canadian Mineral Processors Thirteenth Annual Meeting, Ottawa, Ontario, Canadá, Enero 20–22, pp. 380–418.
 15. Yurramendi L. (1994) et al. Eliminación de cianuros presentes en efluentes industriales: análisis y comparación de los diferentes procesos de tratamiento. Tratamientos electroquímicos. Ingeniería Química. N° 306; p.129-134.
 16. Canter L. (1998) *Manual de evaluación de impacto ambiental, técnicas para la elaboración de estudios de impactos ambientales (Mc Graw Hill)*. Madrid.

ANEXOS

ANEXO 01
AMBITO DE ESTUDIO

Ubicación Regional



Ubicación Local



ANEXO 02 MARCO LEGAL

ENERGIA Y MINAS

Aprueban Normas Reglamentarias para la actividad minera, de la Ley N° 29023, Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro

DECRETO SUPREMO N° 045-2013-EM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, mediante Ley N° 29023, se aprobó la Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro.

Que, el artículo 1 de la Ley N° 29023, Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro, precisa que las autoridades sectoriales son las entidades competentes en materia normativa, de control y sanción, para asegurar el uso, manipulación, manejo adecuado, producción, transporte y almacenaje del cianuro, cualquiera sea su origen, estado o destino, a fin de prevenir riesgos y daños sobre la salud de las personas y el ambiente;

Que, a través del artículo 319 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM, se establece que la comercialización, almacenamiento y uso del cianuro estarán sujetos a la Ley N° 29023, Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro, sus reglamentos, sus modificatorias y demás normas vigentes aplicables;

Que, no obstante lo antes referido, y sin perjuicio de la obligación de las autoridades sectoriales de regular el uso del cianuro, se debe tener en cuenta que mediante Decreto Legislativo N° 1103, se establecieron medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de insumos químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal; señalándose que el cianuro de potasio y el cianuro de sodio se incorporan al Registro Único a que se refiere el artículo 6 de la Ley N° 28305 y que los usuarios de dichos productos deberán registrarse, proporcionando la información necesaria para tal fin, así como tener actualizada su información;

Que, sobre la base a lo expuesto, resulta necesario dictar normas reglamentarias, para el ámbito de la actividad minera, de la Ley N° 29023, Ley que regula la comercialización y uso del cianuro;

De conformidad con el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú y el numeral 3) del artículo 11 de la Ley N° 29158 - Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la Norma

Apruébese las Normas Reglamentarias para la actividad minera, de la Ley N° 29023, Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro, que constan de cuatro (04) capítulos y trece (13) artículos.

Artículo 2.- Refrendo y Vigencia

El presente decreto supremo será refrendado por el Ministro de Energía y Minas y entrará en vigencia al día siguiente de su publicación.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- Se otorga un plazo de treinta (30) días calendario, contados desde la fecha de publicación del presente decreto supremo, para que los titulares de la actividad minera que correspondan, se adecúen y cumplan con las normas reglamentarias aprobadas.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Deróguese toda norma que se oponga a lo dispuesto en el presente decreto supremo.

DISPOSICIÓN FINAL

Única.- El presente dispositivo no suple ni modifica la fiscalización que efectúen las autoridades correspondientes respecto a los usuarios del cianuro, ni el cumplimiento de las demás obligaciones establecidas en el Decreto Legislativo N° 1103 y sus normas reglamentarias.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciocho días del mes de diciembre del año dos mil trece.

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente Constitucional de la República

JORGE MERINO TAFUR
Ministro de Energía y Minas

NORMAS REGLAMENTARIAS PARA LA ACTIVIDAD MINERA DE LA LEY N° 29023, LEY QUE REGULA LA COMERCIALIZACIÓN Y USO DEL CIANURO

ÍNDICE

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto
Artículo 2.- Ámbito de aplicación
Artículo 3.- Definiciones

CAPÍTULO II

VERIFICACIÓN DEL USO DE CIANURO EN LA ACTIVIDAD MINERA Y SU COMUNICACIÓN A LA AUTORIDAD COMPETENTE

Artículo 4.- Uso del cianuro

Artículo 5.- Verificación sobre uso de cianuro
Artículo 6.- Comunicación de la aprobación del uso de cianuro a la autoridad competente

CAPÍTULO III

USO, MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO, MANEJO DEL CIANURO Y DISPOSICIÓN FINAL DE SUS RESIDUOS EN LA ACTIVIDAD MINERA

Artículo 7.- Estudio ambiental para instalaciones
Artículo 8.- Del transporte de cianuro
Artículo 9.- De la manipulación y almacenamiento del cianuro
Artículo 10.- Del manejo de cianuro
Artículo 11.- De la disposición final de los residuos del cianuro
Artículo 12.- De la neutralización del cianuro

CAPÍTULO IV

PLAN DE PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA EMERGENCIAS

Artículo 13.- Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto

Establecer normas reglamentarias para la actividad minera de la Ley N° 29023, Ley que regula la Comercialización y Uso del Cianuro.

Artículo 2.- Ámbito de aplicación

La presente norma se aplica dentro del territorio nacional a toda persona natural o jurídica, pública o privada que, como titular de la actividad minera, desarrolle cualquiera de las actividades mencionadas en el artículo anterior.

Artículo 3.- Definiciones

Para los efectos de la presente norma se entenderá por:

a. Almacenamiento del cianuro: medios y métodos utilizados para almacenar el cianuro a fin de mantener debidamente protegidas la salud de las personas y del ambiente.

b. Cianuro: cianuro de sodio.

c. Concesión de beneficio: definida en el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM.

d. DGM: Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas.

e. DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental.

f. EPS-RS: Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos, a que se refiere la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

g. MSDS (Material Safety Data Sheet) del cianuro: hoja de datos de seguridad del cianuro.

h. NFPA (National Fire Protection Association): Asociación Nacional de Protección contra Incendios.

i. Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias: documento de gestión cuya finalidad es evitar o reducir los posibles daños a la vida humana, a la salud, al patrimonio y al ambiente dentro de la unidad minera y zona de influencia, incluyendo mapa de riesgo y señalización, concordante con las obligaciones contenidas en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM.

j. Solución de cianuro: es una solución acuosa alcalina. En las operaciones mineras se utilizan soluciones muy diluidas de cianuro. Los rangos de concentración de la solución de cianuro deberán estar indicados en el instrumento de gestión ambiental que viabiliza la operación minera metalúrgica.

CAPÍTULO II

VERIFICACIÓN DEL USO DE CIANURO EN LA ACTIVIDAD MINERA Y SU COMUNICACIÓN A LA AUTORIDAD COMPETENTE

Artículo 4.- Uso del cianuro

El cianuro se utiliza en la actividad minera de acuerdo a lo establecido en la presente norma, en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM y en las recomendaciones del instrumento de gestión ambiental que sustenta el proceso metalúrgico.

Artículo 5.- Verificación sobre uso de cianuro

5.1. El Comité de Seguridad y Salud Ocupacional del titular de la actividad minera o el supervisor, en caso de empresas con menos de veinte (20) trabajadores, se encarga de verificar la capacidad de la unidad minera para el manejo adecuado del cianuro (capacitaciones, instalaciones seguras y Equipos de Protección Personal - EPP's), conforme a la normatividad señalada en el artículo anterior, que determine la viabilidad del uso del cianuro para sus actividades mineras. Dicha verificación consta en acta.

5.2. Para la verificación, el Comité de Seguridad y Salud Ocupacional o supervisor, en caso de empresas con menos de veinte (20) trabajadores, deberá contar con lo siguiente:

a) Resolución que autoriza la construcción de la planta de beneficio.

b) Constancia de capacitación de los operadores en el uso, manipulación, almacenamiento, manejo del cianuro y disposición final de sus residuos en procesos metalúrgicos, así como en primeros auxilios por intoxicación por cianuro, otorgada por el titular de la actividad minera, a través de su Gerencia de Seguridad y Salud Ocupacional.

c) Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias para el uso, manipulación, almacenamiento, manejo del cianuro y la disposición final de sus residuos en la actividad minera.

5.3. El titular de la actividad minera comunicará anualmente el consumo anual proyectado de cianuro, que debe estar relacionado con la capacidad de tratamiento de mineral en la planta de beneficio y el consumo unitario debe estar expresado en kilogramos de cianuro por toneladas de mineral tratado (kg/t). Esta comunicación se hará en el mes de diciembre.

Artículo 6.- Comunicación de la verificación del uso de cianuro a la autoridad competente

El titular de la actividad minera deberá comunicar a la DGM la verificación de uso de cianuro, efectuada por el Comité de Seguridad y Salud Ocupacional o el supervisor, en caso de empresas con menos de veinte (20) trabajadores, en el mes de diciembre de cada año.

Para el cumplimiento de lo señalado, deberá adjuntar copia legalizada del acta donde consta dicha verificación. El titular de la actividad minera es el responsable de haber cumplido con los requisitos y exigencias normativas contempladas en el presente dispositivo legal y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM.

CAPÍTULO III

USO, MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO, MANEJO DEL CIANURO Y DISPOSICIÓN FINAL DE SUS RESIDUOS EN LA ACTIVIDAD MINERA

Artículo 7.- Estudio ambiental para instalaciones

Las instalaciones para el uso, manipulación, almacenamiento, manejo del cianuro y la disposición final de sus residuos en la actividad minera deberán estar contenidas en el instrumento de gestión ambiental aprobado para la concesión de beneficio.

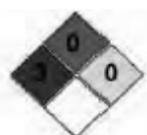
Artículo 8.- Del transporte de cianuro

El transporte de cianuro se regirá por las disposiciones del Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, aprobado por Decreto Supremo N° 021-2008-MTC.

Artículo 9.- De la manipulación y almacenamiento del cianuro

Con la finalidad de efectuar la manipulación y el almacenamiento del cianuro, el titular de la actividad minera deberá considerar la siguiente caracterización técnica del cianuro:

- La MSDS del Cianuro
- Denominación técnica: cianuro sódico, sólido
- ONU 1689 Clase: 6.1 Grupo de embalaje: I
- Instrucciones de embalaje: CAO 607 PAX 606
- El rombo de riesgos de la NFPA:



Grados de NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

Asimismo, deberá tener en cuenta lo siguiente:

9.1. Colocar señalizaciones de acuerdo al Código de Señales y Colores que se indica en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM y anexo correspondiente o norma legal que lo modifique o sustituya.

