

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“PROYECTO DE REMOCIÓN DE RESIDUALES DE CLORO, CLORAMINAS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE Y REDUCCIÓN DE SULFATOS PROVENIENTES DE SOLUCIONES DE PERMEADO Y CONCENTRADO DE OSMOSIS INVERSA”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

NELSON ALBERTO TEJEDA GUADALUPE

LIZ DIANA VILCAPOMA DE LA PEÑA

LIMA – PERÚ

Digitalizado por:

2014

DEDICATORIA DE LIZ DIANA

Dedico esta tesis a las personas importantes en mi vida a quienes quiero mucho, que siempre estuvieron de manera incondicional a ustedes:

A Dios.

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mi Madre.

Por estar pendiente de mi bienestar sacrificando sus prioridades, por sus consejos, por el amor que siempre me brinda.

A mi Padre.

A quien es un ejemplo de esfuerzo y superación en mi vida, motivándome a mejorar constantemente, brindándome todas las oportunidades para sobresalir y por las lecciones de vida que me enseñó.

DEDICATORIA DE NELSON ALBERTO

Dedicado a mi Madre que desde el cielo sabe guiarme, a mi Padre por el apoyo incansable para lograr este objetivo importante en mi vida, a mis hermanos por su apoyo incondicional en todo momento que lo necesité.

AGRADECIMIENTO DE LIZ DIANA

A mis hermanos Joseph y Vivian por ser parte de mi vida en nuestros juegos, pláticas y apoyo manifestados con un silencio o un consejo.

A la Universidad Nacional de Ingeniería que incentivó la pasión por la investigación.

A la Empresa Minera Yanacocha por darme las herramientas profesionales para destacar en un mundo competitivo.

AGRADECIMIENTO DE NELSON ALBERTO

A mis padres, a mis hermanos (Cesar, Carmen, Roxana, Jorge, Carlos y Marilyn), a mi cuñada Juana y mi cuñado Felipe y a toda mi familia por el apoyo hasta la culminación de la carrera.

A mis compañeros de aula por los grandes esfuerzos y momentos de alegrías vividos.

A mis compañeros de lucha de la UNI, hoy grandes profesionales que siguen forjando la solidaridad y el compañerismo.

A toda la Comunidad Universitaria (alumnos, docentes y trabajadores) por hacer de la UNI, la mejor universidad del País.

RESUMEN

Actualmente en la Empresa Minera se trata la solución barren con un contenido de cianuro wad de 30-100 ppm proveniente de la planta Merrill Crowe, vía proceso de membranas con Ósmosis Inversa, obteniendo como productos la solución permeada tratada por cloración para luego ser descargada al ambiente y la solución concentrada que circula en forma continua en un ciclo cerrado como parte del uso de agua en las operaciones del proceso.

Estas dos soluciones (permeado y concentrado) serán sometidas a tratamiento de aguas realizando pruebas a nivel Industrial con la finalidad de realizar un análisis teórico - experimental para mejorar la calidad de agua de descarga al medio ambiente y la calidad de agua en las operaciones del proceso.

La solución permeada con bajos contenidos de cianuro wad aproximadamente 15 – 30 ppm, es detoxificada mediante la oxidación de cianuro con cloro; en este proceso existe falta de control en el pH debido a la variabilidad de concentración de cianuro wad que se observa en la solución de alimentación (barren) y solución permeada, provocando la adición de cloro en exceso o por debajo del ratio requerido, ocasionando inestabilidad en la concentración de mercurio, generación de sub productos como son residuales de cloro, cloruro cianógeno y cloraminas en su poza final.

Se tiene la intención de realizar una reducción a la carga de cloro desde su almacenamiento, consumo y dosificación de este oxidante; buscando alternativas limpias eficientes al actual proceso de destrucción de cianuro con la finalidad de evitar la generación de los subproductos mencionados mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete. La Tecnología del Oxígeno Singlete usa el peróxido de hidrógeno en mayor proporción combinado con el cloro gaseoso para dar origen al Oxígeno Singlete, quien actúa con mayor velocidad de reacción que el peróxido de hidrógeno solo.

La solución concentrada presenta un incremento en los valores de sulfatos en las soluciones barren de las plantas de Merrill Crowe siendo el incremento más pronunciado desde el año 2004. Este incremento es debido principalmente al inicio operativo de la lixiviación de minerales transicionales y a la recirculación de solución concentrado del proceso de ósmosis inversa hacia la pila de lixiviación. Este incremento de sulfatos en la solución trae consigo problemas de saturación rápida dentro de las membranas de ósmosis inversa por haber ya superado el límite de diseño de 1800 ppm, causando daños irreversibles a estas, tratándose la solución concentrada en la Planta Convencional para recuperar los sulfatos con la máxima eficiencia y descargar al CCD #3 (lixiviación en un circuito en contra corriente) aprovechando su alto contenido de cianuro en la planta de molienda.

ÍNDICE

Resumen.....	iv
Índice.....	vi
Lista de tablas.....	xiv
Lista de figuras.....	xv

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 CIANUROS.....	1
1.1.1 Característica.....	3
1.1.2 Toxicidad.....	3
1.1.3 Límite Máximo Permisible.....	4
1.2 CLORO.....	4
1.2.1 Característica.....	4
1.2.2 Fabricación del Gas Cloro.....	5
1.2.3 Toxicidad del Cloro.....	5
1.2.4 Aplicaciones del Cloro.....	5
1.3 CLORAMINA.....	6
1.3.1 Origen.....	6
1.3.2 Producción de Cloraminas.....	6

1.3.3 Toxicidad de la Cloramina.....	8
1.4 PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.....	9
1.4.1 Producción de Peróxidos.....	9
1.4.2 Propiedades Físicas.....	9
1.4.3 Propiedades Químicas.....	9
1.4.4 Aplicaciones del Peróxido.....	10
1.5 OXÍGENO SINGLETE.....	11
1.5.1 Fuentes de generación.....	12
1.5.1.1 Biológicas.....	12
1.5.1.2 Peroxidación lípidica.....	12
1.5.1.3 Reacción de Haber – Weiss.....	12
1.5.2 Métodos de Generación.....	13
1.5.2.1 Métodos Químicos.....	13
1.5.2.2 Métodos Físicos.....	13
1.6 SULFATOS.....	14
1.7 NUCLEACIÓN.....	14
1.8 ÓSMOSIS INVERSA.....	14
1.9 COAGULANTE Y FLOCULANTE.....	15

CAPITULO II**PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ORO EN LA EMPRESA
MINERA**

2.1 PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS.....	16
2.1.1 Lixiviación.....	16
2.1.2 Geomembranas.....	16
2.1.3 Estructura bajo la Geomembrana.....	16
2.2 PROCESO GOLD MILL.....	17
2.3 PROCESO EN COLUMNAS DE CARBÓN ACTIVADO.....	17
2.3.1 Adsorción.....	17
2.3.2 Desorción.....	17
2.4 PROCESO MERRILL CROWE.....	18
2.4.1 Clarificación.....	18
2.4.2 Deareación.....	18
2.4.3 Precipitación.....	19
2.4.3.1 Etapas de la Precipitación.....	20
2.5 FUNDICIÓN.....	20

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y DELIMITACIÓN DE OBJETIVOS

3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
3.2 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	22
3.3 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.	24
3.4 OBJETIVOS.....	25

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1 QUÍMICA DEL CIANURO.....	26
4.1.1 Análisis y Monitoreo del Cianuro	28
4.1.2 Tecnologías de degradación del Cianuro.....	28
4.1.2.1 Tecnología de degradación natural.....	28
4.1.2.2 Tecnología de degradación de cianuro con clorinación.....	
alcalina.....	29
4.1.2.3 Tecnología de degradación de cianuro con peróxido.....	
de hidrógeno.....	31
4.1.2.4 Oxidación de Cianuro vía Oxígeno Singlete (O°).....	32
4.2 QUÍMICA DE LA CLORAMINA.....	33
4.2.1 Formación de la cloramina.....	33

5.2.2.1 Destrucción de Cianuro con Cloro en la solución permeada..	49
5.2.2.2 Variables de estudio que influyen en el permeado.....	52
5.2.2.3 Variables de estudio que influyen en el tanque de cloración..	53
5.2.2.4 Variables de estudio que influyen en el Buffer Pond (Poza Amortiguadora).....	59
5.2.2.5 Formación de Cloraminas.....	62
5.2.3 Solución de Concentrado.....	69
5.3 PROPUESTA DE MEJORA.....	72
5.3.1 Remoción de residuales de Cloro, Cloraminas mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete en el tratamiento de la solución de permeado..	72
5.3.1.1 Variables de estudio que influyen en el tratamiento de la solución de permeado mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete.....	76
5.3.1.2 Variables de estudio que influyen en la salida del tanque de reacción en el tratamiento de la solución permeada mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete.....	88
5.3.1.3 Variables de estudio que influyen en el Buffer Pond mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete.....	90
5.3.1.4 Flujo de solución tratado derivado a Pozas de Menores Eventos.....	92

5.3.2 Reducción de sulfatos en el tratamiento de la solución concentrada..97

5.3.2.1 Variables de operación en el tratamiento de la solución

Concentrada.....99

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 COSTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN SOLUCIÓN DE PERMEADO USANDO EL MÉTODO OXÍGENO SINGLETE.....	109
6.2 COSTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN LA SOLUCIÓN DE CONCENTRADO REALIZANDO EL PROYECTO DE REDUCCIÓN DE SULFATOS.....	115

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.....	116
7.1.1 Remoción de residuales de cloro, cloraminas mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete en el tratamiento de la solución de permeado	116
7.1.2 Reducción de sulfatos en el tratamiento de la solución concentrada....	117

7.2 RECOMENDACIONES.....118

7.2.1 Remoción de residuales de cloro, cloraminas mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete en el tratamiento de la solución de permeado....
.....118

7.2.2 Reducción de sulfatos en el tratamiento de la solución concentrada....
.....118

CAPITULO VIII

8.0 REFERENCIAS.....119

CAPITULO IX

ANEXOS

ANEXO A: Fotos de implementación de los proyectos de mejora.

ANEXO B: Otras formas de degradación de cianuro.

ANEXO C: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua D.S.

N° 002 – 2008 MINAM

ANEXO D: Cloramina Normativa de New Jersey

ANEXO E: MSDS del Peróxido de Hidrógeno al 50 % empresa PROQUIMSA

ANEXO F: Manejo de Cianuro.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Información Física y Química del H₂O₂ al 50%.

Tabla 2: Límites Máximos de Calidad de la Solución Barren.

Tabla 3: Límites de Calidad de la Solución Barren a Planta de Ósmosis Inversa.

Tabla 4: Porcentaje de Cloro Molecular, Ácido Hipocloroso, e Ión OCl⁻ en una Solución de Agua Tamponada de pH 6-9 a 20 °C.

Tabla 5: Concentración de Mercurio, Cloro libre y ORP en la variación del pH.

Tabla 6: Parámetros Operativos.

Tabla 7: Formación de compuestos de cloramina en función del pH.

Tabla 8: Comparación de velocidad de reacción entre H₂O₂, H₂O₂/Cloro y Cloro.

Tabla 9: Efecto del pH en la estabilidad del Cloruro de Cianógeno.

Tabla 10: Concentración de formación de Cloraminas.

Tabla 11: Comparación entre la concentración de Cloro libre por los métodos de Oxígeno Singlete y Cloración.

Tabla 12: Reducción del consumo de Cloro.

Tabla 13: Flujo de agua tratada, descarga al Buffer Pond y derivada a Poza de Menores Eventos.

Tabla 14: Resultados de las Pruebas a Nivel Industrial por el Método del Oxígeno Singlete.

Tabla 15: Parámetros Operativos en el Proceso de Reducción de Sulfatos.

Tabla 16: Parámetros Operativos en el flujo, densidad y pH del concentrado.

Tabla 17: Parámetros Operativos del FeCl_3 .

Tabla 18: Parámetros Operativos del Floculante.

Tabla 19: Resultados de las Pruebas a Nivel Industrial del Proyecto Reducción de Sulfatos.

Tabla 20: Límites Máximos Permisibles al Descargar Agua Tratada.

Tabla 21: Comparación de costos entre los métodos Oxígeno Singlete y Cloración.

Tabla 22: Costo de Tratamiento Proyectado por Cloración.

Tabla 23: Costo de Tratamiento Proyectado en el uso del método del Oxígeno Singlete.

Tabla 24: Costo de tratamiento del concentrado.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Vista microscópica de los cristales del cianuro en formación.

Figura 2: Estructura de la Cloramina.

Figura 3: Formación de los tipos de Cloraminas según su concentración.

Figura 4: Diagrama de distribución de Cloraminas según pH.

Figura 5: Proceso de Ósmosis Inversa.

Figura 6: PAD de Lixiviación.

Figura 7: Planta de Procesamiento de Minerales.

Figura 8: Columnas de Carbón Activado.

Figura 9: Clarificadores.

Figura 10: Torre de vacío.

Figura 11: Horno de Fundición.

Figura 12: Clasificación del Cianuro.

Figura 13: Concentraciones en equilibrio a 20°C de CN^- y de HCN en función del pH.

Figura 14: Esquema de Generación de Oxígeno Singlete.

Figura 15: Diagrama de flujo del Proceso Merrill Crowe.

Figura 16: Análisis ICP en la Solución Barren.

Figura 17: Elementos de Operación de la Planta de Ósmosis Inversa.

Figura 18: Diagrama de Flujo de la Planta de Ósmosis Inversa.

Figura 19: Fuerza de Cianuro en el Barren.

Figura 20: Influencia de la Fuerza de Cianuro en el pH.

Figura 21: Concentración del Mercurio en el Barren.

Figura 22: Reducción del ácido hipocloroso en función del pH.

Figura 23: Efecto de la Fuerza de Cianuro del Permeado en el ORP.

Figura 24: Concentración de Mercurio en el Permeado.

Figura 25: Efecto de la Fuerza de Cianuro y pH en el Tanque de Cloración.

Figura 26: Efecto del pH y Fuerza de Cianuro en la Adición de Cloro.

Figura 27: Efecto del pH en el Mercurio.

Figura 28: Influencia del pH en la Concentración de Mercurio.

Figura 29: Comparación entre la concentración de Mercurio del Permeado y tanque de cloración.

Figura 30: Concentración de Mercurio en la salida del tanque de Cloración.

Figura 31: Efecto del pH en el Cianuro wad.

Figura 32: Concentración de Cianuro wad en la salida del Tanque de Cloración

Figura 33: Efecto del pH en el cloro libre.

Figura 34: Concentración de Cloro libre en la salida del Tanque de Cloración.

Figura 35: Concentración de Mercurio en el Buffer Pond.

Figura 36: Concentración de Cianuro wad en el Buffer Pond.

Figura 37: Concentración de Cloro libre en el Buffer Pond.

Figura 38: Flujo Tratado Derivado a Pozas de Menores Eventos.

Figura 39: Contenido de Amoniacó en el Barren.

Figura 40: Concentración de Amoniacó y Cloro en la descarga RO (en meses).

Figura 41: Concentración de Amoniacó y Cloro en la descarga RO (en horas).

Figura 42: Concentración de Cloramina y Cloro en la descarga RO.

Figura 43: Concentración de Amoniacó y Cloramina en la descarga RO.

Figura 44: Esquema de planta de detoxificación de cianuro por cloración.

Figura 45: Incremento de valores de sulfatos.

Figura 46. Esquema del recorrido de la solución concentrada.

Figura 47: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua.

Figura 48: Diagrama de flujo del tratamiento de aguas usando la Tecnología del Oxígeno Singlete.

Figura 49: Comparación de velocidad de reacción entre H_2O_2 , $H_2O_2/Cloro$ y Cloro.

Figura 50: Ratio Óptimo de Dosificación en la Destrucción de Cianuro Wad.

Figura 51: Efecto del pH en la estabilidad del Cloruro de Cianógeno.

Figura 52: Efecto del pH en la Concentración de Mercurio.

Figura 53: Comparación entre el mercurio del permeado y el mercurio residual.

Figura 54: Cloraminas formadas y no formadas con respecto a la adición del ión hipoclorito.

Figura 55: Comparación entre Cloraminas formadas y no formadas.

Figura 56: Inhibición de formación de Cloraminas.

Figura 57: Comparación entre la concentración de cloro libre por los métodos de Oxígeno Singlete y Cloración.

Figura 58: Concentración de cloro libre.

Figura 59: Influencia del flujo de ingreso solución barren en el Ratio de dosificación H_2O_2 /cloro.

Figura 60: Dosificación de Peróxido de Hidrógeno y cloro

Figura 61: Comparación entre el consumo de Peróxido de Hidrógeno y Cloro.

Figura 62: Concentración del Cianuro wad en la salida del tanque.

Figura 63: Concentración del mercurio en la salida del tanque.

Figura 64: Comparación entre la concentración de Mercurio del Permeado y Mercurio Residual.

Figura 65: Concentración de Cloro libre en la salida del tanque.

Figura 66: Concentración de Mercurio en el Buffer Pond.

Figura 67: Concentración de Cianuro wad en el Buffer Pond.

Figura 68: Concentración de Cloro libre en el Buffer Pond.

Figura 69: pH en el Buffer Pond.

Figura 70: Reducción de flujo de solución tratado derivado a Pozas de Menores Eventos.

Figura 71: Flujo de agua tratada, descarga al Buffer Pond y derivada a Poza de Menores Eventos.

Figura 72: Diagrama de flujo del proceso Reducción de Sulfatos

Figura 73: Flujo de Concentrado

Figura 74: pH en el Tanque N° 1

Figura 75: Concentración de sulfatos en la alimentación y descarga

Figura 76: Sólidos disueltos totales en la alimentación y descarga

Figura 77: Dosificación de cloruro férrico

Figura 78: Dosificación de Floculante

Figura 79: Influencia del porcentaje de sólidos del reactor en la reducción de sulfatos.

Figura 80: Recuperación de sulfatos

Figura 81: Comparación de costos entre los métodos Oxígeno Singlete y Cloración.

Figura 82: Comparación de costos proyectado.

Figura 83: Cantidad de oxidantes proyectado.

Figura 84: Corte de las tuberías para implementar la línea de peróxido de hidrógeno.

Figura 85: Empalmando la línea de peróxido de hidrógeno.

Figura 86: Conexión de la tubería en el tanque de cloración.

Figura 87: Conexión del forro de seguridad en la línea del peróxido de hidrógeno.

Figura 88: Instalación del hoover (peróxido de hidrógeno al 50 %).

Figura 89: Se usa un montacarga en el transporte del hoover con el debido uso del equipo de protección de seguridad.

Figura 90: La solución remanente se adiciona al hoover nuevo.

Figura 91: Se enciende el equipo.

Figura 92: Limpieza y mantenimiento del reactor clarificador.

Figura 93: Funcionamiento del reactor clarificador.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 CIANURO

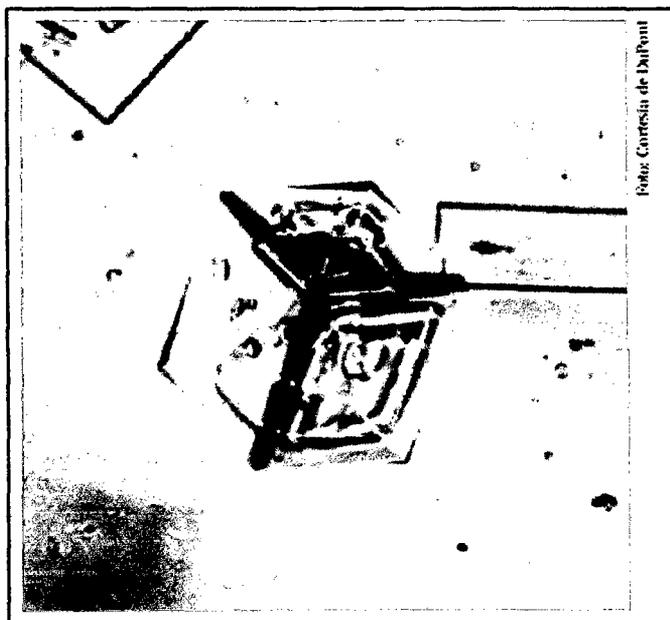
Cianuro, es el termino general con el que se nombra a una familia de compuestos químicos inorgánicos que se caracterizan por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace triple ($C \equiv N$). En los compuestos orgánicos que contienen este grupo se les denomina nitrilos según la nomenclatura IUPAC. Puede formar parte de moléculas de gas como el Ácido cianhídrico (HCN), el cloruro de cianógeno (CNCl), el bromuro de cianógeno (CNBr) o encontrarse en complejos cristalinos tetraédricos como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN). Es utilizado en el ámbito industrial, minero, en la galvanoplastia de electrodeposición de zinc, oro, cobre y especialmente plata y de uso en la producción de plásticos de base acrílica. Es muy tóxico, potencialmente letal. El cianuro es una sustancia clave en la vida de la Tierra (el ácido cianhídrico es una sustancia precursora de los aminoácidos). Se produce naturalmente en diversos microorganismos, bacterias, hongos, insectos, plantas y algas en bajas concentraciones proveniente de más de 2000 fuentes de la naturaleza.

De forma cotidiana puede encontrarse en los alimentos que consumimos y en los productos que utilizamos. Las frutas con semilla grande contienen pequeñas cantidades de cianuro de hidrógeno como el aguacate, las manzanas, café, la mandioca y en otros vegetales y leguminosas como las almendras, lentejas, brócoli, espinaca, maíz, damascos, duraznos, cerezas, cacahuates, papas y

nueces. El cianuro también está contenido en los cigarrillos y ocurre como un producto de combustión de materiales como los plásticos y las gasolinas.

De hecho en el organismo humano se encuentra el cianuro como componente y cada persona tiene en su orina un promedio de 0,3 partes por millón de cianuro; esta concentración podría incrementar hasta 0,8 partes por millón si la persona fumara. (1)

Por la elevada capacidad complejante que posee el ión cianuro es capaz de formar compuestos estables con casi cualquier metal pesado en bajas concentraciones, a la vez que sus compuestos pueden fijar sustancias químicas que se encuentran tanto presentes en la naturaleza como producidas por el hombre.



Fuente: Empresa Dupoint

Figura 1. Vista microscópica de los cristales del cianuro en formación

1.1.1 CARACTERÍSTICAS

Se describe con un olor fuerte a castañas o almendras amargas, pero no siempre emana olor y no todas las personas pueden detectarlo, está comprobado que la capacidad de detectarlo está en un gen recesivo asociado al cromosoma X femenino. Además el límite de detección del olor es muy cercano a la concentración donde comienza a ser tóxico.

1.1.2 TOXICIDAD DEL CIANURO

Para las plantas y los animales, el cianuro es extremadamente tóxico. Derrames de cianuro pueden matar la vegetación e impactar la fotosíntesis y las capacidades reproductivas de las plantas. En cuanto a los animales, el cianuro puede ser absorbido a través de la piel, ingerido o aspirado. Concentraciones en el aire de 200 partes por millón (ppm) de cianuro de hidrógeno son letales para los animales, mientras que concentraciones tan bajas como 0,1 miligramos por litro (mg/l) son letales para especies acuáticas sensibles.

Concentraciones subletales también afectan los sistemas reproductivos, tanto de los animales como de las plantas.

Las dosis letales para humanos son, en caso de que sean ingeridas, de 1 a 3 mg/kg del peso corporal, en caso de ser asimilados, de 100-300 mg/kg, y de 100-300 ppm si son aspirados causando la muerte de 10 a 60 minutos, teniendo en cuenta que cuanto más alta la concentración más rápido se produce la muerte. Esto significa que una porción de cianuro más pequeña que un grano de arroz sería suficiente para matar a un adulto. La exposición a largo plazo a una dosis subletal podría ocasionar dolores de cabeza, pérdida del apetito, debilidad, náuseas, vértigo e irritación de los ojos y del sistema respiratorio. Hay que tener mucho cuidado al manejar el cianuro, para efectos de prevenir el contacto dañino de parte de los trabajadores.

Los trabajadores mineros suelen tener contacto con el cianuro, sobre todo durante la preparación de la solución de cianuro y la recuperación del oro de la

solución. Para los trabajadores mineros, los riesgos son el polvo de cianuro, los vapores de cianuro (HCN) en el aire provenientes de la solución de cianuro y el contacto de la solución de cianuro con la piel. (2)

1.1.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL CIANURO.

Las cantidades de cianuro permitidas en los países presentan una alta variabilidad. Según el valor de 0,07 mg/L recomendado por la OMS el 44,44 % de los países permite concentraciones mayores a esta que alcanzan un máximo de 0,2 mg/L, entre estos se encuentran Canadá, Estados Unidos, Chile, Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y Uruguay. Por el contrario, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua, República Dominicana y Panamá establecen límites inferiores a los de la OMS que oscilan entre 0,001 y 0,05 mg/L, para un total del 27,77 %. Finalmente el 27,77 % restante de los países adoptan la recomendación de la OMS, estos son México, Guatemala, Bolivia, Perú y Venezuela. (3)

1.2 CLORO

Es un gas tóxico reactivo de color amarillo verdoso, que debe manejarse con mucho cuidado. Aun cuando es el vigésimo elemento más abundante en las rocas de la corteza terrestre, hay grandes cantidades de iones cloruros en los océanos (1,9% de su masa). (4)

1.2.1 CARACTERÍSTICAS

En la naturaleza no se encuentra en estado puro ya que reacciona muy rápidamente con otros elementos y compuestos químicos, por esta razón se encuentra formando parte de cloruros (especialmente en forma de cloruro de sodio), cloritos y cloratos, en las minas de sal y disuelto en el agua de mar.

1.2.2 FABRICACIÓN DEL GAS CLORO

- Se obtiene de la sal común (NaCl), la sal se obtiene o bien de minas o bien de salinas (obtención de sal marina). Además el porcentaje de cloro en la sal es del 60%.
- Obtención del cloro por electrólisis, se aplica a la solución salina una corriente eléctrica continua y se obtiene cloro, hidrógeno y sosa cáustica (o hidróxido de sodio). Siendo uno de los procedimientos industriales más usados en el aprovechamiento de los productos originados en su electrólisis del NaCl: Cloro, Hidrógeno, Soda Cáustica, Hipocloritos, etc.
- El cloruro de sodio (NaCl) en disolución acuosa está ionizado dando:



1.2.3 TOXICIDAD DEL CLORO

El cloro gas, causa severa irritación de la piel, ojos, mucosa de la boca, nariz y garganta. A más larga exposición al gas o a mayor concentración, más serios son los efectos. El cloro es particularmente irritante a las personas que sufren de asma y ciertos tipos de bronquitis crónica. Tales personas mostrarán síntomas más severos antes que otros.

1.2.4 APLICACIONES DEL CLORO

- El cloro es usado extensivamente en química orgánica y química inorgánica como un agente oxidante.
- Las compañías papeleras utilizan cloro para blanquear el papel.
- Las plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales utilizan cloro para reducir los niveles de microorganismos que pueden propagar enfermedades entre los humanos (desinfección).
- El cloro es usado en la manufactura de numerosos compuestos orgánicos clorados, siendo los más significativos en términos de volumen de

producción el 1,2-dicloroetano y el cloruro de vinilo, intermediarios en la producción del PVC.

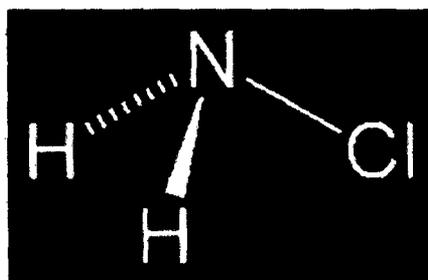
1.3 CLORAMINAS

1.3.1 ORIGEN

Las cloraminas se forman mediante la reacción del cloro (Cl_2) y amoníaco (NH_3). Las cloraminas son aminas que contienen al menos un átomo de cloro, directamente unido a átomos de nitrógeno (N). Las cloraminas inorgánicas se forman cuando el cloro disuelto y amonio reaccionan. Durante esta reacción se forman tres tipos diferentes de cloraminas; monocloraminas (NH_2Cl), dicloraminas (NHC_2) y tricloramina (NCl_3).

Cloraminas inorgánicas, cloro libre y cloraminas orgánicas están relacionadas en cuanto a su composición química y pueden transformarse entre ellas con facilidad. Estos compuestos no se encuentran de manera aislada.

Cloraminas inorgánicas no son persistentes, pero son más persistentes que los compuestos libres de cloro.



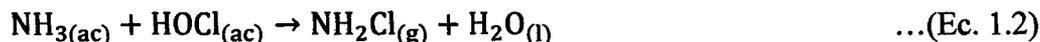
Fuente: Empresa Innova

Figura 2. Estructura de la cloramina

1.3.2 PRODUCCIÓN DE CLORAMINAS

Las cloraminas son producidas normalmente mediante la adición de amonio al agua tratada que contiene cloro libre (HOCl u OCl , dependiendo del pH). El pH ideal para esta reacción es de 8,4; agua tratada ligeramente alcalina.

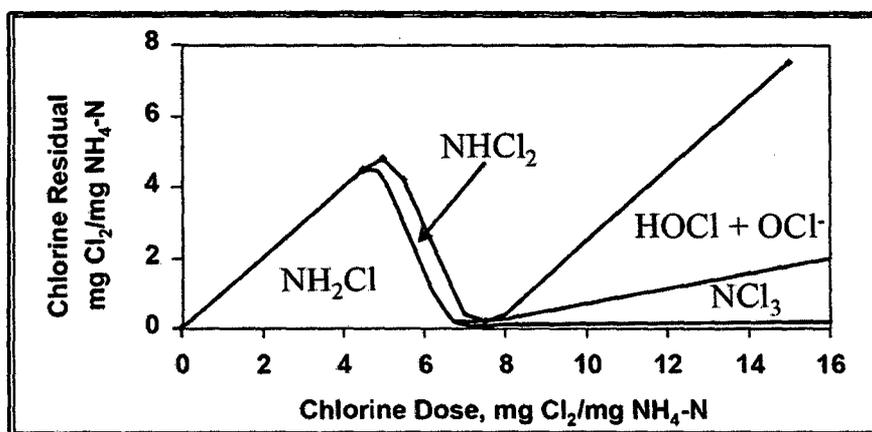
Mecanismo de reacción:



Cuando se produce la reacción se pueden formar tres tipos de cloraminas inorgánicas diferentes dependiendo del valor del pH.

Las tricloraminas se forman normalmente cuando los valores del pH son de 3 o menor, cuando el valor del pH es de 7 o por encima de este valor, la concentración de dicloraminas es mayor. La cantidad de cloro y amonio en el agua tratada también influye en la generación de cloraminas.

El ratio cloro/ amonio ideal es de 6:1. Durante la producción de cloraminas este rango es normalmente entre 3-5:1. Cuando la cantidad de amonio es mayor, se suelen formar más di y tricloraminas.



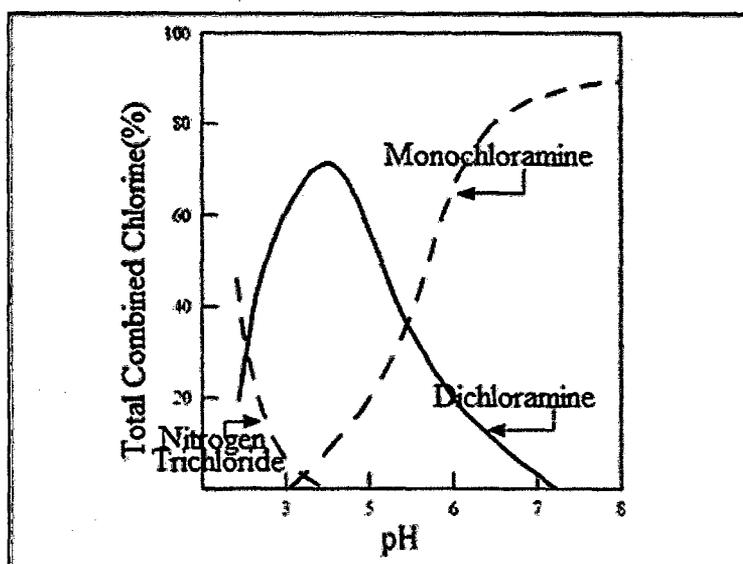
Fuente: EPA Guidance Manual.

Figura 3. Formación de los tipos de cloraminas según su concentración

Como resultado y debido al bajo peso molecular, las cloraminas y principalmente las monocloraminas, son difíciles de eliminar del agua tratada por medio de ósmosis inversa. Las sustancias para la eliminación del cloro no

se pueden utilizar en la eliminación de cloraminas. La luz del sol y aireación puede ayudar a la eliminación de cloraminas.

Las cloraminas pueden eliminarse mediante la utilización de un carbón granular activo o ácido acético.



Fuente: EPA Guidance Manual.

Figura 4. Diagrama de distribución de cloraminas según pH

1.3.3 TOXICIDAD DE LA CLORAMINA

La exposición a la Cloramina puede causar los siguientes efectos:

- El contacto a la Cloramina puede irritar la piel y los ojos.
- Respirar Cloramina puede irritar la nariz y la garganta.
- Respirar Cloramina puede irritar los pulmones causando tos o falta de aire. A nivel muy alto de exposición puede causar acumulación de líquido en los pulmones (edema pulmonar) que es una emergencia médica por una intensa falta de aire.

1.4 PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

Se le conoce comúnmente como agua oxigenada, dióxido de hidrógeno, óxido de hidrógeno y perhidrol. Es una sustancia química muy reactiva compuesta por Hidrógeno y Oxígeno (H_2O_2).

1.4.1 PRODUCCIÓN:

El peróxido de hidrógeno puede sintetizarse mediante el proceso cíclico de la antraquinona o bien mediante síntesis catalítica directa de oxígeno e hidrógeno. Esta última vía tiene el problema de que las mezclas de estos dos gases son explosivas en amplios márgenes de composición. El proceso cíclico consta de varias fases (Hidrogenación, oxidación y extracción) en la cual la quinona disuelta en disolventes orgánicos reacciona primero con el hidrógeno y luego con el oxígeno del aire. Entre los fabricantes más importantes a nivel mundial se tienen Solvay Chemical, FMC, Dgussa entre otros.

1.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

El peróxido de hidrógeno es más denso que el agua pero es miscible en agua en todas las proporciones. Las soluciones acuosas del peróxido de hidrógeno se parecen al agua (incoloras) pero tiene un olor picante, débil. Es un líquido no combustible, pero el calor y el oxígeno liberados durante la descomposición pueden inflamar los materiales combustibles.

1.4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

Posee carácter oxidante frente a muchos compuestos orgánicos e inorgánicos. Sin embargo cuando se usa con oxidantes más fuertes, puede actuar como un agente reductor. El subproducto principal del peróxido es el agua. El peróxido de hidrógeno es aplicado en muchas industrias como oxidante, porque no generan residuos peligrosos.

Tabla 1
 Información Física y Química del H₂O₂ al 50%

Estado de agregación	Líquido incoloro
Olor	Acre
Gravedad específica 20°C	1,2
Presión de vapor mmHg a 30°C	18
Solubilidad en agua %peso a 20°C	Completa
Punto de descomposición °C	120
Punto de congelación °C	-51,2
Punto de ebullición, °C a 760 mmHg	114

Fuente: Empresa Proquimsa

1.4.4 APLICACIONES DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

En la actualidad el peróxido de hidrógeno tiene diversas aplicaciones según su concentración, como las que presentamos a continuación:

- **Uso doméstico o casero:** debe usarse siempre en concentraciones máximas del 3% (10 volúmenes: 97% de agua y 3% de peróxido de hidrógeno). Su uso en casa es variado, desde limpieza general, quitamanchas o aplicada a heridas o a los pies para evitar problemas de hongos.
- **Depuración de aguas:** como agente oxidante en la eliminación de compuestos químicos (Reducción DQO), de metales y de contaminantes específicos.
- **Estética:** se puede usar como decolorante del bello corporal, cejas y pestañas o para eliminar las manchas de la nicotina en las uñas, aunque siempre es aconsejable utilizar productos específicos para ese fin, porque el agua oxigenada puede producir daños al cuero cabelludo.
- **Uso medicinal y terapéutico:** se usa como antiséptico, antibacteriano y hemostático (disoluciones de menos de 10 volúmenes). Aunque su uso ha

descendido por otros productos sustitutivos, todavía se usa en muchos hospitales. Gracias a sus efectos oxidantes produce OH y radicales libres que atacan una amplia variedad de compuestos orgánicos (la enzima catalasa presente en los tejidos degrada rápidamente el peróxido de hidrógeno, produciendo oxígeno, que dificulta la germinación de esporas anaerobias). También se utiliza en dermo aplicaciones como la limpieza de dentaduras y desinfección bucal. El peróxido de hidrógeno es el componente blanqueador de los productos de blanqueamiento dental.

- **Industria alimenticia:** se usa mucho para blanquear pollos, carnes, quesos y huesos. Además se utiliza en el proceso para la elaboración de aceites vegetales. El agua oxigenada se ha utilizado también como agente bactericida en algunos productos, como la leche o derivados del pescado. Se descompone rápidamente y no llega a ingerirse como tal, por lo que no presenta riesgo de toxicidad.
- **Industria Química:** utilización como reactivo y en la elaboración de fármacos, así como productos para blanqueos dentales.
- **Industria Papelera y Textil:** blanqueo de la pulpa de papel, algodón, telas, y en general como sustituto del cloro.
- **Industria Aeroespacial:** es utilizado como combustible de cohetes. Se usa a una concentración del 90%, y es extremadamente puro.
- **Industria Metalúrgica:** para decapado, pulido y abrillantado. Es un sustituto de la úrea.

1.5 OXÍGENO SINGLETE ($^1\text{O}_2$)

El oxígeno molecular singlete u oxígeno singlete, es el nombre común utilizado para las formas energéticamente excitadas del oxígeno molecular (O_2), con dos electrones apareados en los orbitales de energía más alta (orbital antienlazante), $\pi^* 2p$. Es menos estable que el oxígeno triplete normal, $3\Sigma_g^-$, conteniendo una energía adicional de 22 kcal/mol. Debido a sus propiedades inusuales, el

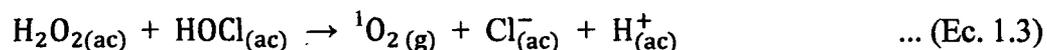
oxígeno singlete puede persistir durante más de una hora a temperatura ambiente, en función del entorno. Los dos estados singletes metaestables derivados de la configuración del estado fundamental son $^1\Delta_g$ y $^1\Sigma_g^-$. (5)

1.5.1 FUENTES DE GENERACIÓN

El oxígeno singlete puede generarse de la siguiente manera:

1.5.1.1 BIOLÓGICAS

Se inicia con el metabolismo de la respiración que desencadena una reacción entre el NADPH y el 3O_2 en presencia de NADPH oxidasa, de la cual se obtiene ácido hipoclorito, peróxidos y oxígeno singlete.

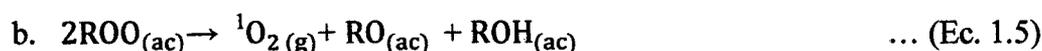
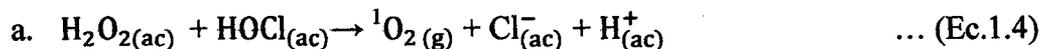


1.5.1.2 PEROXIDACIÓN LÍPIDICA

En la membrana celular a través de la desproporción de radicales peroxil orgánicos.

1.5.1.3 REACCIÓN DE HABER-WEISS

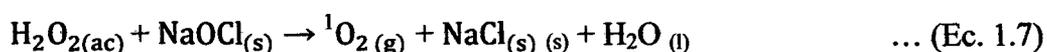
Al generar el ión superóxido (O_2^-), el cual suministra los electrones para la reducción de peróxidos como evidencia espectroscópica, la emisión de 1268 nm de la mezcla de O_2 y H_2O_2 , para la reacción, se hace suponer que como producto primario se forma 1O_2 in vitro. (6)



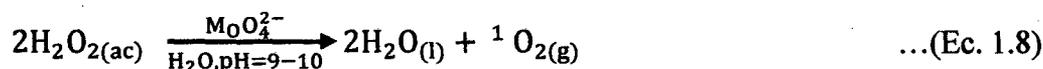
1.5.2 MÉTODOS DE GENERACIÓN

1.5.2.1 MÉTODOS QUÍMICOS

Se puede generar oxígeno singlete en la reacción de hipoclorito sódico con peróxidos la cual es una reacción quimiluminiscente exotérmica.



Así mismo se da la descomposición del peróxido de hidrógeno con iones molibdato (MoO_4^{2-}) y con iones tungstato (WO_4^{2-}) pueden generar ${}^1\text{O}_2$. Este tipo de reacción, a pesar de no requerir una fuente lumínica, ni equipos fotoquímicos para la oxidación de sustratos orgánicos con el ${}^1\text{O}_2$, presenta la desventaja de originar bajos rendimientos por la poca solubilidad de los sustratos y el corto tiempo de vida media del ${}^1\text{O}_2$ en estos medios acuosos. (7)



Descomposición del peróxido de hidrógeno con iones molibdato.

Los ozónidos como el trifenil fosfina – ozónido y el 1 - fosfa - 2,8,9 – trioxa-adamantano ozónido, pueden por descomposición espontánea producir fosfato y oxígeno singlete en diclorometano como solvente.

1.5.2.2 MÉTODOS FÍSICOS

Fotosensibilización

La generación de oxígeno singlete por fotosensibilización implica la transferencia de energía desde el estado triplete excitado de un sensibilizador al estado basal triplete de la molécula de oxígeno. El estado triplete excitado del sensibilizador se produce por la absorción de energía radiante. (8)

La generación fotofísica de oxígeno singlete es un método simple y controlable para la producción, requiriendo solo oxígeno en su estado basal triplete, luz de

una apropiada longitud de onda y un fotosensibilizador capaz de absorber y usar energía para excitar el oxígeno a su estado singlete.(9)

La excitación del sensibilizador es generalmente atribuida por la transición entre su estado basal (S_0) y su estado singlete excitado (S_1). La relajación del estado (S_1) produce el entrecruzamiento del sistema.

1.6 SULFATOS

Son las sales o los esteres del ácido sulfúrico. Contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno. Las sales de sulfato contienen el anión SO_4^{-2} , en la naturaleza se encuentra como sulfato de calcio hidratado o yeso.

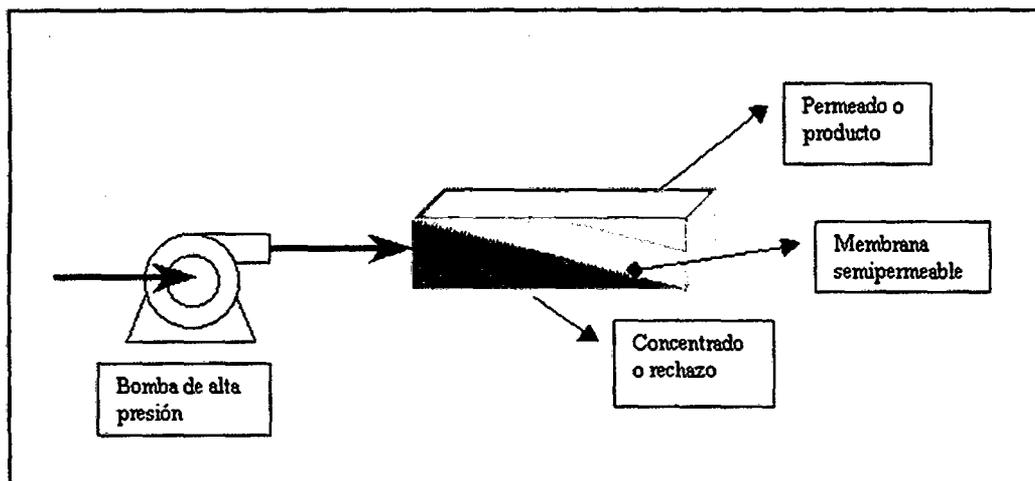
1.7 NUCLEACIÓN

La nucleación es el comienzo de un cambio de estado en una región pequeña pero estable. En la precipitación de sulfatos se busca el proceso de formación de cristales de sulfato de calcio a partir de la sobresaturación con calcio de una solución con contenido de sulfatos. Los sólidos actúan como núcleos, favoreciendo el proceso de la nucleación.

1.8 ÓSMOSIS INVERSA

Proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable, desde una solución más concentrada en sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión. El Objetivo de la Ósmosis Inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua con gran cantidad de sales como puede ser el agua de mar. De hecho una de las grandes aplicaciones de la Ósmosis Inversa es obtener agua potable partiendo del agua de mar con la escasez de agua originada por el desarrollo humano este proceso se ha vuelto más rentable.

A nivel industrial, la Ósmosis Inversa es un proceso continuo que siempre tiene tres flujos: 01 de entrada (Alimentación) y 02 de salida (Permeado y Concentrado).



Fuente: Empresa Innova

Figura 5. Proceso de ósmosis inversa

1.9 COAGULANTE Y FLOCULANTE

En química de aguas, un coagulante son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales, favoreciendo su separación por medio de sedimentación. El cloruro férrico es uno de los floculantes más conocidos y utilizados en la industria minera.

En cambio un floculante es una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación. Por ejemplo el alumbre, que es un grupo de compuestos químicos, formado por dos sales combinadas en proporciones definidas una de las sales es el sulfato de aluminio o el sulfato de amonio.

CAPITULO II

PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ORO EN LA EMPRESA MINERA

2.1 PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS

2.1.1 Lixiviación.- La pila o PAD de lixiviación es una estructura a manera de pirámide escalonada donde se acumula el mineral extraído. A este material se le aplica, a través de un sistema de goteo, una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua, la cual disuelve el oro. Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro llamada solución rica pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos.

2.1.2 Geomembranas.- Es un plástico negro resistente colocado en la base del PAD y el pozo de operaciones, y que impide el contacto de los químicos con el suelo, cuidando la calidad del agua.

2.1.3 Estructura bajo la geomembrana: Para asegurar que no exista ningún tipo de filtración del PAD, sobre un relleno se instala una capa de arcilla, por encima se coloca la geomembrana y sobre ella una capa fina de arena.



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

Figura 6. Pad de lixiviación

2.2 PROCESO GOLD MILL

La planta Gold Mill extrae el metal que no puede ser obtenido mediante la lixiviación en pilas. La recuperación del oro en la planta Gold Mill es en 24 horas, en el proceso de lixiviación en pilas es aproximadamente en 60 días.



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

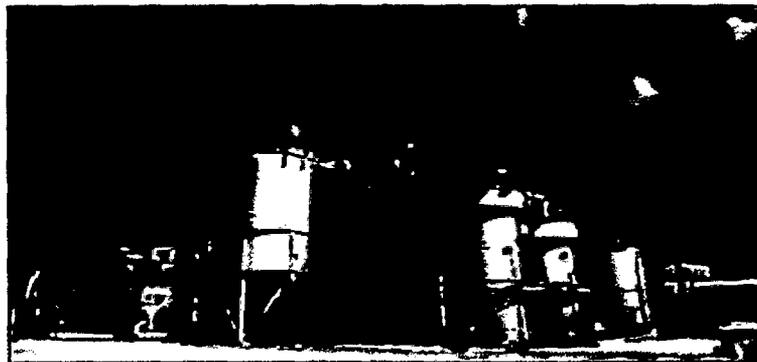
Figura 7. Planta de procesamiento de minerales

2.3 PROCESO EN COLUMNAS DE CARBÓN ACTIVADO

El proceso en columnas de carbón activado. Se da en dos etapas.

2.3.1 ADSORCIÓN: Se pasa la solución rica en oro por columnas cargadas con carbón activado, para que el oro sea atrapado en los poros del carbón.

2.3.2 DESORCIÓN: Haciendo circular una solución cianurada, a través de las columnas, se disuelve en ella el oro atrapado en la superficie del carbón.



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

Figura 8. Columnas de carbón activado

2.4 PROCESO MERRILL CROWE

2.4.1 CLARIFICACIÓN

Es una de las operaciones más importante dentro del proceso Merrill Crowe, la Clarificación, más que una ciencia, es un arte, de ello dependerá los excelentes resultados en términos de recuperación y producción de oro.

En la empresa minera se utiliza para clarificar la solución rica, filtros clarificadores de hojas teniendo en cuenta las características de operación, como el flujo de solución, presión de 28 placas, regadores de lavado, mecanismo manual de apertura, construcción de acero ligero.



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

Figura 9. Clarificadores

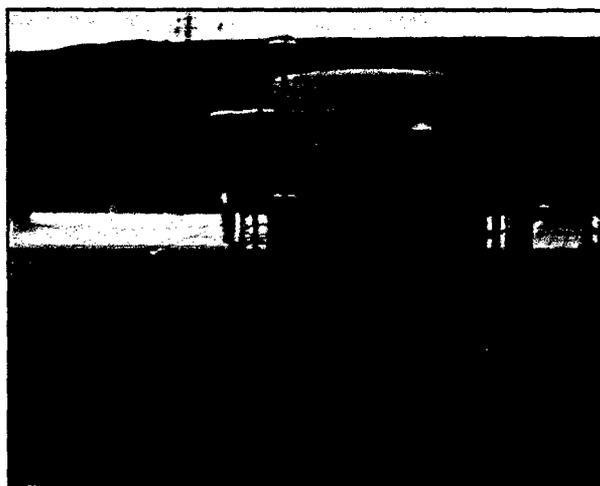
2.4.2 DEAREACIÓN

En las torres de vacío es de suma importancia la eliminación del oxígeno (aire) para poder precipitar los valores de una solución clarificada, la presencia de oxígeno en la solución aumenta el consumo de Zinc. El valor óptimo de oxígeno disuelto en la solución es de $< 0,5$ ppm.

La solución al caer verticalmente dentro de la torre divide la solución en cascadas de delgadas películas (aumentando su área superficial), promoviendo por esta vía una de aireación más eficiente.

Características de la Torre de vacío:

- Empaque y regadores.
- Construcción de acero ligero.



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

Figura 10. Torre de vacío

2.4.3 PRECIPITACIÓN

El oxígeno disuelto en la solución debe ser extraído, la solución rica debe ser completamente clarificada.

El principio Fisicoquímico de la precipitación con polvo de Zinc, es la reacción de óxido reducción, formando una celda galvánica. El mecanismo contempla una reducción del ión complejo de cianuro de oro.

Reacción Catódica:



Reacción Anódica:



Reacción total:

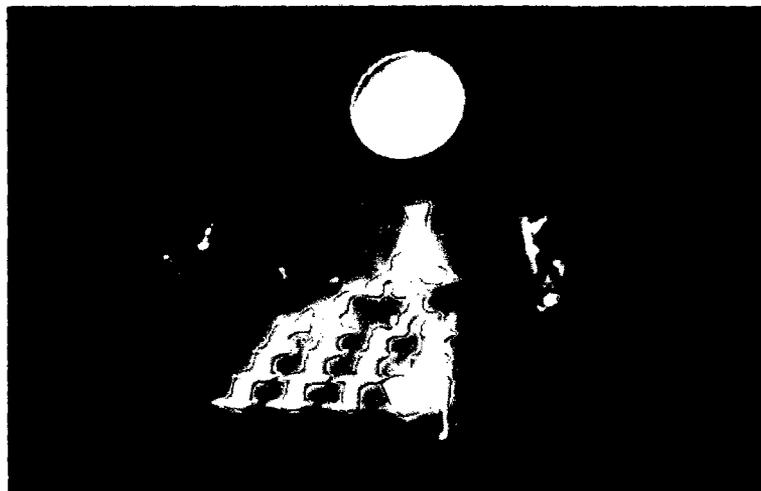


2.4.3.1 ETAPAS DE LA PRECIPITACIÓN

- 1.- Transporte de Masa de cianuro de oro y las especies cianuradas en la superficie del zinc desde la solución.
- 2.- Adsorción de la especie oro cianurado hacia la superficie de zinc, involucrando la formación de una especie intermedia: AuCN.
- 3.- Transferencia de electrones entre cianuro de oro con el zinc y la simultanea disociación de la formación de cianuro de oro y cianuro complejos de zinc.
- 4.- Desorción de las especies cianuradas de zinc desde la superficie de zinc.
- 5.- Transferencia de Masa de las especies cianuradas de zinc hacia la solución.

2.5 FUNDICION

El oro obtenido en el proceso Merrill Crowe se somete a calentamiento en hornos de retortas a 650°C , para eliminar por volatilización los metales de bajo punto de fusión que como impurezas lo acompañan. (10)



Fuente: Elaborado por Empresa Minera

Figura 11. Horno de fundición

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y DELIMITACIÓN DE OBJETIVOS

3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de Merrill Crowe, los filtros prensa envían solución barren hacia la planta de Ósmosis Inversa vía proceso de membranas, obteniendo como productos el permeado y concentrado, éstas dos soluciones serán sometidas a tratamiento de agua.

La falta de control de operación no permite estabilizar la fuerza de cianuro de la solución barren, oscilando la fuerza de cianuro entre 30 y 100 ppm, de acuerdo al control de calidad interno la fuerza de cianuro en el barren debe encontrarse en el rango de 50-60 ppm. Las concentraciones de cianuro wad en el barren superan el máximo diseñado por las membranas de ósmosis inversa de 40 ppm, el cianuro wad no retenido se encuentra en la solución permeada.

Permeado:

La solución permeada contiene concentraciones de cianuro wad entre 15-30 ppm presentando variabilidad, siendo una variable influenciada por la oscilación de la fuerza de cianuro en el barren. El cianuro wad es detoxificado mediante la oxidación de cianuro con cloro gaseoso, debido a la variabilidad del cianuro wad en el permeado no permite la adición de un volumen constante de cloro gaseoso ocurriendo excesos de éste, causando una disminución en el pH menor a 9 en el Tanque Clorinador generando la formación de subproductos como cloraminas, residuales de cloro e inestabilidad en las concentraciones del mercurio en la Poza Amortiguadora, provocando la derivación hacia la poza de menores eventos y recirculación de la solución para ser nuevamente tratada, elevando los costos de operación por metro cúbico de

agua tratada y pérdida de eficiencia en el tratamiento de agua tratada de calidad III para ser descargada al medio ambiente, de uso para la agricultura.

Concentrado:

La solución concentrada circula en forma continua en un ciclo cerrado como parte del agua de procesos usado en las operaciones y recirculación de excesos al pad de lixiviación. La dureza del agua de procesos se ha incrementado considerablemente desde el año 2004 debido a la recirculación de la solución concentrada y el inicio operativo de la lixiviación de minerales transicionales, obteniendo en el barren una concentración de sulfatos mayores a 1800 ppm, siendo el más perjudicial por su dureza permanente.

Este incremento de sulfatos en la solución trae consigo problemas de saturación rápida dentro de las membranas de ósmosis inversa por haber superado el límite de diseño de 1800 ppm, aumentando la formación de incrustaciones en las membranas, bombas de alta presión y equipos, causando daños irreversibles a estas, mantenimiento, reparación y paradas de planta.

3.2 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Se usa cianuro de sodio en solución en el proceso, como reactivo químico principal para la obtención final de lingotes de Oro y Plata. Como resultado de este proceso se generan relaves con contenidos de cianuro, los cuales requieren de tratamientos eficientes para la eliminación del cianuro en los efluentes.

Permeado:

Actualmente se utiliza el método de cloración alcalina en la destrucción de cianuro. El cloro gaseoso reacciona con el agua generando hipoclorito el cual es el agente oxidante del cianuro, de esta reacción se forma cloruro cianógeno (gas contaminante) y luego cianato, el cual se hidroliza formando el ión amonio y luego el amoniaco, este último reacciona con el ión hipoclorito excedente que no ha reaccionado con el cianuro, generando así la cloramina,

inestabilidad del mercurio y los excesos de cloro, que deben ser removidos antes de la deposición final del efluente al medio ambiente, tratando la solución nuevamente elevando los costos operativos.

Debido a la falta de control operacional en la solución barren, la dosificación del oxidante cloro gaseoso no es óptimamente controlada generando los subproductos antes mencionados.

Este proyecto de investigación busca una alternativa limpia eficiente al actual proceso de destrucción de cianuro, mediante la tecnología del Oxígeno Singlete. La tecnología del Oxígeno Singlete usa el peróxido de hidrógeno en mayor proporción combinado con el cloro gaseoso para dar origen al oxígeno singlete, quien actúa con mayor velocidad de reacción que el peróxido de hidrógeno solo.

La oxidación del cianuro con peróxido de hidrógeno solamente presenta una cinética muy lenta, por ello se mantiene la dosificación de cloro en mínima proporción para acelerar la velocidad de reacción, siendo importante el factor de tiempo de residencia para un tratamiento rápido y de mayor capacidad de caudal tratado. Se considera una alternativa limpia porque los productos que originan el uso de peróxido de hidrógeno son agua y oxígeno.

Este nuevo método garantiza el tratamiento de la solución barren, así como valores y parámetros físico-químicos por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normas internas de la Empresa Minera en la Poza Amortiguadora, siendo entre los más importantes concentraciones de cianuro WAD menores de 0,1 mg/l y mercurio menor a 1,8 ppb en el efluente.

Concentrado:

El proyecto consiste en usar un método fiable para tratar los efluentes con alto contenido de metales, con la finalidad de reducir los valores de sulfatos dentro del sistema de soluciones, evitando los problemas de saturación rápida en las membranas de ósmosis inversa, disminuyendo la formación de incrustaciones,

mantenimiento, reparación y paradas de planta en las bombas de alta presión y equipos. Para lo cual se van a realizar pruebas en la planta convencional de tratamiento de aguas de excesos llamado EWTP N° 1.

El concentrado es enviado a dos tanques donde se controla el pH en el primer tanque y en el segundo tanque ocurre la coagulación mediante la adición de reactivos, para luego ingresar al reactor clarificador donde previamente ocurre la formación de lodos más densos para suprimir con mayor eficacia los metales como precipitados estables mediante la formación de precipitados de sulfato de calcio, luego se separa el líquido de los sólidos con la ayuda de un floculante. Con este método se determina la mayor eficiencia de recuperación de sulfatos en el tiempo de residencia que ofrece el reactor clarificador.

3.3 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

El alcance del trabajo, proyecto mediante la Tecnología del Oxígeno Singlete se realizó pruebas experimentales a nivel planta directamente, no se cuenta con información del desarrollo de pruebas a nivel laboratorio, porque no fue posible replicar las mismas condiciones de operación.

El alcance del trabajo, proyecto de Reducción de Sulfatos se realizó a nivel laboratorio y planta, se muestran los datos experimentales sobre el porcentaje de reducción de sulfatos, pero no como esto influye en la reducción de costos por minimizar la formación de incrustaciones, evitando la reparación y mantenimiento de equipos.

3.4 OBJETIVOS

El proyecto en estudio se divide en dos partes, la primera es la solución permeada y la segunda es la solución concentrada para ello se establece el objetivo general y los objetivos específicos para cada uno.

OBJETIVO GENERAL

- En la solución Permeada, usar la Tecnología del Oxígeno Singlete para el proceso de destrucción de cianuro para evitar la formación de cloraminas, residuales de cloro en la planta de operación y Poza Amortiguadora.
- En la solución Concentrada, reducir la concentración de sulfatos del sistema de soluciones, evitando la saturación de membranas de la ósmosis inversa y equipos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

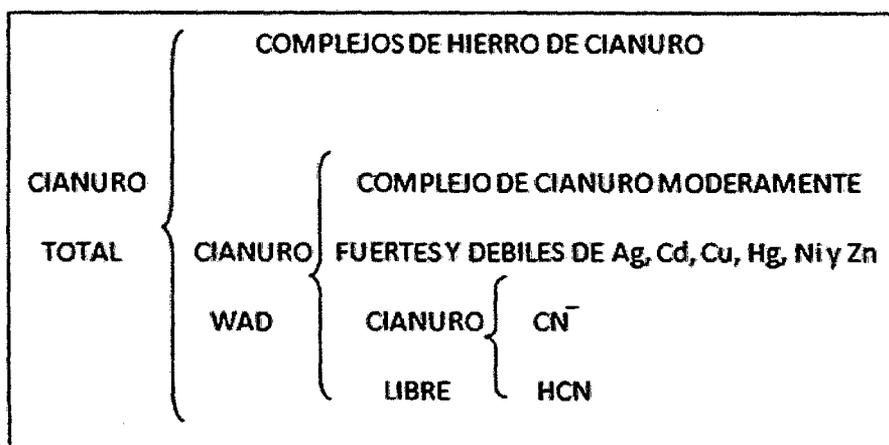
- Solución Permeada:
 - Mantener la concentración de CN wad en 0,1 ppm y Hg en 1,8 ppb dentro de los límites máximos permisibles en la Poza Amortiguadora, usando la Tecnología del Oxígeno Singlete.
 - Eliminar la redisolución del mercurio, logrando la estabilidad de la concentración del mercurio.
 - Determinar el efecto generado por la variación de pH.
 - Comprobar la disminución de cloraminas en la descarga del tanque clorinador con pruebas de Cloro Total y Cloro Libre.
- Solución Concentrada:
 - Reducir la concentración de sulfatos a un target de 50% dentro del sistema de soluciones.
 - Determinar la eficiencia de recuperación de sulfatos vs el tiempo de residencia en el reactor clarificador.
 - Optimizar el control de cal, cloruro férrico, floculante de acuerdo al flujo de alimentación de concentrado a la planta convencional EWTP N° 1.

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1 QUÍMICA DEL CIANURO

Las sales inorgánicas del cianuro son sales del anión CN^- y su contenido se presenta en la siguiente clasificación: Cianuro Total, Cianuro Wad y Cianuro libre.



Fuente: Elaboración propia

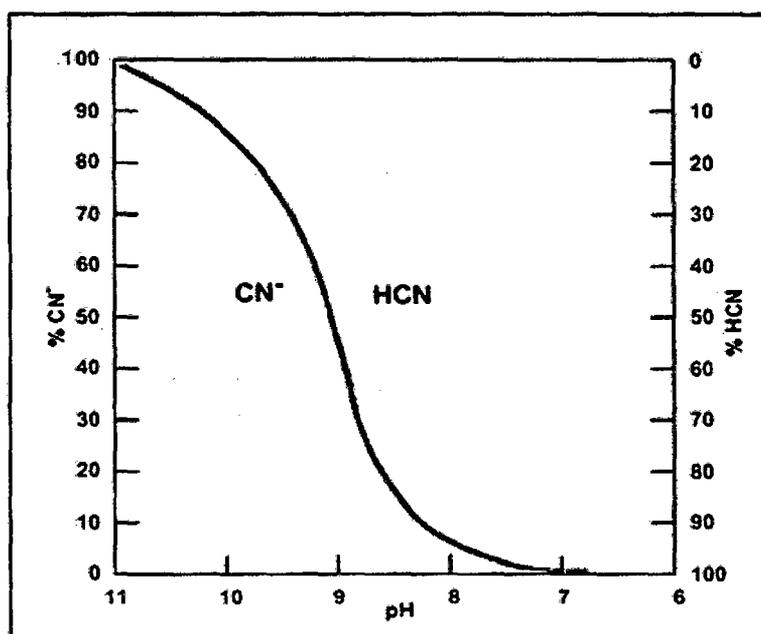
Figura 12. Clasificación del cianuro

Cianuro Total.- Incluye el cianuro libre, el cianuro Wad, más los complejos de hierro cianurados no tóxicos.

Cianuro Wad.- Son complejos débiles de cianuro disociables en ácidos débiles, los cuales pueden disociarse en solución y producir concentraciones ambientalmente significativas de cianuro libre.

Cianuro Libre.- “Cianuro libre” es el término utilizado para describir tanto el ión 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 ión de sodio y el anión de cianuro (CN^-). El anión de cianuro se combina luego con el ión de hidrógeno para formar HCN molecular. La concentración del ion de hidrógeno

en el agua del proceso se expresa mediante el conocido parámetro pH. 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.



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

Figura 13. Concentraciones en equilibrio a 20°C de CN^- y de HCN en función del pH.

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 de atenuación.

Los procesos de tratamiento de cianuro son clasificados como un proceso de destrucción o una recuperación. En un proceso de destrucción, se utilizan las

reacciones químicas o biológicas para convertir el cianuro en otro compuesto menos tóxico.

4.1.1 ANÁLISIS Y MONITOREO DEL CIANURO

El cianuro generalmente se mide mediante uno de los siguientes métodos analíticos: análisis de cianuro total o análisis de cianuro WAD (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 WAD se utiliza para las formas libres y complejadas de cianuro, excepto para el cianuro de hierro.

La selección de un proceso de tratamiento de cianuro apropiado involucra la consideración de muchos factores, pero generalmente el número de opciones de procesos para una aplicación particular puede ser la partida estrecha para una caracterización química de metales presentes en solución líquida y el nivel deseado de tratamiento (llegar por debajo de los límites permisibles).

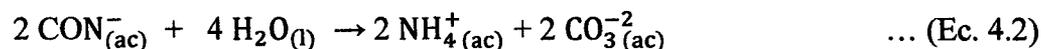
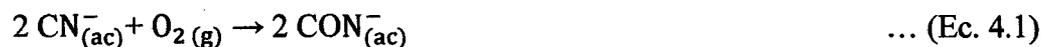
4.1.2 TECNOLOGÍAS DE DEGRADACIÓN DEL CIANURO

A continuación describimos los principales procesos de destrucción del cianuro utilizados en la Industria minera:

4.1.2.1 TECNOLOGÍA DE DEGRADACIÓN NATURAL

La degradación natural en las pozas de tratamiento se lleva a cabo debido a interacción de varios procesos como volatización, hidrólisis, fotodegradación, disociación, oxidación química, bacteriológica y precipitación. La degradación natural puede verse influenciada por variables como las especies de cianuro en la solución y sus respectivas concentraciones, temperatura, pH, aireación, rayos de sol, presencia de bacterias, tamaño de la poza, profundidad y turbulencia. Los procesos naturales son muy lentos comparándolo con los procesos químicos, se aceleran en condiciones de alta temperatura, radiación y aireación.

Reacciones involucradas:

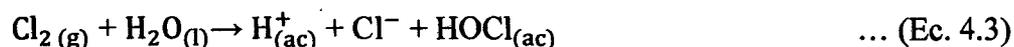


4.1.2.2 TECNOLOGÍA DE DEGRADACIÓN DE CIANURO CON CLORINACIÓN ALCALINA

El uso de gas cloro o hipoclorito para el tratamiento de efluentes con cianuro, es el más conocido y ha logrado un alto desarrollo y experiencia industrial. El cloro residual presente como hipoclorito y cloraminas en la solución residual pueden ser tóxicos para la vida acuática. (11)

Reacciones involucradas:

a) Hidrólisis-disolución del gas cloro

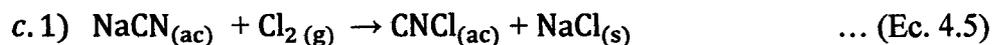


b) Formación de Hipoclorito de Sodio a partir del gas Cloro

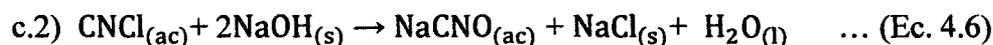


c) Oxidación del Cianuro por Gas Cloro

Primera etapa:



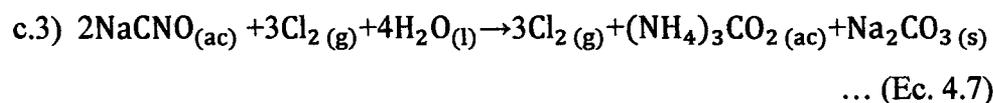
Reacción instantánea independiente del pH



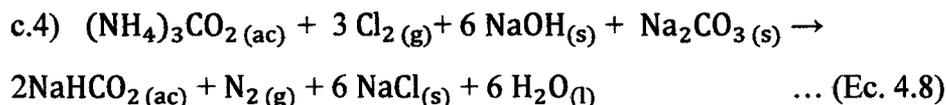
pH = 10 – 11; 5 – 7 minutos

pH = 8,5 – 9; 10 – 30 minutos

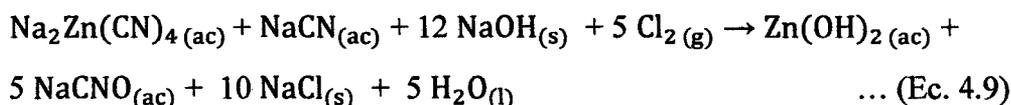
Segunda Etapa con Exceso de $\text{Cl}_2(\text{g})$:



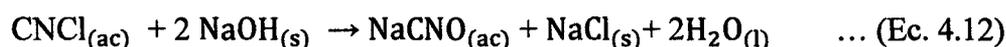
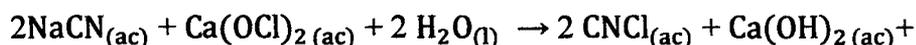
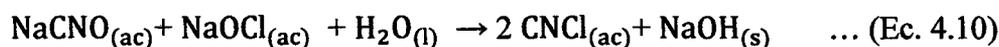
Tiempo = 1 a 1,5 horas.



d) Oxidación de Cianuros Complejos de Zinc por el Cloro



e) Oxidación del Cianuro por Hipocloritos



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CLORINACION ALCALINA

Ventajas de la Cloración Alcalina:

- Método ampliamente usado, experiencia técnica disponible.
- Reacciones completas y razonablemente rápidas.
- La mayor parte de metales son precipitados como hidróxidos.
- Cloro disponible en varias formas.
- Adaptable a procesos continuos o discontinuos.
- Costo de capital relativamente bajo.
- Buen control de operaciones.
- Primera etapa de oxidación fácilmente controlable.
- El tiocianato puede oxidarse, pero el consumo de reactivos se incrementa.
- El proceso puede usarse en pulpas y soluciones claras.

Desventajas de la Cloración Alcalina:

- Costo de reactivos alto, especialmente si se requiere de una oxidación completa. El tiocianato, tiosales y amonio son altos consumidores de cloro.
- Se requiere un control estricto del pH para prevenir la formación de cloruro cianógeno, el que es muy tóxico para los seres humanos.

- No se recupera cianuro.
- Generalmente los hexacianoferratos no se descomponen.
- Contenido metálico no recuperable.
- La cantidad de cloro en el efluente incrementa en la misma proporción que la cantidad de cloro añadido.
- Existe la imposibilidad de formar derivados de cloro tóxicos como los compuestos orgánicos clorados, que requerirían un tratamiento posterior.
- Existencia de cloro residual en efluentes que pueden ser tóxicos para especies acuáticas.
- El tratamiento de cloro residual se puede realizar con peróxido.

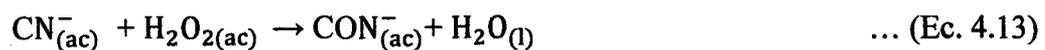
4.1.2.3 TECNOLOGÍA DE DEGRADACIÓN DE CIANURO CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

El Peróxido de Hidrógeno es un potente oxidante no contaminante, desde mediados de los años ochenta viene siendo utilizado para la degradación del cianuro en los efluentes líquidos cianurados.

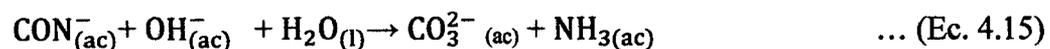
El Sistema Peróxido de Hidrógeno, presenta una rápida cinética de reacción en la eliminación del cianuro, de fácil operación, presenta instrumentación de control simple, y es adaptable a amplias variaciones en la química de la solución a neutralizar.

Reacciones involucradas:

Oxidación del Cianuro:



Hidrólisis del ión cianato está en función del pH, produciéndose las siguientes reacciones:



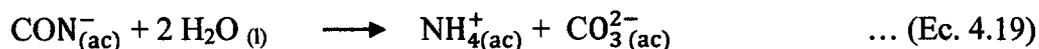
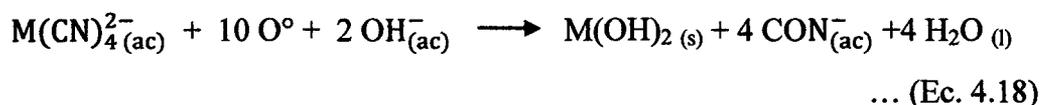
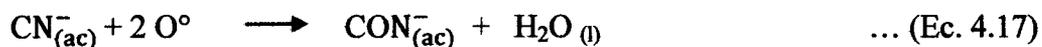
En un exceso de Peróxido de la solución neutralizada.



El Peróxido de Hidrógeno oxida tanto cianuros libres y complejos de ligadura débil, en otras palabras compuestos disociables de ácido débil tales como: CN^- , HCN , $\text{Cd}(\text{CN})_2^{2-}$, $\text{Zn}(\text{CN})_2^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_2^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$.

4.1.2.4 OXIDACIÓN DE CIANURO VÍA OXÍGENO SINGLETE (O°)

La ventaja del uso de este sistema es que no dejará residual de cloro que pueda formar cloraminas o trietanolmetanos que son contaminantes subproductos del uso del cloro o hipoclorito, ya que la dosificación de peróxido de hidrógeno es muy por encima de la dosificación de ión hipoclorito por lo que el único residual a producir será de ión cloruro el cual es inactivo.



El proceso del Oxígeno Singlete es eficaz para el tratamiento de soluciones para la oxidación de Cianuro libre y Cianuro Wad, y tal como se indica en la reacción anterior, el Peróxido de Hidrógeno reacciona para formar el cianato y agua, que a su vez se hidrolizan para formar iones carbonatos e iones amonio. La reacción se lleva a cabo típicamente a partir de un pH de aproximadamente 9,0 a 9,5 para la remoción óptima de cianuro y metales pesados.

Ventajas

- El proceso es relativamente simple en diseño y operación.
- Los metales pesados son reducidos significativamente a través de la precipitación.
- No se forman productos intermedios ni residuos de productos tóxicos en los efluentes.
- No se introducen iones extraños al proceso.

Desventajas

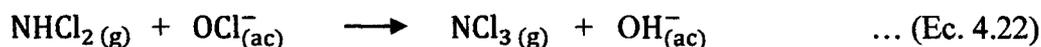
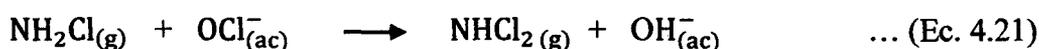
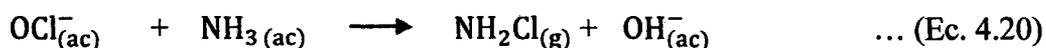
- El costo de reactivo H_2O_2 puede ser alto dependiendo de la cantidad de cianuro a destruir.
- No se recupera cianuro.

4.2 QUIMICA DE LA CLORAMINA:

4.2.1 FORMACIÓN DE LA CLORAMINA

Cuando hay presencia de residual de hipoclorito no reaccionado con el cianuro, se produce la reacción con el amoniaco generando cloraminas (NH_2Cl) el cual es un biocida oxidante hasta 3 ppm, pero cuando sobrepasa la concentración mencionada se vuelve un gas de olor desagradable en los sistemas de almacenamiento de solución barren tratada con cloro.

Reacción de formación de cloramina:



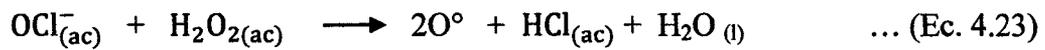
Cuando hay excesos de residuales de iones hipocloritos se producen otros de derivados de cloraminas, como son las dicloraminas y tricloraminas.

Las cloraminas están formadas de cloro (Cl), nitrógeno (N) e hidrógeno (H) en diferentes cantidades. Pueden llevar uno, dos o tres átomos de Cl, conociéndose como monocloraminas, dicloraminas o tricloraminas respectivamente.

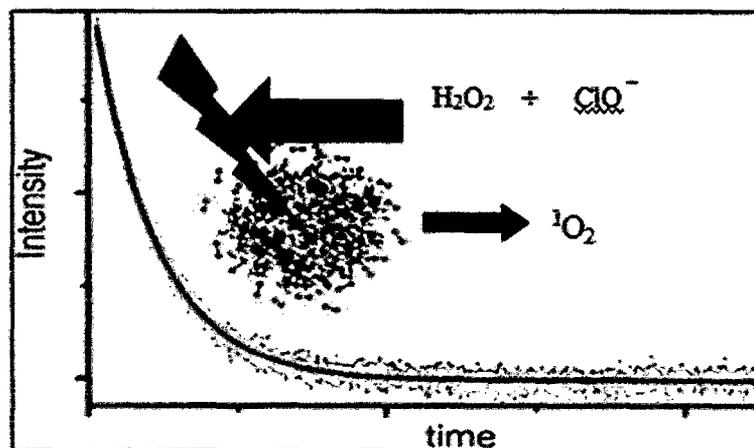
4.2.2 INHIBICIÓN DE FORMACIÓN DE CLORAMINA CON OXÍGENO SINGLETE

Mediante la tecnología del oxígeno singlete (O° , Oxígeno naciente) se puede evitar la formación y generación de cloraminas mediante la reacción del ión

hipoclorito (cloro hidrolizado) con peróxido de hidrógeno el cual da como subproducto el oxígeno singlete (O°), ión cloruro y agua.



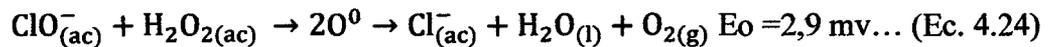
De esta forma se evita que haya residuales de iones hipocloritos reaccionando con el amoniaco y generando compuestos de cloraminas.



Fuente: Empresa Innova

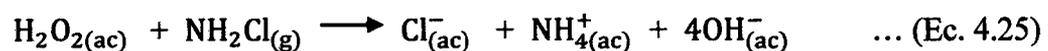
Figura 14. Esquema de Generación de Oxígeno Singlete

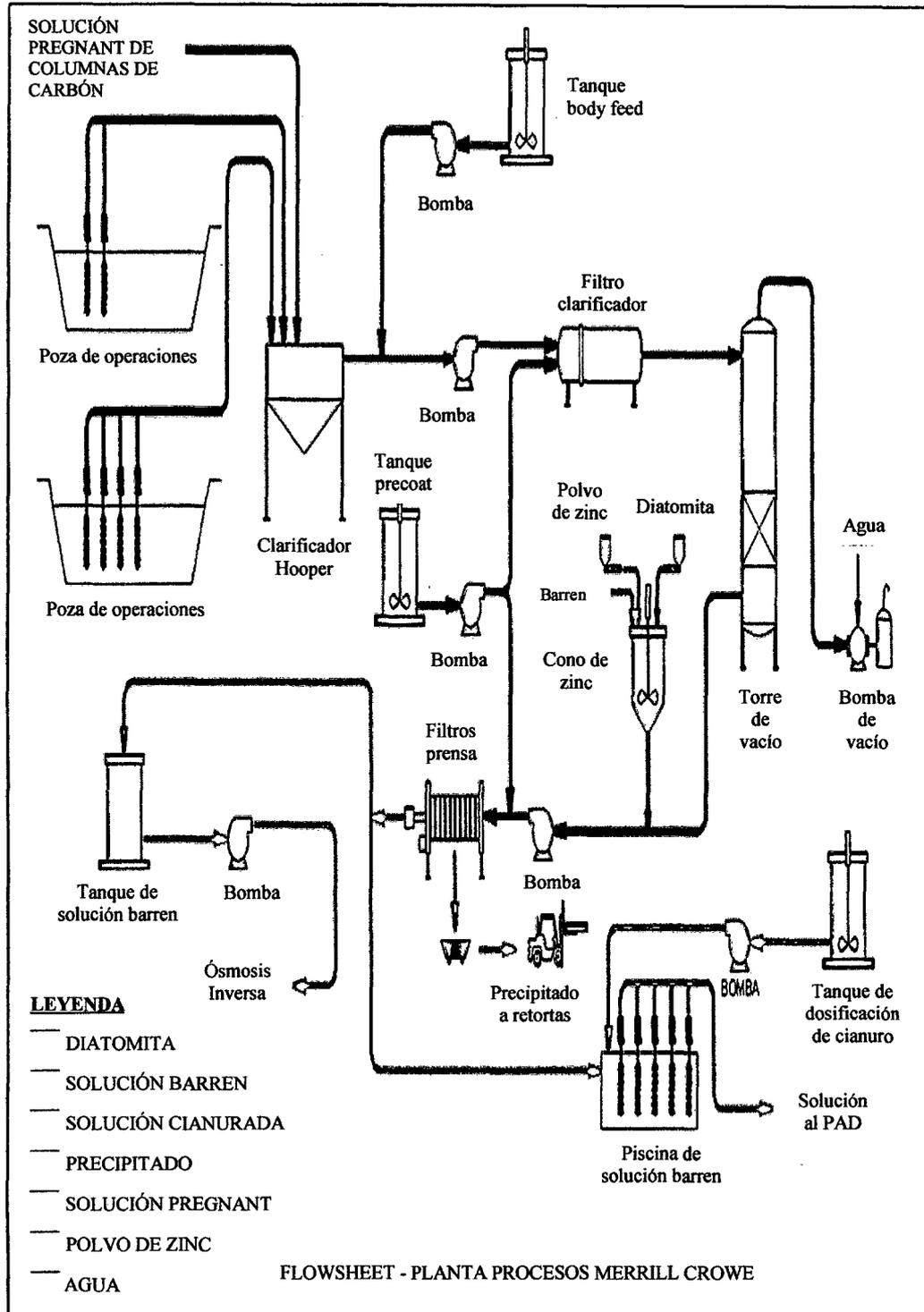
El oxígeno singlete u oxígeno naciente es generado por la mezcla del peróxido de hidrógeno con el ión hipoclorito por un espacio pequeño de tiempo (segundos) como etapa inicial pre a la formación del oxígeno puro (O_2)



4.3 TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON CONTENIDOS DE CLORAMINAS UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

La reacción de química entre el peróxido de hidrógeno y la cloramina produce amonio e ión cloruro en un medio alcalino.





Fuente: Elaboración de Empresa Minera

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso Merrill Crowe

CAPITULO V

ESTUDIO EXPERIMENTAL

5.1 RECURSOS EMPLEADOS

5.1.1 EQUIPOS

5.1.1.1 PERMEADO

- Bomba dosificadora de H₂O₂ al 50% compatible con este químico (accesorios como Válvula de Pie y Check).
- Manguera para succión y descarga en la Bomba Dosificadora de H₂O₂ al 50%.
- Niple de Inyección en la tubería del Efluente a tratar antes del primer tanque de destrucción de cianuro.
- Equipo de Análisis de Residual de Cloro Libre.
- Equipo de Análisis de Residual de Cianuro Total, Wad y Libre.

5.1.1.2 CONCENTRADO

- Equipo de Fotómetro Palintest 7500 para análisis de Sulfatos.
- Equipo de titulación para Análisis de Carbonatos.
- Equipo para medición de TDS y pH.
- Balanza y balanza Marcy

5.1.2 REACTIVOS

5.1.2.1 PERMEADO

- Sachets DPD para determinar el Cloro Libre Tipo HACH.
- Solución al 50% de H₂O₂ en envases de 1 m³ de Plástico (IBC).
- Solución de Nitrato de Plata para titular el cianuro libre.

5.1.2.2 CONCENTRADO:

- Sachets para determinar la concentración de sulfatos.
- Solución de EDTA para titular carbonatos.
- Solución buffer.
- Cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
- Coagulante (FeCl_3).
- Floculante.

5.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO

5.2.1 SOLUCIÓN BARREN

5.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN BARREN

La solución pobre, sin oro, es llamada también Barren proveniente del proceso Merriell Crowe. Una vez que se deposita el oro y la plata en los filtros prensa la solución pobre (barren) que sale de estos filtros, contiene de 0,02 a 0,03 ppm de oro.

La solución barren es enviada hacia la operación de Ósmosis Inversa, con un flujo de 700-1000 m³/h aproximadamente, se obtiene la máxima integridad y funcionamiento de las membranas si la calidad de la solución barren se ubica por debajo o dentro de los siguientes rangos:

Tabla 2

Límites Máximos de Calidad de la Solución Barren

Elemento	Concentración máxima (mg/l)
Total de sólidos suspendidos (TSS)	5
Calcio (Ca)	600
Sulfatos (SO_4)	1800
Hierro (Fe)	0,5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5-15

Fuente: Elaboración de empresa minera

Tabla 3

Límites de Calidad de la Solución Barren a Planta de Ósmosis Inversa

Elemento	Calidad de la Solución Barren (mg/l)
Cianuro WAD	40
Ag	0,008
Hg	0,030 ppm
Sb	0,007
Se	0,112
Ti+2	<0,001
SO4	1668
Al+3	0,06
As	0,22
Ba	0,028
Be	< 0,002
Cd	< 0,002
Cr	0,002
Cu	14,2
Fe	< 0,1
Pb	0,001
Mg	2,515
Mn	0,016
Ni	0,156
Zn	6,52
TDS	2363
Ca	478,2
TSS	<5,0
pH Feed	9,59

Fuente: Elaboración de empresa minera

5.2.1.2 VARIABLES DE OPERACIÓN EN LA SOLUCIÓN BARREN

Las variables más importantes y con un mayor efecto en el desarrollo normal del proceso son:

- a) Temperatura, presión y flujo.
- b) TDS en solución Barren.
- c) TSS en solución Barren.
- d) Adición de Anti-incrustante.
- e) ORP.
- f) Análisis químico ICP en el barren.

a) Temperatura, Presión y Flujo

El flujo de Permeado es directamente proporcional a la temperatura de la solución Barren: A más temperatura se obtiene un mayor flujo de Permeado, al aumentar la temperatura, la viscosidad de la solución disminuye, facilitando su paso a través de las membranas.

b) Contenido de TDS en el barren

El contenido de sólidos disueltos totales (TDS) es un parámetro que debe presentar un valor máximo de 2363 ppm en el barren actualmente es 17500 ppm. Un mayor contenido de TDS implica que se obtendrá un Concentrado con mayor cantidad de sales, lo cual aumenta la posibilidad que estas se precipiten sobre las membranas causando saturación en estas.

c) Contenido de TSS en el barren

El contenido de sólidos en suspensión totales (TSS) son un problema potencial para la operación de la planta ya que pueden ocasionar daños mecánicos en las membranas por la gran presión con la que ingresa la solución Barren.