9.2. Cumplir con lo establecido en el subcapítulo que regula el uso del cianuro del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM o norma legal que lo modifique o sustituya.

9.3. Contar con el Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias, materia del artículo 13 de la presente norma y con un manual de instrucciones para el tratamiento por envenenamiento de cianuro.

9.4. Contar con extintores de polvo químico seco vigente. No se debe utilizar H₂O (agua) ni CO₂ (dióxido de carbono) para extinguir incendios.

9.5. Llevar un control del ingreso y salida de cianuro del almacén.

9.6. Asegurar que las instalaciones para el almacenamiento del cianuro reúnan los siguientes requisitos:

9.6.1 Respecto de los puntos de carga y descarga en el área de almacenamiento de cianuro:

- a) Deben estar diseñados y contruidos para retener y recuperar cualquier escape o derrame de cianuro en estado sólido, líquido o gaseoso.
- b) Deben contar con dispositivos de contención secundarios para evitar fugas de los tanques de almacenamiento.

9.6.2 Respecto a la infraestructura de almacenamiento de cianuro:

- a) Debe estar ubicada en un área seca, ventilada y segura de acuerdo al instrumento de gestión ambiental aprobado.
- b) Debe estar construida y revestida con materiales compatibles con el cianuro.
- c) Debe contar con sistemas de ventilación adecuados.
- d) Los pisos del recinto de almacenamiento y del área de mezclado de cianuro deben ser de concreto armado. Adicionalmente, los tanques de almacenamiento y mezclado de cianuro deben ser de material impermeable fabricado para tal fin. No se permitirá el uso de estos tanques para almacenamiento de agua, combustible o material distinto.
- e) El local debe ser de uso exclusivo para el almacenamiento de cianuro.
- f) Está prohibido apilar más de tres (03) cilindros o contenedores, uno sobre otro, en posición vertical.
- g) Debe tenerse especial cuidado en mantener el cianuro separado de las siguientes sustancias:

g.1 Ácidos, cuyo contenido puede liberar ácido cianhídrico.

g.2 Oxidantes, cuya combinación puede producir reacciones químicas violentas.

g.3 Productos inflamables, lubricantes y/o combustibles, cuya combustión puede provocar deterioro en los envases y generar la formación de ácido cianhídrico.

g.4 Agua o productos alimenticios para uso humano o animal, o cualquier implemento no utilizado en su preparación, en consideración a la alta toxicidad del cianuro.

h) La separación entre las instalaciones y contenedores del cianuro y las instalaciones y contenedores de otros productos deberá ser efectuada por medio de bermas, muros de contención, paredes u otras barreras que prevengan cualquier riesgo de contacto o contaminación.

9.7. Ingresarán a las instalaciones de almacenamiento de cianuro, a la vez y como mínimo, dos (02) personas. Se encuentra estrictamente prohibido el ingreso a personal no entrenado en la manipulación del cianuro y que no cuente con el equipo completo de protección personal (EPP).

El ingreso del personal a la zona de preparación de cianuro con las botas mojadas o con barro está prohibido, debido a que la humedad reaccionará con el polvo existente en el piso, generando instantáneamente ácido cianhídrico.

9.8. El área de almacén deberá estar suficientemente ventilada y cerrada con llave a cargo de un responsable. El área de preparación de la solución de cianuro y el área de procesos deberán contar con personal de seguridad y vigilancia, y su acceso a personal será restringido. Asimismo, las áreas anteriormente mencionadas deberán contar con un sistema de iluminación para facilitar los trabajos en horario nocturno.

Está prohibido fumar y hacer fuego o fogatas en zona de preparación, almacén o zonas aledañas debido a que el ácido cianhídrico es inflamable y forma mezclas explosivas con el aire, debiendo colocarse señalización.

9.9. Asegurar que existan duchas de emergencia e instalaciones para el lavado de ojos, colocadas estratégicamente dentro de la planta y demás instalaciones donde haya mayor riesgo de contacto con soluciones de cianuro.

Artículo 10.- Del manejo de cianuro

10.1. El titular de la actividad minera debe actualizar anualmente los sistemas de gestión y operación de cianuro diseñados para proteger la salud humana y el ambiente, contemplados en la presente norma. Dichos sistemas deben incluir, además, las inspecciones y procedimientos de mantenimiento preventivo.

10.2. El titular de la actividad minera debe cumplir, como mínimo, con los siguientes lineamientos para el manejo de cianuro:

a) En caso de derrame de cianuro, el material derramado debe ser limpiado de inmediato. Las actividades de limpieza a desarrollar deberán ser aquéllas determinadas en el Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias.

b) La descontaminación de un área y la destrucción del cianuro para su eliminación podrá realizarse con una solución de peróxido de hidrógeno u otra con igual o mayor eficiencia certificada por el fabricante para tal fin. El material del suelo afectado con cianuro se retirará a un sitio apropiado, que debe estar adecuado, como mínimo, con una capa impermeable, techado y cerrado verticalmente, con ventilación suficiente.

c) Deberá contar con un Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias para casos de incendios y/o explosiones de cianuro, conforme a lo señalado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM.

d) Deberá contar con un plan de recolección de fugas y derrames de cianuro, así como con los procedimientos a seguir para su control y corrección (falla de válvulas, rotura de tanques, tuberías, mangueras y otros).

e) Deberá identificar la zona segura del área de cianuración, considerando la evaluación de riesgos ambientales y de seguridad.

f) La solución diluida de cianuro para lixiviación deberá tener el pH mayor a 10.

g) Los agitadores, tuberías y otros componentes por donde circula la solución de cianuro deberán estar señalizados, diferenciando con el resto de tuberías y componentes del circuito de tratamiento.

Artículo 11.- De la disposición final de los residuos del cianuro

La disposición final de los residuos del cianuro deberá contemplar lo siguiente:

a) La eliminación y/o disposición final de los residuos generados como consecuencia del uso de cianuro en el proceso metalúrgico se realizará a través de una EPS-RS, registrada por la DIGESA y que cuente con la autorización correspondiente.

Los efluentes del lavado de los envases deben ir directamente a la poza de solución pobre (barren) y de allí al circuito de cianuración.

b) Los envases vacíos se almacenarán inmediatamente en un lugar adecuado y restringido, determinado para este fin. En el caso de los barriles metálicos, deberán ser sometidos, como mínimo, a un triple lavado, ser escurridos y compactados con una prensa para su almacenamiento y su posterior disposición por la EPS-RS.

c) La ropa de trabajo de los operadores de los procesos de cianuración, incluyendo almacenamiento y manipuleo, no podrá ser llevada a sus viviendas, comedores o habitaciones dentro del área de trabajo.

d) Para los residuos generados durante el uso del cianuro, deberá tenerse en cuenta lo establecido en la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, sus modificaciones, así como su reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

Artículo 12.- De la neutralización del cianuro

La neutralización y estabilización química del cianuro se logra mediante la aplicación de solución alcalina de un pH mayor a 10, cal, degradación natural, cloruración alcalina, oxidación con peróxido de hidrógeno, destrucción biológica o compuestos químicos específicos certificados y fabricados para tal fin, que eviten principalmente la formación de gas cianhídrico o gas de cianuro de hidrógeno.

La solución pobre del proceso de cianuración (solución Barren) deberá ser re-circulada al proceso.

CAPÍTULO IV

PLAN DE PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA EMERGENCIAS

Artículo 13.- Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias

El titular de la actividad minera deberá elaborar un Plan de Preparación y Respuesta para Emergencias sobre la manipulación, almacenamiento, manejo del cianuro y disposición final de sus residuos en la actividad minera, observando los lineamientos establecidos en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 055-2010-EM y sus modificatorias; desarrollando, prioritariamente, lo siguiente:

- 1.- Organización del sistema de respuesta a la emergencia.
- 2.- Capacitación y simulacros.
- 3.- Operaciones de respuesta.
- 4.- Evaluación de la emergencia
- 5.- Procedimientos para la revisión y actualización del plan.

1029740-3



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

Identificación de la sustancia o del preparado

- 1.1 Denominación:**
Cianuro de Sodio.
- 1.2 Uso de la sustancia o preparado:**
Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.
- 1.3 Identificación de la sociedad o empresa:**
CONTROL TÉCNICO Y REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V.
Av. Lincoln No. 3410 Pte. Col. Mitras Norte
www.ctr.com.mx
Tels. (81) 8158 0600, 8158 0628, 8158 0633
e-mail : ctrscientific@infosel.net.mx
Apdo. Postal 044-C Monterrey y N.L. C.P. 64320, México

2. Identificación de los peligros

- 2.1** Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

3. Composición/Información de los componentes

- 3.1** Denominación: Sodio Cianuro
Fórmula: NaCN M.=49,01

4. Primeros auxilios

- 4.1 Indicaciones generales:**
El socorrista debe autoprotgerse. Pedir inmediatamente atención médica. (Intoxicación con cianhídrico). En caso de parálisis respiratoria, proceder inmediatamente a la respiración artificial. En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.
- 4.2 Inhalación:**
Trasladar a la persona al aire libre. En caso de asfixia proceder inmediatamente a la respiración artificial. Pedir inmediatamente atención médica.
- 4.3 Contacto con la piel:**
Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas. Pedir inmediatamente atención médica.
- 4.4 Ojos:**
Lavar con agua abundante (mínimo durante 15 minutos), manteniendo los párpados abiertos. Pedir inmediatamente atención médica.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

4.5	<p>Ingestión: Beber agua abundante. Provocar el vómito. Administrar solución de carbón activo de uso médico. Pedir inmediatamente atención médica. Indicaciones para el médico: Prevenir antidotos (sodio ti osulfato, dimetilaminofenol, CO₂-EDTA).</p>
5. Medidas de lucha contra incendio	
5.1	<p>Medios de extinción adecuados: Dióxido de carbono (CO₂). Polvo seco.</p>
5.2	<p>Medios de extinción que NO deben utilizarse: Agua.</p>
5.3	<p>Riesgos especiales: Incombustible. En caso de incendio pueden formarse vapores tóxicos de HCN. Mantener seco el lugar de trabajo. La sustancia no debe entrar en contacto con agua.</p>
5.4	<p>Equipos de protección: -----</p>
6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental	
6.1	<p>Precauciones individuales: Evacuar a toda persona no indispensable. Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No inhalar el polvo. Proteger las vías respiratorias.</p>
6.2	<p>Precauciones para la protección del medio ambiente: No permitir el paso al sistema de desagües. Evitar la contaminación del suelo, aguas y desagües.</p>
6.3	<p>Métodos de recogida/limpieza: Realizar la operación con las máximas precauciones. Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante.</p>
7. Manipulación y almacenamiento	
7.1	<p>Manipulación: Sin indicaciones particulares.</p>
7.2	<p>Almacenamiento: Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. En local bien ventilado. Temperatura ambiente. Acceso restringido, sólo autorizado a técnicos. No almacenar en recipientes metálicos.</p>
8. Controles de exposición/protección personal	



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

<p>8.1 Medidas técnicas de protección: -----</p> <p>8.2 Control límite de exposición: VLA-EC (CN): 5 mg/m³, resorción dermal</p> <p>8.3 Protección respiratoria: Usar equipo respiratorio adecuado. Filtro B. Filtro P₃.</p> <p>8.4 Protección de las manos: Usar guantes apropiados (látex, neopreno, nitrilo, PVC).</p> <p>8.5 Protección de los ojos: Usar gafas apropiadas.</p> <p>8.6 Medidas de higiene particulares: Quitarse las ropas contaminadas. Usar equipo de protección completo. Lavarse manos y cara antes de las pausas y al finalizar el trabajo. Evitar la formación de polvo.</p> <p>8.7 Controles de la exposición del medio ambiente: Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente. El proveedor de los medios de protección debe especificar el tipo de protección que debe usarse para la manipulación del producto, indicando el tipo de material y, cuando proceda, el tiempo de penetración de dicho material, en relación con la cantidad y la duración de la exposición.</p>
<p>9. Propiedades físicas y químicas</p> <p>Aspecto: Polvo blanco.</p> <p>Olor: Débil a almendras amargas.</p> <p>pH X11,7 Punto de ebullición :1496°C Punto de fusión : 563°C Presión de vapor: 1 hPa (20°C) Densidad (20/4): 1,55 Solubilidad: 600 g/l en agua a 20°C</p>
<p>10. Estabilidad y reactividad</p> <p>10.1 Condiciones que deben evitarse: -----</p> <p>10.2 Materias que deben evitarse: Agentes oxidantes fuertes. Agua. Sales alcalinas. Acidos. Cloratos.</p>



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

<p>10.3 Productos de descomposición peligrosos: Cianuro de hidrógeno.</p> <p>10.4 Información complementaria: Higroscópico. Sensible a la humedad.</p>	<p>Nitritos. Nitratos. CO₂.</p>
<p>11. Información toxicológica</p> <p>11.1 Toxicidad aguda: DL₅₀ oral rata: 6,44 mg/kg DLLo oral hombre: 2,857 mg/kg DL₅₀ intraperitoneal ratón: 5,881 mg/kg DL₅₀ intraperitoneal rata: 4,3 mg/kg.</p> <p>11.2 Efectos peligrosos para la salud: Por inhalación de vapores: Irritaciones en mucosas, dificultades respiratorias. Riesgo de absorción cutánea. En contacto con la piel: Riesgo de absorción cutánea. Por ingestión: náuseas, vómitos. Por absorción: efecto letal, parálisis respiratoria, paro cardiovascular. Efectos sistémicos: Para compuestos de cianuro y nitrilos en general: Bloqueo de la respiración a nivel celular, trastornos cardiovasculares, dificultades respiratorias, pérdida del conocimiento.</p>	
<p>12. Información Ecológica</p> <p>12.1 Movilidad : -----</p> <p>12.2 Ecotoxicidad : 12.2.1 - Test EC₅₀ (mg/l) : Bacterias (<i>Photobacterium phosphoreum</i>) = 2,8 mg/l ; Clasificación : Extremadamente tóxico. Protozoos (<i>E. sulcatum</i>) = EC₀ 1,8 mg/l ; Clasificación : Extremadamente tóxico. Crustáceos (<i>Daphnia Magna</i>) = EC₀ 3,4 mg/l ; Clasificación : Extremadamente tóxico. Peces (<i>Leuciscus Idus</i>) = 0,07 mg/l ; Clasificación : Extremadamente tóxico. 12.2.2 - Medio receptor : Riesgo para el medio acuático = Alto Riesgo para el medio terrestre = Medio 12.2.3 - Observaciones : Ecotoxicidad aguda y crónica en la zona de vertido.</p>	



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

12.3 Degradabilidad :

12.3.1 - Test :-----

12.3.2 - Clasificación sobre degradación biótica :

DBO₅/DQO Biodegradabilidad = -----

12.3.3 - Degradación abiótica según pH : -----

12.3.4 - Observaciones :

12.4 Acumulación :

12.4.1 - Test :

12.4.2 - Bioacumulación :

Riesgo = -----

12.4.3 - Observaciones :

Datos no disponibles.

12.5 Otros posibles efectos sobre el medio natural :

Peligroso para el agua potable. No permitir su incorporación al suelo ni a acuíferos. El compuesto produce mezclas tóxicas con el agua, aunque se encuentre diluido.

13. Consideraciones sobre la eliminación

13.1 Sustancia o preparado:

En América no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos.

13.2 Envases contaminados:

Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos.

14. Información relativa al transporte



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD CIANURO DE SODIO

Terrestre (ADR):

Denominación técnica: CIANURO DE SODIO, SÓLIDO
ONU 1689 Clase: 6.1 Grupo de embalaje: I (C/E)

Marítimo (IMDG):

14.1 Denominación técnica: CIANURO DE SODIO, SÓLIDO
ONU 1689 Clase: 6.1 Grupo de embalaje: I

Aéreo (ICAO-IATA):

Denominación técnica: Cianuro sódico, sólido

ONU 1689 Clase: 6.1 Grupo de embalaje: I

Instrucciones de embalaje: CAO 607 PAX 606

15. Información reglamentaria

15.1 Etiquetado



Símbolos:

Indicaciones de peligro: Muy tóxico Peligroso para medio ambiente

Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Manténgase el recipiente bien cerrado. En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con agua. No tirar los residuos por el desagüe. En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta).

Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.

Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

16. Otra información



Grados de NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

ANEXO 03 RESULTADOS ANALITICOS

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0413-2015 PÁGINA 01 DE 02

SOLICITANTE	: Sr.
RUC	:
DIRECCIÓN	: Juliaca - San Román – Puno
PRODUCTO DECLARADO	EFLUENTE CIANURADO CRUDO
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido turbio
CODIFICACIÓN/ MARCA	: ECC - 01
PROCEDENCIA	: Planta concentradora de la Corporación Minera Ananea. Coordenadas: 393454.49 Este, 8250393.67 Sur (Declarado por el Cliente)
CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 1000 mililitros aproximadamente (CN _T : 500 mililitros aproximadamente, CN _L : 500 mililitros aproximadamente).
PRESENTACION, ESTADO Y CONDICIÓN	: En frasco de polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 6.2 °C.
FECHA DE PRODUCCIÓN	: No Especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No Especificada
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: Responsabilidad el Cliente
REGISTRO DE MUESTREO N°	: No Aplicable
FECHA Y HORA DEL MUESTREO	: 07/11/2015 10:20 hrs (Declarado por el Cliente)
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Muestra recibida en el Laboratorio (Envases proporcionados)
PERIODO DE CUSTODIA	: No Aplicable
FECHA DE RECEPCIÓN	: 07 de Noviembre del 2015

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda anula el presente Informe de Ensayos.

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0413-2015 PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO CRUDO ECC -01	UNIDADES
Cianuro total	1541.00	mg/L
Cianuro libre	1332.35	mg/L

ABREVIATURAS:

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

OBSERVACIONES:

- Ninguna

MÉTODOS REVISADOS:

- Cianuros : ASTM, Standard Test Methods for Cyanides in Water D-2036-91, 1991.

MÉTODOS UTILIZADOS:

- Cianuro total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA- WEF. Part 4000 Method 4500-CN-C. Total Cyanide in Water after Distillation Standard Methods Revision 20th ed.
- Cianuro libre : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA- WEF. Part 4000 Method 4500-CN-D. Cyanide by Titration Standard Methods Revision 1999.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 07 / 11 / 2015

NOTAS IMPORTANTES

- BHIOS LABORATORIOS no guarda muestras dirimientes de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento
- El presente Informe de Ensayos es válido por 30 días a partir de la fecha de emisión

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 11 / 11 / 2015

Ing. Vidal Callasaca C.
Responsable de laboratorio

PRT-10-F-01-IEP Versión: 04 A: (GG)

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0414-2015 PÁGINA 01 DE 04

SOLICITANTE	: Sr.
RUC	:
DIRECCIÓN	: Juliaca - San Román – Puno
PRODUCTO DECLARADO	EFLUENTE CIANURADO
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido semi turbio
CODIFICACIÓN/ MARCA	: ECpH1 al EcpH14
PROCEDENCIA	: Planta concentradora de la Corporación Minera Ananea. Coordenadas: 393454.49 Este, 8250393.67 Sur (Declarado por el Cliente)
CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA	: 14 muestras de 1000 mililitros aproximadamente (CNr: 500 mililitros aproximadamente, CNL: 500 mililitros aproximadamente).
PRESENTACION, ESTADO Y CONDICIÓN	: En frascos de polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 6.2 °C.
FECHA DE PRODUCCIÓN	: No Especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No Especificada
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: Responsabilidad el Cliente
REGISTRO DE MUESTREO N°	: No Aplicable
FECHA Y HORA DEL MUESTREO	: 07/11/2015 10:20 hrs (Declarado por el Cliente)
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Muestra recibida en el Laboratorio (Envases proporcionados)
PERIODO DE CUSTODIA	: No Aplicable
FECHA DE RECEPCIÓN	: 07 de Noviembre del 2015

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda anula el presente Informe de Ensayos.