La turbidez (NTU) en la solución barren es un indicador del TSS, el cual se mantiene en valores menores a 1 NTU.

d) Adición de anti-incrustante

El empleo del anti-incrustante en el Barren demora la precipitación de Carbonatos sobre la superficie de las membranas. La dosificación adecuada de anti-incrustante (200 ml/min) incrementa las horas de operación continua de la planta.

e) ORP en el barren

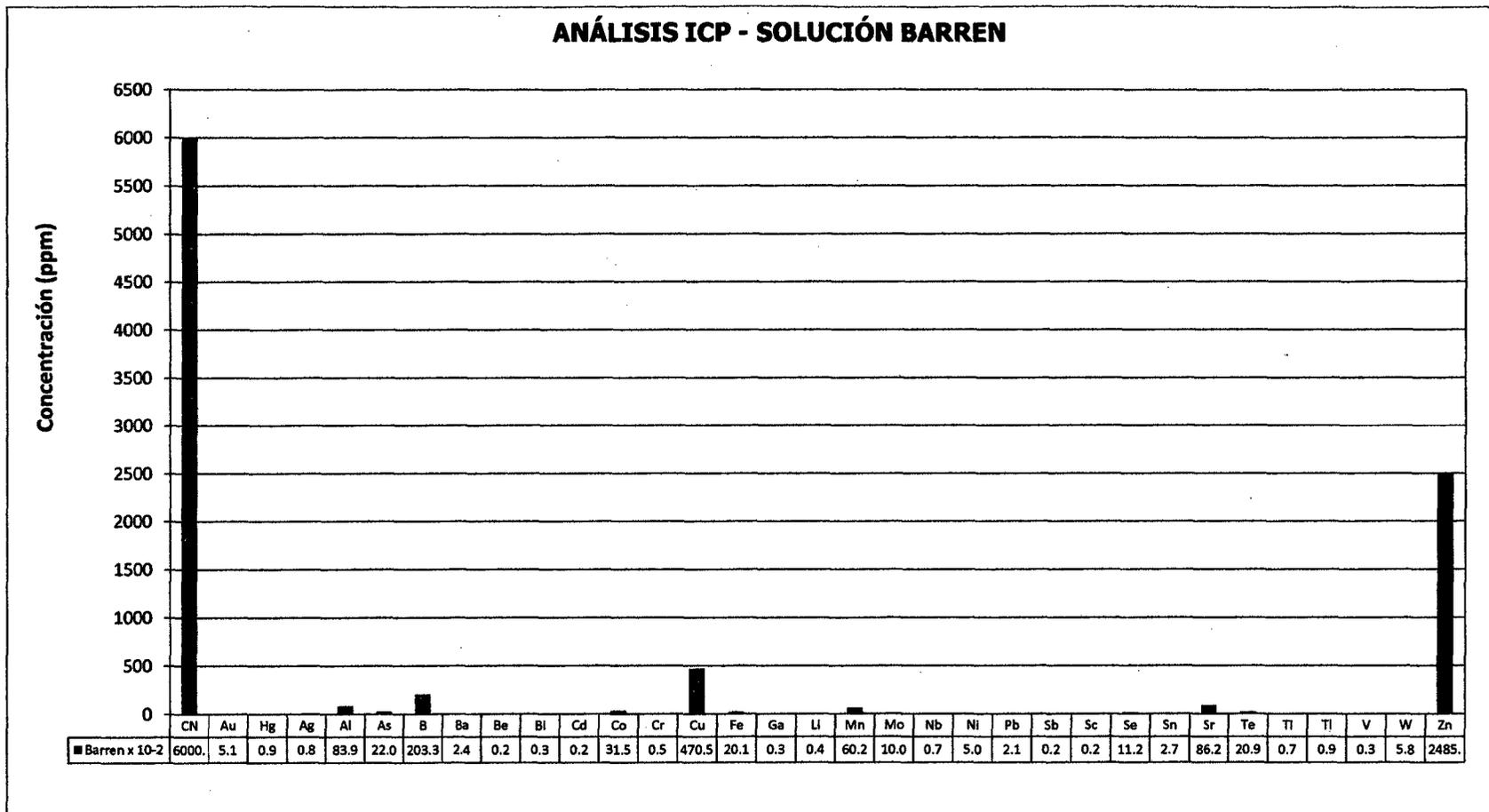
El ORP es el potencial de Óxido-Reducción del Barren expresado en mV y debe estar entre -60 mV y -80 mV. La operación en Merrill Crowe fuera del rango puede afectar el Performance de la planta de Osmosis Inversa.

La presencia de valores de ORP muy alejados del rango (ya sean positivos o mucho menores) indican que la alimentación a la planta de Ósmosis Inversa propicia la precipitación de mercurio en las membranas.

f) Análisis químico ICP en el barren

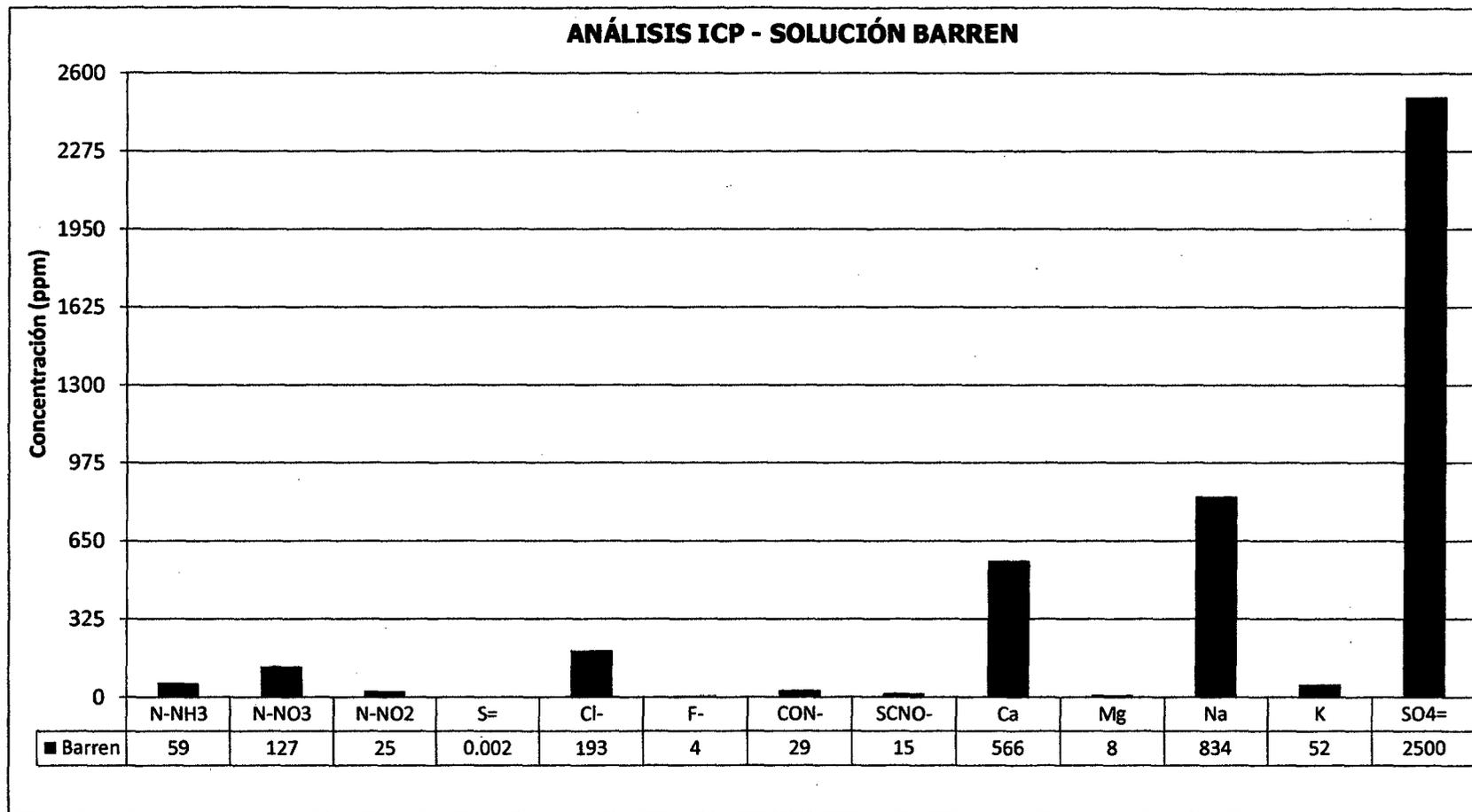
El método ICP es un método analítico de Inducción de Plasma Acoplada es una técnica usada para detectar las trazas de metales en muestras de solución. La ventaja de usar el ICP al realizar un análisis cuantitativo radica en el hecho de que se puede hacer un análisis de una muestra y determinar todos los elementos que esta contiene, en un corto espacio de tiempo. Un análisis multielemental puede ser completado en un período de menos de 30 segundos, y consumiéndose menos de 0.5 ml de solución.

En la figura N° 16, se muestra el análisis químico ICP completo de la solución barren. De acuerdo al gráfico mostrado, los Parámetros Químicos de cianuro, sulfatos y zinc exceden los límites máximos de concentración que pueden soportar las membranas semipermeables, provocando que los iones no retenidos por la membranas semipermeables sean eliminados en la solución permeada y los iones que son retenidos son rechazados en la solución concentrada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Análisis ICP en la solución barren



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Análisis ICP en la solución barren, continuación

5.2.1.3 TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN BARREN MEDIANTE EL USO DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS POR ÓSMOSIS INVERSA

La solución estéril Merrill Crowe proveniente de la planta de procesamiento se bombea al sistema de bolsas de prefiltración de la planta de Ósmosis Inversa. El sistema de filtros de bolsas de prefiltración elimina los sólidos suspendidos mayores a 1 μm que podrían obstruir el funcionamiento de las membranas, la operación correcta de estos equipos prolonga la vida útil de las membranas. Cuando la presión diferencial (PD) entre la presión de entrada y salida de los Filtros de Bolsa es superior a 7 PSI, se realiza el cambio automático de filtros en operación.

Después de pasar por el sistema de filtración de bolsas, el agua filtrada fluye hacia la bomba de alta presión. La bomba de alta presión se usa para generar la presión de trabajo de las membranas que requiere el sistema. La bomba envía 350 metros cúbicos por hora (por cada unidad de ósmosis inversa) de alimentación a una presión de 380 psi al sistema de membranas. El sistema de Ósmosis Inversa consiste en un proceso de tres etapas. La primera etapa consta de treinta y seis (36) cámaras de membrana, la segunda etapa consta de veinticuatro (24) cámaras, y la tercera de doce (12) cámaras. Cada cámara de membrana contiene seis (6) membranas individuales.

El sistema necesita lavarse cuando se acumulan sólidos suspendidos, materia orgánica, carbonatos o metales precipitados en las membranas. Un aumento en la presión en el sistema indica obstrucción de las membranas. El tratamiento presenta una eficiencia de retención de sólidos disueltos de 80-85%, disminuye de manera eficiente las concentraciones.

El sistema de Ósmosis Inversa separa la alimentación de solución barren en dos corrientes. El sistema recupera el permeado siendo el 75 % respecto del flujo de alimentación y el concentrado el 25 % restante.

La corriente más limpia, que pasa a través de la membrana, es el permeado y la corriente que contiene el cianuro y las sales rechazados por la membrana es el concentrado. La corriente del concentrado con cianuro adicional se recicla a los lechos de lixiviación. A medida que el permeado es producido, la concentración de sales disueltas se incrementa. De alcanzar la saturación de alguna sal proveniente de un metal, esta se precipita en las membranas.

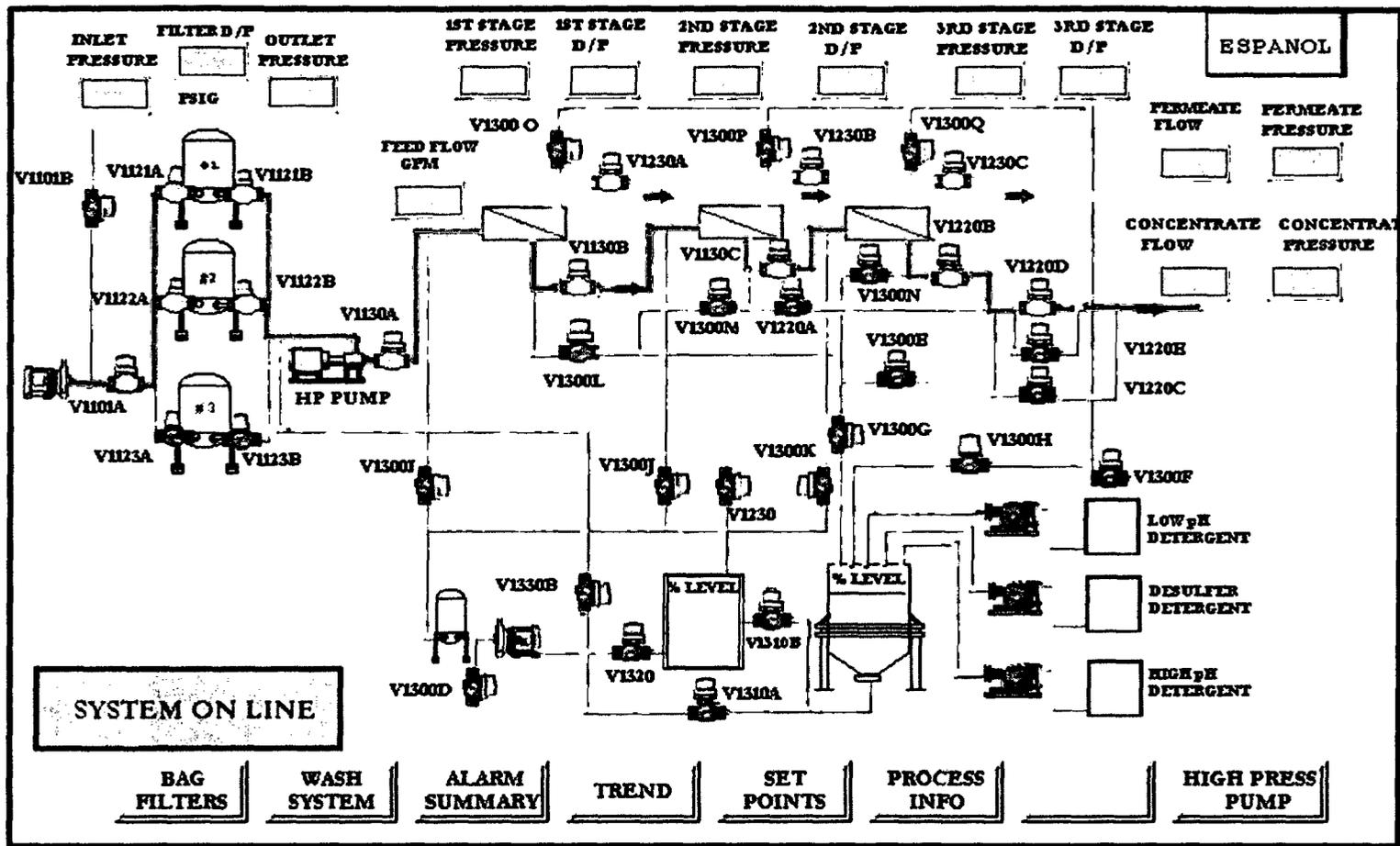
Beneficios del Uso de Membranas de Ósmosis Inversa (RO):

- Cumplimiento de los estándares de calidad del agua tratada:
- Cumplir con los volúmenes de tratamiento requeridos.
- Procesamiento de minerales complejos de oro.
- Recuperación del contenido de oro al 100 %.
- Recirculación del contenido de cianuro hasta en un 65 %.
- Reducción del consumo de cloro hasta en 60 %.
- Operación de planta automatizada vía el uso del PLC.

Problemas que se presentan:

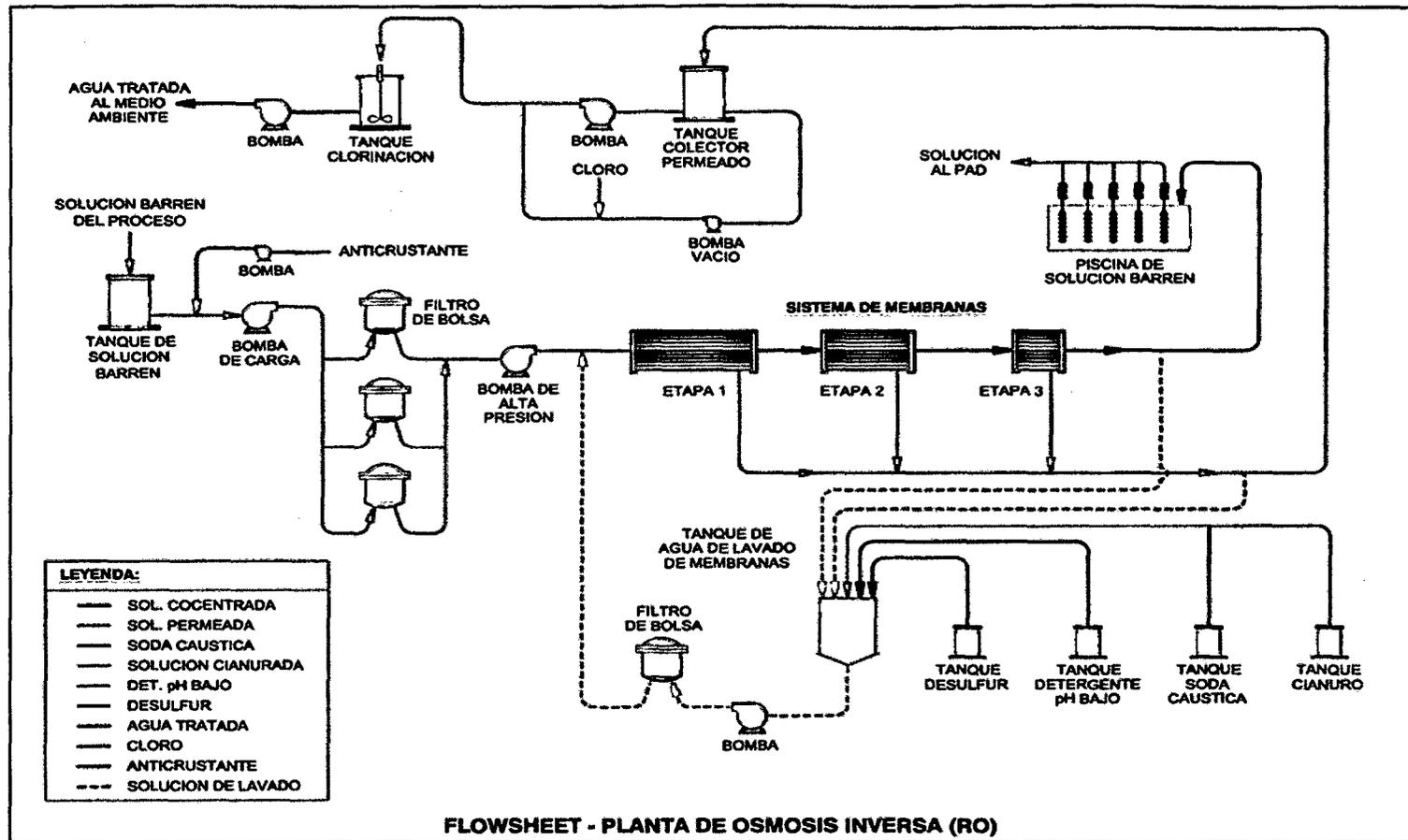
- Inestabilidad del Mercurio en las Planta de Ósmosis Inversa (RO).
- Formación de Cloraminas en la Planta de Ósmosis Inversa (RO).
- Consumo Excesivo de Cloro.
- Inestabilidad de la fuerza de cianuro de la solución barren en la salida de cada filtro prensa barren.

La planta RO hace uso de los siguientes elementos para su operación, figura N°17.



Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 17. Elementos de operación de la Planta de Ósmosis Inversa



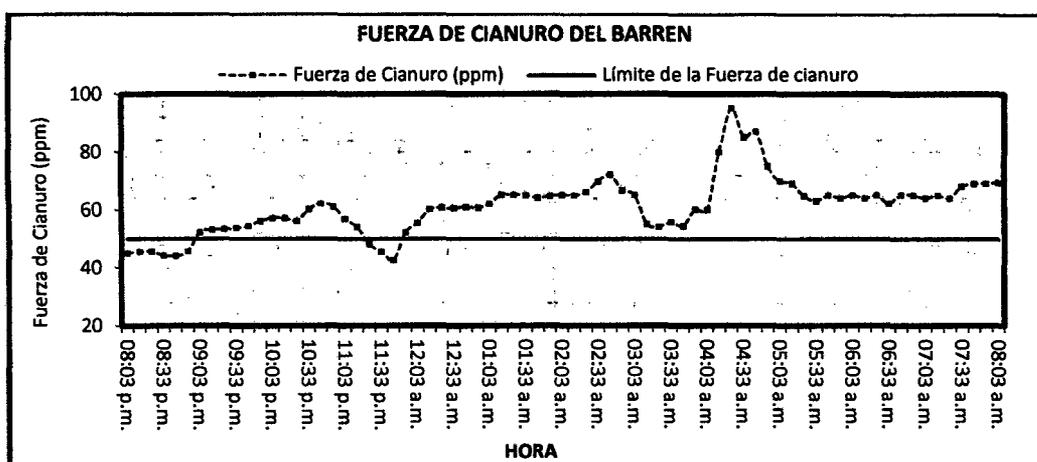
Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 18. Diagrama de flujo de la Planta de Ósmosis Inversa

5.2.1.4 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL BARREN

a) Efecto de la fuerza de cianuro en el barren

En la solución barren la fuerza de cianuro excede el límite máximo interno de concentración de 50 ppm que soporta las membranas de Ósmosis Inversa, presentando una concentración entre 30-100 ppm por la falta de control en la estabilidad de la fuerza del cianuro debido a un mayor o menor consumo de cianuro de sodio dependiendo de las variaciones en las leyes de oro en la solución rica y problemas de operación en el lanzamiento de filtros prensa.

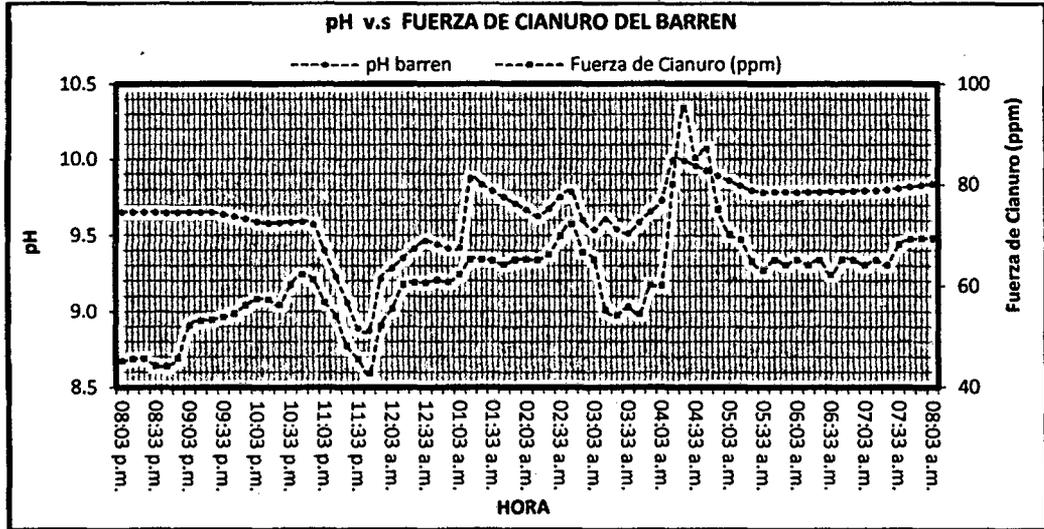


Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Fuerza de cianuro en el barren

b) Efecto de la fuerza de cianuro y pH en el barren

Al aumentar la concentración de la fuerza de cianuro aumenta el pH en la solución barren, se muestra la variabilidad en el pH y fuerza de cianuro con valores fuera del rango de calidad que permite la planta de Ósmosis Inversa; la combinación con un aumento en el pH y fuerza de cianuro indica que se están generando las condiciones propias de un lavado básico de las membranas.

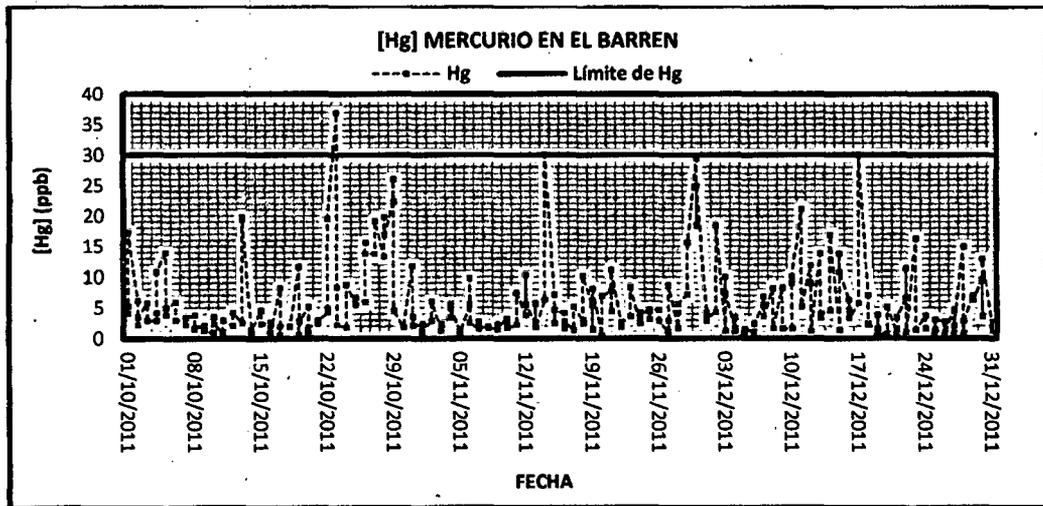


Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Influencia de la fuerza de cianuro en el pH

c) Concentración de mercurio en el barren

La concentración del Hg presenta estabilidad en la solución barren menor a 30 ppb.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Concentración del mercurio en el barren

5.2.2 SOLUCIÓN DE PERMEADO

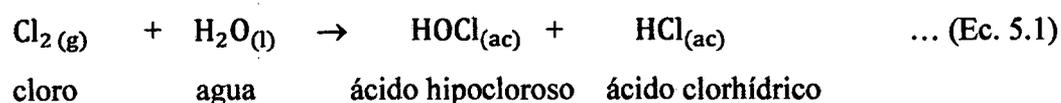
5.2.2.1 DESTRUCCIÓN DE CIANURO CON CLORO EN LA SOLUCIÓN PERMEADA

La corriente de permeado con bajos contenidos de cianuro wad (aproximadamente 15 – 30 ppm) se vierte en el circuito de cloración para recibir tratamiento secundario y garantizar así la total destrucción del cianuro antes de descargarla en las aguas superficiales del área. Mediante este proceso se producen sub productos no deseados como son cloruro cianógeno y cloraminas en su poza final de eventos. Este principio se fundamenta en oxidar el ión Cianuro (CN^-) altamente tóxico y convertirlo a Ion Cianato (OCN^-) no tóxico, para esto el cloro gaseoso reacciona con el agua para formar Ácido Hipocloroso (HOCl) a su vez éste se ioniza y forma el ión Hipoclorito (OCl^-) el cual cede su oxígeno al ión Cianuro (CN^-) y forma ión Cianato (OCN^-), estas reacciones deben tener un medio básico cuyo pH debe estar entre 8,5-10 para completar las reacciones añadiendo hidróxido de sodio y de esta forma se evita la corrosión de los tanques ,bombas y tuberías ya que la reacción del gas cloro con el agua libera ácido clorhídrico el cual baja el pH de la solución (8,5-10) hasta 1 a 3 .

REACCIONES QUÍMICAS

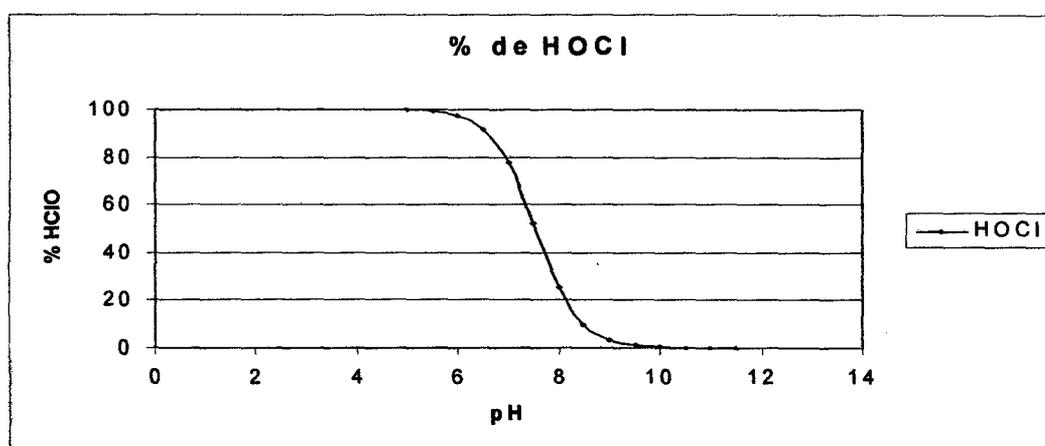
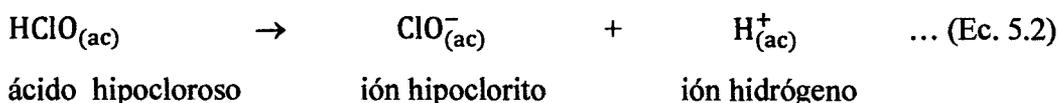
- **Reacción N° 1:**

Cuando el gas cloro es disuelto en agua es rápidamente hidrolizado, y esto es corroborado por que al ingreso del gas cloro el pH desciende hasta valores de 1,5-2 y la estabilidad de HOCl es dependiente del pH.



• **Reacción N° 2:**

Para que suceda esta reacción el pH debe de ser elevado (mayor que 7), se puede visualizar en la siguiente figura.



Fuente: Elaboración de empresa minera

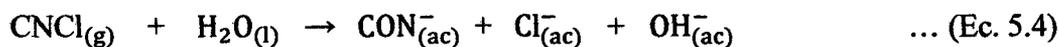
Figura 22. Reducción del ácido hipocloroso en función del pH

• **Reacción N° 3:**

El ión hipoclorito es el agente oxidante para el cianuro (ver tabla 4), llevándolo a cianato; como parte de esta reacción química se genera cloruro de cianógeno (el cual es un gas contaminante), donde la reacción es prácticamente instantánea, y es independiente del pH.



ión cianuro ión hipoclorito cloruro de cianógeno



cloruro de cianógeno ión cianato

Esta última reacción sucede en un medio alcalino en presencia de NaOH, donde el cloruro de cianógeno pasa a cianato en un pH de 8 a 10. El tiempo de la segunda reacción es dependiente del pH. A un pH de 8,5 – 9,0 dura 10 a 30 minutos para que suceda 100 % una completa conversión de cianuro a cianato.

Tabla 4
Porcentaje de Cloro Molecular, Ácido Hipocloroso, e Ión OCl⁻ en una Solución de Agua Tamponada de pH 6-9 a 20 °C

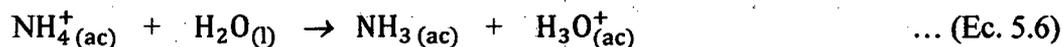
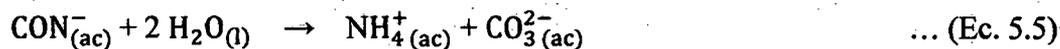
Concentración de la solución 5000 ppm			
pH	Cl ₂	HOCl	OCl ⁻
6,5	0,0063	92,28	7,71
7,0	0,0017	79,1	20,89
7,5	0,0004	54,84	45,51
8,0	0,0001	27,46	72,54
8,5	0,0000	10,69	89,31
9,0	0,0000	3,65	96,35

Fuente: Clifford, G. (1998). Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants

El concepto es llevar todo el cloro gaseoso a Ión hipoclorito y esto ocurre a pH mayor a nueve. Si el pH esta debajo de 9 tendremos mayor presencia de ácido hipocloroso y cloro residual que no está siendo aprovechado, favoreciendo a la formación de cloraminas.

- **Reacción N° 4:**

El ión cianato generado se hidroliza con el agua para formar amonio con carbonato, continúa la reacción de hidrólisis con el agua para formar amoniaco.

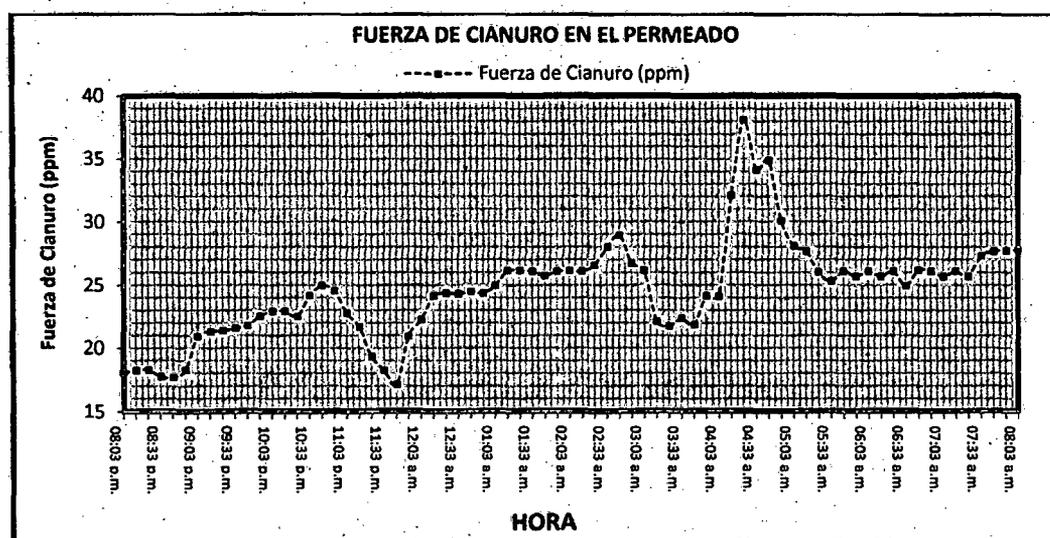


5.2.2.2 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL PERMEADO

a) Efecto de la fuerza de cianuro en el permeado

Al aumentar la fuerza de cianuro en el permeado disminuye el total de compuestos cianurados rechazados.

La concentración de la fuerza de cianuro presenta variabilidad entre 18 y 30 ppm.

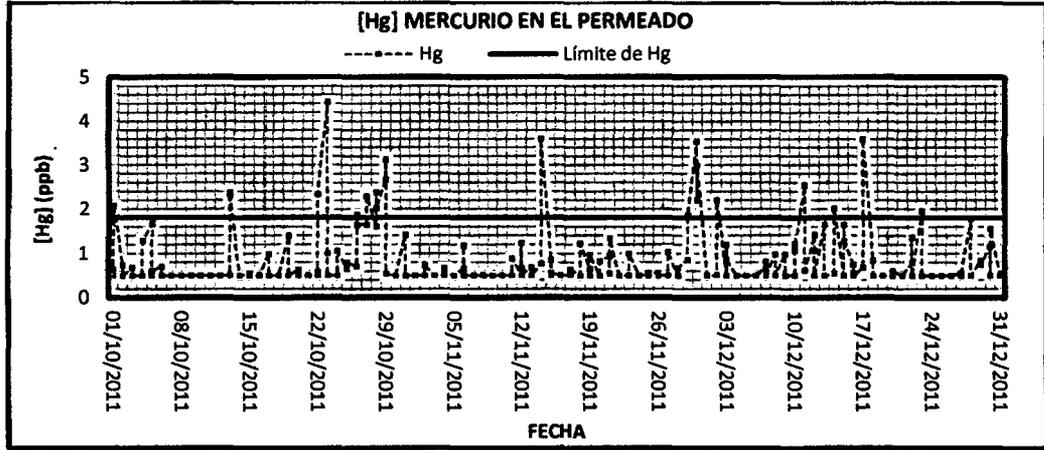


Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Efecto de la fuerza de cianuro en el permeado

b) Concentración de mercurio en el permeado

La presencia de valores de ORP en la solución de alimentación muy alejados del rango entre -60 mv a -80 mv (ya sean positivos o mucho menores) propicia la precipitación de mercurio en las membranas.



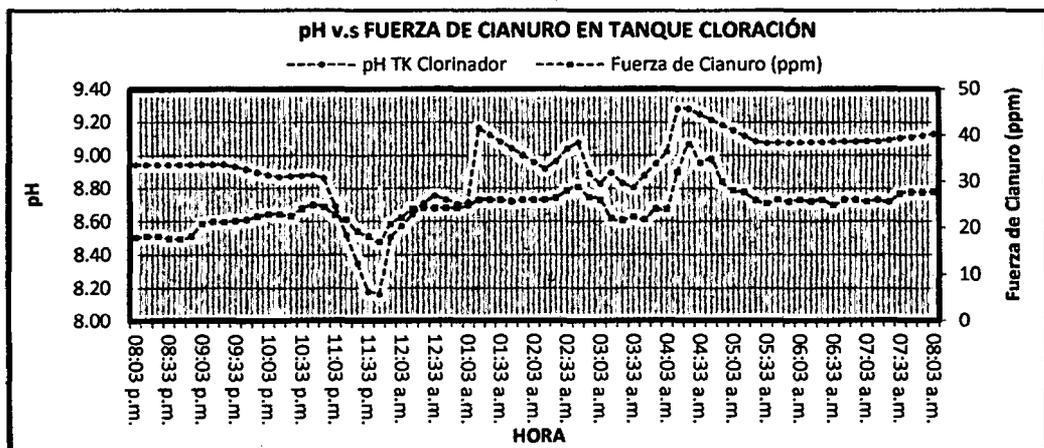
Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Concentración de mercurio en el permeado

5.2.2.3 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL TANQUE DE CLORACIÓN

a) Efecto de la fuerza de cianuro y pH en el tanque de cloración

La concentración de la fuerza de cianuro es directamente proporcional al pH, se grafica el efecto de estas dos variables sin la adición de cloro.

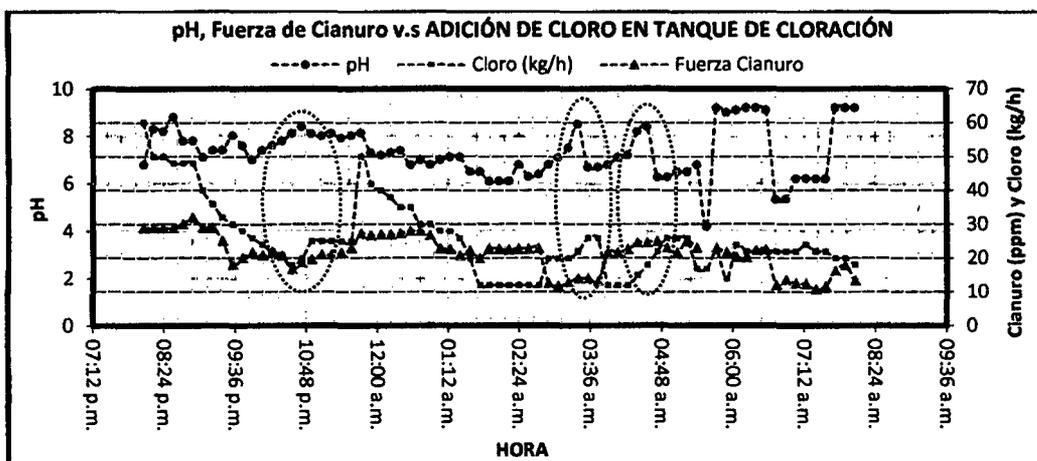


Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Efecto de la fuerza de cianuro y pH en el Tanque de Cloración

b) Efecto del pH y fuerza de cianuro en la adición de cloro en el tanque de cloración

Al adicionar cloro (agente oxidante) a la solución permeada el ORP (potencial óxido-reducción) aumentará, mientras el pH y la fuerza de cianuro disminuye.



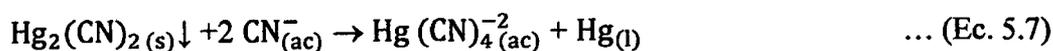
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Efecto del pH y fuerza de cianuro en la adición de cloro

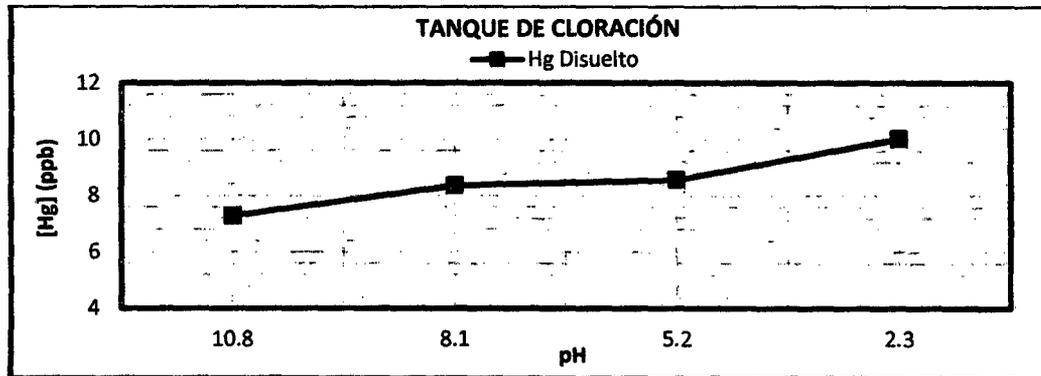
c) Efecto del pH en la concentración de mercurio en el tanque de cloración

- **Control de pH en la adición de cloro**

A pH 7 o neutro el Hg (II) existe como Hg^{2+} , en presencia de ión CN^- es estable formando complejos cianurados en condiciones oxidantes, intensificando la solubilidad produciendo HgCN^+ soluble y $\text{Hg}(\text{CN})_2$ sin embargo a pH neutro el Hg (I) no es estable, se produce la dismutación del Hg (I) en presencia de CN^- , de la siguiente forma:



Al disminuir el pH en la solución menor a 7, en medio ácido el Hg (I) existe como Hg_2^{2+} siendo una especie estable en forma de precipitado de $\text{Hg}_2(\text{CN})_2$, provocando un aumento en la concentración del mercurio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Efecto del pH en el mercurio

Tabla 5

Concentración de mercurio, cloro libre y ORP en función de la variación del pH en el Tanque de Cloración.