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0414-2015

PÁGINA 02 DE 04

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH1	UNIDADES
Cianuro total	1533.30	mg/L
Cianuro libre	1323.02	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH2	UNIDADES
Cianuro total	1522.56	mg/L
Cianuro libre	1312.44	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH3	UNIDADES
Cianuro total	1508.86	mg/L
Cianuro libre	1298.00	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH4	UNIDADES
Cianuro total	1492.26	mg/L
Cianuro libre	1283.34	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH5	UNIDADES
Cianuro total	1472.86	mg/L
Cianuro libre	1266.13	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH6	UNIDADES
Cianuro total	1428.68	mg/L
Cianuro libre	1208.90	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0414-2015 PÁGINA 03 DE 04

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH7	UNIDADES
Cianuro total	1371.53	mg/L
Cianuro libre	1159.21	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH8	UNIDADES
Cianuro total	1193.23	mg/L
Cianuro libre	989.97	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH9	UNIDADES
Cianuro total	644.34	mg/L
Cianuro libre	507.46	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH10	UNIDADES
Cianuro total	212.63	mg/L
Cianuro libre	173.30	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH11	UNIDADES
Cianuro total	55.28	mg/L
Cianuro libre	38.13	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH12	UNIDADES
Cianuro total	12.16	mg/L
Cianuro libre	7.64	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0414-2015

PÁGINA 04 DE 04

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH13	UNIDADES
Cianuro total	2.55	mg/L
Cianuro libre	1.51	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECpH14	UNIDADES
Cianuro total	0.51	mg/L
Cianuro libre	0.29	mg/L

ABREVIATURAS:

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

OBSERVACIONES:

- Ninguna

MÉTODOS REVISADOS:

- Cianuros : ASTM, Standard Test Methods for Cyanides in Water D-2036-91, 1991.

MÉTODOS UTILIZADOS:

- Cianuro total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-C. Total Cyanide in Water after Distillation Standard Methods Revision 20th ed.
- Cianuro libre : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-D. Cyanide by Titration Standard Methods Revision 1999.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 07 - 09 / 11 / 2015

NOTAS IMPORTANTES

- BHIOS LABORATORIOS no guarda muestras dirimentes de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento
- El presente Informe de Ensayos es válido por 30 días a partir de la fecha de emisión

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 11 / 11 / 2015

Ing. Vidal Callasaca C.
Responsable de laboratorio

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015

PÁGINA 01 DE 12

SOLICITANTE	: Sr.
RUC	:
DIRECCIÓN	: Juliaca - San Román – Puno
PRODUCTO DECLARADO	EFLUENTE CIANURADO
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido semitransparente
CODIFICACIÓN/ MARCA	: ECT1 al ECT15 Planta concentradora de la Corporación Minera
PROCEDENCIA	: Ananea. Coordenadas: 393454.49 Este, 8250393.67 Sur (Declarado por el Cliente)
CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA	: 14 muestras de 1000 mililitros aproximadamente (CNr: 500 mililitros aproximadamente, CNL: 500 mililitros aproximadamente).
PRESENTACION, ESTADO Y CONDICIÓN	: En frascos de polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 6.2 °C.
FECHA DE PRODUCCIÓN	: No Especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No Especificada
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: Responsabilidad el Cliente
REGISTRO DE MUESTREO N°	: No Aplicable
FECHA Y HORA DEL MUESTREO	: 16/11/2015 09:15 hrs (Declarado por el Cliente)
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Muestra recibida en el Laboratorio (Envases proporcionados)
PERIODO DE CUSTODIA	: No Aplicable
FECHA DE RECEPCIÓN	: 16 de Noviembre del 2015

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda anula el presente Informe de Ensayos.

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS Nº 0476-2015

PÁGINA 02 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT1-1h	UNIDADES
Cianuro total	1100.71	mg/L
Cianuro libre	1032.83	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT1-2h	UNIDADES
Cianuro total	714.75	mg/L
Cianuro libre	717.24	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT1-3h	UNIDADES
Cianuro total	441.20	mg/L
Cianuro libre	640.40	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT1-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	267.40, 264.72, 294.14	275.42	mg/L
Cianuro libre	312.39, 309.26, 343.63	321.76	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT2-1h	UNIDADES
Cianuro total	887.67	mg/L
Cianuro libre	832.93	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT2-2h	UNIDADES
Cianuro total	525.25	mg/L
Cianuro libre	410.31	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015**PÁGINA 03 DE 12****RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT2-3h		
Cianuro total	287.02		mg/L
Cianuro libre	286.93		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT2-4h		
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	141.39, 139.98, 155.53	145.63	mg/L
Cianuro libre	109.10, 108.01, 120.01	112.37	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT3-1h		
Cianuro total	534.74		mg/L
Cianuro libre	616.98		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT3-2h		
Cianuro total	312.72		mg/L
Cianuro libre	306.96		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT3-3h		
Cianuro total	162.03		mg/L
Cianuro libre	236.12		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT3-4h		
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	76.07, 75.31, 83.68	78.35	mg/L
Cianuro libre	76.17, 75.41, 83.78	78.45	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015

PÁGINA 04 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT4-1h	UNIDADES
Cianuro total	316.42	mg/L
Cianuro libre	313.19	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT4-2h	UNIDADES
Cianuro total	152.12	mg/L
Cianuro libre	116.86	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT4-3h	UNIDADES
Cianuro total	70.10	mg/L
Cianuro libre	74.43	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT4-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	33.38, 33.05, 36.72	34.38	mg/L
Cianuro libre	20.85, 20.64, 22.93	21.48	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT5-1h	UNIDADES
Cianuro total	197.76	mg/L
Cianuro libre	172.08	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT5-2h	UNIDADES
Cianuro total	79.42	mg/L
Cianuro libre	69.11	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015**PÁGINA 05 DE 12****RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT5-3h		UNIDADES
	Cianuro total	33.80	
Cianuro libre	44.02		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT5-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
	Cianuro total	17.79, 17.61, 19.57	
Cianuro libre	13.59, 13.45, 14.94	13.99	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT6-1h		UNIDADES
	Cianuro total	1328.45	
Cianuro libre	931.71		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT6-2h		UNIDADES
	Cianuro total	922.53	
Cianuro libre	647.02		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT6-3h		UNIDADES
	Cianuro total	823.69	
Cianuro libre	577.70		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT6-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
	Cianuro total	401.80, 397.78, 441.98	
Cianuro libre	313.12, 309.98, 344.43	322.51	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015

PÁGINA 06 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT7-1h		
Cianuro total	991.38		mg/L
Cianuro libre	608.96		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT7-2h		
Cianuro total	488.36		mg/L
Cianuro libre	299.98		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT7-3h		
Cianuro total	299.61		mg/L
Cianuro libre	184.04		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT7-4h		
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	113.92, 112.78, 125.31	117.34	mg/L
Cianuro libre	69.98, 69.28, 76.97	72.08	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT8-1h		
Cianuro total	516.34		mg/L
Cianuro libre	451.08		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT8-2h		
Cianuro total	256.89		mg/L
Cianuro libre	224.42		mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015

PÁGINA 07 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT8-3h		UNIDADES
	Cianuro total	197.61	
Cianuro libre	172.63		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT8-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
	Cianuro total	63.74, 63.11, 70.12	
Cianuro libre	55.69, 55.13, 61.26	57.36	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT9-1h		UNIDADES
	Cianuro total	253.11	
Cianuro libre	176.20		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT9-2h		UNIDADES
	Cianuro total	94.44	
Cianuro libre	65.75		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT9-3h		UNIDADES
	Cianuro total	60.16	
Cianuro libre	41.88		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT9-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
	Cianuro total	23.41, 23.17, 25.75	
Cianuro libre	26.67, 26.41, 29.34	27.47	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS Nº 0476-2015

PÁGINA 08 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT10-1h		
Cianuro total	154.34		mg/L
Cianuro libre	146.84		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT10-2h		
Cianuro total	61.98		mg/L
Cianuro libre	58.97		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT103h		
Cianuro total	39.48		mg/L
Cianuro libre	54.10		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT10-4h		
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	15.36, 15.21, 16.90	15.82	mg/L
Cianuro libre	14.62, 14.48, 16.08	15.06	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT11-1h		
Cianuro total	670.00		mg/L
Cianuro libre	625.52		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO		UNIDADES
	ECT11-2h		
Cianuro total	465.28		mg/L
Cianuro libre	434.39		mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS Nº 0476-2015

PÁGINA 09 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT11-3h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	415.43		mg/L
Cianuro libre	387.85		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT11-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	202.65, 200.62, 222.91	208.73	mg/L
Cianuro libre	189.19, 187.30, 208.11	194.87	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT12-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	319.05		mg/L
Cianuro libre	324.10		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT12-2h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	157.17		mg/L
Cianuro libre	159.66		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT12-3h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	96.42		mg/L
Cianuro libre	97.95		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT12-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	36.66, 36.30, 40.33	37.76	mg/L
Cianuro libre	35.88, 35.52, 39.47	36.95	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS Nº 0476-2015

PÁGINA 10 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT13-1h	UNIDADES
Cianuro total	212.70	mg/L
Cianuro libre	175.19	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT13-2h	UNIDADES
Cianuro total	105.82	mg/L
Cianuro libre	87.16	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT13-3h	UNIDADES
Cianuro total	81.40	mg/L
Cianuro libre	67.05	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT13-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	26.26, 26.00, 28.88	27.05	mg/L
Cianuro libre	21.63, 21.41, 23.79	22.28	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT14-1h	UNIDADES
Cianuro total	38.26	mg/L
Cianuro libre	31.28	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT14-2h	UNIDADES
Cianuro total	10.40	mg/L
Cianuro libre	18.62	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS Nº 0476-2015

PÁGINA 11 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT14-3h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	6.62		mg/L
Cianuro libre	11.86		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT14-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	2.58, 2.55, 2.83	2.65	mg/L
Cianuro libre	2.08, 2.06, 2.29	2.14	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT15-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	11.95		mg/L
Cianuro libre	9.78		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT15-2h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	3.43		mg/L
Cianuro libre	3.93		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT15-3h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	2.18		mg/L
Cianuro libre	2.67		mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT15-4h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	1.39, 1.38, 1.53	1.43	mg/L
Cianuro libre	1.07, 1.06, 1.18	1.10	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0476-2015

PÁGINA 12 DE 12

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

ABREVIATURAS:

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

OBSERVACIONES:

- Ninguna

MÉTODOS REVISADOS:

- Cianuros : ASTM, Standard Test Methods for Cyanides in Water D-2036-91, 1991.

MÉTODOS UTILIZADOS:

- Cianuro total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA- WEF. Part 4000 Method 4500-CN-C. Total Cyanide in Water after Distillation Standard Methods Revision 20th ed.
- Cianuro libre : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA- WEF. Part 4000 Method 4500-CN-D. Cyanide by Titration Standard Methods Revision 1999.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 17 - 20 /11 / 2015

NOTAS IMPORTANTES

- BHIOS LABORATORIOS no guarda muestras dirimientes de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento
- El presente Informe de Ensayos es válido por 30 días a partir de la fecha de emisión

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 23 / 11 / 2015

Ing. Vidal Callasaca C.
Responsable de laboratorio

PRT-10-F-01-IEP Versión: 04 A: (GG)

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 01 DE 08

SOLICITANTE	: Sr.
RUC	:
DIRECCIÓN	: Juliaca - San Román – Puno
PRODUCTO DECLARADO	EFLUENTE CIANURADO
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido semitransparente
CODIFICACIÓN/ MARCA	: ECT1 al ECT15
PROCEDENCIA	: Planta concentradora de la Corporación Minera Ananea. Coordenadas: 393454.49 Este, 8250393.67 Sur (Declarado por el Cliente)
CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA	: 15 muestras de 1000 mililitros aproximadamente (CN _T : 500 mililitros aproximadamente, CN _L : 500 mililitros aproximadamente).
PRESENTACION, ESTADO Y CONDICIÓN	: En frascos de polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 6.2 °C.
FECHA DE PRODUCCIÓN	: No Especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No Especificada
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: Responsabilidad el Cliente
REGISTRO DE MUESTREO N°	: No Aplicable
FECHA Y HORA DEL MUESTREO	: 07/12/2015 11:00 hrs (Declarado por el Cliente)
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Muestra recibida en el Laboratorio (Envases proporcionados)
PERIODO DE CUSTODIA	: No Aplicable
FECHA DE RECEPCIÓN	: 08 de Diciembre del 2015

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda anula el presente Informe de Ensayos.

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 02 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT16-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	362.59, 358.96, 398.85	373.47	mg/L
Cianuro libre	213.86, 211.7, 235.2	220.28	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT17-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	235.68, 233.33, 259.25	242.75	mg/L
Cianuro libre	139.01, 137.6, 152.9	143.18	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT18-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	141.41, 140.00, 155.55	145.65	mg/L
Cianuro libre	83.41, 82.6, 91.7	85.91	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT19-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	77.78, 77.00, 85.55	80.11	mg/L
Cianuro libre	45.87, 45.4, 50.5	47.25	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT20-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	38.89, 38.50, 42.78	40.05	mg/L
Cianuro libre	22.94, 22.7, 25.2	23.62	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 03 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT21-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	32.28, 31.95, 35.50	33.24	mg/L
Cianuro libre	17.20, 17.0, 18.9	17.72	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT22-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	27.76, 27.48, 30.53	28.59	mg/L
Cianuro libre	14.45, 14.3, 15.9	14.88	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT23-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	24.70, 24.46, 27.18	25.45	mg/L
Cianuro libre	10.84, 10.7, 11.9	11.16	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT24-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	18.03, 17.85, 19.84	18.58	mg/L
Cianuro libre	5.74, 5.7, 6.3	5.92	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT25-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	8.12, 8.03, 8.93	8.36	mg/L
Cianuro libre	3.73, 3.7, 4.1	3.85	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENBAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 04 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT26-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	261.63, 259.0, 287.8	269.48	mg/L
Cianuro libre	181.27, 179.5, 199.4	186.71	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT27-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	172.68, 170.9, 189.9	177.86	mg/L
Cianuro libre	119.64, 118.4, 131.6	123.23	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT28-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	105.33, 104.3, 115.9	108.49	mg/L
Cianuro libre	72.98, 72.3, 80.3	75.17	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT29-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	58.99, 58.4, 64.9	60.76	mg/L
Cianuro libre	40.87, 40.5, 45.0	42.09	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT30-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	41.88, 41.5, 46.1	43.14	mg/L
Cianuro libre	29.02, 28.7, 31.9	29.89	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 05 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT31-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	31.83, 31.5, 35.0	32.78	mg/L
Cianuro libre	24.95, 24.7, 27.4	25.70	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT32-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	25.78, 25.5, 28.4	26.55	mg/L
Cianuro libre	22.71, 22.5, 25.0	23.39	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT33-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	22.17, 22.0, 24.4	22.84	mg/L
Cianuro libre	17.26, 17.1, 19.0	17.78	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT34-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	11.31, 11.2, 12.4	11.65	mg/L
Cianuro libre	8.80, 8.7, 9.7	9.07	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT35-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	5.2, 5.1, 5.7	5.36	mg/L
Cianuro libre	4.0, 4.0, 4.5	4.17	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENBAYOS N° 0521-2015 PÁGINA 06 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT36-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	281.2, 278.4, 309.3	289.64	mg/L
Cianuro libre	183.0, 181.2, 201.3	188.51	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT37-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	182.7, 181.0, 201.1	188.27	mg/L
Cianuro libre	118.9, 117.8, 130.9	122.53	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT38-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	109.6, 108.6, 120.6	112.96	mg/L
Cianuro libre	71.3, 70.7, 78.5	73.52	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT39-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	60.3, 59.7, 66.4	62.13	mg/L
Cianuro libre	39.2, 38.9, 43.2	40.43	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO EC40-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	30.1, 29.9, 33.2	31.06	mg/L
Cianuro libre	19.6, 19.4, 21.6	20.22	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015 PÁGINA 07 DE 08

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT41-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	13.5, 13.4, 14.9	13.98	mg/L
Cianuro libre	8.8, 8.7, 9.7	9.10	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT42-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	5.4, 5.4, 6.0	5.59	mg/L
Cianuro libre	6.1, 6.1, 6.8	6.37	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT43-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	1.9, 1.9, 2.1	1.96	mg/L
Cianuro libre	3.4, 3.4, 3.7	3.50	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT44-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	0.5, 0.6, 0.6	0.59	mg/L
Cianuro libre	1.8, 1.8, 2.0	1.86	mg/L

DETERMINACIÓN	EFLUENTE CIANURADO ECT45-1h		UNIDADES
	Repeticiones	Promedio	
Cianuro total	0.1, 0.1, 0.2	0.15	mg/L
Cianuro libre	0.4, 0.4, 0.5	0.46	mg/L

CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

Laboratorio: Adelanto de Resultados

INFORME DE ENSAYOS N° 0521-2015

PÁGINA 08 DE 08

ABREVIATURAS:

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

OBSERVACIONES:

- Ninguna

MÉTODOS REVISADOS:

- Cianuros : ASTM, Standard Test Methods for Cyanides in Water D-2036-91, 1991.

MÉTODOS UTILIZADOS:

- Cianuro total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-C. Total Cyanide in Water after Distillation Standard Methods Revision 20th ed.
- Cianuro libre : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-D. Cyanide by Titration Standard Methods Revision 1999.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 17 - 20 /11 / 2015

NOTAS IMPORTANTES

- BHIOS LABORATORIOS no guarda muestras dirimientes de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento
- El presente Informe de Ensayos es válido por 30 días a partir de la fecha de emisión

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 23 / 11 / 2015

Ing. Vidal Callasaca C.
Responsable de laboratorio

PRT-10-F-01-IEP Versión: 04 A: (GG)

ANEXO 04 TRATAMIENTO DE DATOS

Anexo 4.1 Ordenamiento numérico

4.1.1 Degradación de CN Total versus pH

Ensayo #	pH	Concentración [mg/l]	Degradación (%)
1	1,0	1533,30	0,50
2	2,0	1522,56	1,20
3	3,0	1508,86	2,09
4	4,0	1492,26	3,16
5	5,0	1472,86	4,42
6	6,0	1428,68	7,29
7	7,0	1371,53	11,00
8	8,0	1193,23	22,57
9	9,0	644,34	58,19
10	10,0	212,63	96,41
11	11,0	55,28	99,21
12	12,0	12,16	99,83
13	13,0	2,55	99,97
14	14,0	0,51	100,00

4.1.2 Degradación de CN Libre versus pH

Ensayo #	pH	Concentración [mg/l]	Degradación (%)
1	1,0	1323,02	0,70
2	2,0	1312,44	1,49
3	3,0	1298,00	2,58
4	4,0	1283,34	3,68
5	5,0	1266,13	4,97
6	6,0	1208,90	9,27
7	7,0	1159,21	13,00
8	8,0	989,97	25,70
9	9,0	507,46	61,91
10	10,0	173,30	97,14
11	11,0	38,13	99,43
12	12,0	7,64	99,89
13	13,0	1,51	99,98
14	14,0	0,29	100,00

Anexo 4.1 Ordenamiento numérico

4.1.3 Degradación de CN Total versus reactivos

Cinética de degradación de CN Total (CN_{Ti}=510.2)

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo						Degradación (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3		4 h	Inicial
T1= FeSO ₄ 0.5:1	0,5	1100,71	714,75	441,20	267,40	264,72	294,14	82,13	10,50	8,70
T2= FeSO ₄ 1:1	1,0	887,67	525,25	287,02	141,39	139,98	155,53	90,55	10,50	8,31
T3= FeSO ₄ 2:1	2,0	534,74	312,72	162,03	76,07	75,31	83,68	94,92	10,50	8,50
T4= FeSO ₄ 3:1	3,0	316,42	152,12	70,10	33,38	33,05	36,72	97,77	10,50	8,64
T5= FeSO ₄ 3.5:1	3,5	197,76	79,42	33,80	17,79	17,61	19,57	98,81	10,50	8,69

Cinética de degradación de CN Total (CN_{Ti}=510.2)

Tratamiento Código	Kg de CuSO ₄ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo						Degradación (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3		4 h	Inicial
T6= CuSO ₄ 0.5:1	0,5	1328,45	922,53	823,69	401,80	397,78	441,98	73,14	10,50	9,40
T7= CuSO ₄ 1:1	1,0	991,38	488,36	299,61	113,92	112,78	125,31	92,39	10,50	7,48
T8= CuSO ₄ 2:1	2,0	516,34	256,89	197,61	63,74	63,11	70,12	95,74	10,50	7,99
T9= CuSO ₄ 3:1	3,0	253,11	94,44	60,16	23,41	23,17	25,75	98,44	10,50	8,44
T10= CuSO ₄ 3.5:1	3,5	154,34	61,98	39,48	15,36	15,21	16,90	98,97	10,50	9,55

Cinética de degradación de CN Total (CN_{Ti}=510.2)