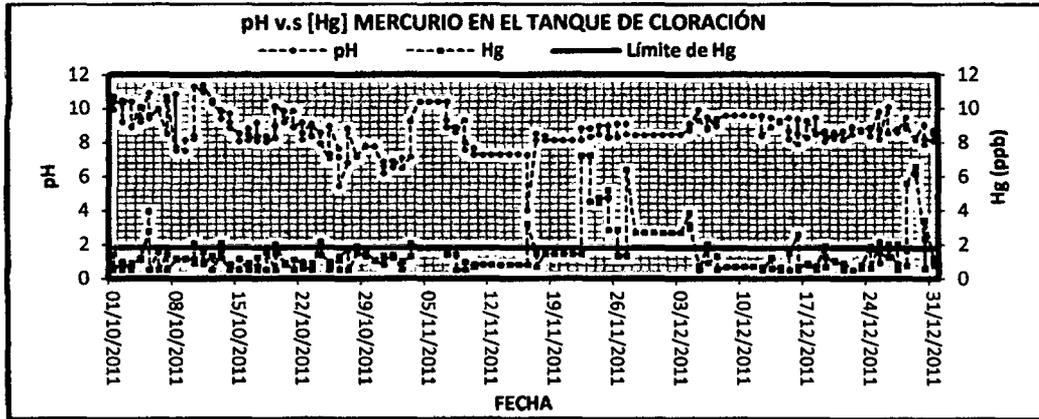
Análisis	pH	ORP	Cl libre	Hg
		(mV)	(ppm)	(ppb)
Punto 1	10,8	200	0,53	7,28
Punto 2	8,1	770	0,56	8,36
Punto 3	5,2	880	0,76	8,56
Punto 4	2,3	1097,2	2,2	10,03

Fuente: Elaboración propia

- **Control de pH en el aumento de la fuerza de cianuro**

Para concentraciones bajas de CN^- se produce un aumento de la estabilidad Hg (I) debido a la precipitación del $\text{Hg}_2(\text{CN})_2$. Posteriormente, un aumento notable de la concentración de CN^- , da lugar a la formación de $\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$, origina una mayor estabilización del Hg (II) que del Hg (I), lo que provoca la dismutación del ión

Hg_2^{2+} (precipitado de $Hg_2(CN)_2$).

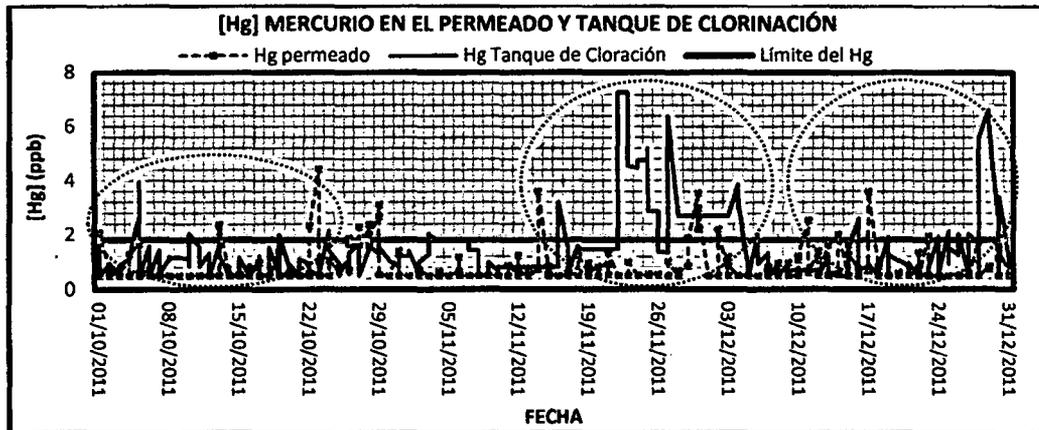


Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Influencia del pH en la concentración de mercurio

d) Comparación entre la concentración del mercurio en el permeado y tanque de cloración

La concentración del mercurio en el permeado es menor que en el tanque de cloración debido a la falta de control en el pH generando mercurio insoluble (precipitación) en el tanque de cloración. (Explicado en el punto 5.2.2.3.3).

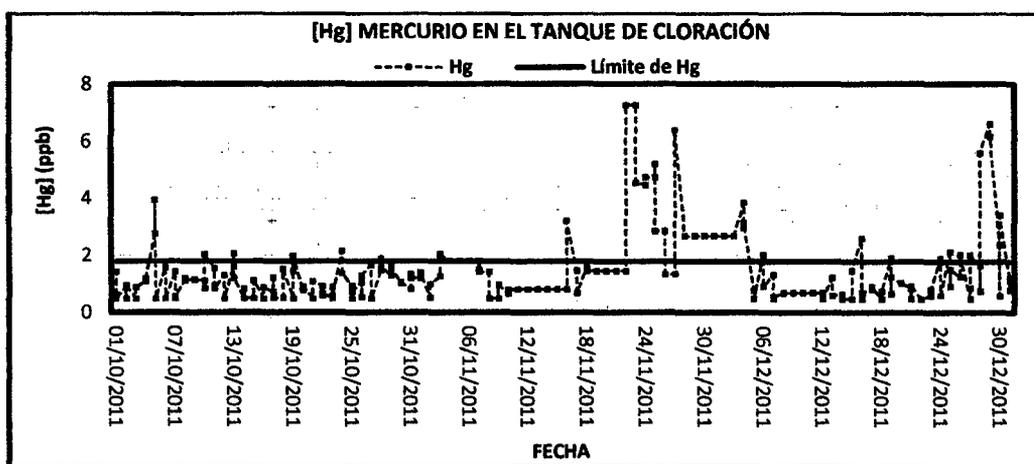


Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Comparación entre la concentración de mercurio del permeado y en la salida del Tanque de Cloración

e) Concentración de mercurio en el tanque de cloración

Se excede el límite máximo operativo de 1,8 ppb en el Tanque de Cloración.

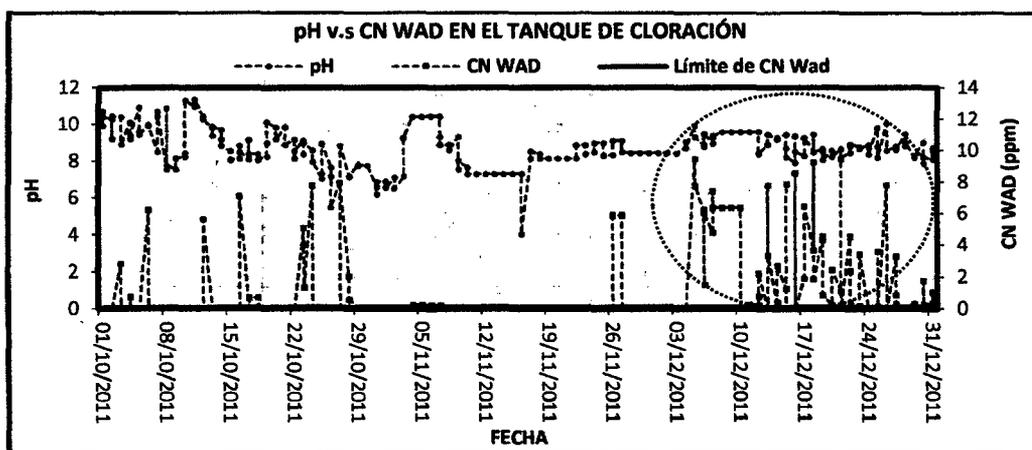


Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Concentración de mercurio en la salida del Tanque de Cloración

f) Efecto del pH en el cianuro wad en el tanque de cloración

La variabilidad de la concentración del CN⁻ wad evita tener un buen control en el pH, generando la detoxificación incompleta en la destrucción del cianuro por adicionar cantidades insuficientes de cloro.

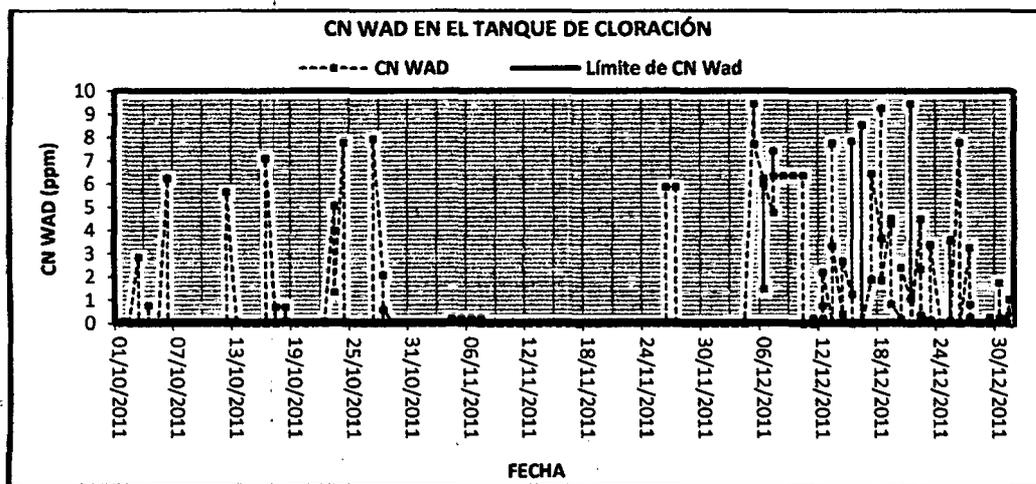


Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Efecto del pH en el cianuro wad

g) Cianuro wad en el tanque de cloración

Se excede el límite máximo operativo de 0,1 ppm en el Tanque de Cloración.

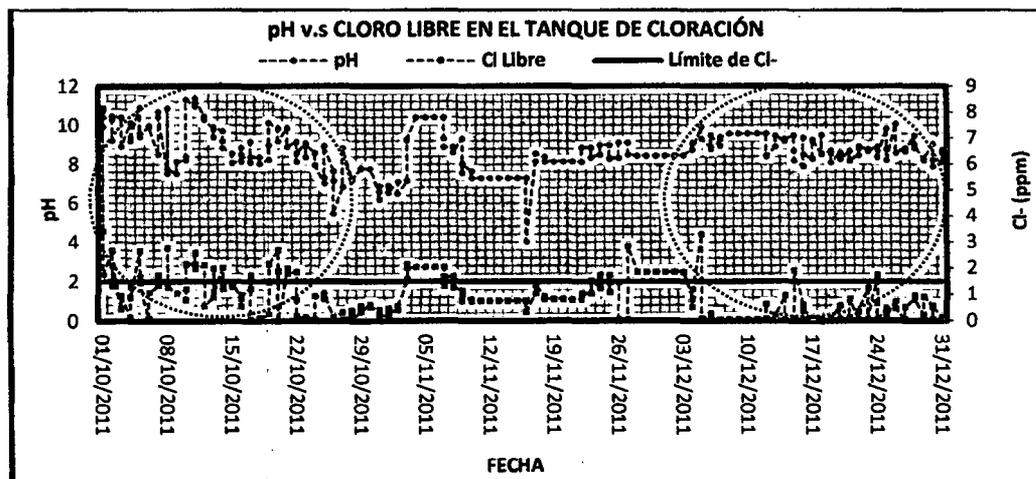


Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Concentración de cianuro wad en la salida del Tanque de Cloración

h) Efecto del pH en el cloro libre en el tanque de cloración

Si el pH es mayor a 8,5 existe menor presencia de ácido hipocloroso y cloro residual, disminuyendo la formación de cloraminas.

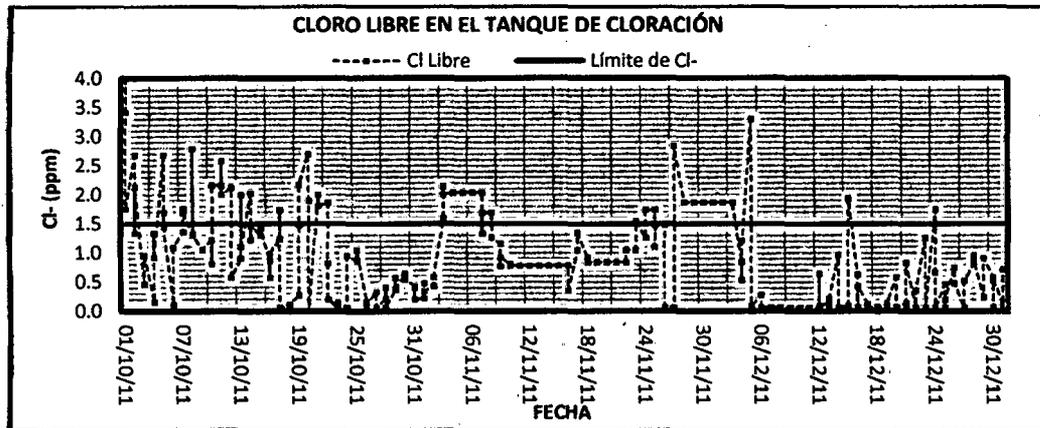


Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Efecto del pH en el cloro libre

i) Cloro libre en el tanque de cloración

Se excede el límite máximo operativo de 1,5 ppm en el Tanque de Cloración.



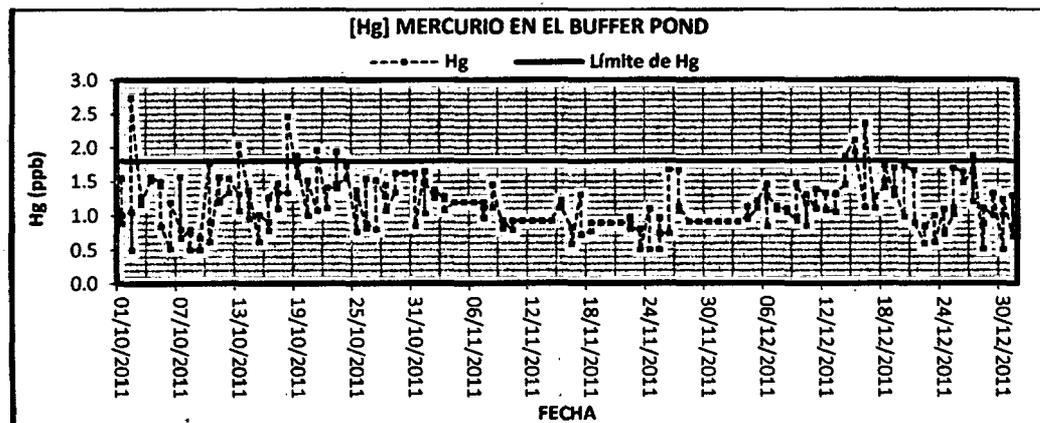
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Concentración de cloro libre en la salida del Tanque de Cloración

5.2.2.4 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL BUFFER POND (POZA AMORTIGUADORA)

a) Concentración de mercurio en el Buffer Pond

Se excede el límite máximo permisible de 1,8 ppb en la descarga del Buffer Pond.

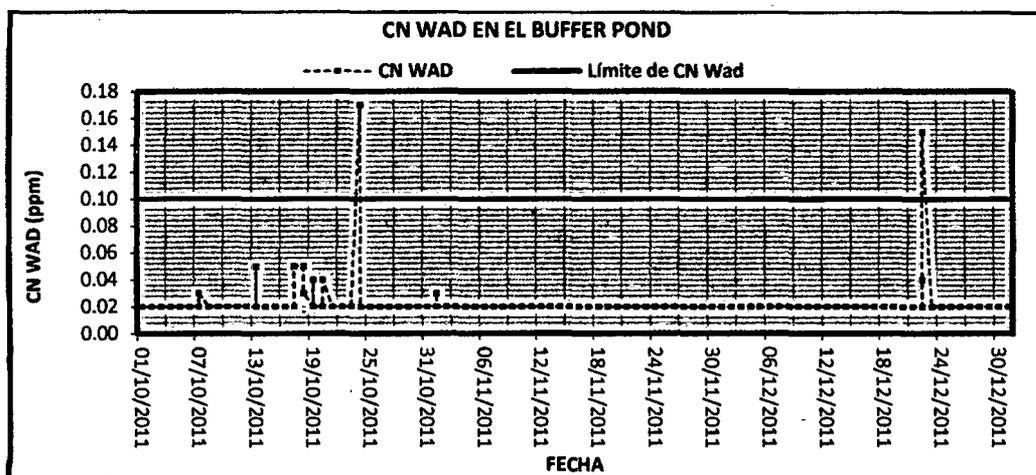


Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Concentración de mercurio en el Buffer Pond

b) Concentración de cianuro wad en el Buffer Pond

Se excede el límite máximo permisible de 0,1 ppm en la descarga del Buffer Pond.

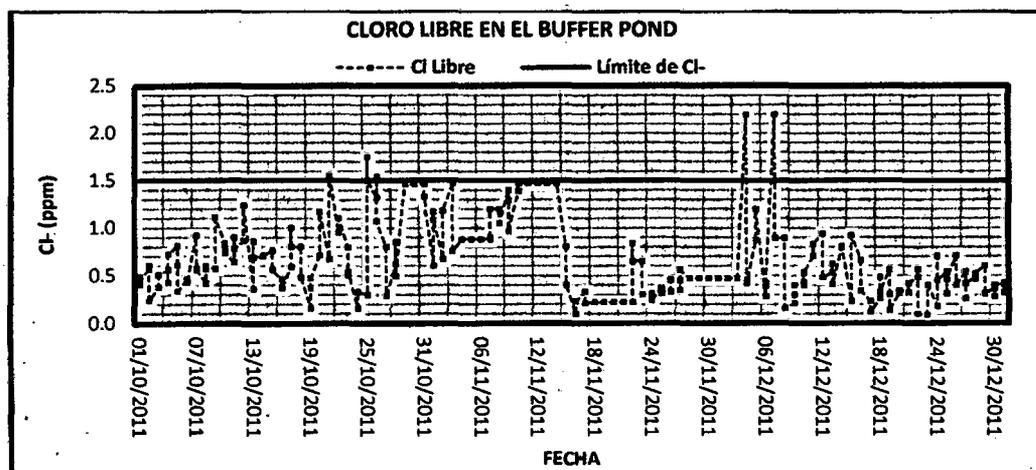


Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Concentración de cianuro wad en el Buffer Pond

c) Concentración de cloro libre en el Buffer Pond

Se excede el límite máximo permisible de 1,5 ppm en la descarga del Buffer Pond.

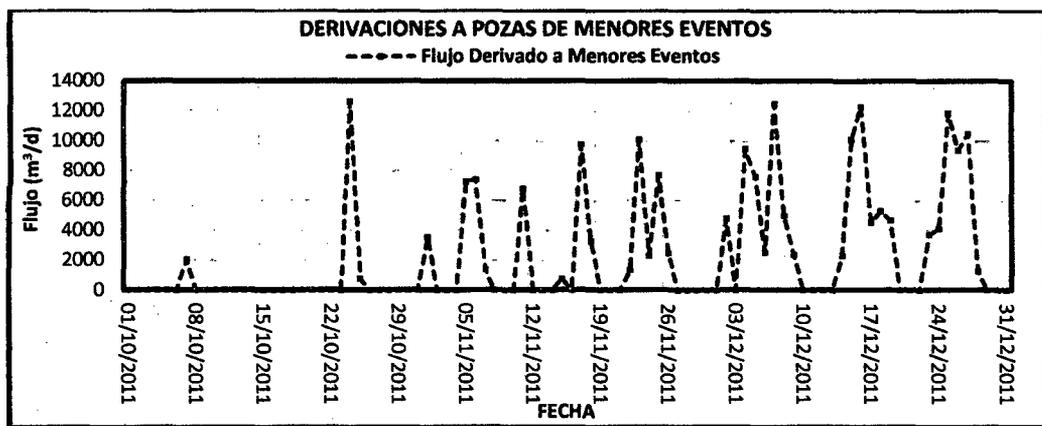


Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Concentración de cloro libre en el Buffer Pond

d) Flujo de solución tratada derivado a Pozas de Menores Eventos

Las variables de estudio que influyen en el Buffer Pond o Poza Amortiguadora son la concentración de mercurio, cianuro wad y cloro libre, encontrándose fuera de los límites máximos permisibles de descarga cada cierto periodo, obligando a derivar la solución a la Poza de Menores Eventos para ser tratada nuevamente provocando un mayor costo en reactivos, uso de equipos y pérdida de eficiencia de planta.



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Flujo tratado derivado a Pozas de Menores Eventos

Tabla 6

Parámetros operativos de la Planta de Ósmosis Inversa y en la descarga de agua

PARAMETROS OPERATIVOS	UNIDADES	PLAN
Barren		
CN libre en solución de ingreso a planta	ppm	≤40
Hg en solución de ingreso a planta	ppb	≤35
Planta Ósmosis Inversa - RO		
Presión ingreso en las membranas	psi	Máximo 330

Flujo de agua permeada	m ³ /h	250 por cada unidad
Eficiencia de planta	%	60 - 74
Ratio de cloro	kgCloro/kg[CN]int	≤4,5
Temperatura del vaporizador de cloro	°F	160 – 180
Nivel de agua vaporizador de cloro	%	Mínimo 75
CN wad en agua descargada al BP	ppm	≤0,10
Hg en agua descargada al BP	ppb	≤1,80
Cl en agua descargada al BP	ppm	≤1,50
pH en agua descargada al BP		6 – 9
Cantidad y calidad de Agua descargada TOTAL al Buffer Pond		
Cantidad de agua descargada al BP	m ³ /h	>1000
CN wad en agua descargada al BP	ppm	≤0,10
Hg en agua descargada al BP	ppb	≤1,80
Cl en agua descargada al BP	ppm	≤1,50
pH en agua descargada al BP		6 – 9

Fuente: Elaboración por empresa minera

5.2.2.5 FORMACIÓN DE CLORAMINAS

La formación de cloraminas se deriva del proceso de clorinación mediante reacciones por el uso de cloro y en el pad de lixiviación por los compuestos que intervienen en el riego de la zona con solución cianurada.

a) Identificación del origen de la formación de amonio

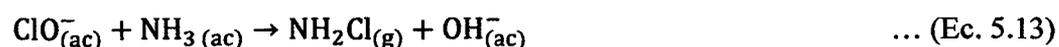
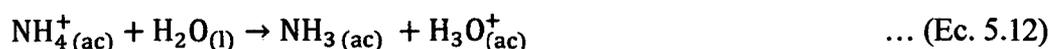
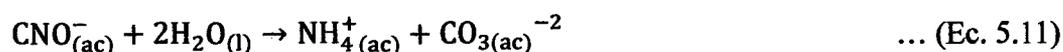
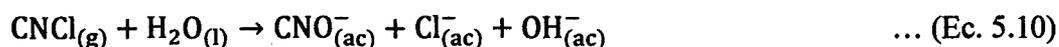
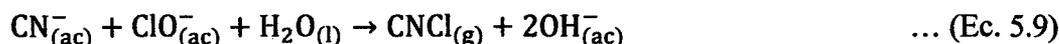
- **Compuestos que intervienen en la formación de la cloraminas**

- Amonio en solución
- Cloro en solución (OCl⁻)
- pH del medio

- **Proceso de clorinación**

En la etapa de la detoxificación del cianuro mediante la clorinación se forma amonio, a su vez este amonio reacciona instantáneamente produciendo amoniaco, quien reacciona con los excesos de residuales del ión hipoclorito no reaccionado con el cianuro, formando cloraminas (NH₂Cl) el cual es un biocida oxidante hasta 3 ppm, pero cuando sobrepasa la concentración mencionada se vuelve un gas de olor desagradable en los sistemas de almacenamiento de solución barren tratada con cloro.

Reacción de formación de cloramina:



Si los excesos de residuales del ión hipoclorito se encuentran en altas concentraciones se derivan las dicloraminas y tricloraminas.

Reacción de formación de dicloramina y tricloramina:

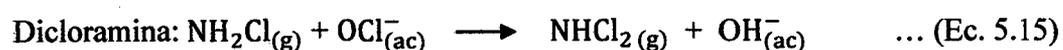
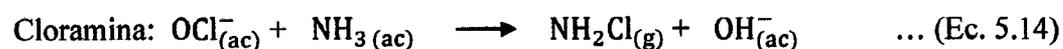




Tabla 7
Formación de compuestos de cloramina en función del pH

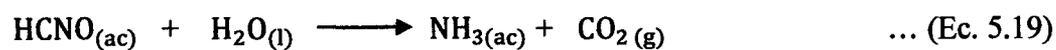
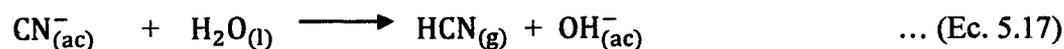
pH de la solución	Tiempo de reacción (s)	Compuestos de cloramina formado
2	421	Tricloramina
4	147	Dicloramina
7	0,2	Monocloraminas
8,3	0,07	Monocloraminas
12	33,2	Monocloraminas

Fuente: Elaboración por empresa minera

- **Proceso de lixiviación**

En el proceso de Lixiviación del mineral en los Pads, se genera el amonio que es transportado hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro.

La concentración de amonio en el barren se muestra en la figura N° 39:



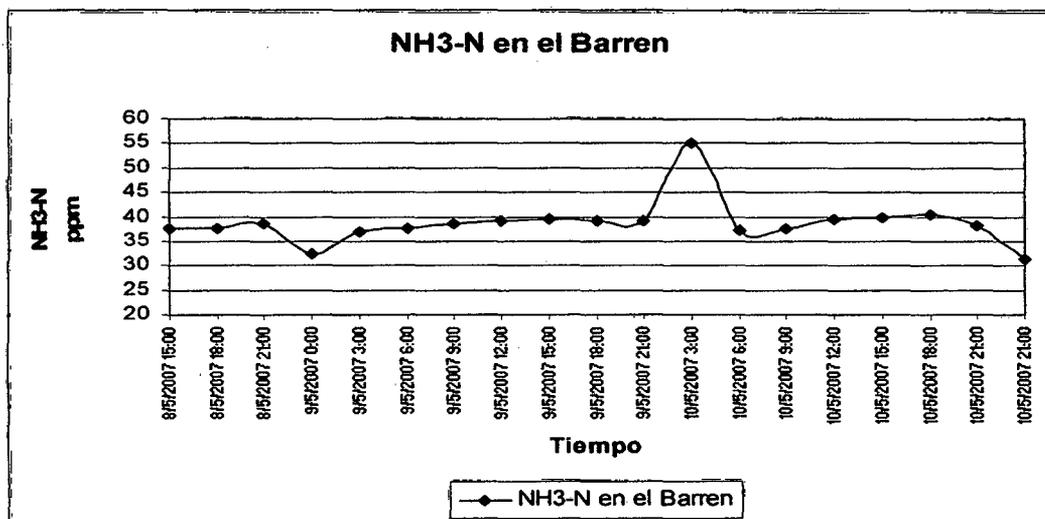
b) Determinación cualitativa y cuantitativa de la cloramina en pruebas en laboratorio.

• **Determinación cualitativa de la cloramina**

La prueba consistió en tomar una muestra del barren (Barren con contenido de amonio) y a esta solución se le adicionó hipoclorito en diferentes concentraciones, agitando el sistema por un tiempo determinado en el cual se percibió la formación de gases irritantes que afectan la vista y el sistema respiratorio. Asimismo se revisó literatura referente a la formación de las cloraminas quienes mencionan que por reacción del amonio y el cloro se genera cloramina gaseosa inmediatamente.

• **Determinación cuantitativa del contenido de amoniaco, cloramina y cloro en la descarga RO (Ósmosis Inversa) y barren.**

Barren: Se muestra un comportamiento estable de concentración amoniaco en el barren en un rango de 35 a 43 ppm de amoniaco.

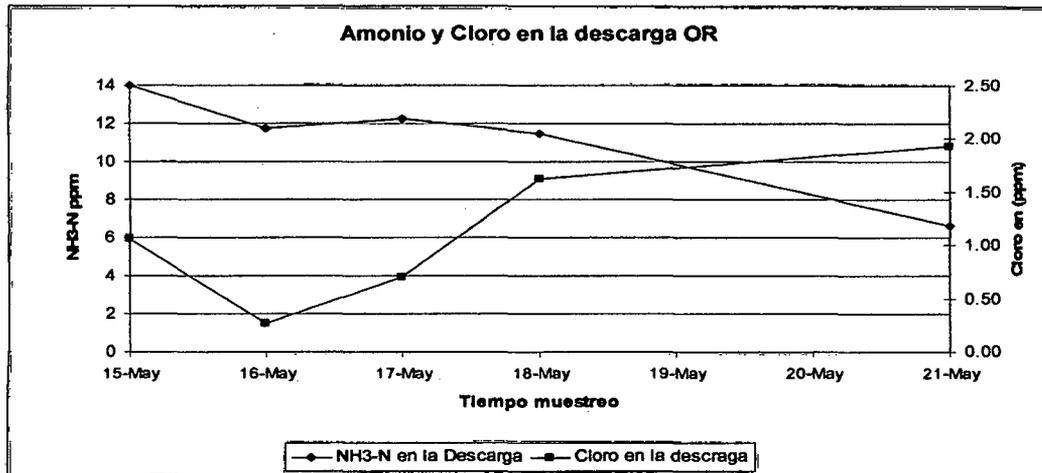


Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 39. Contenido de amoniaco en el barren

Descarga RO (Ósmosis Inversa)

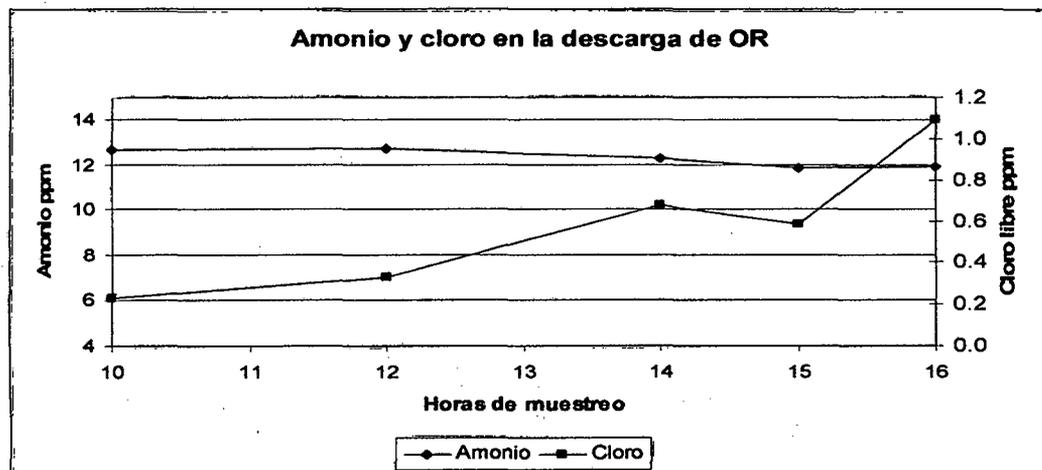
Se muestra la reducción del amoniaco de 14 a 6,5 ppm mientras el contenido de cloro se incrementa de 0,25 ppm hasta 1,9 ppm en la descarga de RO.



Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 40. Concentración de amoniaco y cloro en la descarga RO (en meses)

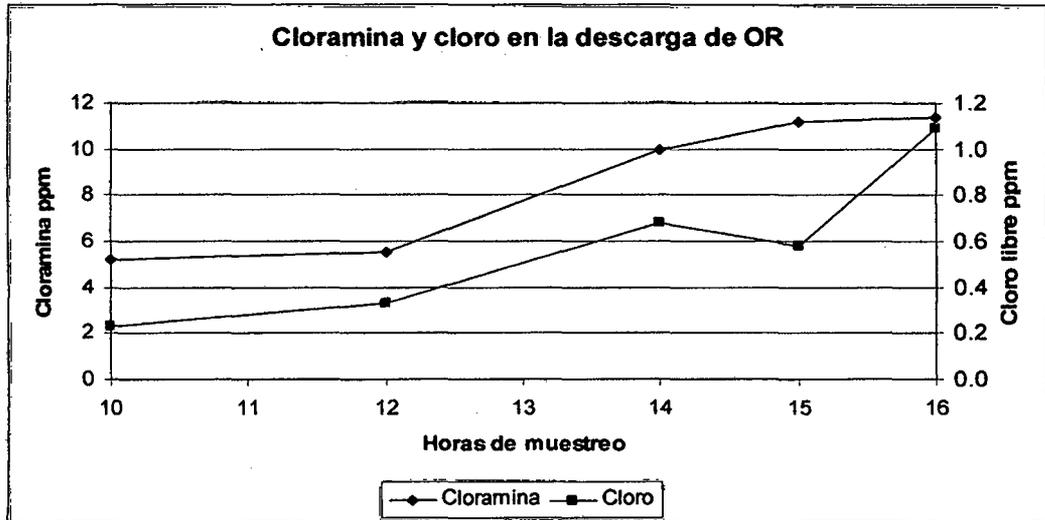
En la siguiente gráfica se muestra el mismo comportamiento de reducción del amoniaco y el incremento del cloro caracterizado por horas.



Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 41. Concentración de amoniaco y cloro en la descarga RO (en horas)

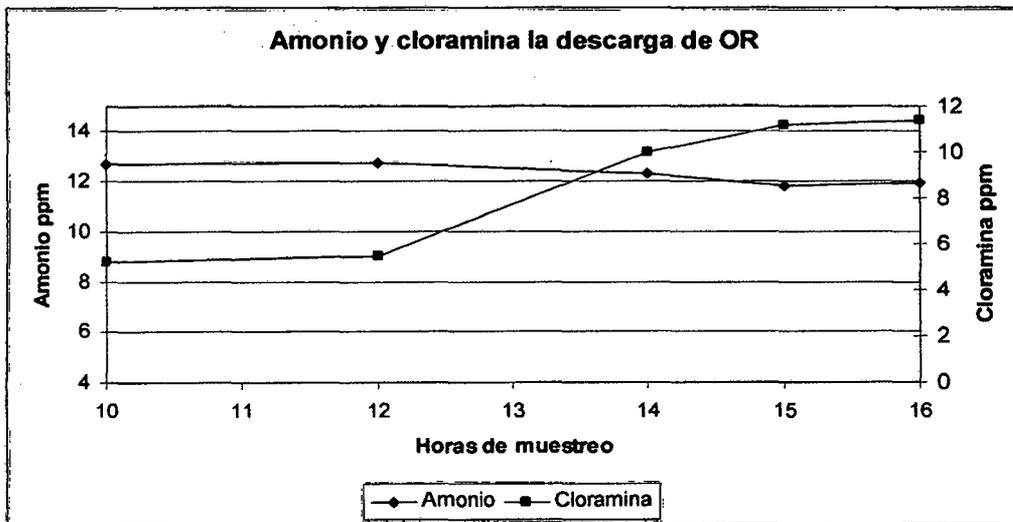
Se muestra el incremento de la cloramina a medida que el cloro se incrementa.



Fuente: Elaboración de empresa minera

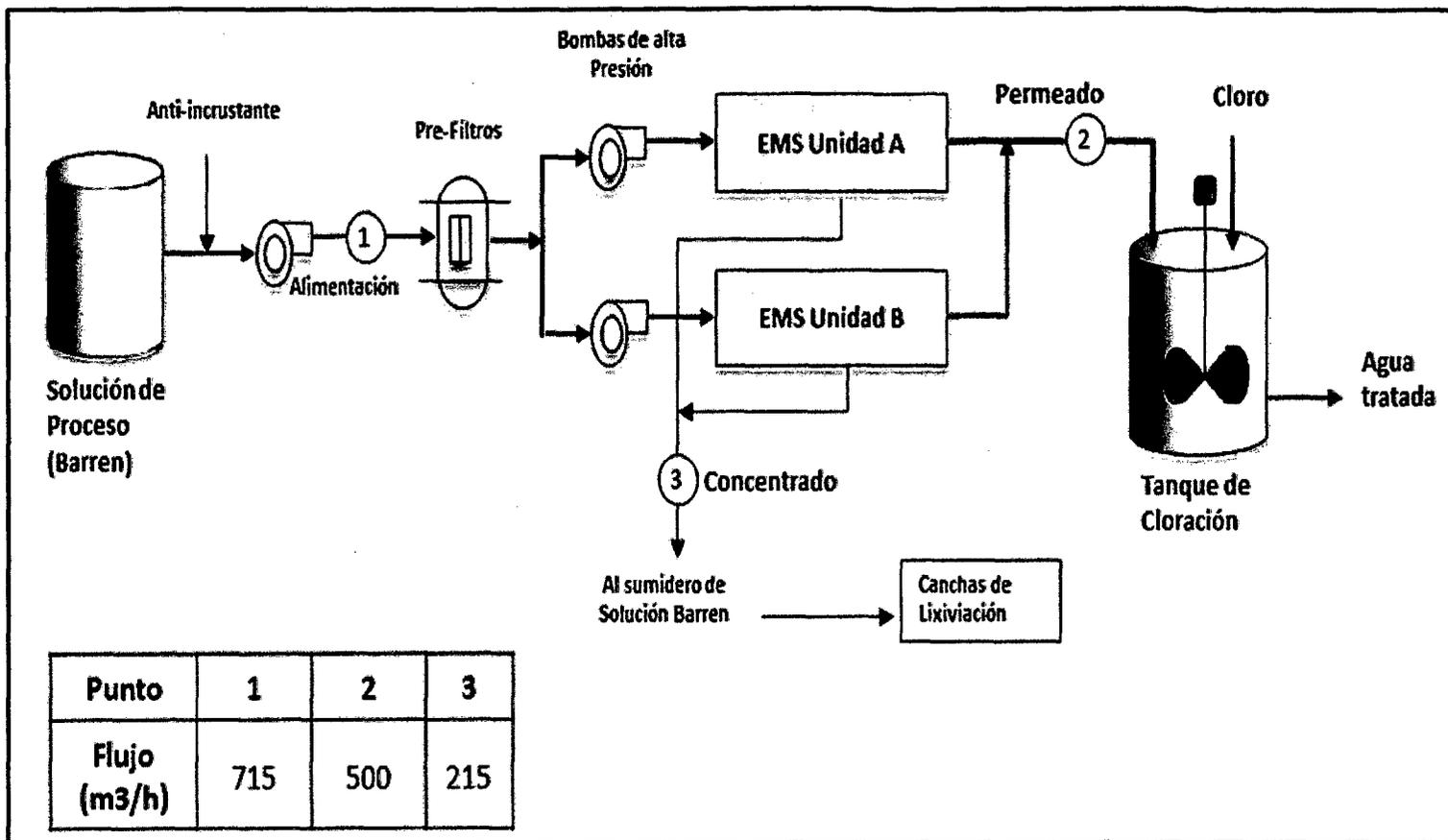
Figura 42. Concentración de cloramina y cloro en la descarga RO

Se muestra la reducción del amonio y el incremento de cloramina en la descarga RO.



Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 43. Concentración de amoniaco y cloramina en la descarga RO



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Esquema de planta de detoxificación de cianuro por cloración

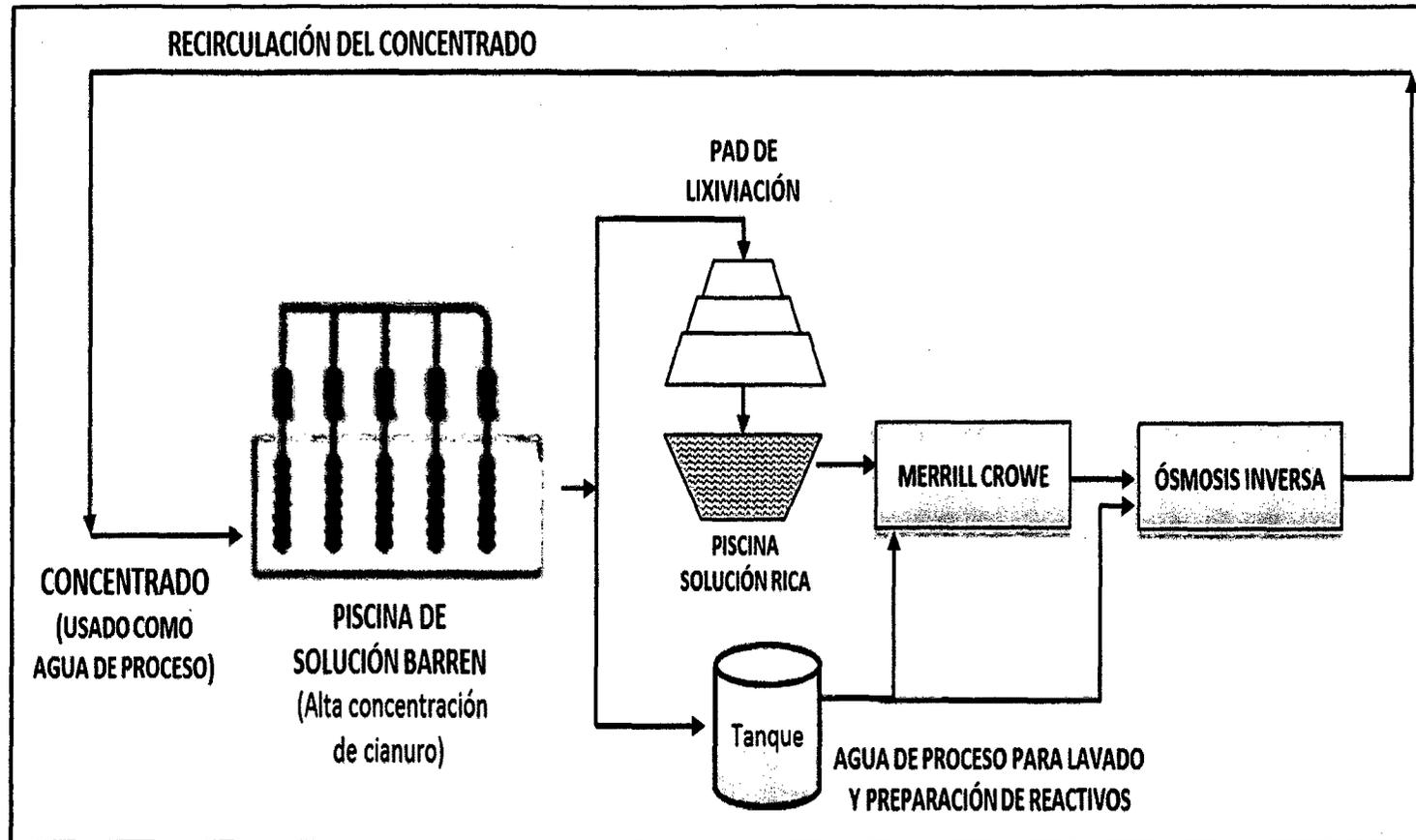
5.2.3 SOLUCIÓN DE CONCENTRADO

Los valores de sulfatos en el sistema de soluciones barren ha llegado a superar el límite máximo de 1800 ppm para su tratamiento en la Planta de Ósmosis Inversa. En la figura N° 46 se muestra los datos históricos de la solución barren en el incremento en la concentración de sulfatos en el año 2010 de 3300 ppm y para el año 2013 se encuentre en 7000 ppm en promedio de concentración. Este incremento es debido principalmente al inicio operativo de la lixiviación de minerales transicionales y a la recirculación de solución concentrado del proceso de ósmosis inversa hacia la pila de lixiviación. Esto trae consigo problemas de saturación rápida dentro de las membranas de ósmosis inversa por haber ya superado el límite de diseño de 1800 ppm, causando daños irreversibles a estas, equipos (bombas de alta presión) y líneas de solución barren por encalichamiento. Se busca reducir estos sulfatos tratando la solución concentrado, enviándolo a la planta convencional de EWTP N° 1 para realizar pruebas a nivel industrial, ver esquema del proceso de la Planta de Reducción de Sulfatos en la figura N° 47.