Tratamiento Código	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo						Degradación (%)	pH	
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3		4 h	Inicial
T11= H ₂ O ₂ 0.5:1	0,5	670,00	465,28	415,43	202,65	200,62	222,91	86,46	10,50	7,70
T12= H ₂ O ₂ 1:1	1,0	319,05	157,17	96,42	36,66	36,30	40,33	97,55	10,50	7,31
T13= H ₂ O ₂ 2:1	2,0	212,70	105,82	81,40	26,26	26,00	28,88	98,24	10,50	7,50
T14= H ₂ O ₂ 3:1	3,0	38,26	10,40	6,62	2,58	2,55	2,83	99,83	10,50	7,64
T15= H ₂ O ₂ 3.5:1	3,5	11,95	3,43	2,18	1,39	1,38	1,53	99,91	10,50	7,69

Anexo 4.1 Ordenamiento numérico

4.1.4 Degradación de CN Libre versus reactivos

Cinética de degradación de CN Libre (CN_L=332.35)

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo					Degradación (%)	pH		
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2		Repetic. 3	4 h	Inicial
T1= FeSO ₄ 0.5:1	0,5	1032,83	717,24	640,40	312,39	309,26	343,63	321,76	10,50	8,70
T2= FeSO ₄ 1:1	1,0	832,93	410,31	286,93	109,10	108,01	120,01	112,37	10,50	8,31
T3= FeSO ₄ 2:1	2,0	616,98	306,96	236,12	76,17	75,41	83,78	78,45	10,50	8,50
T4= FeSO ₄ 3:1	3,0	313,19	116,86	74,43	20,85	20,64	22,93	21,48	10,50	8,64
T5= FeSO ₄ 3.5:1	3,5	172,08	69,11	44,02	13,59	13,45	14,94	13,99	10,50	8,69

Cinética de degradación de CN Libre (CN_L=332.35)

Tratamiento Código	Kg de CuSO ₄ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo					Degradación (%)	pH		
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2		Repetic. 3	4 h	Inicial
T6= CuSO ₄ 0.5:1	0,5	931,71	647,02	577,70	313,12	309,98	344,43	322,51	10,50	9,40
T7= CuSO ₄ 1:1	1,0	608,96	299,98	184,04	69,98	69,28	76,97	72,08	10,50	7,48
T8= CuSO ₄ 2:1	2,0	451,08	224,42	172,63	55,69	55,13	61,26	57,36	10,50	7,99
T9= CuSO ₄ 3:1	3,0	176,20	65,75	41,88	26,67	26,41	29,34	27,47	10,50	8,44
T10= CuSO ₄ 3.5:1	3,5	146,84	58,97	54,10	14,62	14,48	16,08	15,06	10,50	9,55

Cinética de degradación de CN Libre (CN_L=332.35)

Tratamiento Código	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN ⁻	Concentración en [mg/l] por Tiempo					Degradación (%)	pH		
		1 h	2 h	3 h	Repetic. 1	Repetic. 2		Repetic. 3	4 h	Inicial
T11= H ₂ O ₂ 0.5:1	0,5	625,52	434,39	387,85	189,19	187,30	208,11	194,87	10,50	7,70
T12= H ₂ O ₂ 1:1	1,0	324,10	159,66	97,95	35,88	35,52	39,47	36,95	10,50	7,31
T13= H ₂ O ₂ 2:1	2,0	175,19	87,16	67,05	21,63	21,41	23,79	22,28	10,50	7,50
T14= H ₂ O ₂ 3:1	3,0	31,28	18,62	11,86	2,08	2,06	2,29	2,14	10,50	7,64
T15= H ₂ O ₂ 3.5:1	3,5	9,78	3,93	2,67	1,07	1,06	1,18	1,10	10,50	7,69

Anexo 4.1 Ordenamiento numérico

4.1.5 Dosificación óptima de reactivos compuestos para la degradación de CN Total

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
			Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T16= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2,0	0,5	362,6	359,0	398,85	373,47	75,76	11,0	8,36
T17= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3,0	0,5	235,7	233,3	259,25	242,75	84,25	11,0	8,39
T18= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2,0	1,0	141,4	140,0	155,55	145,65	90,55	11,0	8,32
T19= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3,0	1,0	77,8	77,0	85,55	80,11	94,80	11,0	8,34
T20= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2,0	1,5	38,9	38,5	42,78	40,05	97,40	11,0	8,36
T21= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3,0	1,5	32,3	32,0	35,50	33,24	97,84	11,0	8,37
T22= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2,0	2,0	27,8	27,5	30,53	28,59	98,14	11,0	8,41
T23= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3,0	2,0	24,7	24,5	27,18	25,45	98,35	11,0	8,27
T24= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2,0	2,5	18,0	17,9	19,84	18,58	98,79	11,0	8,31
T25= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3,0	2,5	8,1	8,0	8,93	8,36	99,46	11,0	8,36

Tratamiento Código	Kg de CuSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
			Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T26= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2,0	0,5	261,6	259,0	287,8	269,48	82,51	11,0	8,32
T27= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3,0	0,5	172,7	170,9	189,9	177,86	88,46	11,0	8,35
T28= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2,0	1,0	105,3	104,3	115,9	108,49	92,96	11,0	8,33
T29= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3,0	1,0	59,0	58,4	64,9	60,76	96,06	11,0	8,32
T30= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2,0	1,5	41,9	41,5	46,1	43,14	97,20	11,0	8,38
T31= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3,0	1,5	31,8	31,5	35,0	32,78	97,87	11,0	8,41
T32= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2,0	2,0	25,8	25,5	28,4	26,55	98,28	11,0	8,35
T33= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3,0	2,0	22,2	22,0	24,4	22,84	98,52	11,0	8,32
T34= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2,0	2,5	11,3	11,2	12,4	11,65	99,24	11,0	8,40
T35= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3,0	2,5	5,2	5,1	5,7	5,36	99,65	11,0	8,41

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN	Kg de CuSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
				Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T36= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 0.5:1	1,0	2,0	0,5	281,2	278,4	309,3	289,64	81,20	11,0	8,56
T37= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 0.5:1	2,0	3,0	0,5	182,8	181,0	201,1	186,27	87,78	11,0	8,60
T38= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1:1	1,0	2,0	1,0	109,7	108,6	120,6	112,96	92,67	11,0	8,42
T39= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1:1	2,0	3,0	1,0	60,3	59,7	66,4	62,13	95,97	11,0	8,59
T40= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1.5:1	1,0	2,0	1,5	30,2	29,9	33,2	31,06	97,98	11,0	8,66
T41= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1.5:1	2,0	3,0	1,5	13,6	13,4	14,9	13,98	99,09	11,0	8,79
T42= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2:1	1,0	2,0	2,0	5,4	5,4	6,0	5,59	99,64	11,0	8,50
T43= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2:1	2,0	3,0	2,0	1,9	1,9	2,1	1,96	99,87	11,0	8,67
T44= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2.5:1	1,0	2,0	2,5	0,6	0,6	0,6	0,59	99,96	11,0	8,75
T45= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2.5:1	2,0	3,0	2,5	0,1	0,1	0,2	0,15	99,99	11,0	8,81

Anexo 4.1 Ordenamiento numérico

4.1.6 Dosificación óptima de reactivos compuestos para la degradación de CN Libre

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
			Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T16= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	213.9	211.7	235.2	220.28	83.47	11.0	8.36
T17= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	139.0	137.6	152.9	143.18	89.25	11.0	8.39
T18= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2.0	1.0	83.4	82.6	91.7	85.91	93.55	11.0	8.32
T19= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3.0	1.0	45.9	45.4	50.5	47.25	96.45	11.0	8.34
T20= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	22.9	22.7	25.2	23.62	98.23	11.0	8.36
T21= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	17.2	17.0	18.9	17.72	98.67	11.0	8.37
T22= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2.0	2.0	14.5	14.3	15.9	14.88	98.88	11.0	8.41
T23= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3.0	2.0	10.8	10.7	11.9	11.16	99.16	11.0	8.27
T24= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	5.7	5.7	6.3	5.92	99.56	11.0	8.31
T25= FeSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	3.7	3.7	4.1	3.85	99.71	11.0	8.36

Tratamiento Código	Kg de CuSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
			Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T26= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 0.5:1	2.0	0.5	181.3	179.5	199.4	186.71	85.99	11.0	8.32
T27= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 0.5:1	3.0	0.5	119.6	118.4	131.6	123.23	90.75	11.0	8.35
T28= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1:1	2.0	1.0	73.0	72.3	80.3	75.17	94.36	11.0	8.33
T29= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1:1	3.0	1.0	40.9	40.5	45.0	42.09	96.84	11.0	8.32
T30= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 1.5:1	2.0	1.5	29.0	28.7	31.9	29.89	97.76	11.0	8.38
T31= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 1.5:1	3.0	1.5	25.0	24.7	27.4	25.70	98.07	11.0	8.41
T32= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2:1	2.0	2.0	22.7	22.5	25.0	23.39	98.24	11.0	8.35
T33= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2:1	3.0	2.0	17.3	17.1	19.0	17.78	98.67	11.0	8.32
T34= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 2.5:1	2.0	2.5	8.8	8.7	9.7	9.07	99.32	11.0	8.40
T35= CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 3:1, 2.5:1	3.0	2.5	4.0	4.0	4.5	4.17	99.69	11.0	8.41

Tratamiento Código	Kg de FeSO ₄ Kg de CN	Kg de CuSO ₄ Kg de CN	Kg de H ₂ O ₂ Kg de CN	Ensayos [mg/l]			Concentración [mg/l] en 1h	Degradación (%)	pH	
				Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3			Inicial	Final
T36= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 0.5:1	1.0	2.0	0.5	183.0	181.2	201.3	188.51	85.85	11.0	8.56
T37= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 0.5:1	2.0	3.0	0.5	119.0	117.8	130.9	122.53	90.80	11.0	8.60
T38= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1:1	1.0	2.0	1.0	71.4	70.7	78.5	73.52	94.48	11.0	8.42
T39= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1:1	2.0	3.0	1.0	39.3	38.9	43.2	40.43	96.97	11.0	8.59
T40= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 1.5:1	1.0	2.0	2.0	19.6	19.4	21.6	20.22	98.48	11.0	8.66
T41= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 1.5:1	2.0	3.0	1.5	8.8	8.7	9.7	9.10	99.32	11.0	8.79
T42= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2:1	1.0	2.0	2.0	6.2	6.1	6.1	6.8	99.52	11.0	8.50
T43= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2:1	2.0	3.0	3.0	3.4	3.4	3.4	3.7	99.74	11.0	8.67
T44= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 1:1, 2:1, 2.5:1	1.0	2.0	2.5	1.8	1.8	2.0	1.86	99.86	11.0	8.75
T45= FeSO ₄ /CuSO ₄ /H ₂ O ₂ 2:1, 3:1, 2.5:1	2.0	3.0	2.5	0.5	0.4	0.5	0.46	99.97	11.0	8.81

Anexo 4.2 Análisis estadístico

4.2.1 Indicadores estadísticos para CN Total

Código Tratamiento	Ensayos [mg/l]			Media X	D.S. σ	Intervalo Confianza	Varianza
	Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3				
T1= FeSO4 0.5:1	267,40	264,72	294,14	275,42	13,2804	15,0279	176,3682
T2= FeSO4 1:1	141,39	139,98	155,53	145,63	7,0222	7,9462	49,3115
T3= FeSO4 2:1	76,07	75,31	83,68	78,35	3,7780	4,2752	14,2736
T4= FeSO4 3:1	33,38	33,05	36,72	34,38	1,6579	1,8761	2,7488
T5= FeSO4 3.5:1	17,79	17,61	19,57	18,32	0,8834	0,9997	0,7805
T6= CuSO4 0.5:1	401,80	397,78	441,98	413,85	19,9556	22,5815	398,2273
T7= CuSO4 1:1	113,92	112,78	125,31	117,34	5,6579	6,4024	32,0119
T8= CuSO4 2:1	63,74	63,11	70,12	65,66	3,1659	3,5825	10,0227
T9= CuSO4 3:1	23,41	23,17	25,75	24,11	1,1625	1,3155	1,3514
T10= CuSO4 3.5:1	15,36	15,21	16,90	15,82	0,7629	0,8633	0,5821
T11= H2O2 0.5:1	202,65	200,62	222,91	208,73	10,0646	11,3889	101,2958
T12= H2O2 1:1	36,66	36,30	40,33	37,76	1,8208	2,0604	3,3155
T13= H2O2 2:1	26,26	26,00	28,88	27,05	1,3041	1,4757	1,7007
T14= H2O2 3:1	2,58	2,55	2,83	2,65	0,1280	0,1448	0,0164
T15= H2O2 3.5:1	1,39	1,38	1,53	1,43	0,0690	0,0781	0,0048
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	362,59	358,96	398,85	373,47	18,0081	20,3778	324,2932
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	235,68	233,33	259,25	242,75	11,7053	13,2455	137,0139
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	141,41	140,00	155,55	145,65	7,0232	7,9473	49,3250
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	77,78	77,00	85,55	80,11	3,8627	4,3710	14,9208
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	38,89	38,50	42,78	40,05	1,9314	2,1855	3,7302
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	32,28	31,95	35,50	33,24	1,6030	1,8140	2,5697
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	27,76	27,48	30,53	28,59	1,3786	1,5600	1,9006
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	24,70	24,46	27,18	25,45	1,2270	1,3884	1,5054
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	18,03	17,85	19,84	18,58	0,8957	1,0135	0,8023
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	8,12	8,03	8,93	8,36	0,4031	0,4561	0,1625
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	261,63	259,01	287,79	269,48	12,9940	14,7038	168,8438
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	172,68	170,95	189,94	177,86	8,5760	9,7045	73,5484
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	105,33	104,28	115,87	108,49	5,2314	5,9198	27,3673
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	58,99	58,40	64,88	60,76	2,9296	3,3151	8,5824
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	41,88	41,46	46,07	43,14	2,0800	2,3537	4,3264
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	31,83	31,51	35,01	32,78	1,5808	1,7888	2,4989
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	25,78	25,52	28,36	26,55	1,2804	1,4489	1,6395
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	22,17	21,95	24,39	22,84	1,1012	1,2461	1,2126
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	11,31	11,19	12,44	11,65	0,5616	0,6355	0,3154
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	5,20	5,15	5,72	5,36	0,2583	0,2923	0,0667
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	281,20	278,39	309,32	289,64	13,9662	15,8039	195,0539
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	182,78	180,96	201,06	188,27	9,0780	10,2725	82,4103
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	109,67	108,57	120,64	112,96	5,4468	6,1635	29,6677
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	60,32	59,72	66,35	62,13	2,9957	3,3899	8,9745
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	30,16	29,86	33,18	31,06	1,4979	1,6950	2,2436
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	13,57	13,44	14,93	13,98	0,6740	0,7627	0,4543
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	5,43	5,37	5,97	5,59	0,2696	0,3051	0,0727
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	1,90	1,88	2,09	1,96	0,0944	0,1068	0,0089
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	0,57	0,56	0,63	0,59	0,0283	0,0320	0,0008
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	0,14	0,14	0,16	0,15	0,0071	0,0080	0,0001

Anexo 4.2 Análisis estadístico

4.2.2 Indicadores estadísticos para CN Libre

Código Tratamiento	Ensayos [mg/l]			Media X	D.S. δ	Intervalo Confianza	Varianza
	Repetic. 1	Repetic. 2	Repetic. 3				
T1= FeSO4 0.5:1	312,39	309,26	343,63	321,76	15,5149	17,5565	240,7127
T2= FeSO4 1:1	109,10	108,01	120,01	112,37	5,4184	6,1314	29,3595
T3= FeSO4 2:1	76,17	75,41	83,78	78,45	3,7829	4,2807	14,3105
T4= FeSO4 3:1	20,85	20,64	22,93	21,48	1,0355	1,1718	1,0723
T5= FeSO4 3.5:1	13,59	13,45	14,94	13,99	0,6748	0,7635	0,4553
T6= CuSO4 0.5:1	313,12	309,98	344,43	322,51	15,5511	17,5974	241,8362
T7= CuSO4 1:1	69,98	69,28	76,97	72,08	3,4754	3,9327	12,0785
T8= CuSO4 2:1	55,69	55,13	61,26	57,36	2,7657	3,1297	7,6493
T9= CuSO4 3:1	26,67	26,41	29,34	27,47	1,3248	1,4991	1,7550
T10= CuSO4 3.5:1	14,62	14,48	16,08	15,06	0,7262	0,8218	0,5274
T11= H2O2 0.5:1	189,19	187,30	208,11	194,87	9,3964	10,6328	88,2916
T12= H2O2 1:1	35,88	35,52	39,47	36,95	1,7819	2,0164	3,1753
T13= H2O2 2:1	21,63	21,41	23,79	22,28	1,0741	1,2155	1,1538
T14= H2O2 3:1	2,08	2,06	2,29	2,14	0,1033	0,1169	0,0107
T15= H2O2 3.5:1	1,07	1,06	1,18	1,10	0,0531	0,0600	0,0028
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	213,86	211,72	235,25	220,28	10,6215	12,0191	112,8161
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	139,01	137,62	152,91	143,18	6,9040	7,8124	47,6648
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	83,41	82,57	91,75	85,91	4,1424	4,6875	17,1593
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	45,87	45,41	50,46	47,25	2,2783	2,5781	5,1907
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	22,94	22,71	25,23	23,62	1,1392	1,2891	1,2977
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	17,20	17,03	18,92	17,72	0,8544	0,9668	0,7299
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	14,45	14,31	15,90	14,88	0,7177	0,8121	0,5150
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	10,84	10,73	11,92	11,16	0,5383	0,6091	0,2897
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	5,74	5,69	6,32	5,92	0,2853	0,3228	0,0814
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	3,73	3,70	4,11	3,85	0,1854	0,2098	0,0344
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	181,27	179,46	199,40	186,71	9,0030	10,1876	81,0536
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	119,64	118,44	131,60	123,23	5,9420	6,7238	35,3070
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	72,98	72,25	80,28	75,17	3,6246	4,1015	13,1377
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	40,87	40,46	44,96	42,09	2,0298	2,2969	4,1200
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	29,02	28,73	31,92	29,89	1,4411	1,6308	2,0769
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	24,95	24,70	27,45	25,70	1,2394	1,4025	1,5361
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	22,71	22,48	24,98	23,39	1,1278	1,2762	1,2720
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	17,26	17,09	18,98	17,78	0,8572	0,9699	0,7347
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	8,80	8,71	9,68	9,07	0,4371	0,4947	0,1911
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	4,05	4,01	4,45	4,17	0,2011	0,2275	0,0404
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	183,02	181,18	201,32	188,51	9,0895	10,2856	82,6198
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	118,96	117,77	130,86	122,53	5,9082	6,6856	34,9069
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	71,38	70,66	78,51	73,52	3,5449	4,0114	12,5665
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	39,26	38,86	43,18	40,43	1,9497	2,2063	3,8014
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	19,63	19,43	21,59	20,22	0,9749	1,1031	0,9503
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	8,83	8,74	9,72	9,10	0,4387	0,4964	0,1924
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	6,18	6,12	6,80	6,37	0,3071	0,3475	0,0943
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	3,40	3,37	3,74	3,50	0,1689	0,1911	0,0285
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	1,80	1,78	1,98	1,86	0,0895	0,1013	0,0080
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	0,45	0,45	0,50	0,46	0,0224	0,0253	0,0005

4.3.1 Prueba de Tukey para CN Total

Código Tratamiento	Media X	Grupos Homogéneos Prueba de Tukey
T1= FeSO4 0.5:1	82,13	H I
T2= FeSO4 1:1	90,55	F G
T3= FeSO4 2:1	94,92	C D
T4= FeSO4 3:1	97,77	A B
T5= FeSO4 3.5:1	98,81	A
T6= CuSO4 0.5:1	73,14	K L
T7= CuSO4 1:1	92,39	E F
T8= CuSO4 2:1	95,74	B C
T9= CuSO4 3:1	98,44	A B
T10= CuSO4 3.5:1	98,97	A
T11= H2O2 0.5:1	86,46	G H
T12= H2O2 1:1	97,55	A B
T13= H2O2 2:1	98,24	A B
T14= H2O2 3:1	99,83	A
T15= H2O2 3.5:1	99,91	A
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	75,76	K L
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	84,25	H I
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	90,55	F G
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	94,80	C D
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,40	A B
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	97,84	A B
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,14	A B
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,35	A B
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	98,79	A
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,46	A
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	82,51	H I
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	88,46	F G
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	92,96	D E
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,06	B C
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,20	A B
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	97,87	A B
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,28	A B
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,52	A
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,24	A
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,65	A
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	81,20	I J
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	87,78	G H
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	92,67	D E
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	95,97	B C
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	97,98	A B
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	99,09	A
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	99,64	A
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	99,87	A
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	99,96	A
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	99,99	A