Fuente: Elaboración de empresa minera

Figura 45. Incremento de valores de sulfatos



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Esquema del recorrido de la solución concentrada

5.3 PROPUESTA DE MEJORA

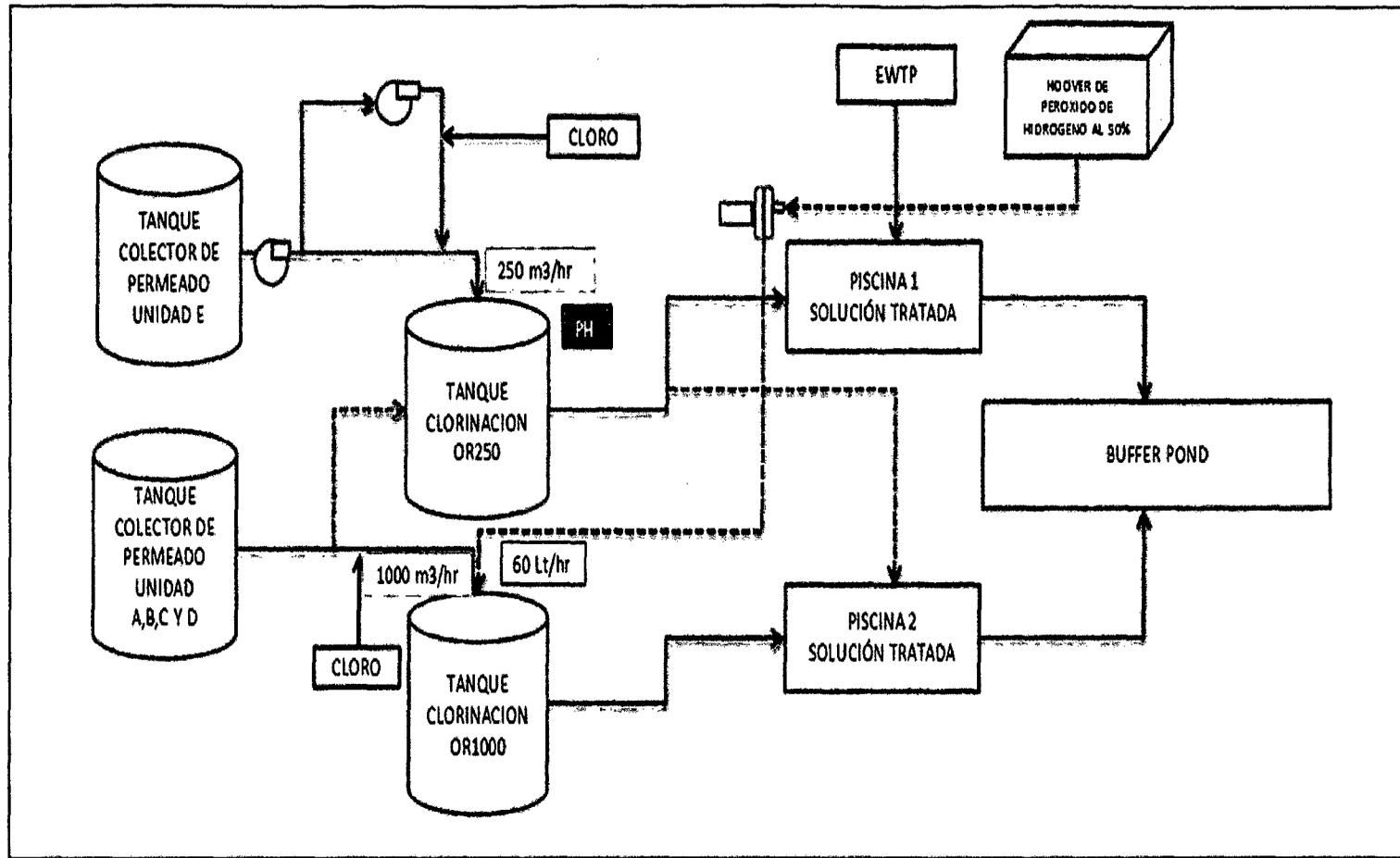
5.3.1 REMOCIÓN DE RESIDUALES DE CLORO, CLORAMINAS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE PERMEADO

El proceso del Oxígeno Singlete es un nuevo desarrollo de tecnología limpia en oxidación avanzada eficaz para el tratamiento de soluciones en la oxidación de Cianuro libre y Cianuro Wad, y tal como se indica en la reacción (Ec. 5.20 y Ec. 5.21), el Peróxido de Hidrógeno reacciona para formar el cianato y agua, que a su vez se hidrolizan para formar iones carbonatos e iones amonio.

Para la detoxificación de cianuro en la solución de permeado se debe inyectar peróxido de hidrógeno a la línea que ya contiene cloro gaseoso disuelto en la solución permeada. La dosis a trabajar es en función del ratio H_2O_2 (50%)/Cloro.

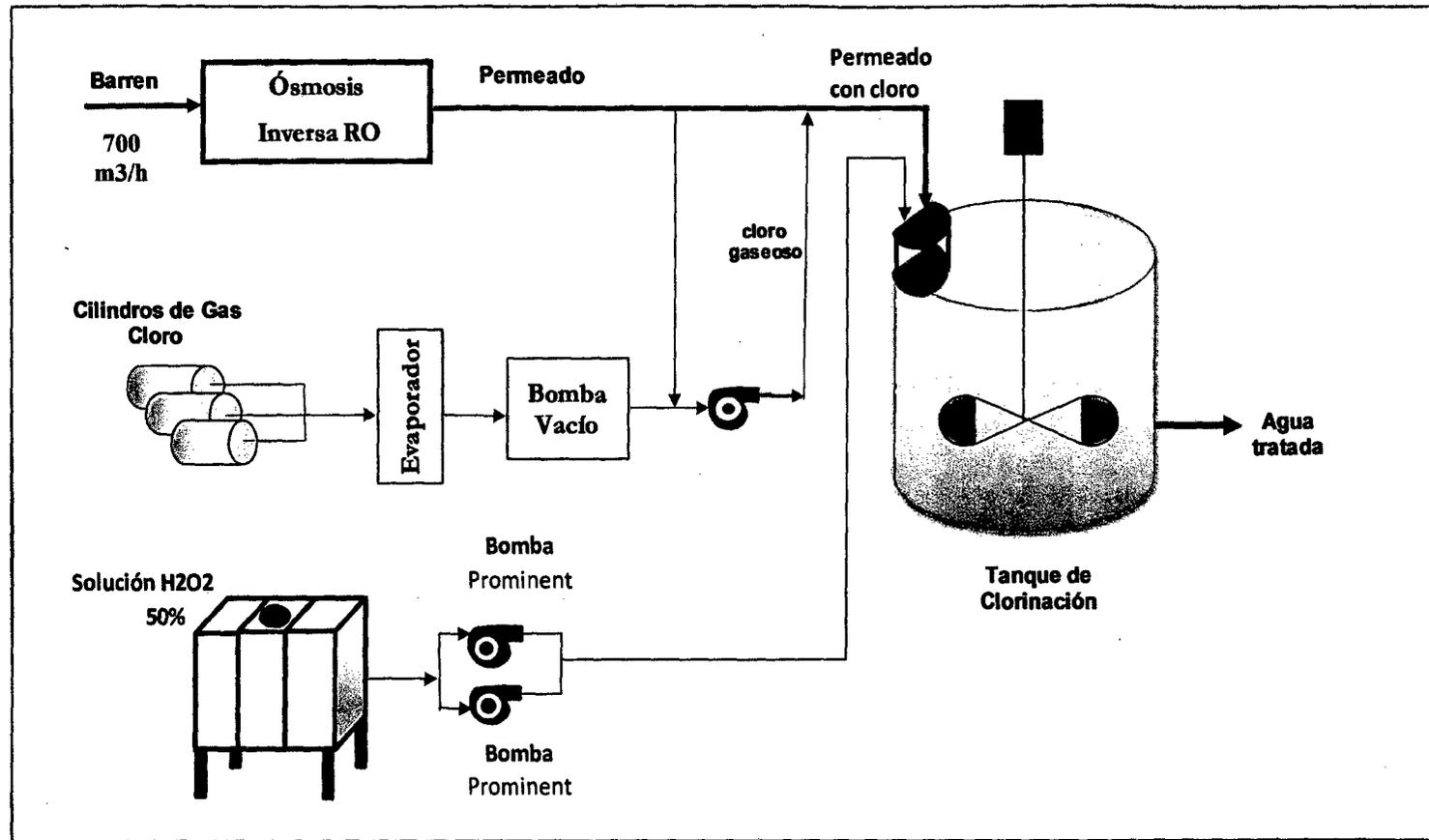
La aplicación es directa y simple del H_2O_2 al 50%, la succión es negativa desde un IBC (envase de plástico) de 1 m^3 de capacidad mediante el uso de una bomba compatible con peróxido de hidrógeno y presión de inyección superior a la presión actual de la línea de solución permeado con contenido de cloro antes de su mezcla en el tanque de reacción.

La ventaja del uso de este sistema es que no dejará residual de cloro que pueda generar inestabilidad en las concentraciones del mercurio, cianuro wad y formación de cloraminas o trietalometanos que son contaminantes subproductos del uso del cloro o hipoclorito.



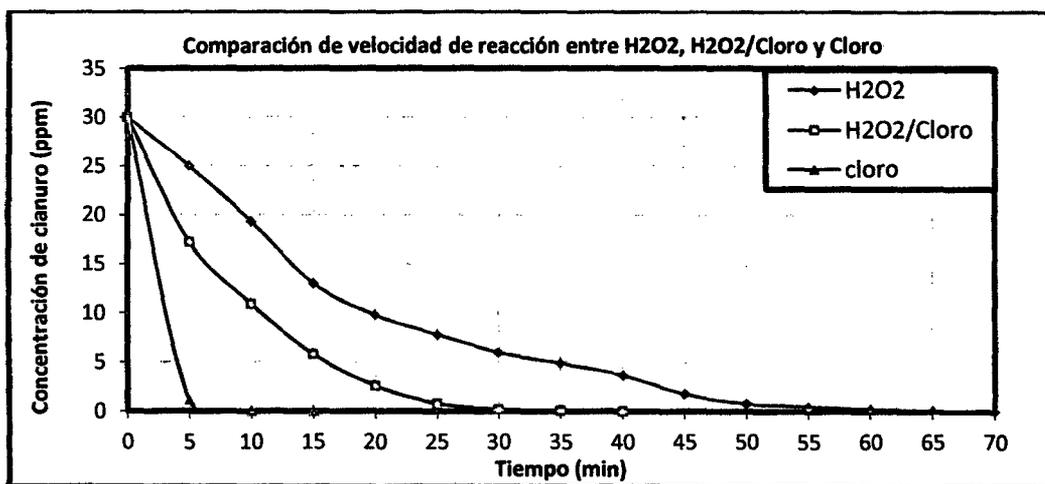
Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua



Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Diagrama de flujo del tratamiento de aguas usando la tecnología del oxígeno singlete



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Comparación de velocidad de reacción entre H2O2, H2O2/Cloro y Cloro

Tabla 8

Comparación de velocidad de reacción entre H2O2, H2O2/Cloro y Cloro

Tiempo (min)	Concentración de cianuro (ppm)		
	H2O2	H2O2/cloro	Cloro
0	30	30	30
5	25	17.2	1.1
10	19.3	10.9	0.06
15	13	5.8	0.02
20	9.8	2.6	-
25	7.8	0.8	-
30	6	0.2	-
35	4.9	0.09	-
40	3.7	0.05	-
45	1.8	-	-
50	0.82	-	-
55	0.51	-	-
60	0.28	-	-
65	0.15	-	-
70	0.09	-	-

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.1 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE PERMEADO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE

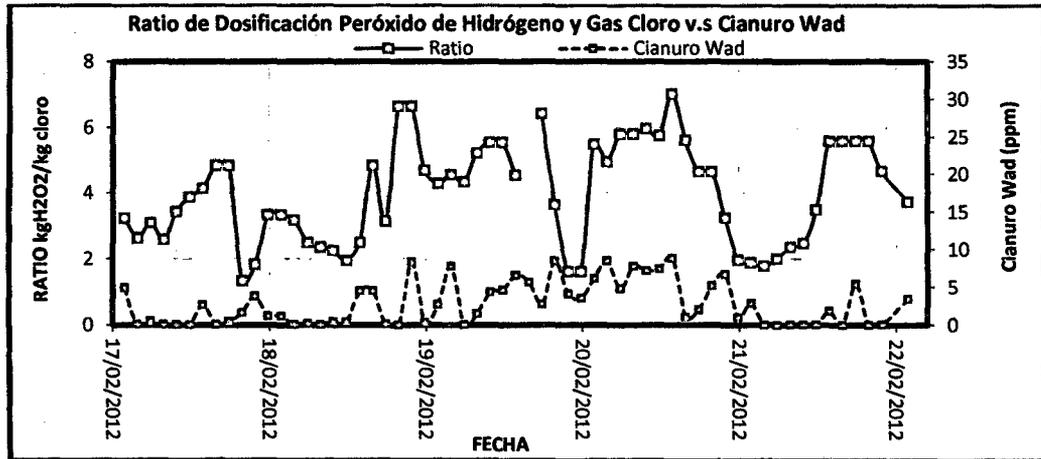
a) Ratio óptimo de dosificación en la destrucción del cianuro wad

El oxígeno singlete u oxígeno nascente es generado por la mezcla del peróxido de hidrógeno con el ión hipoclorito por un espacio pequeño de tiempo (segundos) como etapa inicial pre a la formación del oxígeno puro (O_2).

Las pruebas se realizan a diferentes ratios, es la relación de Peróxido de Hidrógeno (50%) y Cloro (ión hipoclorito) en función del peso. La dosificación de peróxido de hidrógeno es muy por encima de la dosificación de ión hipoclorito por lo que el único residual a producir será el ión cloruro el cual es inactivo.

El ratio de dosificación óptimo encontrado es 8,7 para valores máximos de 5 ppm de cianuro wad en la salida del tanque de reacción. La cantidad de peróxido de hidrógeno con respecto a la cantidad de cloro no debe ser muy alta porque la velocidad de reacción es menor que si se usara solo cloro, el tiempo de residencia en el tanque es de 15 minutos insuficiente para completar la reacción, la solución detoxificada es enviada a la poza amortiguadora o buffer pond encontrándose a una distancia de 50 km aproximadamente, en el trayecto la reacción es completada corroborándose mediante análisis en la poza amortiguadora obteniendo valores de cianuro wad menores a 0,1 ppm.

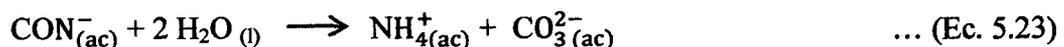
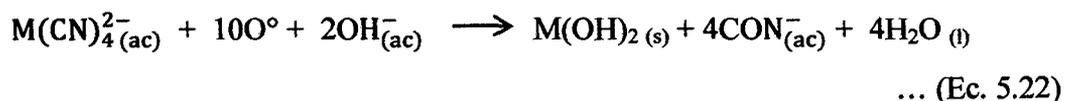
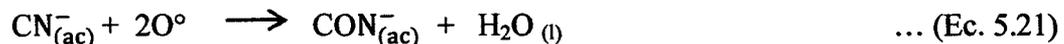
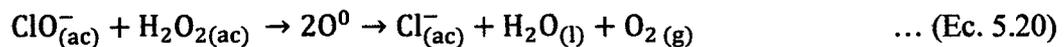
Para obtener valores de cianuro wad por debajo de 0,1 ppm en el tanque de reacción se debe dosificar volúmenes grandes de peróxido de hidrogeno al 50% no siendo necesario en la operación; no se debe reducir el ratio de dosificación porque genera concentraciones de contaminación por cloraminas como se muestra en los valores puntuales de la figura N° 50 para ratios de dosificación de 2,5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Ratio óptimo de dosificación en la destrucción del cianuro wad

La reacción de oxidación y remoción de cianuro libre, cianuro wad se lleva a cabo a un pH de aproximadamente 8,5 a 9,5. El oxígeno singlete reacciona para formar el cianato y agua, que a su vez se hidrolizan para formar iones carbonatos e iones amonio, las reacciones que se producen son:



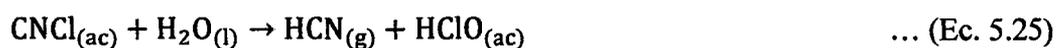
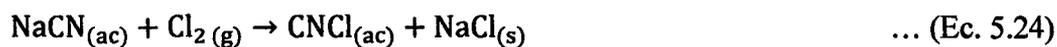
b) Efecto del pH entre los Métodos de Cloración y Oxígeno Singlete

Se compara el pH que se produce entre los métodos usados en la destrucción de cianuro.

-Método de Cloración - Reacción Lenta a pH menor a 8,5:

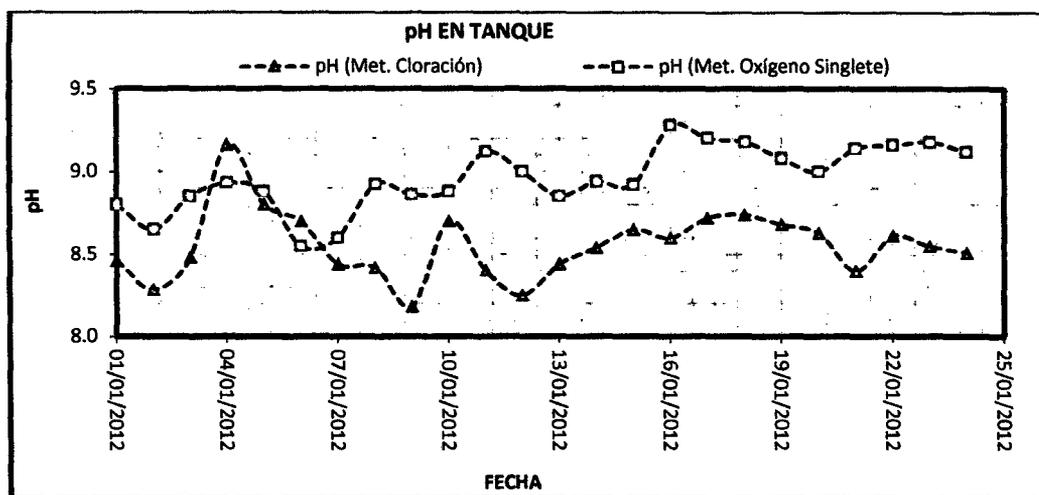
El cloruro de cianógeno es lentamente hidrolizado por el agua para liberar cianuro

de hidrógeno.



-Método del Oxígeno Singlete - Reacción Rápida a pH mayor a 8,5:

Existe un aumento y estabilidad del pH al usar el oxígeno singlete en conjunto con NaOH en el tanque, eliminando los residuos del ión hipocloroso que forman cloruro de cianógeno en la solución.



Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Efecto del pH en la estabilidad del Cloruro de cianógeno

Tabla 9

Efecto del pH en la estabilidad del cloruro de cianógeno

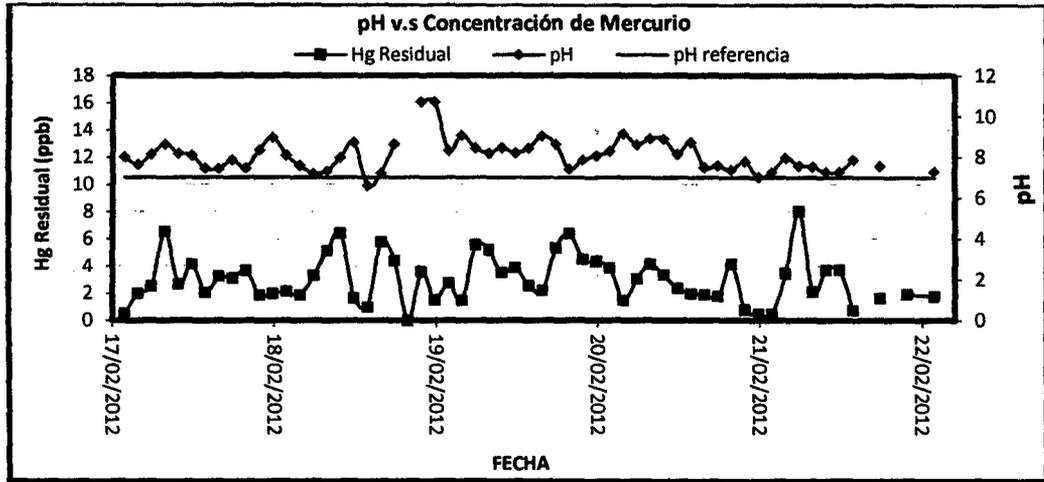
pH TANQUE				
FECHA (Enero)	pH (Enero)	FECHA (Marzo)	pH (Marzo)	pH referencia
01/01/2012	8,46	01/01/2012	8,80	8,5
02/01/2012	8,28	02/01/2012	8,65	8,5
03/01/2012	8,48	03/01/2012	8,85	8,5

04/01/2012	9,16	04/01/2012	8,93	8,5
05/01/2012	8,80	05/01/2012	8,88	8,5
06/01/2012	8,70	06/01/2012	8,55	8,5
07/01/2012	8,44	07/01/2012	8,60	8,5
08/01/2012	8,42	08/01/2012	8,92	8,5
09/01/2012	8,18	09/01/2012	8,86	8,5
10/01/2012	8,70	10/01/2012	8,88	8,5
11/01/2012	8,40	11/01/2012	9,12	8,5
12/01/2012	8,25	12/01/2012	9,00	8,5
13/01/2012	8,44	13/01/2012	8,85	8,5
14/01/2012	8,54	14/01/2012	8,94	8,5
15/01/2012	8,65	15/0/2012	8,92	8,5
16/01/2012	8,60	16/01/2012	9,28	8,5
17/01/2012	8,72	17/01/2012	9,20	8,5
18/01/2012	8,74	18/01/2012	9,18	8,5
19/01/2012	8,68	19/01/2012	9,08	8,5
20/01/2012	8,63	20/01/2012	9,00	8,5
21/01/2012	8,40	21/01/2012	9,14	8,5
22/01/2012	8,61	22/01/2012	9,16	8,5
23/01/2012	8,55	23/01/2012	9,18	8,5
24/01/2012	8,51	24/01/2012	9,12	8,5

Fuente: Elaboración propia

c) Efecto del pH en la concentración de mercurio

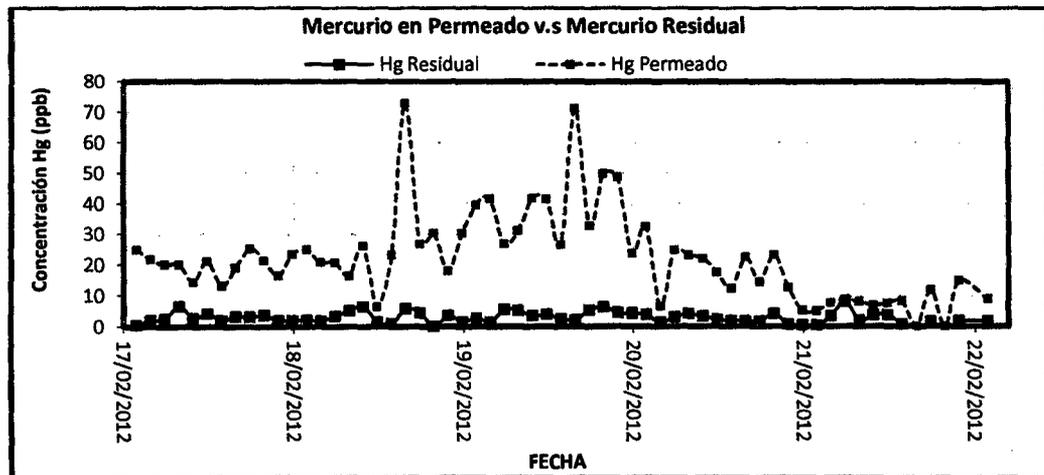
El pH es estable por encima de 7 esto evita la redisolución del mercurio en la solución tratada. La concentración de mercurio máximo obtenido en el tanque de reacción es de 4 ppb para un ratio de dosificación óptima encontrada de 8,7, la reacción está incompleta por presentar un tiempo de residencia insuficiente en el tanque de 15 minutos, la reacción termina en la poza amortiguadora obteniendo valores dentro de los límites máximos permisibles menor a 1,8 ppb.



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Efecto del pH en la concentración de mercurio

Las pruebas realizadas en la destrucción de cianuro a diferentes ratios de peróxido de hidrógeno y gas cloro a un pH básico verifica que el método del oxígeno singlete mantiene estable y soluble la concentración del mercurio presentando valores en el mercurio residual menores al mercurio en el permeado, lo contrario de lo ocurrido en el método de cloración.



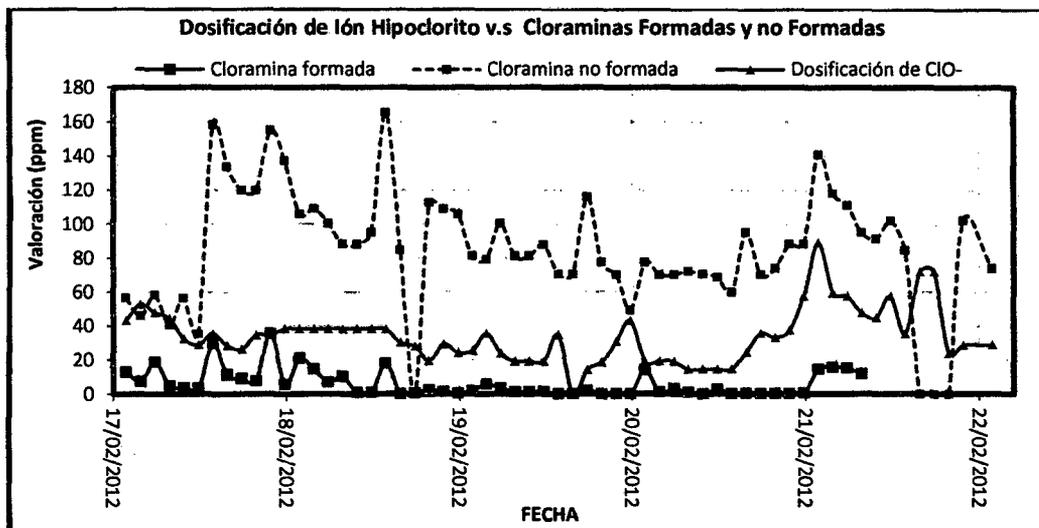
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Comparación entre el mercurio del permeado y el mercurio residual

d) Inhibición de formación de cloraminas mediante la tecnología del oxígeno singlete

Mediante la tecnología del oxígeno singlete se evita que haya residuales de iones hipocloritos reaccionando con el amoniaco y generando compuestos de cloraminas. Se observó que no había olores fuertes después de la destrucción de cianuro por la formación de cloraminas.

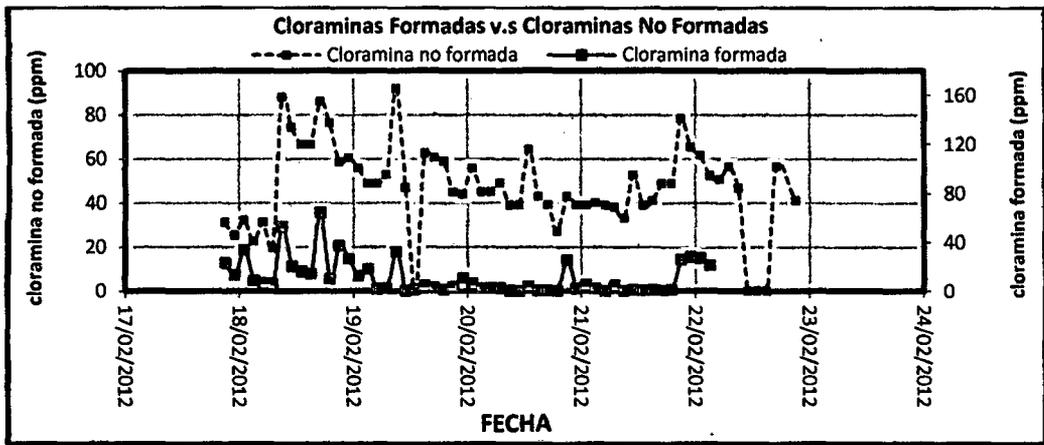
En la gráfica, hay mayor formación de cloraminas no formadas, esto debido a que el peróxido de hidrogeno está reaccionando directamente con el ión hipoclorito (OCl^-) dejando libre el ión cloruro. Existe una relación en la generación de las cloraminas formadas y no formadas. Las cloraminas no formadas provienen del ión cloruro, que se genera al reaccionar el cloro con el peróxido, antes de la reacción del amoniaco con el ión hipoclorito proveniente del gas cloro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Cloraminas formadas y no formadas con respecto a la adición del ión hipoclorito

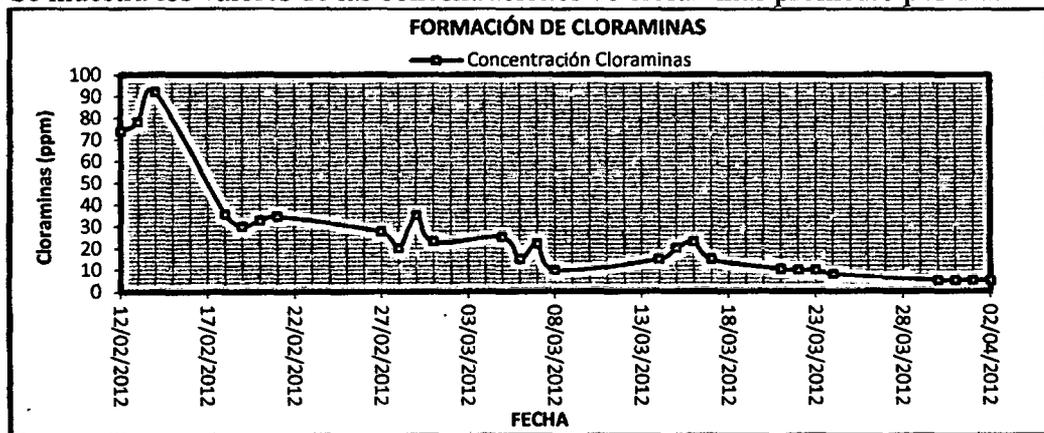
La cloramina formada, es un valor cualitativo obtenido de la relación de la diferencia de cloro total y cloro libre, este dato se puede confirmar con la disminución de olores. La cloramina no formada, es un valor indirecto estequiométrico a partir de la reacción final del peróxido con el hipoclorito (cloruros). Los resultados promedio de cloraminas no formadas es de 84,45 ppm y formadas es de 6,3 ppm.



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Comparación entre cloraminas formadas y no formadas

Se muestra los valores de las concentraciones de cloraminas promedio por día.



Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Inhibición de formación de cloraminas

Tabla 10
Concentración de formación de cloraminas

FORMACIÓN DE CLORAMINAS			
FECHA	Concentración Cloraminas (ppm)	FECHA	Concentración Cloraminas (ppm)
12/02/2012	73,75	08/03/2012	10,00
13/02/2012	78,00	14/03/2012	15,00
14/02/2012	92,00	15/03/2012	20,00
18/02/2012	35,50	16/03/2012	23,00
19/02/2012	30,00	17/03/2012	15,00
20/02/2012	32,75	21/03/2012	10,50
21/02/2012	34,50	22/03/2012	10,00
27/02/2012	27,50	23/03/2012	10,00
28/02/2012	20,00	24/03/2012	8,00
29/02/2012	35,00	30/03/2012	5,00
01/03/2012	23,00	31/03/2012	5,00
05/03/2012	25,00	01/04/2012	5,00
06/03/2012	15,00	02/04/2012	5,00
07/03/2012	22,00	03/04/2012	5,00

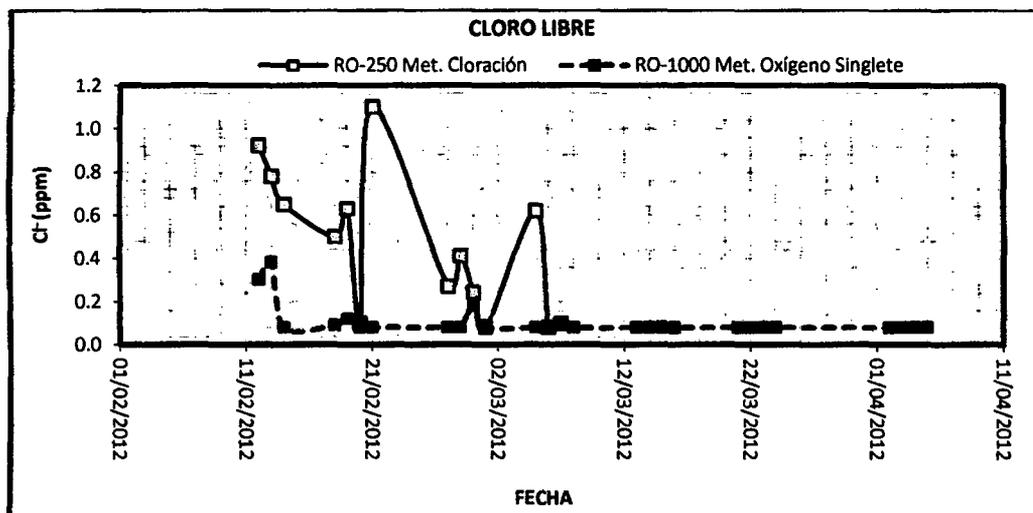
Fuente: Elaboración propia

e) Reducción de cloro libre

En la figura N° 57 se realiza la comparación de concentración de cloro libre entre los métodos de oxígeno singlete y cloración en dos tanques denominados RO-250 y RO-1000. Se puede observar que en el tanque RO-250 usado por el método de cloración existe gran variabilidad en el cloro libre debido a la falta de control en el pH de la reacción mientras que en el tanque RO-1000 usado por el método del oxígeno singlete se tienen valores de 0,08 ppm debajo del límite máximo permisible de 1,5 ppm mostrando estabilidad y remoción de residuales de cloro.

En la figura N° 58 se muestra la concentración de cloro libre a diferentes ratios de peróxido y gas cloro en un medio alcalino, demostrando la estabilidad del método

usado con valores de concentración mínimo de cloro libre de 0,06 ppm.



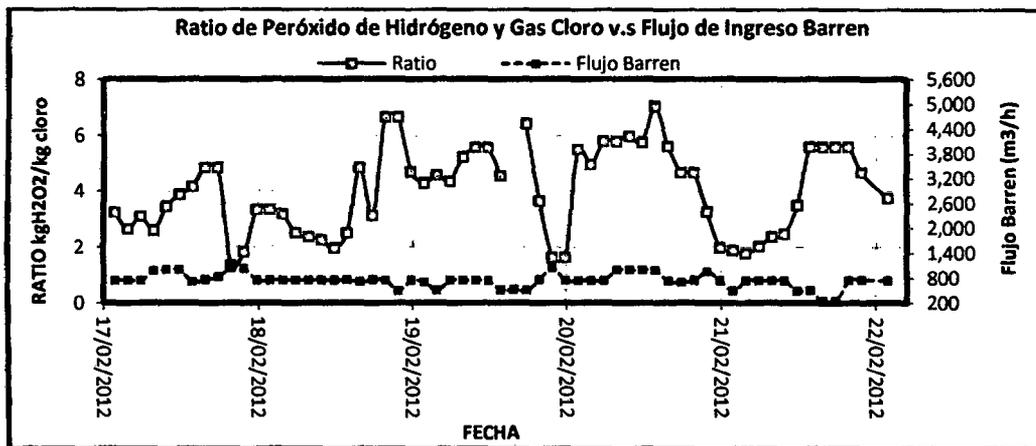
Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Comparación entre la concentración de cloro libre por los métodos de oxígeno singlete y cloración.

Tabla 11

Comparación entre la concentración de cloro libre por los métodos de oxígeno singlete y cloración

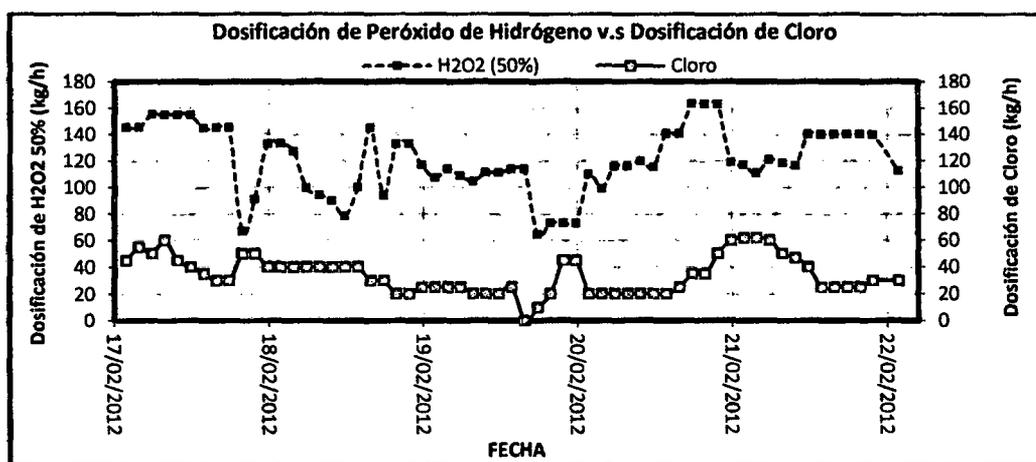
CLORO LIBRE RO'S					
FCEHA	RO-250	RO-1000	FCEHA	RO-250	RO-1000
	Cl ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)		Cl ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)
12/02/2012	0,92	0,30	08/03/2012	-	0,08
13/02/2012	0,78	0,38	13/03/2012	-	0,08
14/02/2012	0,65	0,08	14/03/2012	-	0,08
18/02/2012	0,50	0,09	15/03/2012	-	0,08
19/02/2012	0,63	0,12	16/03/2012	-	0,08
20/02/2012	0,10	0,08	21/03/2012	-	0,08
21/02/2012	1,10	0,08	22/03/2012	-	0,08
27/02/2012	0,27	0,08	23/03/2012	-	0,08
28/02/2012	0,41	0,08	24/03/2012	-	0,08



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Influencia del flujo de ingreso solución barren en el Ratio de dosificación H₂O₂/cloro

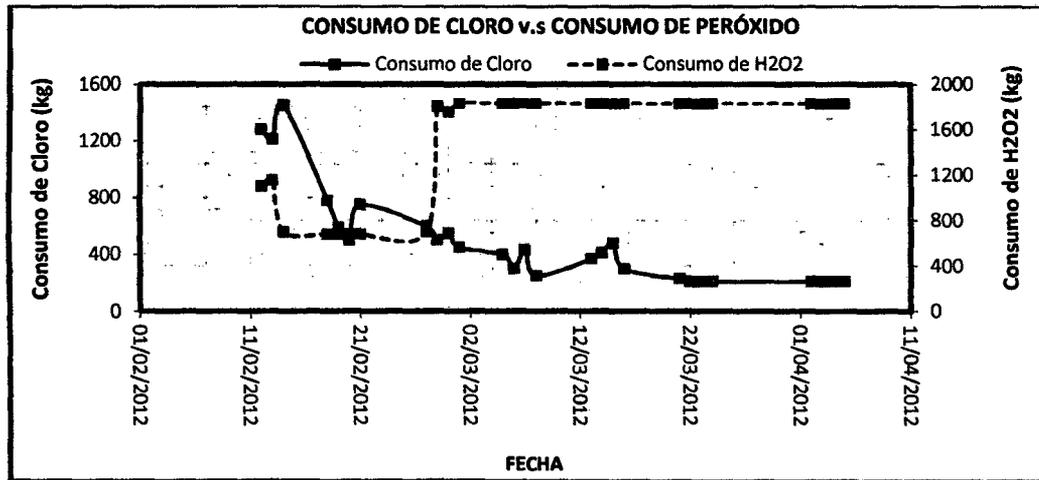
La dosificación de ambos químicos, peróxido de hidrógeno al 50% y cloro gas, no se mantiene constante a un nivel de dosificación en kg/h, debido principalmente que la solución proveniente del permeado de la ósmosis es variable (debido a las variaciones del flujo provenientes de planta Merriell Crowe); y esto afecta los valores de cianuro Wad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Dosificación de peróxido de hidrógeno y cloro

Luego de optimizar el ratio de dosificación de 8,7 los consumos por día son:



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Comparación entre el consumo de peróxido de hidrógeno y cloro

Tabla 12

Reducción del consumo de cloro

REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CLORO					
FECHA	Consumo de Cloro (kg)	Consumo de H2O2 (kg)	FECHA	Consumo de Cloro (kg)	Consumo de H2O2 (kg)
12/02/2012	1280	1100	07/03/2012	430	1830
13/02/2012	1210	1150	08/03/2012	250	1830
14/02/2012	1450	700	13/03/2012	370	1830
18/02/2012	780	680	14/03/2012	410	1830
19/02/2012	590	680	15/03/2012	480	1830
20/02/2012	500	680	16/03/2012	300	1830
21/02/2012	750	680	21/03/2012	230	1830
27/02/2012	600	700	22/03/2012	210	1830
28/02/2012	500	1800	23/03/2012	210	1830
29/02/2012	550	1750	24/03/2012	210	1830
01/03/2012	450	1830	02/04/2012	210	1830
05/03/2012	400	1830	03/04/2012	210	1830
06/03/2012	300	1830	04/04/2012	210	1830

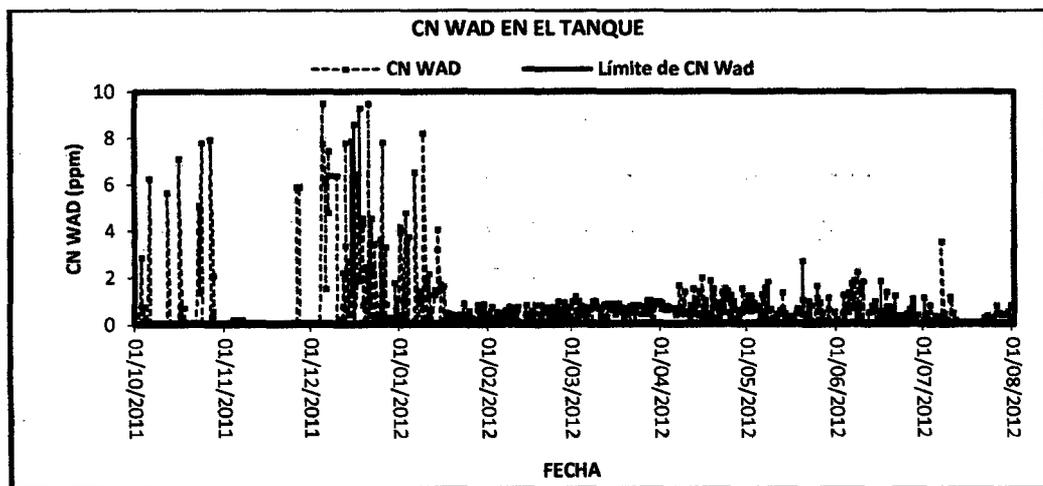
Fuente: Elaboración propia

5.3.1.2 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN LA SALIDA DEL TANQUE DE REACCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN PERMEADA MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE

Las pruebas realizadas con el método del oxígeno singlete se han llevado a cabo a nivel industrial a partir de enero del año 2012, se realiza gráficas comparativas de las variables de estudio como son cianuro wad, mercurio y cloro libre con respecto al año 2011 adecuado al método de cloración, observando las ventajas operativas en la estabilización de la planta y mejora medio ambiental aplicando el método de tecnología limpia propuesta.

a) Concentración de cianuro wad

El ratio de dosificación de peróxido de hidrógeno y gas cloro de 8,7 mantiene la concentración de cianuro wad en valores máximos de 3 ppm en la salida del tanque de reacción disminuyendo la variabilidad notablemente que se muestra en el año 2011 y principios del 2012.