Anexo 4.3 Prueba de comparación múltiple

4.3.2 Prueba de Tukey para CN Libre

Código Tratamiento	Media X	Grupos Homogéneos Prueba de Tukey
T1= FeSO4 0.5:1	75,85	K L
T2= FeSO4 1:1	91,57	E F
T3= FeSO4 2:1	94,11	C D
T4= FeSO4 3:1	98,39	A B
T5= FeSO4 3.5:1	98,95	A
T6= CuSO4 0.5:1	75,79	K L
T7= CuSO4 1:1	94,59	C D
T8= CuSO4 2:1	95,69	B C
T9= CuSO4 3:1	97,94	A B
T10= CuSO4 3.5:1	98,87	A
T11= H2O2 0.5:1	85,37	G H
T12= H2O2 1:1	97,23	A B
T13= H2O2 2:1	98,33	A B
T14= H2O2 3:1	99,84	A
T15= H2O2 3.5:1	99,92	A
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	83,47	H I
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	89,25	F G
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	93,55	D E
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,45	B C
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	98,23	A B
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	98,67	A
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,88	A
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	99,16	A
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,56	A
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,71	A
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	85,99	G H
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	90,75	F G
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	94,36	C D
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,84	B C
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,76	A B
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	98,07	A B
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,24	A B
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,67	A
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,32	A
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,69	A
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	85,85	G H
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	90,80	F G
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	94,48	C D
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	96,97	B C
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	98,48	A B
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	99,32	A
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	99,52	A
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	99,74	A
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	99,86	A
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	99,97	A

Anexo 4.4 Velocidad de descomposición de cianuros

4.4.1 Cinética de primer orden para la degradación de CN total

Código Tratamiento	Media X	Tiempo (min)	CN _T inicial [mg/l]	CN _T final [mg/l]	Eficiencia %	k ₁ [h ⁻¹]
T1= FeSO4 0.5:1	82,13	240,00	1541,00	275,42	82,13	1,722
T2= FeSO4 1:1	90,55	240,00	1541,00	145,63	90,55	2,359
T3= FeSO4 2:1	94,92	240,00	1541,00	78,35	94,92	2,979
T4= FeSO4 3:1	97,77	240,00	1541,00	34,38	97,77	3,803
T5= FeSO4 3.5:1	98,81	240,00	1541,00	18,32	98,81	4,432
T6= CuSO4 0.5:1	73,14	240,00	1541,00	413,85	73,14	1,315
T7= CuSO4 1:1	92,39	240,00	1541,00	117,34	92,39	2,575
T8= CuSO4 2:1	95,74	240,00	1541,00	65,66	95,74	3,156
T9= CuSO4 3:1	98,44	240,00	1541,00	24,11	98,44	4,158
T10= CuSO4 3.5:1	98,97	240,00	1541,00	15,82	98,97	4,579
T11= H2O2 0.5:1	86,46	240,00	1541,00	208,73	86,46	1,999
T12= H2O2 1:1	97,55	240,00	1541,00	37,76	97,55	3,709
T13= H2O2 2:1	98,24	240,00	1541,00	27,05	98,24	4,043
T14= H2O2 3:1	99,83	240,00	1541,00	2,65	99,83	6,364
T15= H2O2 3.5:1	99,91	240,00	1541,00	1,43	99,91	6,982
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	75,76	60,00	1541,00	373,47	75,76	1,417
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	84,25	60,00	1541,00	242,75	84,25	1,848
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	90,55	60,00	1541,00	145,65	90,55	2,359
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	94,80	60,00	1541,00	80,11	94,80	2,957
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,40	60,00	1541,00	40,05	97,40	3,650
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	97,84	60,00	1541,00	33,24	97,84	3,836
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,14	60,00	1541,00	28,59	98,14	3,987
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,35	60,00	1541,00	25,45	98,35	4,104
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	98,79	60,00	1541,00	18,58	98,79	4,418
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,46	60,00	1541,00	8,36	99,46	5,217
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	82,51	60,00	1541,00	269,48	82,51	1,744
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	88,46	60,00	1541,00	177,86	88,46	2,159
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	92,96	60,00	1541,00	108,49	92,96	2,654
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,06	60,00	1541,00	60,76	96,06	3,233
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,20	60,00	1541,00	43,14	97,20	3,576
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	97,87	60,00	1541,00	32,78	97,87	3,850
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,28	60,00	1541,00	26,55	98,28	4,061
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,52	60,00	1541,00	22,84	98,52	4,212
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,24	60,00	1541,00	11,65	99,24	4,885
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,65	60,00	1541,00	5,36	99,65	5,662
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	81,20	60,00	1541,00	289,64	81,20	1,672
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	87,78	60,00	1541,00	188,27	87,78	2,102
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	92,67	60,00	1541,00	112,96	92,67	2,613
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	95,97	60,00	1541,00	62,13	95,97	3,211
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	97,98	60,00	1541,00	31,06	97,98	3,904
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	99,09	60,00	1541,00	13,98	99,09	4,703
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	99,64	60,00	1541,00	5,59	99,64	5,619
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	99,87	60,00	1541,00	1,96	99,87	6,669
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	99,96	60,00	1541,00	0,59	99,96	7,873
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	99,99	60,00	1541,00	0,15	99,99	9,259

Anexo 4.4 Velocidad de descomposición de cianuros

4.4.2 Cinética de primer orden para la degradación de CN libre

Código Tratamiento	Media X	Tiempo (min)	CN _T inicial [mg/l]	CN _T final [mg/l]	Eficiencia %	k ₁ [h ⁻¹]
T1= FeSO4 0.5:1	75,85	240,00	1332,35	321,76	75,85	1,421
T2= FeSO4 1:1	91,57	240,00	1332,35	112,37	91,57	2,473
T3= FeSO4 2:1	94,11	240,00	1332,35	78,45	94,11	2,832
T4= FeSO4 3:1	98,39	240,00	1332,35	21,48	98,39	4,128
T5= FeSO4 3.5:1	98,95	240,00	1332,35	13,99	98,95	4,556
T6= CuSO4 0.5:1	75,79	240,00	1332,35	322,51	75,79	1,419
T7= CuSO4 1:1	94,59	240,00	1332,35	72,08	94,59	2,917
T8= CuSO4 2:1	95,69	240,00	1332,35	57,36	95,69	3,145
T9= CuSO4 3:1	97,94	240,00	1332,35	27,47	97,94	3,881
T10= CuSO4 3.5:1	98,87	240,00	1332,35	15,06	98,87	4,483
T11= H2O2 0.5:1	85,37	240,00	1332,35	194,87	85,37	1,922
T12= H2O2 1:1	97,23	240,00	1332,35	36,95	97,23	3,585
T13= H2O2 2:1	98,33	240,00	1332,35	22,28	98,33	4,091
T14= H2O2 3:1	99,84	240,00	1332,35	2,14	99,84	6,432
T15= H2O2 3.5:1	99,92	240,00	1332,35	1,10	99,92	7,099
T16= FeSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	83,47	60,00	1332,35	220,28	83,47	1,800
T17= FeSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	89,25	60,00	1332,35	143,18	89,25	2,231
T18= FeSO4/H2O2 2:1, 1:1	93,55	60,00	1332,35	85,91	93,55	2,741
T19= FeSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,45	60,00	1332,35	47,25	96,45	3,339
T20= FeSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	98,23	60,00	1332,35	23,62	98,23	4,032
T21= FeSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	98,67	60,00	1332,35	17,72	98,67	4,320
T22= FeSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,88	60,00	1332,35	14,88	98,88	4,494
T23= FeSO4/H2O2 3:1, 2:1	99,16	60,00	1332,35	11,16	99,16	4,782
T24= FeSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,56	60,00	1332,35	5,92	99,56	5,417
T25= FeSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,71	60,00	1332,35	3,85	99,71	5,848
T26= CuSO4/H2O2 2:1, 0.5:1	85,99	60,00	1332,35	186,71	85,99	1,965
T27= CuSO4/H2O2 3:1, 0.5:1	90,75	60,00	1332,35	123,23	90,75	2,381
T28= CuSO4/H2O2 2:1, 1:1	94,36	60,00	1332,35	75,17	94,36	2,875
T29= CuSO4/H2O2 3:1, 1:1	96,84	60,00	1332,35	42,09	96,84	3,455
T30= CuSO4/H2O2 2:1, 1.5:1	97,76	60,00	1332,35	29,89	97,76	3,797
T31= CuSO4/H2O2 3:1, 1.5:1	98,07	60,00	1332,35	25,70	98,07	3,948
T32= CuSO4/H2O2 2:1, 2:1	98,24	60,00	1332,35	23,39	98,24	4,042
T33= CuSO4/H2O2 3:1, 2:1	98,67	60,00	1332,35	17,78	98,67	4,317
T34= CuSO4/H2O2 2:1, 2.5:1	99,32	60,00	1332,35	9,07	99,32	4,990
T35= CuSO4/H2O2 3:1, 2.5:1	99,69	60,00	1332,35	4,17	99,69	5,767
T36= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 0.5:1	85,85	60,00	1332,35	188,51	85,85	1,956
T37= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 0.5:1	90,80	60,00	1332,35	122,53	90,80	2,386
T38= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1:1	94,48	60,00	1332,35	73,52	94,48	2,897
T39= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1:1	96,97	60,00	1332,35	40,43	96,97	3,495
T40= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 1.5:1	98,48	60,00	1332,35	20,22	98,48	4,188
T41= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 1.5:1	99,32	60,00	1332,35	9,10	99,32	4,987
T42= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2:1	99,52	60,00	1332,35	6,37	99,52	5,343
T43= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2:1	99,74	60,00	1332,35	3,50	99,74	5,941
T44= FeSO4/CuSO4/H2O2 1:1, 2:1, 2.5:1	99,86	60,00	1332,35	1,86	99,86	6,576
T45= FeSO4/CuSO4/H2O2 2:1, 3:1, 2.5:1	99,97	60,00	1332,35	0,46	99,97	7,962