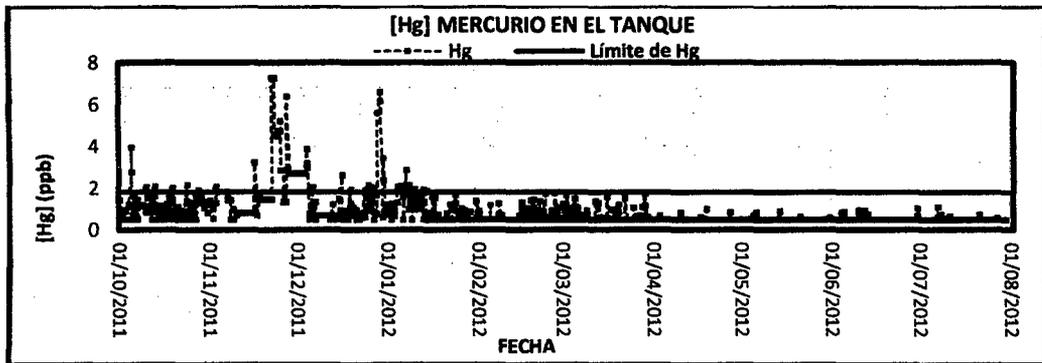


Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Concentración del cianuro wad en la salida del Tanque

b) Concentración de mercurio

Se evita la redisolución del mercurio al usar la tecnología del oxígeno singlete, se observa en el gráfico la estabilidad del mercurio con valores menores a 1,8 ppb a partir del mes de marzo del 2012.

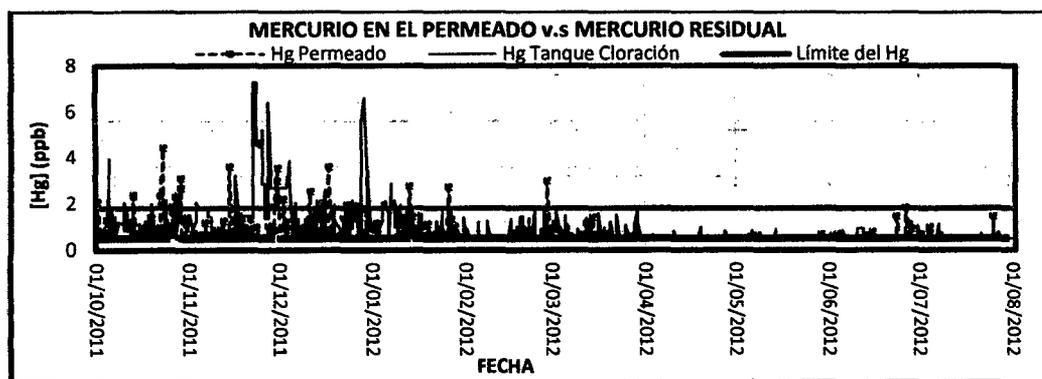


Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Concentración del mercurio en la salida del Tanque

c) Comparación entre la concentración de mercurio en el permeado y mercurio residual

A partir de marzo del 2012 se observa que no ocurre precipitación del mercurio, obteniendo en el permeado valores mayores que en el mercurio residual.

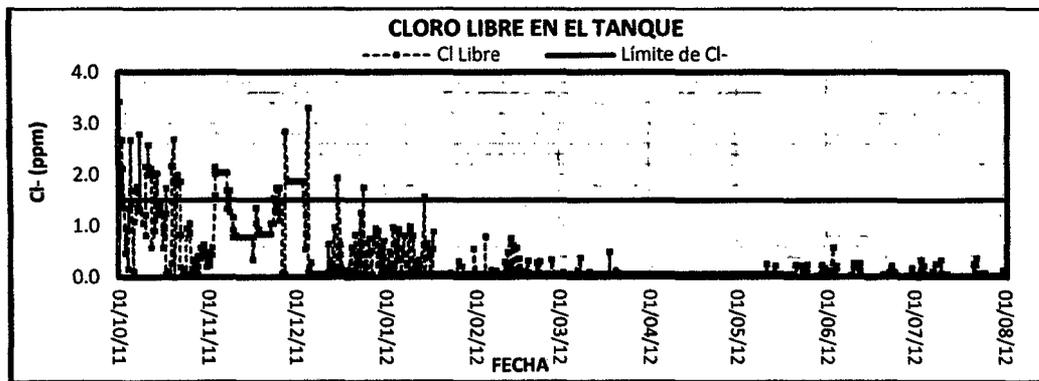


Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Comparación entre la concentración de Mercurio del Permeado y Mercurio Residual

d) Concentración de cloro libre

La reducción de cloro libre disminuye la concentración de cloro libre, en el gráfico se observa la concentración de cloro libre por debajo del límite máximo permisible de 1,5 ppm a partir del mes de marzo del 2012.



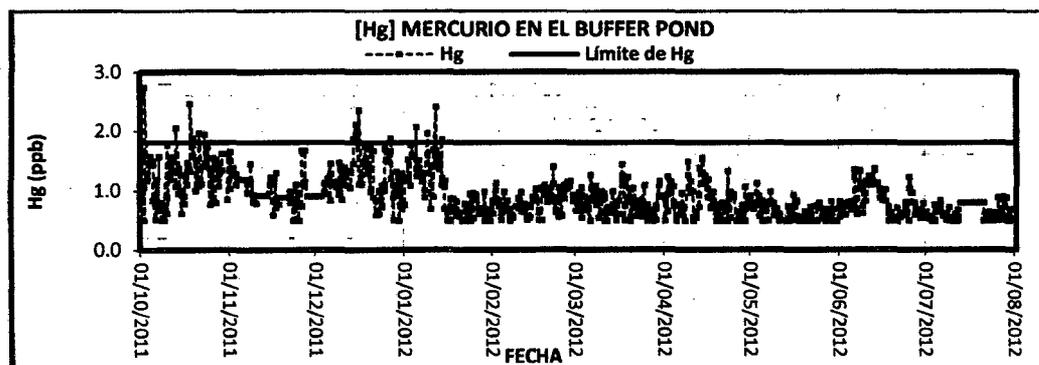
Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Concentración de cloro libre en la salida del Tanque

5.3.1.3 VARIABLES DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL BUFFER POND MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE

a) Concentración de mercurio en el buffer pond

Se cumple con el límite máximo permisible de 1,8 ppb en la descarga de agua.

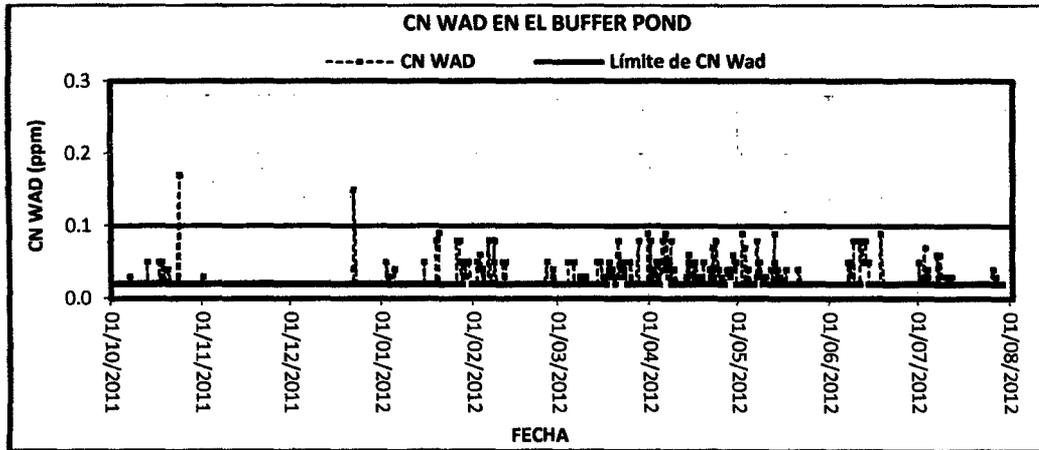


Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Concentración de Mercurio en el Buffer Pond

b) Concentración de cianuro wad en el buffer pond

Se cumple con el límite máximo permisible de 0,1 ppm en la descarga de aguas del Buffer Pond.

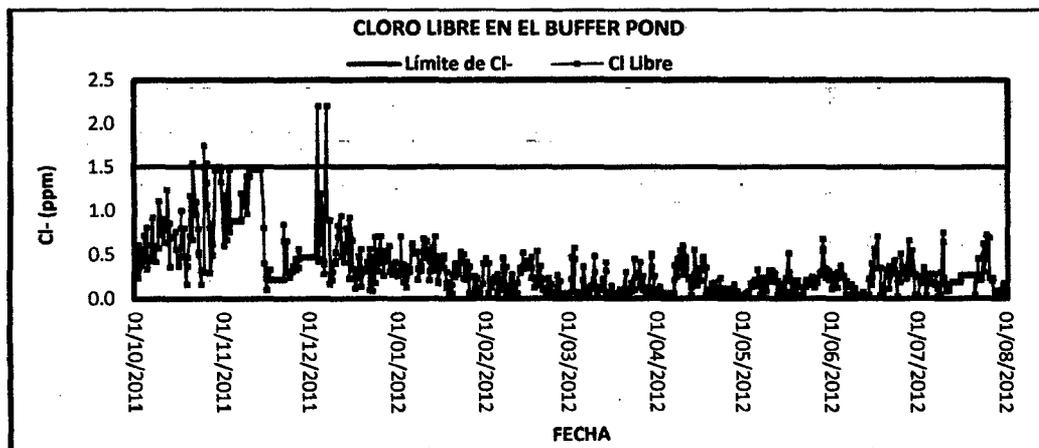


Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Concentración de cianuro wad en el Buffer Pond

c) Concentración de cloro libre en el buffer pond

Se cumple con el límite máximo permisible de 1,5 ppm en la descarga de aguas del Buffer Pond.

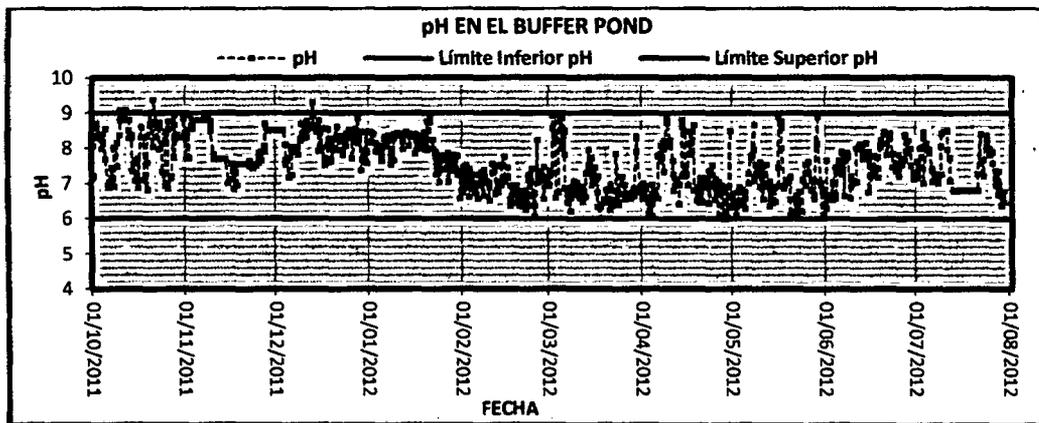


Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Concentración de cloro libre en el Buffer Pond

d) pH en el buffer pond

Se cumple con el límite máximo permisible entre 6 - 9 en la descarga de aguas.

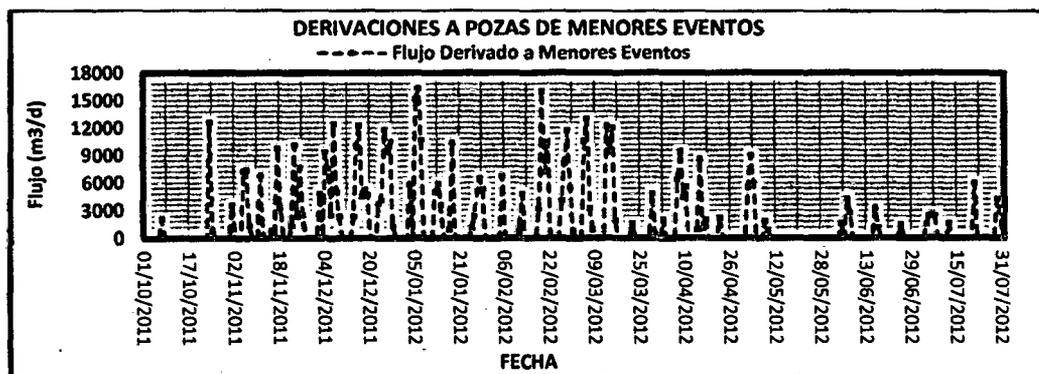


Fuente: Elaboración propia

Figura 69. pH en el Buffer Pond

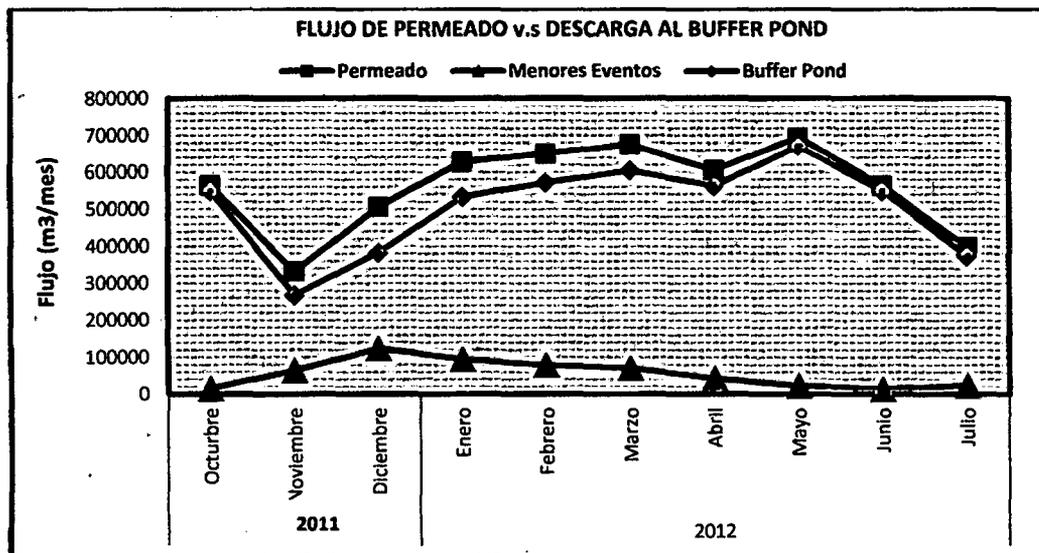
5.3.1.4 REDUCCIÓN DE FLUJO DE SOLUCIÓN TRATADO DERIVADO A POZAS DE MENORES EVENTOS

Al usar la tecnología del oxígeno singlete las derivaciones de flujo de solución tratada disminuyen, siendo notable desde el mes de mayo debido a una mayor estabilidad en las concentraciones de mercurio, cianuro wad, cloro libre y pH.



Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Reducción de flujo de solución tratado derivado a pozas de menores eventos



Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Flujo de agua tratada, descarga al Buffer Pond y derivada a poza de menores eventos

Tabla 13

Flujo de agua tratada, descarga al Buffer
Pond y derivada a poza de menores eventos

ÓSMOSIS INVERSA (RO)					
Año	Mes	Flujo Tratado (m3/mes)	Permeado (m3/mes)	Menores Eventos (m3/mes)	Buffer Pond (m3/mes)
2011	Octubre	879306,5	564282,7	15436,0	548846,7
	Noviembre	529619,8	331696,8	64115,0	267581,8
	Diciembre	780379,0	506502,5	124220,0	382282,5
2012	Enero	967407,5	627807,6	94802,0	533005,6
	Febrero	927162,3	650557,6	78914,0	571643,6
	Marzo	997513,5	675782,3	71049,0	604733,3
	Abril	887104,0	605326,0	42783,0	562543,0
	Mayo	1081504,9	695002,5	23383,0	671619,5
	Junio	908208,6	563805,1	14474,0	549331,1
	Julio	598310,7	397781,9	24019,0	373762,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Resultados de las Pruebas a Nivel Industrial por el Método del Oxígeno Singlete

FECHA	Hora	Flujo Barren (m3/h)	CONSUMO (Kg/h)		Hg Permeado (ppb)	CN ⁻ Wad (pm)	Cl ⁻ Total (ppm)	Cl ⁻ Libre (ppm)	Cloramina formada (ppm)	Hg (ppb) Residual	Cloraminas no formadas (ppm)	pH	Dosificación ClO ⁻ (ppm)
			H2O2 (Kg/h)	Cloro (Kg/h)									
17/02/2012	21:00	750	145,2	45	24,91	4,93	12,69	0,06	12,63	0,5	56,32	8,02	43,1
17/02/2012	23:00	750	145,2	55	21,75	0,07	7,44	0,06	7,38	1,97	45,76	7,65	52,7
18/02/2012	01:00	750	155	50	20,06	0,54	18,68	0,06	18,62	2,51	58,08	8,15	47,9
18/02/2012	03:00	970	155	60	20,02	0,05	4,9	0,06	4,84	6,53	40,48	8,65	44,4
18/02/2012	05:00	1000	155	45	14,41	0,05	3,8	0,1	3,7	2,68	56,32	8,19	32,3
18/02/2012	07:00	1000	155	40	21,21	0,02	3,54	0,15	3,39	4,13	35,2	8,1	28,7
18/02/2012	09:00	710	144,96	35	13,04	2,69	29,36	0,06	29,3	2,04	158,4	7,47	35,4
18/02/2012	11:00	764	144,96	30	18,95	0,03	11,28	0,1	11,18	3,23	133,76	7,43	28,2
18/02/2012	13:00	824	145	30	25,14	0,47	8,92	0,06	8,86	3,09	119,68	7,87	26,2
18/02/2012	15:00	1042	67,02	50	21,34	1,65	7,76	0,06	7,7	3,65	119,68	7,47	34,5
18/02/2012	17:00	1029	91,22	50	16,42	3,79	35,68	0,06	35,62	1,86	154,88	8,37	34,9
18/02/2012	19:00	750	133,1	40	23,41	1,17	5,64	0,08	5,56	1,97	137,28	8,97	38,3
18/02/2012	21:00	750	133,1	40	24,85	1,17	20,88	0,06	20,82	2,11	105,6	8,1	38,3
18/02/2012	23:00	750	127	40	20,87	0,03	15	0,32	14,68	1,87	109,12	7,6	38,3
19/02/2012	01:00	750	99,7	40	20,74	0,18	7	0,06	6,94	3,29	100,32	7,21	38,3
19/02/2012	03:00	750	94,21	40	16,38	0,02	10,18	0,14	10,04	5,11	88	7,33	38,3
19/02/2012	05:00	750	90	40	26,11	0,41	0,99	0,06	0,93	6,41	88	7	38,3

19/02/2012	07:00	750	78,4	40	6,37	0,41	1,14	0,06	1,08	1,63	95,04	7,73	38,3
19/02/2012	09:00	753	100	40	23,26	4,5	17,96	0,06	17,9	0,99	165,44	6,61	38,2
19/02/2012	11:00	714	145	30	72,93	4,5	0,29	0,06	0,23	5,77	84,48	7,22	30,2
19/02/2012	13:00	766	93,93	30	26,85	0,08	0,94	0	0,94	4,41	0	8,66	28,1
19/02/2012	15:00	741	133,09	20	30,31	0	2,66	0,1	2,57	0	112,64	0	19,4
19/02/2012	17:00	490	133,09	20	17,94	8,36	1,57	0,09	1,48	3,55	109,12	10,72	29,3
19/02/2012	19:00	745	116,99	25	30,31	0,3	0,59	0,09	0,59	1,5	105,6	10,72	24,1
19/02/2012	21:00	705	107,11	25	39,48	2,72	2,04	0,06	1,98	2,75	80,96	8,34	25,5
19/02/2012	23:00	502	114,05	25	41,66	7,77	5,94	0,06	5,88	1,46	79,2	9,08	35,8
20/02/2012	01:00	750	108,6	25	26,81	0,04	3,64	0,18	3,46	5,55	100,32	8,45	23,9
20/02/2012	03:00	750	104,3	20	31,17	1,49	1,23	0,06	1,17	5,19	80,96	8,21	19,2
20/02/2012	05:00	750	111,07	20	41,71	4,38	1,32	0,06	1,26	3,54	80,96	8,48	19,2
20/02/2012	07:00	750	111,07	20	41,55	4,54	1,4	0,06	1,34	3,89	88	8,22	19,2
20/02/2012	09:00	516	113,56	25	26,56	6,6	0,25	0,06	0,19	2,56	70,4	8,46	34,8
20/02/2012	11:00	530	113,56	0	71,32	5,71	0,16	0,06	0,1	2,2	70,4	9,04	0
20/02/2012	13:00	510	64,28	10	32,85	2,76	2,28	0,06	2,22	5,35	116,16	8,66	14,1
20/02/2012	15:00	769	73	20	49,84	8,54	0,25	0,06	0,19	6,42	77,44	7,43	18,7
20/02/2012	17:00	1054	73	45	48,66	4,14	0,3	0,06	0,24	4,5	70,4	7,87	30,7
20/02/2012	19:00	750	73	45	23,79	3,61	0,17	0,06	0,17	4,34	49,28	8,09	43,1
20/02/2012	21:00	750	110	20	32,57	6,2	14,2	0,06	14,14	3,87	77,44	8,3	19,2
20/02/2012	23:00	750	99	20	6,54	8,48	1,21	0,06	1,15	1,48	70,4	9,15	19,2
21/02/2012	01:00	750	116	20	24,8	4,81	3,08	0,06	3,02	3,08	70,4	8,63	19,2

21/02/2012	03:00	1000	116	20	23,3	7,82	1,21	0,06	1,15	4,14	72,16	8,92	14,4
21/02/2012	05:00	1000	119,5	20	21,96	7,22	1,42	0,06	0,06	3,34	70,4	8,91	14,4
21/02/2012	07:00	1000	115,2	20	17,55	7,44	2,72	0,06	2,66	2,35	68,64	8,17	14,4
21/02/2012	09:00	994	140,66	20	12,35	8,93	0,25	0,06	0,19	1,97	59,84	8,74	14,5
21/02/2012	11:00	731	140,66	25	22,39	1,09	0,77	0,06	0,71	1,91	95,04	7,52	24,6
21/02/2012	13:00	706	163,06	35	14,47	2,04	0,41	0,06	0,35	1,79	70,4	7,61	35,6
21/02/2012	15:00	757	163,06	35	23,3	5,21	0,58	0,02	0,56	4,14	73,92	7,38	33,2
21/02/2012	17:00	963	163,06	50	12,74	6,79	0,44	0,06	0,38	0,77	88	7,79	37,3
21/02/2012	19:00	750	119	60	5,27	1,05	0,7	0,06	0,64	0,5	88	7,04	57,5
21/02/2012	21:00	500	117,15	62	4,94	2,91	14,6	0,06	14,54	0,5	140,8	7,26	89,1
22/02/2012	23:00	750	110,6	62	7,68	0,02	16,36	0,65	15,71	3,47	117,92	7,97	59,4
22/02/2012	01:00	750	121	60	8,59	0,02	15,8	0,62	15,18	8,03	110,88	7,59	57,5
22/02/2012	03:00	750	118,5	50	8,11	0,03	12,1	0,3	11,8	2,12	95,04	7,55	47,9
22/02/2012	05:00	750	116,5	47	6,93	0,04	-	0,12	-	3,73	91,52	7,28	45
22/02/2012	07:00	500	140	40	7,6	0,04	-	0,12	-	3,73	102,08	7,28	57,5
22/02/2012	09:00	508	140	25	8,24	1,83	-	0,06	-	0,72	84,48	7,88	35,3
22/02/2012	11:00	250	140	25	0	0	-	-	-	-	0	-	71,8
22/02/2012	13:00	250	140	25	11,89	5,46	-	0,06	-	1,64	0	7,57	71,8
22/02/2012	15:00	750	140	25	0	0	-	-	-	-	0	-	23,9
22/02/2012	17:00	750	140	30	14,89	0,03	-	-	-	1,93	102,08	-	28,7
22/02/2012	21:00	750	112,5	30	8,91	3,51	-	0,06	-	1,8	73,92	7,31	28,7

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 REDUCCIÓN DE SULFATOS EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA

El pilotaje de la planta de reducción de sulfatos se lleva a cabo en la planta convencional de tratamiento de aguas de exceso EWTP N° 1 (figura N° 72) bajo ciertas modificaciones, dicha planta tiene una capacidad máxima de recepción de 450 m³/h.

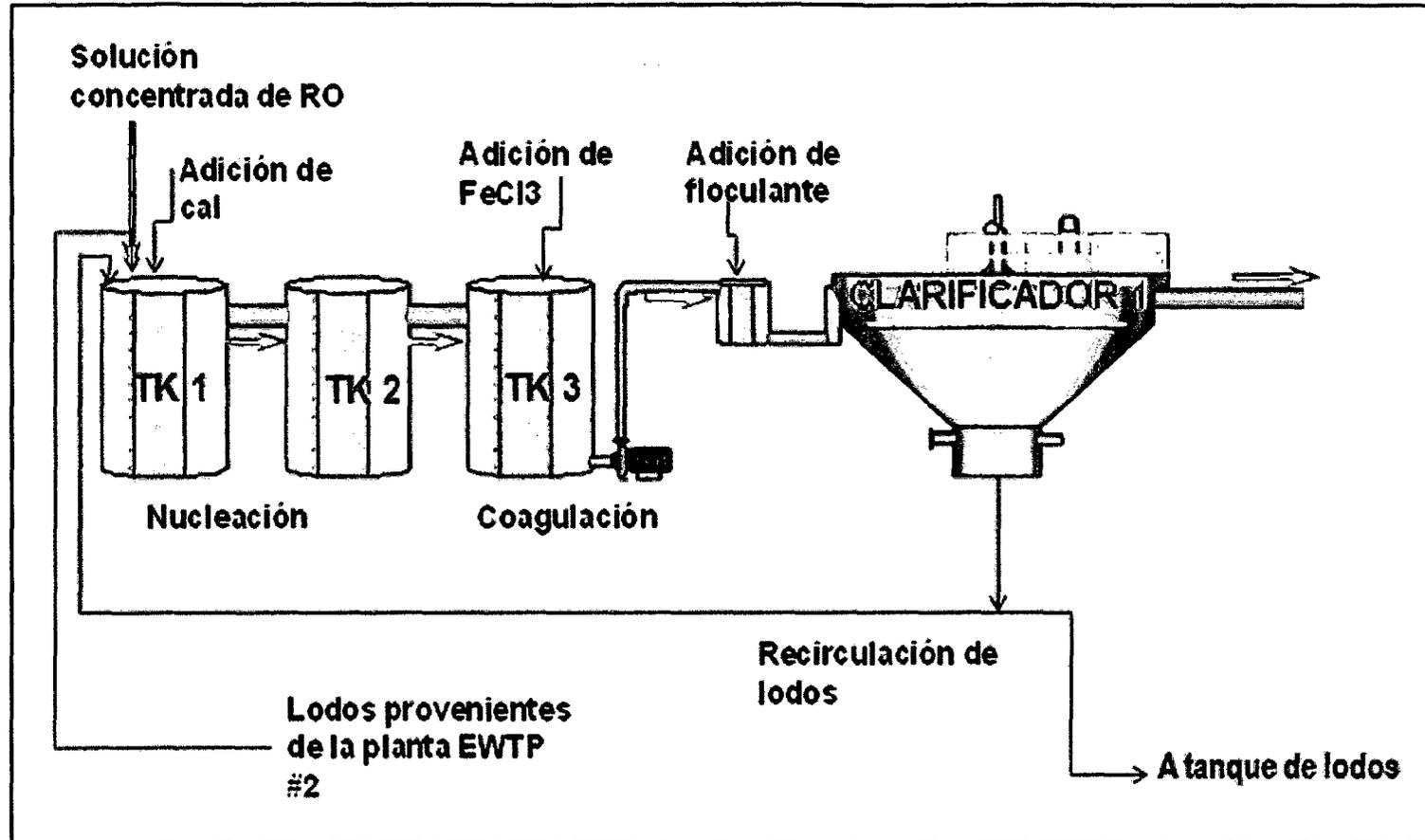
El concentrado de la RO es enviado al Tanque N°1 con un flujo promedio de 80 m³/hr (operando 2 unidades) y 110 m³/hr (operando 3 unidades), en este tanque se agrega lechada de cal para subir el pH a valores por encima de 11,5 a 12; así mismo se agregan lodos de la planta EWTP N° 2 y de la planta EWTP N° 1.

La solución del Tanque N° 1 por rebose va al Tanque N° 2 que tiene como finalidad dar el tiempo necesario para que se dé la nucleación (formación de lodos más densos).

En el Tanque N° 3 se genera la coagulación por medio de la dosificación de cloruro férrico, esta solución se envía al tanque alimentador donde se dosifica floculante para luego ingresar al reactor clarificador donde se procede a separar el líquido de los sólidos (lodos de sulfato de calcio).

Se evalúa la recuperación obtenida con un tratamiento simulado industrial, siendo el beneficio un menor número de lavadas de membranas con ahorro en reactivos, incremento de tiempo de vida de membranas, mejora de flujo tratamiento, un menor número en la reparación y mantenimiento de equipos.

Esquema del proceso de la Planta de Reducción de Sulfatos



Fuente: Elaboración de Empresa Minera

Figura 72. Diagrama de flujo del proceso Reducción de Sulfatos

Tabla 15
Parámetros Operativos en el Proceso de Reducción de Sulfatos

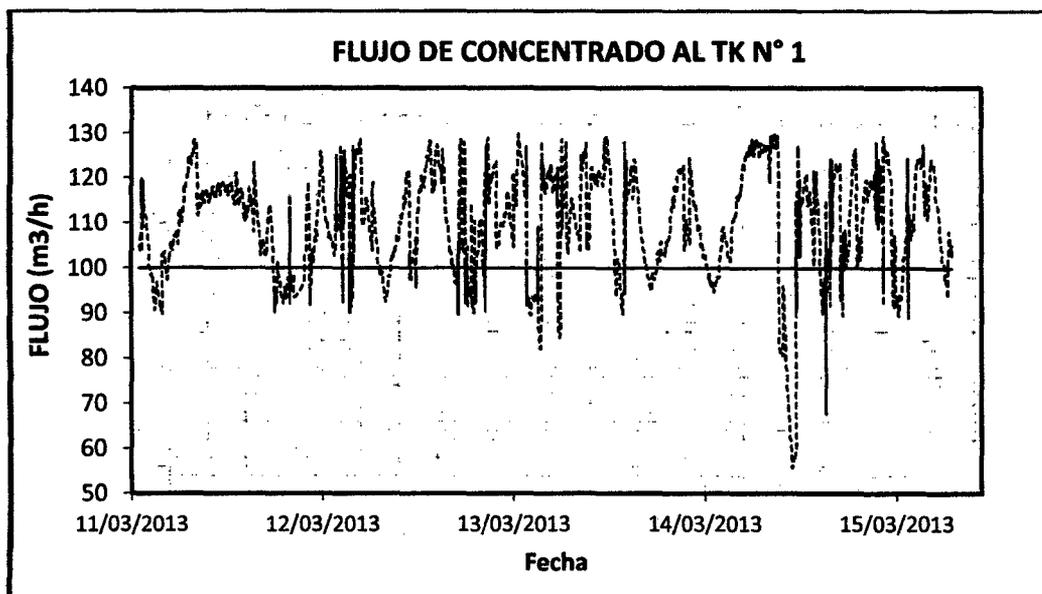
Proceso	Actividad	Equipos	Parámetros de control
Reducción de Sulfatos	Nucleación	pH metro en línea	pH en el rango: 11,0 – 12,0
		Balanza, balanza Marcy	% Solidos en la recirculación de lodos en el rango: 8-12 %.
	Coagulación	Bomba con variador de velocidad	Dosificación de FeCl ₃ en L/min
	Floculación	Bomba con variador de velocidad	Dosificación de FeCl ₃ en L/min
	Clarificación	Sulfatos (Hach DR-2800), pH-metro TDS meter	Control diario de la concentración de sulfatos (ppm), pH y TDS (ppm) en la alimentación y la descarga del reactor clarificador.

Fuente: Elaboración de empresa minera

5.3.2.1 VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA

a) FLUJO DE CONCENTRADO

El flujo de concentrado teórico es de 100 m³/h, al no haber un flujómetro se estima un flujo aproximado oscilando entre 90 y 127 m³/h, ésta variación fluctuante es debido a cantidad de unidades de la RO que se encuentran operando y al flujo de barren que Merriell Crowe envía hacia el tratamiento de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Flujo de concentrado

El porcentaje de abertura de válvula de ingreso de concentrado al Tanque N° 1 depende del número de unidades de la planta RO como se muestra en el siguiente cuadro, para mantener un flujo constante y estable de aproximadamente $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

UNIDADES RO	% abertura de válvula al Tanque N°1	% abertura de válvula a la piscina barren N° 2
1	100	0
2	85	100
3	50	100
4	25	100

Los parámetros de operación en las pruebas realizadas en planta son:

Tabla 16

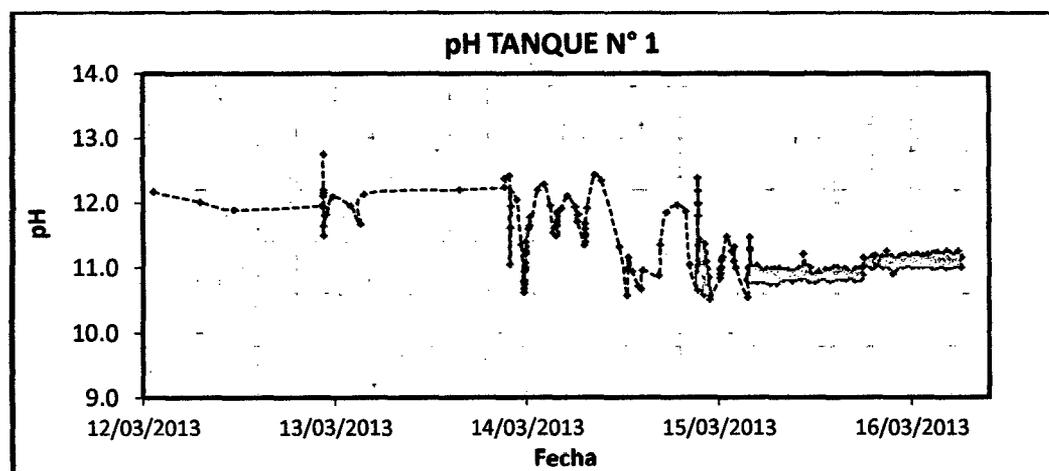
Parámetros Operativos en el flujo, densidad y pH del concentrado

Parámetros Operativos	
Flujo de concentrado	100 m ³ /h
Flujo de lodo recirculado	15 m ³ /h
Densidad del concentrado	1002 g/L
pH del concentrado	9,7

Fuente: Elaboración propia

b) pH TANQUE N°1

Inicialmente la solución concentrada se encuentra en un pH de 9,7 se adiciona cal para alcanzar un pH entre 11 y 12, la dosificación de cal es controlada en forma manual, ocurriendo oscilaciones muy variables en el pH entre 10,5 y 12,7; con flujo variable provocando un exceso de cal generando encalichamiento de las bombas de la piscina de barren N° 2 y del bulbo de los sensores de los pH metros del Tanque N° 1 y el reactor clarificador. Mantenimiento eléctrico y control de procesos arreglan la válvula neumática, controlando el pH en forma óptima a partir del día 15 de marzo con un Set Point igual a 11,5.



Fuente: Elaboración propia

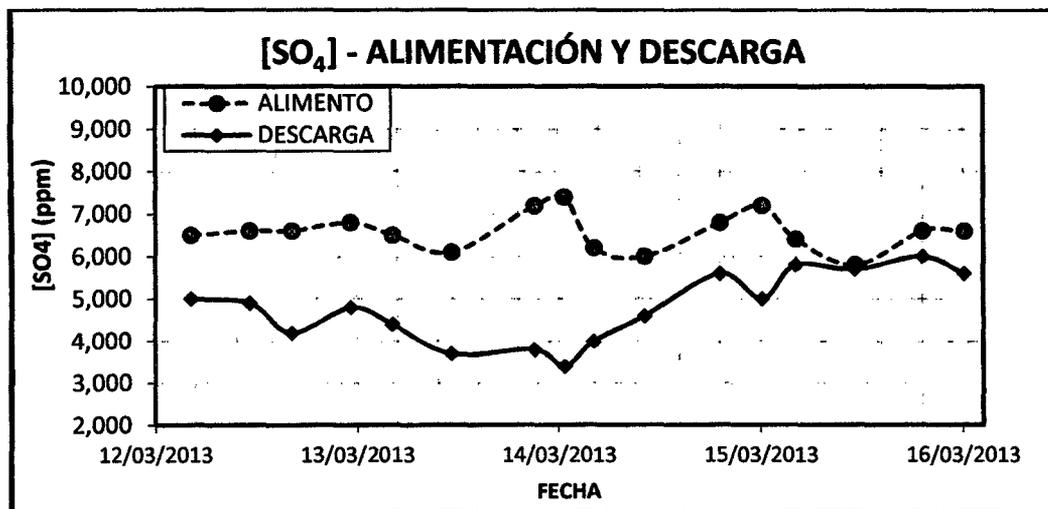
Figura 74. pH en el Tanque N° 1

Si ocurren variaciones fuera del rango del set point es debido a la dilución que se realiza en los tanques de preparación de cal.

e) CONCENTRACIÓN DE SO_4 – ALIMENTACIÓN Y DESCARGA

La concentración de SO_4 en la **alimentación** al Tanque N° 1 se encuentra en el rango de 6000 – 7200 ppm, la variación proporcional en el tiempo permite mantener la dosificación de reactivos constante como son el cloruro férrico, lechada de cal y floculante.

La concentración de SO_4 en la **descarga** del Overflow del reactor clarificador disminuye dependiendo de las variables de operación como son la recirculación de lodos EWTP N° 1, EWTP N° 2 y % de Sólidos del Reactor.



Fuente: Elaboración propia

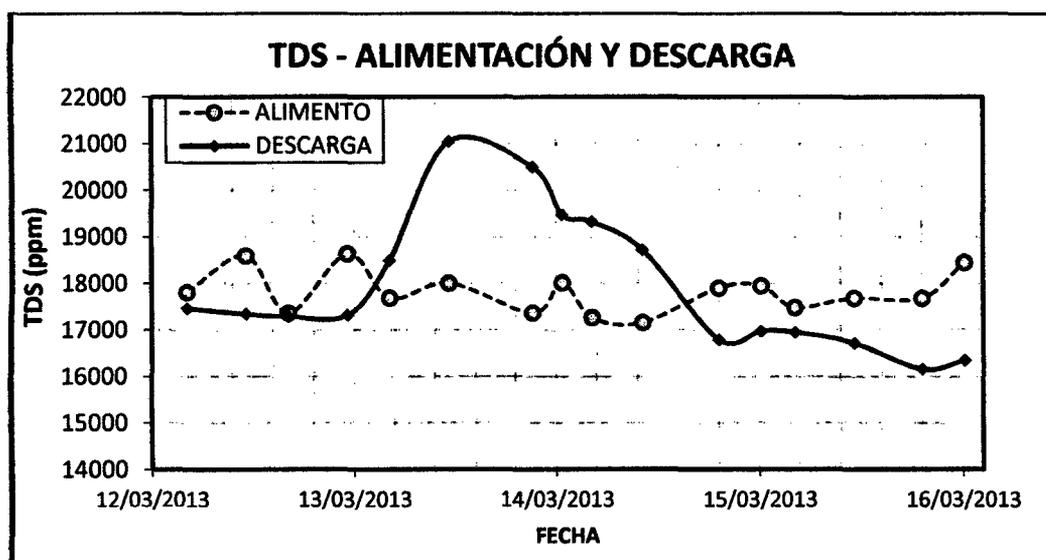
Figura 75. Concentración de sulfatos en la alimentación y descarga

d) TDS - ALIMENTACIÓN Y DESCARGA

El TDS en la descarga del overflow del reactor es mayor o igual que en la alimentación en los días 12 y 14 de marzo debido a la dosificación de cal a un pH

mayor a 12 y al control manual provocando excesos de cal, aumentando el TDS en la solución clarificada.

Al arreglar la válvula neumática, controlando el pH en un Set Point igual a 11,5 en forma óptima a partir del día 15 de marzo el TDS disminuye.



Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Sólidos disueltos totales en la alimentación y descarga

e) ADICIÓN DE REACTIVOS: FeCl_3 Y FLOCULANTE

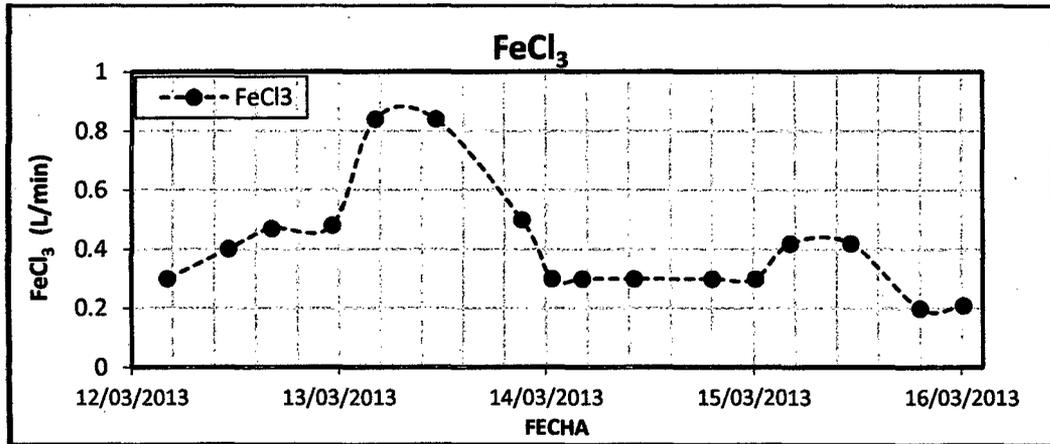
La adición de reactivos se ha optimizado disminuyendo la variabilidad en el tiempo para un flujo aproximado de $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tabla 17

Parámetros Operativos del FeCl_3

Parámetros Operativos FeCl_3	
Concentración del FeCl_3	0,10%
Dosificación de FeCl_3 en planta	0,82 L/min

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

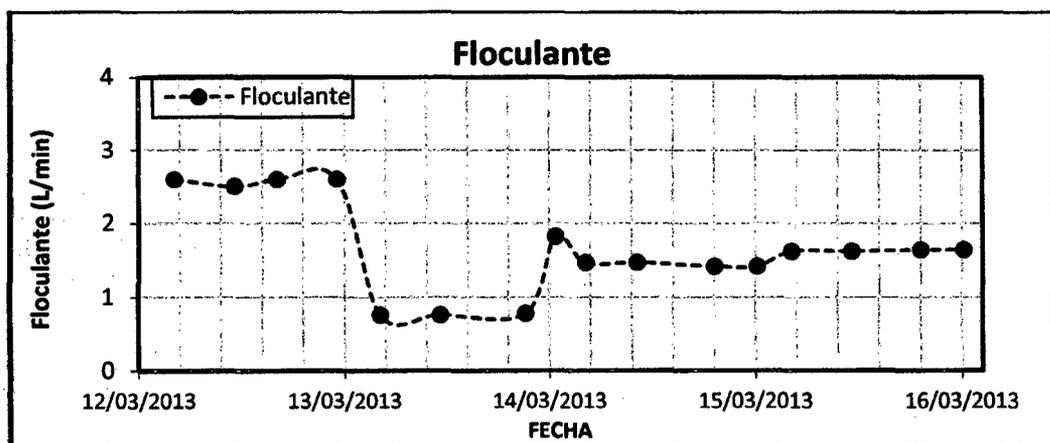
Figura 77. Dosificación de cloruro férrico

Tabla 18

Parámetros Operativos del Floculante

Parámetros Operativos Floculante	
Concentración del floculante	0,12%
Dosificación de floculante en planta	2 L/min

Fuente: Elaboración propia

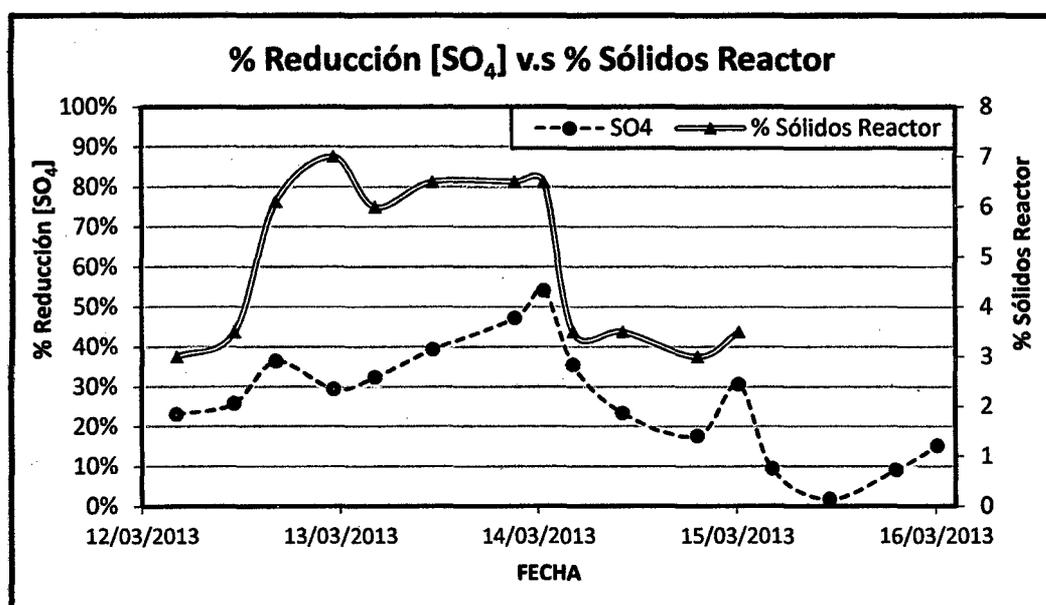


Fuente: Elaboración propia

Figura 78. Dosificación de floculante

f) % REDUCCIÓN DE SULFATOS VS % SÓLIDOS REACTOR

A medida que aumenta el % de Sólidos en el reactor clarificador aumenta la recuperación de sulfatos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 79. Influencia del porcentaje de sólidos del reactor en la reducción de sulfatos

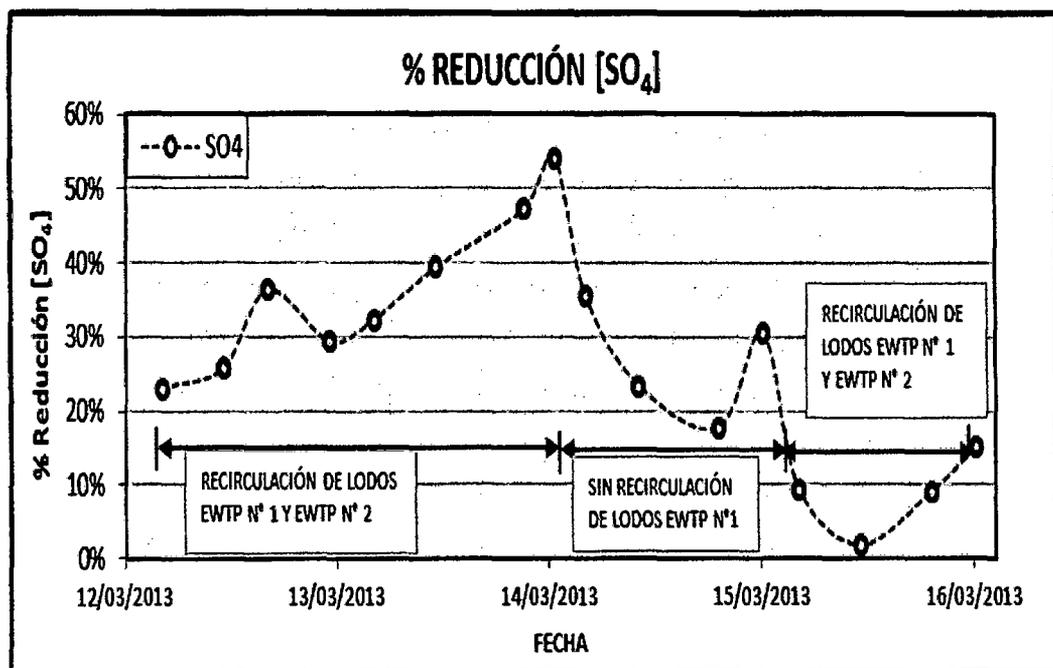
g) RECUPERACIÓN DE SULFATOS

La recuperación de sulfatos se busca mediante la nucleación de los iones de sulfato contenidos en la solución concentrado en la formación de un precipitado de sulfato de calcio, esto va a depender de la mejor semilla a utilizar en el proceso (Lechada de cal, Lodos EW 2 observando una reducción de sulfatos de hasta 54 % cumpliendo el Target.

Los sólidos (lodos) presentes juegan un rol importante para promover la formación de nuevos núcleos o semillas donde se producirá la formación de los cristales de

yeso. El % de sólidos en la recirculación de lodos se debe mantener en el rango 8,0-12,0 %. En caso que el % de lodos sea mayor al 12 %, se deja de recircular los lodos y se envía hacia el tanque de lodos y/o hacia el depósito de arenas del molino. El flujo de lodos de la planta convencional EWTP N° 2 debe ser continuo, no debe parar, únicamente si la planta para.

A partir del 15/03/2013 se cortó la recirculación de lodos EWTP N° 1 disminuyendo la recuperación, por problemas que se generan en Merriell Crowe.



Fuente: Elaboración propia

Figura 80. Recuperación de sulfatos

Tabla 19

Resultados de las Pruebas a Nivel Industrial del Proyecto Reducción de Sulfatos

Fecha	Hora	Alimento			Descarga			% Reducción	Reactivos		% Sol. Reactor	Observaciones
		SO4 (ppm)	TDS (ppm)	pH	SO4 (ppm)	TDS (ppm)	pH	SO4	FeCl3 (L/min)	Floculante (L/min)	Recirculación	
12/03/13	09:00 a.m,	6500	17810	9,2	5000	17463	12,8	23,08%	0,30	2,60	3,0	Recirculación de lodos EWTP N° 1 y EWTP N° 2
	04:00 p.m,	6600	18589	9,3	4900	17336	12,7	25,76%	0,40	2,50	3,5	
	09:00 p.m,	6600	17358	9,1	4200	17284	12,9	36,36%	0,47	2,60	6,1	
13/03/13	04:00 a.m,	6800	18642	9,2	4800	17315	13,0	29,41%	0,48	2,60	7,0	
	09:00 a.m,	6500	17684	9,0	4400	18494	12,7	32,31%	0,84	0,76	6,0	
	04:00 p.m,	6100	18000	9,3	3700	21042	12,5	39,34%	0,84	0,76	6,5	
14/03/13	02:00 a.m,	7200	17368	9,1	3800	20500	12,4	47,22%	0,50	0,78	6,5	sin recirculación de lodos EWTP N°1 , solo EWTP N° 2
	05:30 a.m,	7400	18010	9,2	3400	19473	12,4	54,05%	0,30	1,82	6,5	
	09:00 a.m,	6200	17263	9,1	4000	19326	12,6	35,48%	0,30	1,47	-	
03:00 p.m,	6000	17157	9,2	4600	18715	12,4	23,33%	0,30	1,47	-		
15/03/13	12:00 a.m,	6800	17905	9,1	5600	16789	12,1	17,65%	0,30	1,42	-	recirculación de lodos EWTP N°1 y EWTP N° 2
	05:00 a.m,	7200	17947	8,9	5000	16975	12,0	30,56%	0,30	1,42	-	
	09:00 a.m,	6400	17484	9,2	5800	16947	11,8	9,38%	0,42	1,62	3,5	
	04:00 p.m,	5800	17684	9,5	5700	16715	10,6	1,72%	0,42	1,62	3,5	
16/03/13	12:00 a.m,	6600	17684	9,13	6000	16157	10,4	9,09%	0,20	1,64	3,0	recirculación de lodos EWTP N°1 y EWTP N° 2
	05:00 a.m,	6600	18452	9,18	5600	16347	10,8	15,15%	0,21	1,64	3,5	

Fuente: Elaboración de Empresa Minera

Tabla 20

Límites Máximos Permisibles al Descargar Agua Tratada

Elemento	Solución Barren (alimentación) (ppm)	Solución Concentrada (ppm)	Solución Permeada (ppm)	Límite máximo permisible en la descarga de la planta (ppm)
Cianuro WAD	46,7	117,5	< 0,05	0,2
Hg	0,0025	0,0076	< 0,0005	0,002
As	0,4	1,5	< 0,010	0,5-1,0
Cd	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,1
Cr	< 0,010	< 0,010	< 0,010	1,0
Cu	3,1	11,6	0,1	0,3
Fe	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,0-2,0
Pb	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,2-0,4
Ni	0,05	0,17	< 0,010	0,5
Zn	17,2	65,1	0,3	1,0
Nitritos como N	5,19	17,11	0,09	-
Nitratos como N	27,47	89,83	0,64	-
pH Feed	10,1	9,7	8	6,0-9,0

Fuente: Elaboración de Empresa Minera

La calidad de agua tratada cumple los límites máximos permisibles y en la mayoría de los casos alcanza valores muy por debajo de los estándares de calidad de agua requeridos por el MEM y DIGESA.

La tecnología de Ósmosis Inversa disminuye de manera eficiente las concentraciones de otros parámetros como Nitratos, Nitritos y otros metales, que no son regulados por estas entidades.

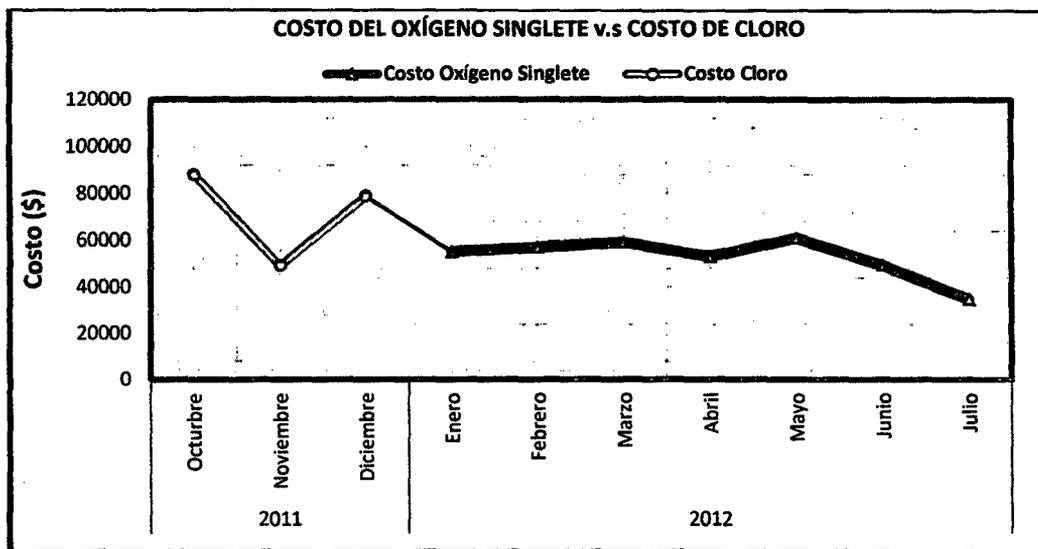
CAPITULO VI

ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 COSTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN SOLUCIÓN DE PERMEADO USANDO EL MÉTODO OXÍGENO SINGLETE

El costo de peróxido de hidrógeno es \$0,8317 / kg H_2O_2 y de cloro es \$1,1674 / kg Cloro. El ratio óptimo de dosificación de los dos oxidantes es 8,7.

El costo de tratamiento con el oxígeno singlete es menor que aplicando cloración.



Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Comparación de costos entre los métodos oxígeno singlete y cloración

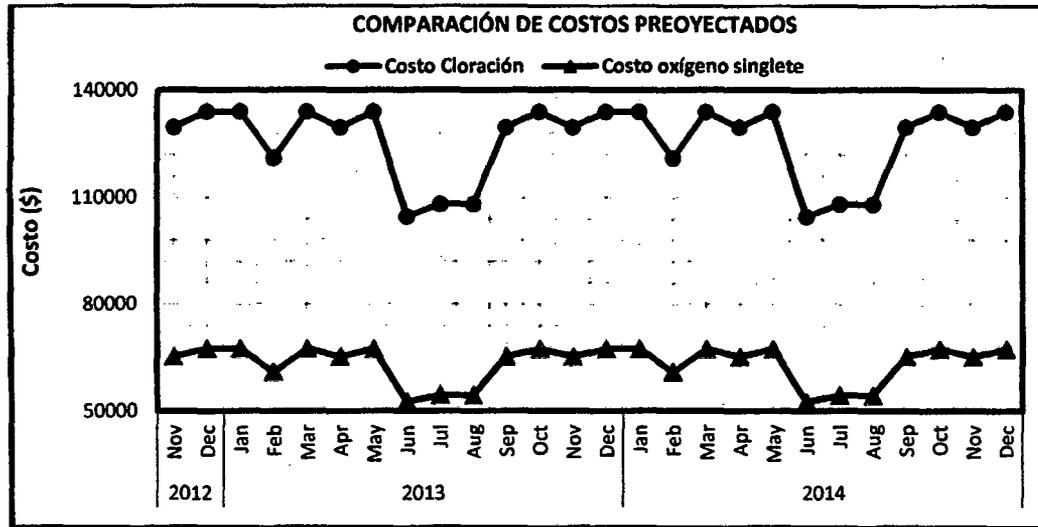
Se proyecta los costos de tratamiento comparando los métodos de tratamiento entre el oxígeno singlete y cloración como se muestra en la figura 82.

Tabla 21: Comparación de costos entre los métodos oxígeno singlete y cloración

Año	Mes	Permeado Tratado (m3/mes)	Cantidad de Cianuro (Kg)	Ratio (kg cloro /kg CN ⁻)	Cantidad de Cloro (Kg)	Costo Cloro (\$)	Ratio (kg H2O2 /kg CN ⁻)	Cantidad de H2O2 (Kg)	Costo H2O2 (\$)	Costo Total (\$)
2011	Octubre	564282,7	8464,2	8,9	75331,7	87942,3	-	-	-	87942,3
	Noviembre	331696,8	4975,5	8,4	41943,1	48964,3	-	-	-	48964,3
	Diciembre	506502,5	7597,5	8,9	67466,1	78760,0	-	-	-	78760,0
2012	Enero	627807,6	9417,1	0,7	6534,0	7627,8	6,046	56936	47353,6	54981,3
	Febrero	650557,6	9758,4	0,7	6770,7	7904,2	6,046	58999	49069,5	56973,7
	Marzo	675782,3	10136,7	0,7	7033,3	8210,6	6,046	61287	50972,1	59182,8
	Abril	605326,0	9079,9	0,7	6300,0	7354,6	6,046	54897	45657,8	53012,5
	Mayo	695002,5	10425,0	0,7	7233,3	8444,2	6,046	63030	52421,9	60866,0
	Junio	563805,1	8457,1	0,7	5867,9	6850,1	6,046	51131	42526,1	49376,2
	Julio	397781,9	5966,7	0,7	4140,0	4833,0	6,046	36075	30003,4	34836,4

Fuente: Elaboración propia

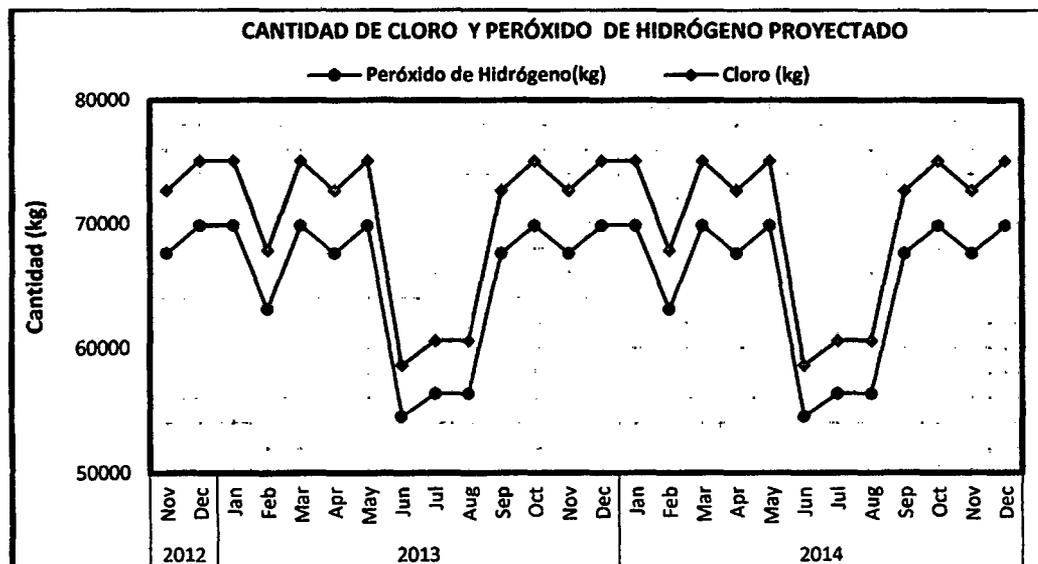
FLUJO DE COSTOS DE TRATAMIENTO PROYECTADO



Fuente: Elaboración propia

Figura 82. Comparación de costos proyectado

CANTIDAD DE OXIDANTES PROYECTADO AL USAR EL MÉTODO DEL OXÍGENO SINGLETE



Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Cantidad de oxidantes proyectado

Tabla 22
Costo de Tratamiento Proyectado por Cloración

Año	Fecha	Flujo Permeado (m3/mes)	Cantidad de Cianuro (kg)	Ratio (kg cloro /kg CN ⁻)	Cantidad de Cloro (kg)	Costo del Cloro (\$)
2012	Nov	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	Dec	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
2013	Jan	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Feb	695520	10432,8	6,5	67813,2	120960,0
	Mar	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Apr	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	May	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Jun	601200	9018,0	6,5	58617,0	104556,5
	Jul	621240	9318,6	6,5	60570,9	108041,7
	Aug	621240	9318,6	6,5	60570,9	108041,7
	Sep	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	Oct	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Nov	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	Dec	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
2014	Jan	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Feb	695520	10432,8	6,5	67813,2	120960,0
	Mar	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Apr	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	May	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Jun	601200	9018,0	6,5	58617,0	104556,5
	Jul	621240	9318,6	6,5	60570,9	108041,7
	Aug	621240	9318,6	6,5	60570,9	108041,7
	Sep	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	Oct	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0
	Nov	745200	11178,0	6,5	72657,0	129600,0
	Dec	770040	11550,6	6,5	75078,9	133920,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Costo de Tratamiento Proyectado en el uso del método del oxígeno singlete

Año	Fecha	Flujo Permeado (m3/mes)	Cantidad de Cianuro (kg)	Ratio (kg cloro /kg CN')	Cantidad de Cloro (kg)	Ratio (kg H2O2 /kg CN')	Cantidad de H2O2 (kg)	Costo del Cloro (\$)	Costo del H2O2 (\$)	Costo Total (\$)
2012	Nov	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	Dec	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
2013	Jan	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Feb	695520	10432,8	0,7	7238,7	6,05	63076,7	8450,5	52460,9	60911,4
	Mar	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Apr	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	May	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Jun	601200	9018,0	0,7	6257,0	6,05	54522,8	7304,5	45346,6	52651,1
	Jul	621240	9318,6	0,7	6465,6	6,05	56340,3	7548,0	46858,2	54406,2
	Aug	621240	9318,6	0,7	6465,6	6,05	56340,3	7548,0	46858,2	54406,2
	Sep	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	Oct	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6

	Nov	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	Dec	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
2014	Jan	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Feb	695520	10432,8	0,7	7238,7	6,05	63076,7	8450,5	52460,9	60911,4
	Mar	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Apr	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	May	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Jun	601200	9018,0	0,7	6257,0	6,05	54522,8	7304,5	45346,6	52651,1
	Jul	621240	9318,6	0,7	6465,6	6,05	56340,3	7548,0	46858,2	54406,2
	Aug	621240	9318,6	0,7	6465,6	6,05	56340,3	7548,0	46858,2	54406,2
	Sep	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	Oct	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6
	Nov	745200	11178,0	0,7	7755,7	6,05	67582,2	9054,1	56208,1	65262,2
	Dec	770040	11550,6	0,7	8014,3	6,05	69834,9	9355,9	58081,7	67437,6

Fuente: Elaboración propia

**6.2 COSTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN LA SOLUCIÓN DE
CONCENTRADO REALIZANDO EL PROYECTO DE
REDUCCIÓN DE SULFATOS**

Tabla 24
Costo de tratamiento del concentrado

COSTO DE TRATAMIENTO DEL CONCENTRADO					
PROCESO	REACTIVO	DOSIFICAR	CONSUMO DE REACTIVO (TM/AÑO)	COSTO (US\$/TM)	COSTO ANUAL (US\$/AÑO)
TANQUE N° 1	Ratio de Cal	0,012 kg/m ³	10,51	150	1576,80
TANQUE N° 3	Dosificación del Reactivo FeCl ₃	0,82 L/min	0,43	350	150,85
REACTOR CLARIFICADOR	Dosificación del Reactivo Floculante	2 L/min	1,26	4000	5045,76
TOTAL					6773,41

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 REMOCIÓN DE RESIDUALES DE CLORO, CLORAMINAS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE PERMEADO

- a) El proyecto con el uso de Tecnología del Oxígeno Singlete disminuye el costo de tratamiento de agua en un 40 %, debido a la disminución de flujo de agua derivada a menores eventos de 67000 m³/h a 25000 m³/h para ser nuevamente tratada reduciendo los costos en reactivos y un menor costo del peróxido de hidrógeno comparado al cloro.
- b) Desde el punto de vista ambiental y social, la mitigación de cloraminas disminuyó de 73 ppm a 1-5 ppm y los residuales de cloro disminuyó de 2,5 ppm a 0,08 ppm, cuidando el entorno del medio ambiente, no generando ningún tipo de contaminante y por consiguiente favoreciendo el desarrollo sostenible en la zona.
- c) Este tratamiento de oxidación avanzada (oxígeno singlete), estabiliza las concentraciones de cianuro wad y mercurio en la poza amortiguadora o poza final cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles de la Ley de Aguas de 0,1 ppm de cianuro wad y 1,8 ppm de mercurio.
- d) Se determinó el ratio óptimo de dosificación entre el peróxido de hidrógeno y gas cloro siendo de 8,7 ppm, generando la menor formación de cloraminas, pero manteniendo un poder residual de

oxidación que permite la generación de oxígeno singlete y esta pueda detoxificar el cianuro y precipitar metales por debajo de los valores que indica la Ley de Aguas.

- e) Se logró eliminar la redisolución del mercurio, logrando la estabilidad de la concentración del mercurio al ingresar al tanque de cloración respecto a los valores de Hg en las descargas debido a un buen control en el pH.

7.1.2 PROYECTO EN LA REDUCCIÓN DE SULFATOS EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA

- a) La recuperación de sulfatos aumenta al recircular los lodos de la EWTP N° 1 y EWTP N° 2, cumpliendo el target de 40-50 %, hasta una recuperación del 54 % con un % de sólidos en el reactor de 6,5.
- b) El porcentaje de recuperación mejora formando la cama de lodos en el reactor clarificador N° 1, sin descargar los lodos constantemente a la planta de molienda.
- c) El costo estimado es de \$ 6773,41/año para un flujo de tratamiento de solución de concentrado de 100 m³/h. Se considera un proyecto económico teniendo en cuenta que el presupuesto mensual para reactivos y mantenimiento de membranas es de \$ 57000, el proyecto presenta los beneficios en un menor número de lavadas de membranas con ahorro en reactivos, incremento de tiempo de vida de membranas y mejor capacidad de flujo de tratamiento.

7.2 RECOMENDACIONES

7.2.1 REMOCIÓN DE RESIDUALES DE CLORO, CLORAMINAS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL OXÍGENO SINGLETE EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE PERMEADO

- a) Mantener un flujo constante en la salida de la planta de ósmosis inversa (permeado) antes de la dosificación de cloro y de peróxido de hidrógeno al 50 %.
- b) Realizar análisis periódicos de metales y cianuros a la salida de la planta de ósmosis inversa (permeado), para mantener la eficiencia constante y mantenimiento adecuado de las membranas.
- c) Para obtener una mayor velocidad de reacción se recomienda una mayor agitación en los tanques (turbulencia).

7.2.2 REDUCCIÓN DE SULFATOS EN EL TRATAMIENTO DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA

Realizar pruebas a nivel industrial recirculando lodos a un mayor porcentaje de sólidos de 8 % manteniéndolo constante siendo comparado con la eficiencia de recuperación de sulfatos.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

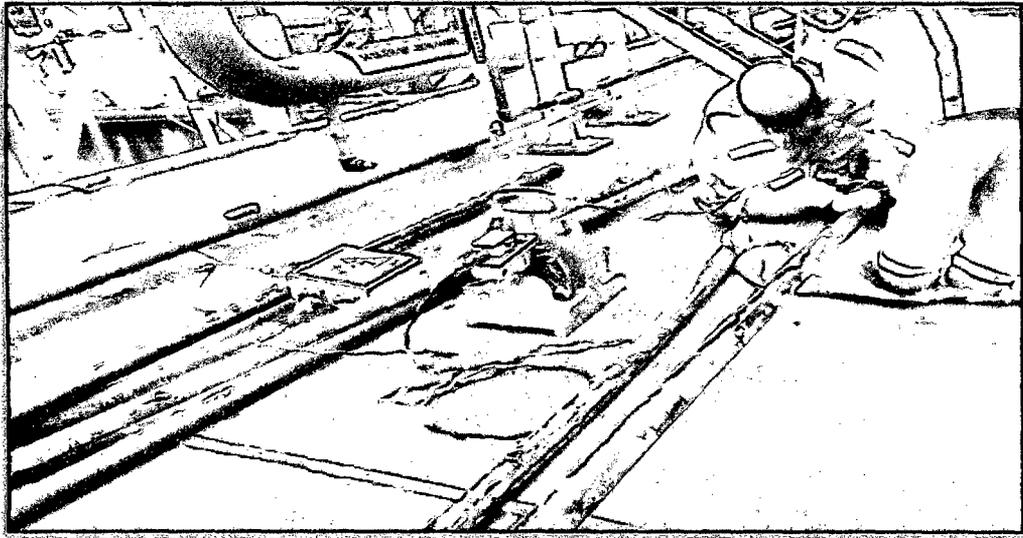
1. Estefani, G. (2013). *¿Qué es el cianuro?*. Recuperado de <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-cianuro/>.
2. Tulcán, D. (2000). *Cianuro*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/diegotulcanlamineria/gtgf>
3. Ministerio del Ambiente - Dirección General de Calidad Ambiental. Perú. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/>
4. Mc Murry, J., & Fay, R.. (2009). *Química General (5a ed.)*. México: Editorial Prentice Hall / Pearson.
5. Allinger, N., Jhonson, C., & Lebel, N. (1986). *Química Orgánica (2a ed.)*. España: Editorial Reverté S.A.
6. Ryter, W., & Tyrrel, M. (1997). *Singlet molecular oxygen (1O_2): a possible effector of eukaryotic gene expression*. Usa: Elsevier Science
7. Nardello, V., Marko, J., Vermeersch, G., & Aubry, J. (1995). *$95Mo$ NMR and Kinetic Studies of Peroxomolybdic intermediates involved in the Catalytic Disproportionation of Hydrogen Peroxide by Molibdate Ions*. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042008000100004&script=sci_arttext.

8. Fresnadillo, D. (2005). *Posibilidades para la provision de agua segura usando nuevas tecnologías.*
9. Frimer, A. (1979). *The Reaction of Singlet Oxygen with Olefins: The Question of Mechanism.*
10. Yanacocha. *Proceso de Producción.* Recuperado de <http://www.yanacocha.com.pe/proceso-de-produccion/>
11. Ponce, M., & Caceres, J. (2005). *Degradación de cianuros en efluentes de plantas auríferas.* Perú: Aduni

ANEXO A

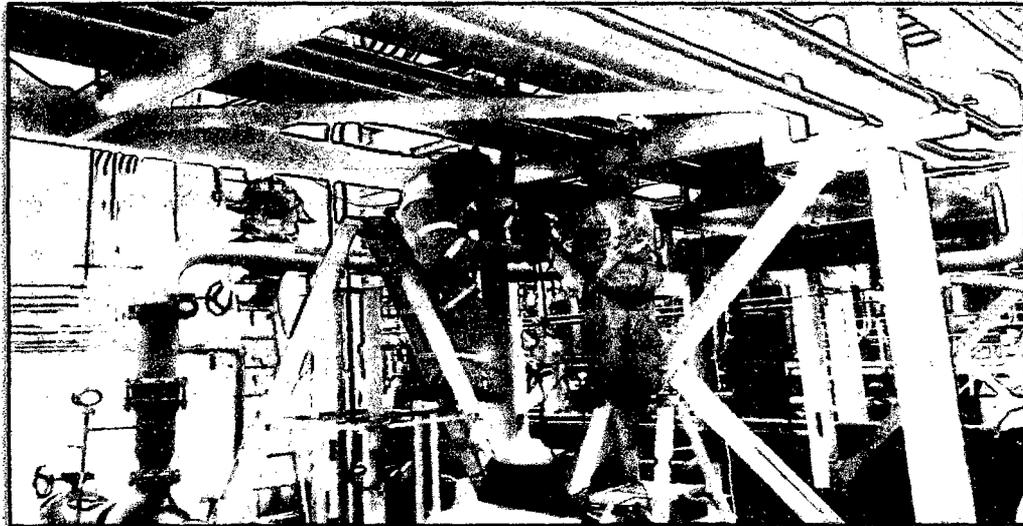
FOTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROYECTOS DE MEJORA

IMPLEMENTACIÓN DE LA LÍNEA PERÓXIDO DE HIDRÓGENO



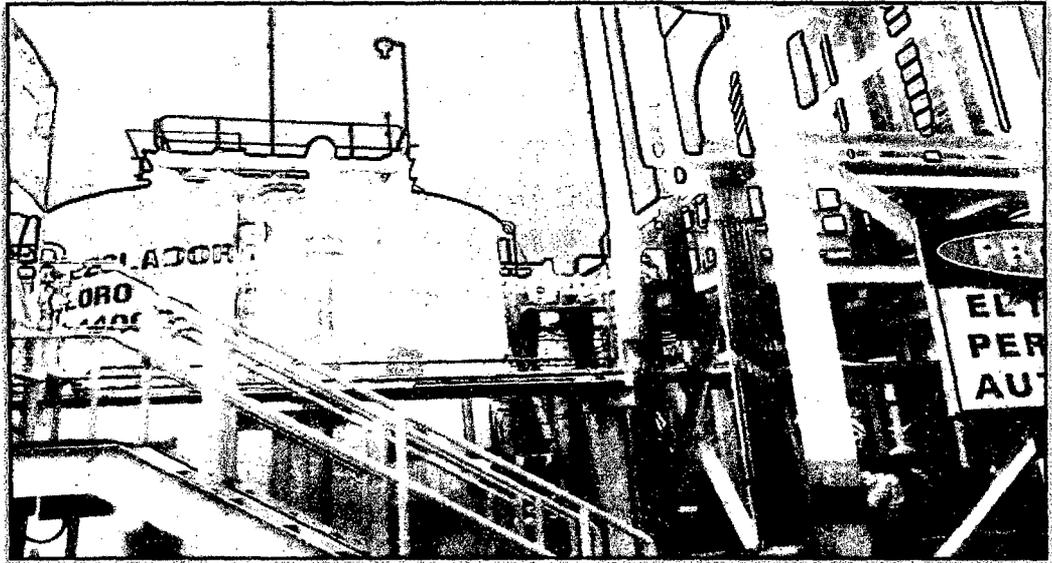
Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Corte de las tuberías



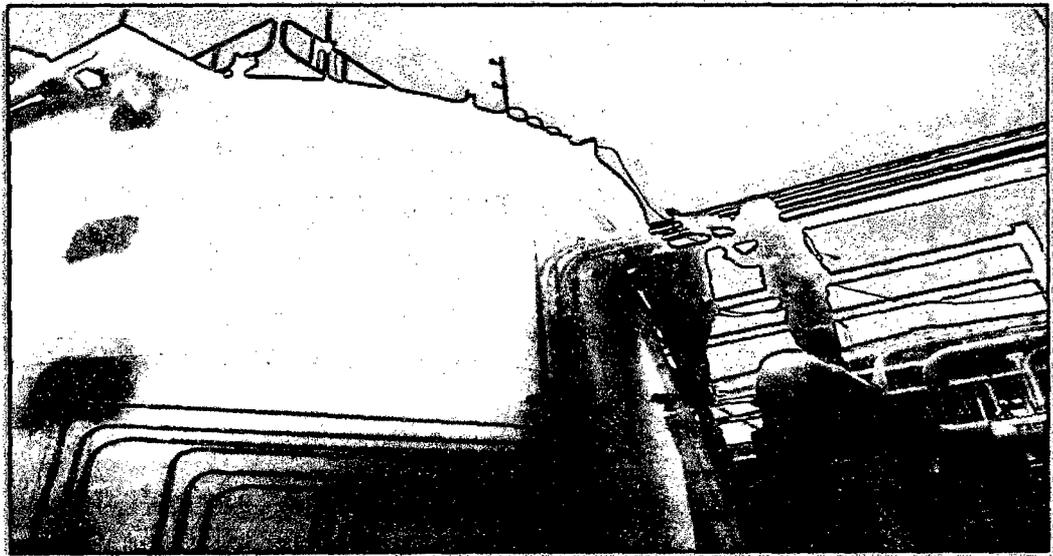
Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Empalmado la línea de peróxido de hidrógeno



Fuente: Elaboración propia

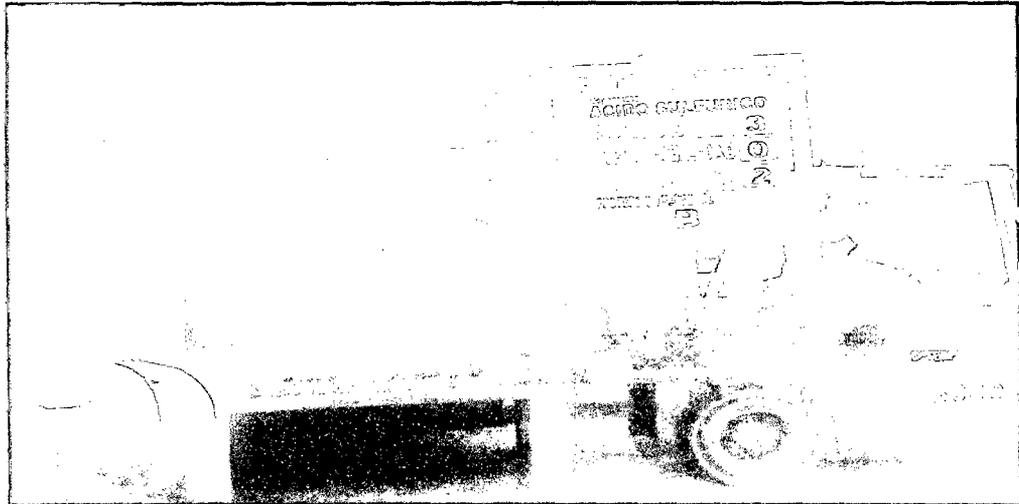
Figura 86. Conexión de la tubería en el tanque de cloración



Fuente: Elaboración propia

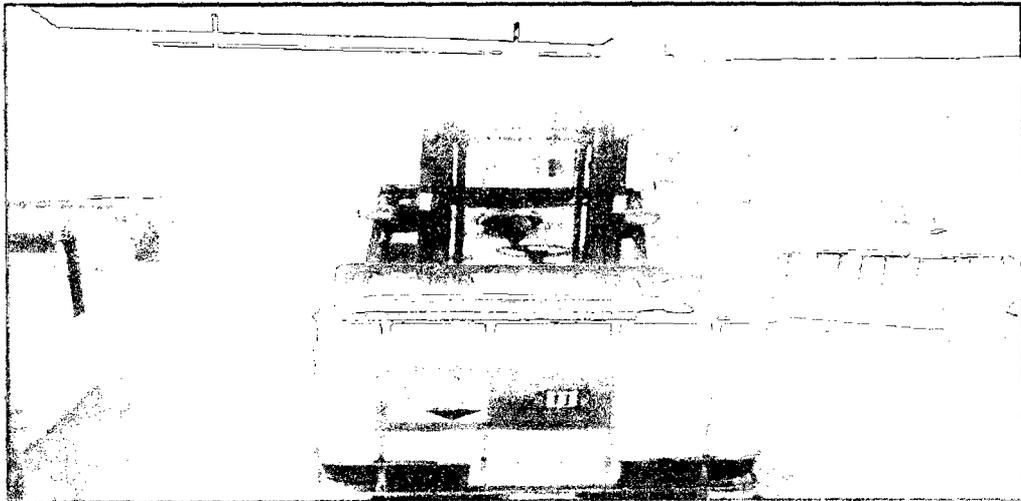
Figura 87. Conexión del forro de seguridad en la línea del peróxido de hidrógeno

INSTALACIÓN Y CAMBIO DE HOOVERS DE 1 m3



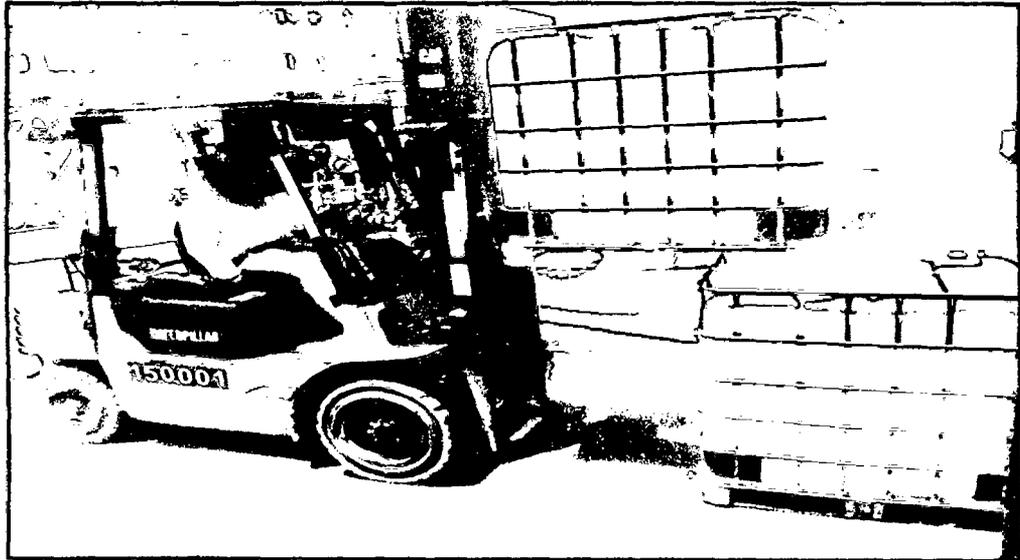
Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Instalación del hoover (peróxido de hidrógeno al 50 %)



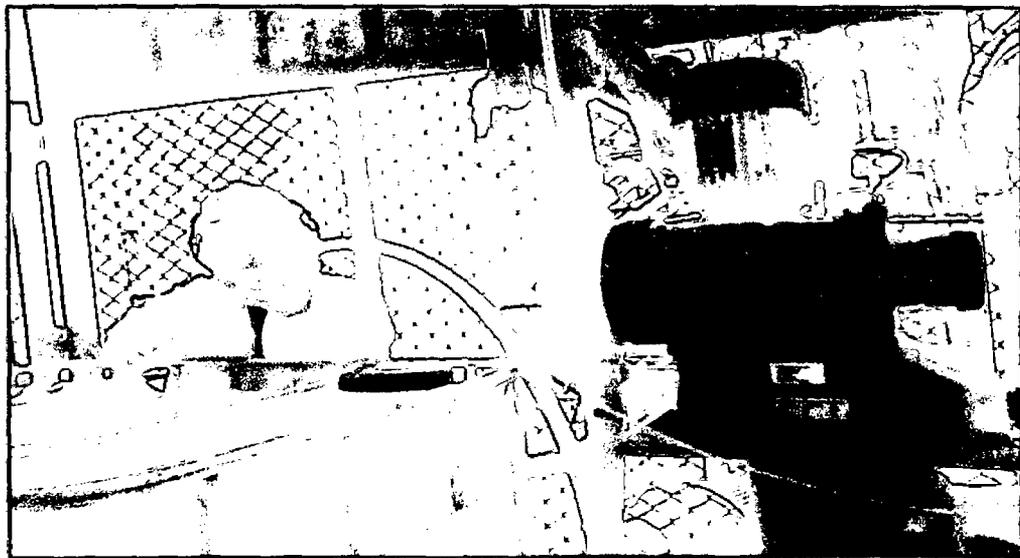
Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Se usa un montacarga en el transporte del hoover con el debido uso del equipo de protección de seguridad



Fuente: Elaboración propia

Figura 90. La solución remanente se adiciona al hoover nuevo



Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Se enciende el equipo

**PROYECTO DE REDUCCIÓN DE SULFATOS EN LA SOLUCIÓN
CONCENTRADA**



Fuente: Elaboración propia

Figura 92. Limpieza y mantenimiento del reactor clarificador



Fuente: Elaboración propia

Figura 93. Funcionamiento del reactor clarificador

ANEXO B

REVISTA ADUNI: Degradación de cianuros en efluentes de Plantas auríferas.

Ingeniero Miguel Angel Ponce Sanchez y James Wide Caceres Toledo

OTRAS FORMAS DE DEGRADACION DE CIANURO:

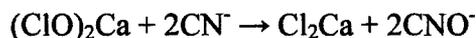
TECNOLOGIA DE DEGRADACION DE CIANURO CON HIPOCLORITO DE CALCIO (CLORURACION ALCALINA)

La tecnología de cloruración alcalina utilizando hipoclorito de calcio y/o hipoclorito de sodio como agentes químicos en la destrucción de cianuro de efluentes líquidos no es recomendable para aplicarse en soluciones que presenten contenidos significantes de tiocianatos y ferrocianuros provenientes de la reacción del cianuro con los sulfuros presentes en el mineral debido al alto consumo del reactivo $(\text{OCl})_2\text{Ca}$, y una pobre calidad de agua descontaminada de cianuro, presentando los efluentes líquidos de la cianuración, niveles de cianuro arriba de los permisibles que norma el código de medio ambiente.

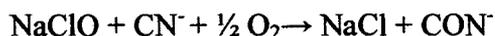
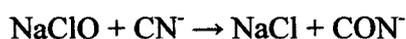
Generalmente la cloruración alcalina no es competitiva con respecto a las otras tecnologías de eliminación de cianuro presentadas en el presente trabajo técnico, al menos que el gas cloro sea obtenido como sub producto de los fluidos residuales.

Las reacciones de neutralización son las siguientes:

Utilizando Hipoclorito de calcio



Utilizando hipoclorito de sodio

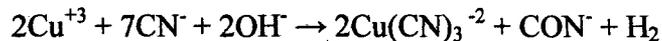


TECNOLOGIA DE DEGRADACION DE CIANURO CON SULFATO DE COBRE (CuSO_4)

La presente tecnología de oxidación química utilizando el sulfato de cobre, se presenta como una técnica importante para la eliminación de cianuro de los efluentes líquidos de cianuración, presentando como desventajas en su utilización la contaminación de aguas neutralizadas con la presencia de los iones Cu^+ y Cu^{+2}

Las características acidas del sulfato de cobre, generan en la destrucción del cianuro una disminución en el pH de los efluentes neutralizados.

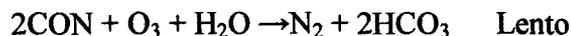
Las reacciones de neutralización son las siguientes:



TECNOLOGIA DE DEGRADACION DE CIANURO A TRAVES DE OZONACION

En el proceso de ozonización, el ozono es generado eléctricamente, a partir del aire u oxígeno. El uso de oxígeno puede producir 2 veces la concentración de ozono con la mitad de energía, podría existir alguna contribución de oxidación a partir del mismo oxígeno. El cianuro de hidrógeno, ión cianuro, complejos de zinc, cadmio y cobre tanto como el tiocianato son rápida y fácilmente destruibles. Las reacciones químicas involucradas en el proceso son descritas por Liptak (1974) como sigue:

Oxidación del cianuro por Ozono.



Oxidación del tiocianato por el Ozono

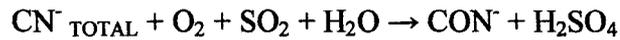


Los cianuros de hierro son más difíciles de oxidar con ozono. La combinación del ozono con la radiación ultravioleta permite completar la oxidación del ferrocianuro, pero esto incrementa los costos de tratamiento.

TECNOLOGIA DE DEGRADACION DE CIANURO INCO

La rápida remoción de cianuro y especies de cianuro metálicos se lleva a cabo por una mezcla de SO_2 (2.5%) y aire a un pH de aproximadamente 9 y en presencia de pequeñas cantidades de cobre (50mg/L Cu^{+2} como mínimo) que actúa como catalizador. El cianuro de hierro, pero no el tiocianato son removidos en parte mediante la precipitación, justo lo opuesto a lo que ocurre en la clorinación alcalina. El cianuro se oxida a cianato, los metales excepto el hierro se precipitan

como hidróxidos. El hierro forma ferrocianuros insolubles como $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ Y $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$. La reacción de oxidación se describe mediante la siguiente ecuación:



Reacciones secundarias



El cobre se usa como catalizador, la velocidad de oxidación del cianuro y eficiencia es proporcional al contenido de cobre de la solución. En general la remoción de cianuro a tenores menores de 1mg/L se pueden obtener con un consumo de aproximadamente 7 gramos por gramo de cianuro total. A pH 9, los metales como cobre, hierro, níquel y zinc se remueven a valores del 1 mg/L.

El proceso es muy dependiente del pH obteniéndose mejores resultados a pH entre 8 y 10, de preferencia 9. La reacción se hace muy lenta a pH entre 5 y 6, la conversión a cianato es limitada a pH 11. Debido a que el proceso produce ácido se hace necesario la adición de cal para mantener el cargo de pH apropiado. El proceso también es dependiente de la temperatura, a 25°C la reacción es rápida mientras que a temperaturas de 5°C la reacción se hace muy lenta.

Debido a la baja velocidad de oxidación de sulfuros y tiocianatos, estas especies son oxidadas en forma limitada, normalmente no más del 20% de estas especies se oxidan consumiéndose cantidades excesivas del reactivo.

El tiocianato se oxida según la siguiente reacción:



TECNOLOGIA DE DEGRADACION DE CIANURO CON ACIDO SULFURICO (AVR)

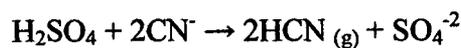
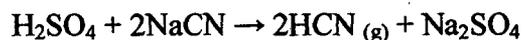
El cianuro de hidrogeno es extremadamente volátil, con una presión de vapor de 100KPa a 25°C. Este fenómeno se utiliza en el proceso Merrill - Crowe para la generación de cianuro. La solución se acidifica (0.5 – 1 g/l H_2SO_4 en exceso) y se hace pasar a través de un empaquetamiento en una torre en contra corriente a un

sistema de aire. El aire que coge el cianuro de hidrogeno formado por el acido y por el ión cianuro y complejos metálicos cianurados son barridos a una torre absorvedora se recicla para incrementar la concentración de cianuro para luego retornarla al proceso de cianuración. El tratamiento de acido no libera el cianuro del ferrocianuro o tiocianato, a pesar de ello la mayor parte del cianuro podría finalmente recuperarse usando un oxidante mas fuerte luego de la acidificación.

Se forma una cantidad apreciable de yeso (en la neutralización de cal por el acido sulfúrico) y posiblemente algo de carbonato de calcio del CO₂ del aire. Dependiendo de la composición inicial de la solución Barren y del pH final de la solución tratada podrían estar presentes el cianuro cuproso, tiocianato, zinc, cobre, níquel y hierro den solución. Además la solución final es acida, por lo que se hace necesario la neutralización y filtrado de la solución Barren antes de su descarga y como efluente.

La presente tecnología involucra una etapa de acidificación del efluente de cianuración y ajuste de pH con acido sulfúrico (H₂SO₄) para causar la débil disociación acida del cianuro WAD para disociarse de los diversos complejos metal - cianuros existentes, liberándose cianuro libre el cual reacciona con el ión hidrogeno del ácido para formar: gas ácido cianhídrico (HCN).

La reacción de acidificación es representada por la siguiente ecuación:



ANEXO C

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

D.S. N° 002 – 2008 MINAM

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
Jefe (e)
Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental -DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

El Peruano
DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico: normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN

ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ²⁵	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ⁹⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hydrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometano	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs						
1,1,1-Tricloroetano - 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano - 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano - 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno - 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno - 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano - 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono - 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano - 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BEIX						

Descargado desde www.ciperuano.com.pe

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno - 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno - 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno - 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos - 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno - 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
Plaguicidas						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraatión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrín - 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrín - 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrín - 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro - 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Carbamatos:						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Policloruros Bifenilos Totales						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parásitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/160 mL Número más probable en 100 mL

* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1 Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Sub Categoría 2 Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Sub Categoría 3 Otras Actividades (C3)
ORGANOLÉPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBO ₅	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	centígrados	** delta 3 °C	** delta 3 °C	** delta 3 °C
INORGÁNICOS				
Amoníaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/l	0,0094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/l	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO3)	mg/l	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/l	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O3)	mg/l	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/l	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/l	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL. Número más probable en 100 mL.

* Área Aprobada: Áreas de donde se extraen ó cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana ó animal, de organismos patógenos ó cualquier sustancia deletérea ó venenosa y potencialmente peligrosa.

** Área Restringida: Áreas acústicas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

*** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

**** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisioquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella sp.</i>		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Fisicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos (NO3-N)	mg/L	50	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Níquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aklín (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrín (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	

Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropórido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parafón	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helmintos	huevo/filtro	<1
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 ml.

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amiacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	—
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	—
Clorofila A	mg/L	10	—	—	—	—
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		—	—
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	—	—	—	—	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amiacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrato (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 ml.

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

ANEXO D

CLORAMINA NORMATIVA DE NEW JERSEY



Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey

HOJA INFORMATIVA SOBRE SUBSTANCIAS PELIGROSAS

Nombre común: **CLORAMINA**

Número CAS: 10599-90-3

Número DOT: No tiene

(**CHLORAMINE**)

Número de la sustancia RTK: 0359

Fecha: marzo de 2003

Traducción: diciembre de 2007

RESUMEN DE RIESGOS

- * La **cloramina** puede afectarle al inhalarla.
- * El contacto puede irritar la piel y los ojos.
- * Respirar **cloramina** puede irritar la nariz y la garganta.
- * Respirar **cloramina** puede irritar los pulmones, causando tos o falta de aire. A niveles más altos la exposición puede causar acumulación de líquido en los pulmones (edema pulmonar), una emergencia médica, con una intensa falta de aire.

IDENTIFICACIÓN

La **cloramina** es un líquido incoloro a amarillo de fuerte olor. Se usa en la fabricación de otras sustancias químicas.

RAZONES PARA MENCIONARLA

- * La **cloramina** figura en la Lista de Sustancias Peligrosas (Hazardous Substance List) ya que ha sido citada por el IRIS.
- * Las definiciones se encuentran en la página 5.

CÓMO DETERMINAR SI USTED ESTÁ EN RIESGO DE EXPOSICIÓN

La Ley del Derecho a Saber de New Jersey (New Jersey Right to Know Act) exige a la mayoría de los empleadores que rotulen los recipientes de las sustancias químicas en el lugar de trabajo y exige a los empleadores públicos que proporcionen a sus empleados información y capacitación acerca de los peligros y controles de las sustancias químicas. La norma federal de la OSHA Comunicación de Riesgos (Hazard Communication), 29 CFR 1910 sección 1200, exige a los empleadores privados que proporcionen a sus empleados capacitación e información similares.

- * La exposición a sustancias peligrosas debe ser evaluada en forma periódica. Esta evaluación podría incluir la recolección de muestras de aire a nivel individual y del local. Usted puede obtener ejemplares de los resultados de la evaluación del empleador. Tiene el derecho a esta información según la norma de la OSHA Acceso a los Registros de Exposición e Historia Clínica del Empleado (Access to Employee Exposure and Medical Records), 29 CFR 1910 sección 1020.
- * Si usted cree que tiene algún problema de salud relacionado con el trabajo, consulte a un médico

capacitado en reconocer las enfermedades ocupacionales. Llévela esta Hoja Informativa.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

No se han establecido los límites de exposición ocupacional a la **cloramina**. A pesar de ello, esta sustancia puede ser nociva. Siempre se debe cumplir con las prácticas laborales seguras.

MANERAS DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN

- * Donde sea posible, encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa ventilación por extracción localizada ni se encierran las operaciones, deben usarse respiradores.
- * Use ropa de trabajo protectora.
- * Lávese a fondo inmediatamente después de la exposición a la **cloramina** y al final del turno laboral.
- * Exhiba información sobre los peligros y advertencias en el área de trabajo. Además, como parte de una campaña continua de educación y capacitación, comuníquese a los trabajadores que pudieran estar expuestos toda la información sobre los riesgos de salud y seguridad de la **cloramina**.

Esta Hoja Informativa es una fuente de información resumida sobre todos los riesgos potenciales para la salud, especialmente los más graves, que puedan resultar de la exposición. La duración de la exposición, la concentración de la sustancia y otros factores pueden afectar su sensibilidad a cualquiera de los posibles efectos que se describen a continuación.

INFORMACIÓN SOBRE LOS RIESGOS PARA LA SALUD

Efectos agudos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición a la cloramina:

- * El contacto puede irritar la piel y los ojos.
- * Respirar cloramina puede irritar la nariz y la garganta.
- * Respirar cloramina puede irritar los pulmones, causando tos o falta de aire. A niveles más altos la exposición puede causar acumulación de líquido en los pulmones (edema pulmonar), una emergencia médica, con una intensa falta de aire.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición a la cloramina y pueden durar meses o años:

Riesgo de cáncer

- * A pesar de que la cloramina ha sido sometida a pruebas, se necesitan realizar pruebas adicionales para evaluar su potencial de causar cáncer.

Riesgo para la reproducción

- * A pesar de que la cloramina ha sido sometida a pruebas, se necesitan realizar pruebas adicionales para evaluar su potencial de causar daño en el sistema reproductivo.

Otros efectos a largo plazo

- * La cloramina puede irritar los pulmones. La exposición repetida puede causar bronquitis, con tos, flema o falta de aire.

RECOMENDACIONES MÉDICAS

Exámenes médicos

En caso de síntomas o posible sobreexposición, se recomienda lo siguiente:

- * Considere tomar una radiografía de tórax después de la sobreexposición aguda.

Toda evaluación debe incluir una cuidadosa historia de los síntomas anteriores y actuales, junto con un examen. Los exámenes médicos que buscan daños ya causados no sirven como sustituto del control de la exposición.

Pida fotocopias de sus exámenes médicos. Tiene el derecho a esta información según la norma de la OSHA Acceso a los Registros de Exposición e Historia Clínica del Empleado (Access to Employee Exposure and Medical Records), 29 CFR 1910 sección 1020.

Exposiciones combinadas

- * Ya que el fumar puede causar enfermedades cardíacas, así como cáncer de pulmón, enfisema y otros problemas respiratorios, puede agravar las afecciones respiratorias causadas por la exposición química. Aunque lleve mucho tiempo fumando, si deja de fumar hoy su riesgo de sufrir problemas de salud será reducido.

CONTROLES Y PRÁCTICAS LABORALES

A menos que se pueda reemplazar una sustancia peligrosa por una sustancia menos tóxica, los **CONTROLES DE INGENIERÍA** son la manera más eficaz de reducir la exposición. La mejor protección es encerrar las operaciones o proveer ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. También puede reducirse la exposición aislando las operaciones. El uso de respiradores o equipo de protección es menos eficaz que los controles ya mencionados, pero a veces es necesario.

Al evaluar los controles existentes en su lugar de trabajo, considere: (1) cuán peligrosa es la sustancia, (2) la cantidad de sustancia emitida en el lugar de trabajo y (3) la posibilidad de que haya contacto perjudicial para la piel o los ojos. Debe haber controles especiales para las sustancias químicas sumamente tóxicas o si existe la posibilidad de exposición significativa de la piel, los ojos o el aparato respiratorio.

Además, se recomienda la siguiente medida de control:

- * Donde sea posible, bombee la cloramina líquida automáticamente desde los tambores u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de proceso.

Las buenas **PRÁCTICAS LABORALES** pueden facilitar la reducción de exposiciones peligrosas. Se recomiendan las siguientes prácticas laborales:

- * Los trabajadores cuya ropa ha sido contaminada por la cloramina deben cambiarse sin demora y ponerse ropa limpia.
- * La ropa de trabajo contaminada debe ser lavada por individuos que estén informados acerca de los peligros de la exposición a la cloramina.
- * El área de trabajo inmediata debe estar provista de lavaojos para uso de emergencia.
- * Si existe la posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones de duchas de emergencia.
- * Si la cloramina entra en contacto con la piel, lávese o dúchese inmediatamente para eliminar la sustancia química. Al final del turno laboral, lávese cualquier parte del cuerpo que pueda haber estado en contacto con la cloramina, aunque no esté seguro si hubo contacto.

- * No coma, fume o beba donde se manipula, procesa o almacena la **cloramina**, ya que puede tragarse la sustancia química. Lávese las manos cuidadosamente antes de comer, beber, fumar o usar el baño.

EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

ES MEJOR TENER CONTROLES EN EL LUGAR DE TRABAJO QUE USAR EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL. Sin embargo, para algunos trabajos (tales como trabajos al aire libre, trabajos en un área confinada, trabajos que se hacen sólo de vez en cuando, o trabajos realizados mientras se instalan los controles en el lugar de trabajo), puede ser apropiado usar un equipo de protección individual.

La norma de la OSHA Equipo de Protección Individual (Personal Protective Equipment), 29 CFR 1910 sección 132, exige a los empleadores que determinen el equipo de protección individual apropiado para cada situación riesgosa y que capaciten a sus empleados sobre cómo y cuándo usar equipo de protección.

Las siguientes recomendaciones sirven sólo de guía y quizás no se apliquen a todas las situaciones.

Ropa

- * Evite el contacto de la piel con la **cloramina**. Use guantes y ropa de protección. Los proveedores o fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes o ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- * Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, protección para la cabeza) debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de comenzar a trabajar.

Protección para los ojos

- * Cuando trabaje con líquidos, use gafas de protección antisalpicadura y antiimpacto con ventilación indirecta.
- * Cuando trabaje con sustancias corrosivas, sumamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.

Protección respiratoria

EL USO INCORRECTO DE LOS RESPIRADORES ES PELIGROSO. Este equipo sólo debe usarse si el empleador tiene un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones laborales, los requisitos de capacitación de los trabajadores, las pruebas de ajuste de los respiradores y los exámenes médicos, según se describen en la norma de la OSHA Protección Respiratoria (Respiratory Protection), 29 CFR 1910 sección 134.

- * Si existe la posibilidad de sobreexposición, use un respirador de pieza facial completa con suministro de aire, aprobado por el NIOSH, operado en una modalidad de presión-demanda u otra modalidad de presión positiva. Para mayor protección, úselo en combinación con un aparato de respiración autónomo con cilindro de escape,

operado en una modalidad de presión-demanda u otra modalidad de presión positiva.

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- * Antes de trabajar con la **cloramina**, debe estar capacitado en el almacenamiento y la manipulación apropiados de esta sustancia química.
- * La **cloramina** no es compatible con AGENTES OXIDANTES (tales como PERCLORATOS, PERÓXIDOS, PERMANGANATOS, CLORATOS, NITRATOS, CLORO, BROMO y FLÚOR) y AMONÍACO.
- * Almacene en recipientes bien cerrados, en un área fresca, bien ventilada y lejos de LUZ y CALOR.
- * Almacene la **cloramina** en un solvente ya que la **cloramina** por sí misma se puede descomponer violentamente.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

- P: Si sufro efectos agudos sobre mi salud ahora, ¿sufiré efectos crónicos más adelante?
- R: No siempre. La mayoría de los efectos crónicos (a largo plazo) resultan de exposiciones repetidas a una sustancia química.
- P: ¿Puedo tener efectos a largo plazo sin haber tenido jamás efectos a corto plazo?
- R: Sí, ya que los efectos a largo plazo pueden deberse a exposiciones repetidas a una sustancia química, a niveles que no son suficientemente altos como para enfermarle de inmediato.
- P: ¿Qué probabilidades tengo de enfermarme después de haber estado expuesto a sustancias químicas?
- R: Cuanto mayor sea la exposición, más aumentará la probabilidad de enfermarse debido a sustancias químicas. La medida de la exposición está determinada por la duración de la exposición y la cantidad de material a la cual la persona está expuesta.
- P: ¿Cuándo es más probable que ocurran las exposiciones más altas?
- R: Las condiciones que aumentan el riesgo de exposición incluyen procesos físicos y mecánicos (calentamiento, vaciado, rociado, y derrames y evaporación a partir de superficies grandes, tales como contenedores abiertos) y exposiciones en espacios confinados (tanques, reactores, calderas, cuartos pequeños, etc.).
- P: ¿Es mayor el riesgo de enfermarse para los trabajadores que para los miembros de la comunidad?
- R: Sí. Las exposiciones en la comunidad, salvo posiblemente en el caso de incendios o derrames, generalmente son mucho más bajas que las que ocurren en el lugar de trabajo. Sin embargo, los miembros de una comunidad pueden estar expuestos por largos períodos de tiempo a agua contaminada así como también a productos químicos en el aire, lo que podría

ser problemático para los niños o las personas que ya están enfermas.

La siguiente información puede obtenerse a través del:

New Jersey Department of Health and Senior Services
Occupational Health Service
PO Box 360
Trenton, NJ 08625-0360
(609) 984-1863
(609) 984-7407 (fax)

Dirección web: <http://www.state.nj.us/health/coh/odisweb/>

Información sobre la higiene industrial

Los higienistas industriales están a su disposición para contestar sus preguntas acerca del control de las exposiciones a sustancias químicas mediante el uso de ventilación exhaustiva, prácticas laborales específicas, buenas prácticas de limpieza y mantenimiento, buenas prácticas de higiene, y equipo de protección individual, que incluye los respiradores. Además, pueden facilitar la interpretación de los resultados de datos obtenidos en encuestas e inventarios sobre la higiene industrial.

Evaluación médica

Si usted cree que se está enfermando debido a la exposición a sustancias químicas en su lugar de trabajo, puede llamar al Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey (New Jersey Department of Health and Senior Services), Servicio de Salud Ocupacional (Occupational Health Service), que podrá ayudarle a encontrar la información que necesite.

Presentaciones públicas

Se pueden organizar presentaciones y programas educativos sobre la salud ocupacional o la Ley del Derecho a Saber para sindicatos, asociaciones comerciales y otros grupos.

Información y recursos del programa Derecho a Saber

La persona que conteste la Línea de Información del programa del Derecho a Saber, (609) 984-2202, puede responder a sus preguntas sobre la identidad de las sustancias químicas y sus efectos potenciales sobre la salud, la lista de los materiales educativos sobre la salud ocupacional, las referencias usadas para preparar las Hojas Informativas, la preparación del inventario del Derecho a Saber, los programas de educación y capacitación, los requisitos de rotulación y pueden proporcionarle información general sobre la Ley del Derecho a Saber. Las violaciones a dicha ley deben ser comunicadas al (609) 984-2202.

DEFINICIONES

La **ACGIH** es la Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Recomienda los límites máximos de exposición (los TLV) a sustancias químicas en el lugar de trabajo.

Un **carcinógeno** es una sustancia que causa cáncer.

El número **CAS** es el número único de identificación asignado a una sustancia química por el Servicio de Resúmenes Químicos (Chemical Abstracts Service).

El **CFR** es el Código de Regulaciones Federales (Code of Federal Regulations), que consta de los reglamentos del gobierno estadounidense.

Una sustancia **combustible** es un sólido, líquido o gas que se quema.

Una sustancia **corrosiva** es un gas, líquido o sólido que causa daño irreversible a sus recipientes o al tejido humano.

El **DEP** es el Departamento de Protección del Medio Ambiente (Department of Environmental Protection) de New Jersey.

El **DOT** es el Departamento de Transporte (Department of Transportation), la agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.

La **EPA** es la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency), la agencia federal responsable de regular peligros ambientales.

La **FDA** es la Administración de Alimentos y Fármacos (Food and Drug Administration), la agencia federal que regula alimentos, fármacos, aparatos médicos, productos biológicos, cosméticos, fármacos y alimentos para animales y productos radiológicos.

Un **feto** es un ser humano o animal no nacido.

La **GRENA** es la *Guía norteamericana de respuesta en caso de emergencia*. Ha sido realizada en conjunto por Transporte Canadá (Transport Canada), el Departamento de Transporte Estadounidense (DOT) y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México. Es una guía para los que responden primero a un incidente de transporte, para que puedan identificar los peligros específicos o generales del material, y para que puedan protegerse a ellos mismos, así como al público en general, durante la fase inicial de respuesta al incidente.

La **IARC** es la Agencia Internacional para Investigaciones sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer), que consta de un grupo científico que clasifica las sustancias químicas según su potencial de causar cáncer.

Una sustancia **inflamable** es un sólido, líquido, vapor o gas que se enciende fácilmente y se quema rápidamente.

El **IRIS** es el Sistema Integrado de Información sobre Riesgos (Integrated Risk Information System). Es una base de datos mantenida por la EPA federal.

mg/m³ significa miligramos de una sustancia química por metro cúbico de aire. Es una medida de concentración (peso/volumen).

Una sustancia **miscible** es un líquido o gas que se disuelve uniformemente en otro líquido o gas.

Un **mutágeno** es una sustancia que causa mutaciones. Una **mutación** es un cambio en el material genético de una célula del organismo. Las mutaciones pueden llevar a malformaciones en recién nacidos, abortos espontáneos o cáncer.

La **NFPA** es la Asociación Nacional para la Protección contra Incendios (National Fire Protection Association). Clasifica las sustancias según su riesgo de incendio y explosión.

El **NIOSH** es el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health). Prueba equipos, evalúa y aprueba los respiradores, realiza estudios sobre los peligros laborales y propone normas a la OSHA.

La **NRC** es la Comisión de Regulación Nuclear (Nuclear Regulatory Commission), una agencia federal que regula las centrales nucleares comerciales y el uso civil de materiales nucleares.

El **NTP** es el Programa Nacional de Toxicología (National Toxicology Program), que examina los productos químicos y estudia los indicios de cáncer.

La **OSHA** es la Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo (Occupational Safety and Health Administration), la agencia federal que promulga las normas de salud y seguridad y vigila el cumplimiento de dichas normas.

El **PEL** es el límite de exposición admisible, que puede ser exigido por la OSHA.

La **PIH** es la designación que el DOT asigna a las sustancias químicas que presentan un peligro de intoxicación por inhalación (Poison Inhalation Hazard).

ppm significa partes de una sustancia por un millón de partes de aire. Es una medida de concentración por volumen de aire.

La **presión de vapor** es una medida de la facilidad con la que un líquido o sólido se mezcla con el aire en su superficie. Una presión de vapor alta indica una concentración elevada de la sustancia en el aire y por lo tanto aumenta la probabilidad de respirarla.

El **punto de inflamabilidad** es la temperatura a la cual un líquido o sólido emite vapores que pueden formar una mezcla inflamable con el aire.

Una sustancia **reactiva** es un sólido, líquido o gas que emite energía en ciertas condiciones.

El **STEL** es el Límite de Exposición a Corto Plazo (Short-Term Exposure Limit), que se mide durante un período de 15 minutos y que nunca debe excederse durante el día laboral.

Un **teratógeno** es una sustancia que puede causar daño al feto y malformaciones en recién nacidos.

El **TLV** es el valor umbral límite (Threshold Limit Value), el límite de exposición laboral recomendado por la ACGIH.

INFORMACIÓN DE EMERGENCIA

Nombre común: **CLORAMINA**
 Número DOT: **No tiene**
 Código GRENA: **No se cita**
 Número CAS: **10599-90-3**

Evaluación del riesgo	NJDHSS	NFPA
INFLAMABILIDAD	No hallado	No clasificado
REACTIVIDAD	No hallado	No clasificado
EN UN INCENDIO, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS.		

Claves para la evaluación del riesgo: 0=mínimo; 1=poco; 2=moderado; 3=grave; 4=extremo

PELIGROS DE INCENDIO

- * Use polvo químico seco, CO₂ o espuma para extinguir el incendio.
- * EN UN INCENDIO, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre ellos los *óxidos de nitrógeno*, el *amoníaco* y el *cloro*.
- * Si son los empleados quienes deben extinguir los incendios, deben estar capacitados y equipados según se estipula en la norma de la OSHA Cuerpos de Bomberos (Fire Brigades), 29 CFR 1910 sección 156.

DERRAMES Y EMERGENCIAS

En caso de derrame o escape de **cloramina**, tome las siguientes medidas:

- * Evacue al personal. Controle e impida el acceso a la zona.
- * Elimine toda fuente de ignición.
- * Absorba los líquidos con vermiculita, arena seca, tierra o un material similar y deposite en recipientes herméticos.
- * Ventile y lave el área después de que se haya completado la limpieza.
- * Quizás sea necesario contener y eliminar la **cloramina** como **DESECHO PELIGROSO**. Para obtener recomendaciones específicas, comuníquese con el Departamento de Protección del Medio Ambiente (DEP) de su estado, o con la oficina regional de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos.
- * Si se requiere que los empleados limpien los derrames, deben estar capacitados y equipados adecuadamente. Puede aplicarse la norma de la OSHA Manejo de Desechos Peligrosos y Respuesta de Emergencia (Hazardous Waste Operations and Emergency Response), 29 CFR 1910 sección 120.

EN CASO DE GRANDES DERRAMES O INCENDIOS llame inmediatamente a los bomberos de su localidad. Usted puede pedir información de emergencia a:

CHEMTREC: (800) 424-9300
 LÍNEA DE EMERGENCIA DEL NJDEP: (877) 927-6337

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

(Consulte la página 3.)

PRIMEROS AUXILIOS

Para INFORMACIÓN SOBRE INTOXICACIONES llame al (800) 222-1222

Contacto con los ojos

- * Enjuague inmediatamente los ojos con abundante agua por un mínimo de 15 minutos, levantando en forma periódica los párpados superiores e inferiores.

Contacto con la piel

- * Quite la ropa contaminada. Lave la piel contaminada con agua y jabón.

Respiración

- * Retire a la persona del lugar de la exposición.
- * Inicie la respiración de rescate (utilizando precauciones universales) si la respiración se ha detenido y la RCP (reanimación cardiopulmonar) si la acción del corazón se ha detenido.
- * Traslade sin demora a la víctima a un centro de atención médica.
- * Se recomienda la observación médica por 24 a 48 horas después de la sobreexposición respiratoria, ya que un edema pulmonar puede demorar en presentarse.

DATOS FÍSICOS

Solubilidad en agua: Soluble

OTROS NOMBRES USADOS

Nombre químico:

Monocloroamoníaco

Otros nombres:

Cloramida

Esta información no debe ser copiada ni vendida con propósitos comerciales.

NEW JERSEY DEPARTMENT OF HEALTH AND SENIOR SERVICES

Right to Know Program

PO Box 368, Trenton, NJ 08625-0368

(609) 984-2202

ANEXO E

**MSDS DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 50 % EMPRESA
PROQUIMSA**

PROQUIMSA

MSDS # P-19

PRODUCTO: PEROXIDO DE HIDROGENO AL 50%

NOMBRE QUIMICO	NOMBRE COMERCIAL
Peróxido de Hidrógeno	Agua Oxigenada al 50%
FAMILIA QUIMICA	FORMULA
Peróxido Inorgánico	H2O2

SECCION 1.- INFORMACION FISICA Y QUIMICA

DESCRIPCION DEL PRODUCTO	Líquido Transparente
OLOR	Característico
GRAVEDAD ESPECIFICA 20°C	1.20
PRESION DE VAPOR, mmHg a 30°C	18
SOLUBILIDAD EN AGUA, % PESO a 20°C	completa
PUNTO DE DESCOMPOSICION °C	120
PUNTO DE CONGELACION °C	-51.2
PUNTO DE EBULLICION, °C a 760 mmHg	114
PUNTO DE INFLAMACION	No Aplicable
LIMITES DE INFLAMABILIDAD	No Aplicable
TEMPERATURA DE AUTOIGNICION °C	No Aplicable

SECCION 2.- COMPOSICION

Componente	% P/P
Peróxido de Hidrógeno	50
Agua	50

SECCION 3.- INFORME DE RIESGOS Y EXPLOSION

PELIGRO GENERAL Es un poderoso agente oxidante. Puede explotar por fricción, calor o contaminación. Estas sustancias acelerarán su combustión cuando se involucren en un incendio. Puede encender otros materiales combustibles (madera, papel, aceite, ropa etc.). Reacciona explosivamente con hidrocarburos (combustibles). Una elevación de temperatura incrementa la proporción de la descomposición del peróxido. La reacción de descomposición es exotérmica y a elevadas temperaturas se autoacelera, liberando oxígeno. Descomposiciones violentas pueden producirse por contacto con hierro, cobre, cromo, latón, bronce, plata, manganeso. Se pueden producir mezclas poderosamente explosivas al mezclar peróxidos con alcoholes, glicerol, etc. El peróxido de hidrógeno contaminado puede rápidamente descomponerse, generando grandes cantidades de gas oxígeno y altas presiones.
CONTROL DE INCENDIOS Para controlar los incendios use solamente agua. No use polvos químicos secos, CO2 o espumas. Inunde el área de incendio con agua a distancia. No mover los recipientes, si han sido expuestos al calor. Enfríe los recipientes con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido.
PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION BAJO CONDICIONES DE FUEGO Gases irritantes o tóxicos.

SECCION 4.- INFORMACION SOBRE RIESGOS EN LA SALUD

CONTACTO CON LOS OJOS
El producto causará rápidamente severa irritación en ojos y párpados, quemaduras, conjuntivitis, lesiones irreversibles en la córnea. Si el producto no se remueve rápidamente irrigando abundantemente con agua, puede producir daño en la visión.
CONTACTO CON LA PIEL
Es extremadamente irritante a la piel, puede causar quemaduras severas, eritema y ampollas si no se lava a tiempo. Un contacto repetido con la piel puede conducir al desarrollo de una dermatitis.
INHALACION
Produce inflamación de las membranas mucosas del tracto respiratorio, tos, inflamación de la garganta, dificultad en la respiración, edema pulmonar. Los efectos pueden ser retardados.
INGESTION
La ingestión de este producto causa severas quemaduras a las membranas mucosas de la boca, esófago y el estómago. La descomposición del producto en el estómago puede causar hemorragias locales debido a una dilatación gástrica.

SECCION 5.- MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

CONTACTO CON LOS OJOS
Lave inmediatamente los ojos con agua en abundancia durante mínimo 20 minutos, manteniendo los párpados abiertos para asegurar el enjuague de toda la superficie del ojo. El lavado de los ojos durante los primeros segundos es esencial para un máximo de efectividad. Acuda inmediatamente al médico.
CONTACTO CON LA PIEL
Lave inmediatamente con gran cantidad de agua y jabón durante por lo menos 15 minutos. Se puede aplicar ungüento calmante sobre la piel irritada después de enjuagar abundantemente. Quite la ropa contaminada incluyendo zapatos, una vez que se ha comenzado el lavado. Lave la ropa antes de reusar. Procure atención médica inmediata.
INHALACION
Mueva a la víctima a donde se respire aire fresco. Aplique respiración artificial si la víctima no respira. Suministre oxígeno si respira con dificultad. Mantenga a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal. Obtenga atención médica inmediata.
INGESTION
Si una persona ha ingerido no induzca a vómito, dele gran cantidad de agua o leche. Mantenga las vías respiratorias libres. Nunca de nada por la boca si la persona está inconciente. Solicite atención médica inmediatamente.

SECCION 6.- INFORMACION SOBRE ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Es estable en condiciones normales de uso y almacenamiento
Condiciones para evitar inestabilidad	Altas temperaturas: se descompone en 16 horas a 96 °C.
Polimerización peligrosa	no ocurre
Condiciones para evitar polimerización peligrosa	no se aplica
Sustancias a evitar	hierro, cobre, cromo, latón, bronce, plomo, plata, manganeso, alcoholes, glicerol, agentes reductores, sustancias orgánicas tales como papel, madera, algodón, paja, etc. No diluya con agua de la llave.

SECCION 7.- CONTROLES DE EXPOSICION/ PROTECCION PERSONAL

CONTROLES DE EXPOSICION
El producto ha de trabajarse en áreas bien ventiladas. En caso contrario se requiere un sistema de

extracción de vapores, cuando exista la posibilidad de sobrepasar el valor límite de exposición.

PROTECCION PERSONAL

El manejo del Peróxido de hidrógeno exige el uso de equipo de protección personal especial.

Protección Respiratoria: Use máscara protectora recomendada por el fabricante .En condiciones en donde el valor límite puede ser sobrepasado fuertemente, es aconsejable el uso de un equipo de autocontenido con presión positiva.

Protección de la piel: Se debe utilizar ropa de PVC, guantes , delantales y botas de goma, neopreno, nitrilo o PVC.

Duchas de seguridad se deberán localizar en las áreas de trabajo y deben ser probadas de manera frecuente.

Protección de los ojos:Use monogafa química. Lavadores de ojos se deberán instalar en las áreas y deberán ser probados de manera regular.

LIMITES MAXIMOS DE EXPOSICION	TLV/TWA: 1 ppm (1.4 mg/m3)
--------------------------------------	----------------------------

TLV/TWA: Concentración promedio ponderada en el tiempo para una jornada laboral de 8 horas, a la cual casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin sufrir efectos adversos. Estos valores fueron revisados por ACGIH 1994-95.

PROQUIMSA recomienda observar los bajos niveles de exposición para protección del trabajador.

SECCION 8.- PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAME O FUGA

DERRAME EN TIERRA

Proceda con precaución y restrinja el acceso al área afectada. Mantenga los materiales combustibles (madera, papel, aceite, etc.) lejos del material derramado. Use traje y equipos de seguridad. Cave diques para contener el derrame y evite que este penetre a los desagües , sistemas de aguas lluvias, ríos, esteros y canales. No toque los recipientes dañados o el material derramado, a menos que esté usando la ropa protectora adecuada. En derrames pequeños absorba el líquido derramado con arena o tierra y colóquelo en un recipiente para su posterior eliminación. Enjuague el área contaminada con abundante agua.

La descarga de grandes cantidades en plantas de tratamiento de aguas por métodos biológicos puede causar destrucción de la flora bacteriana.

INFORMACIÓN ECOTOXICOLOGICA:

No existe peligro, porque la degradación produce solamente compuestos amigos al medio ambiente (agua y oxígeno). Es totalmente biodegradable.

SECCION 9.- INFORMACION SOBRE ALMACENAMIENTO, MANEJO Y TRANSPORTE

ALMACENAMIENTO Y MANEJO

Al manipular, úsese anteojos de seguridad para productos químicos y máscara, guantes y traje de seguridad, sólo en áreas bien ventiladas.

No beba, coma y fume durante su manejo. Guarde el recipiente cerrado después de su uso.

Diluya solamente con agua destilada o desmineralizada.

Proteja los recipientes contra daños físicos. Almacene en áreas frías y ventiladas lejos de los rayos solares y fuentes de calor. Los recipientes no deben ser apilados. Siempre deben ser almacenados en posición vertical. Guarde lejos de combustibles, material explosivo y sustancias incompatibles.

El lugar de almacenamiento debe ser espacioso con control de temperatura y provisto de un suministro de agua. En caso de una descomposición inicial diluya inmediatamente con agua desmineralizada

Almacene solo en recipientes de polypropyleno, polietileno de alta densidad, vidrio o en Acero 316.

Número CAS	7722-84-1
Número asignado por el sistema de clasificación de las Naciones Unidas	UN 2014
CLASE	5
GRUPO	II

SECCION 10.- INFORMACION ADICIONAL**SISTEMAS DE CLASIFICACION DE RIESGOS**

	NPCA -HMIS	NFPA 704	CLAVE
SALUD	2	2	4=SEVERO
INFLAMABILIDAD	0	0	3=SERIO
REACTIVIDAD	3	1	2=MODERADO
CONTACTO	4	-	1=LIGERO
			0=MINIMO

SECCION11.- INFORMACION DE LA COMPAÑIA

NOMBRE	PROQUIMSA
DIRECCION DE CONTACTO	URB. SANTA LEONOR A 300 MTS TERMINAL TERRESTRE
NUMERO DE TELEFONO (NO EMERGENCIA): 8H:00 - 17H:00	PARA INFORMACION GENERAL DEL PRODUCTO LLAME A 893220
NUMERO DE TELEFONO (EMERGENCIA): 24 HORAS	896709
REFERENCIA	LA INFORMACION PRESENTADA AQUI ES EXACTA Y CONFIABLE. EL USO DE ESTA INFORMACION Y LAS CONDICIONES DE USO DEL PRODUCTO ES RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. NO ACEPTAMOS RESPONSABILIDAD LEGAL POR CUALQUIER PÉRDIDA O DAÑO OCASIONADO POR EL CLIENTE. SIN EMBARGO NUESTRO PERSONAL TECNICO ESTARA COMPLACIDO DE RESPONDER PREGUNTAS RELACIONADAS CON LOS PROCEDIMIENTOS DE MANEJO Y USOS SEGUROS.

P R O Q U I M S A	
TARJETA DE EMERGENCIA	
PEROXIDO DE HIDROGENO	MSDS # P-19

DESCRIPCION	LIQUIDO TRANSPARENTE INCOLORO
RIESGOS	LÍQUIDO CORROSIVO POR : INHALACION, INGESTION ,CONTACTO CON LA PIEL Y LOS OJOS.
PROTECCION BASICA	GAFAS, GUANTES, PROTECTOR FACIAL, MANGAS LARGAS, ROPA ADECUADA.
EN CASO DE ACCIDENTE	

SI OCURRE ESTO	HAGA LO SIGUIENTE
-----------------------	--------------------------

DERRAMES O FUGAS	DERRAME EN TIERRA Proceda con precaución y restrinja el acceso al área afectada. Mantenga los materiales combustibles (madera, papel, aceite, etc.) lejos del material derramado. Use traje y equipos de seguridad. Cave diques para contener el derrame y evite que este penetre a los desagües , sistemas de aguas lluvias, ríos, esteros y canales. No toque los recipientes dañados o el material derramado, a menos que esté usando la ropa protectora adecuada. En derrames pequeños absorba el líquido derramado con arena o tierra y colóquelo en un recipiente para su posterior eliminación. Enjuague el área contaminada con abundante agua. La descarga de grandes cantidades en plantas de tratamiento de aguas por métodos biológicos puede causar destrucción de la flora bacteriana. INFORMACIÓN ECOTOXICOLOGICA: No existe peligro, porque la degradación produce solamente compuestos amigos al medio ambiente (agua y oxígeno). Es totalmente biodegradable.
-------------------------	---

FUEGO	CONTROL DE INCENDIOS Para controlar los incendios use solamente agua. No use polvos químicos secos, CO2 o espumas. Inunde el área de incendio con agua a distancia. No mover los recipientes, si han sido expuestos al calor. Enfríe los recipientes con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido
--------------	---

EXPOSICION	CONTACTO CON LOS OJOS Lave inmediatamente los ojos con agua en abundancia durante mínimo 20 minutos, manteniendo los párpados abiertos para asegurar el enjuague de toda la superficie del ojo. El lavado de los ojos durante los primeros segundos es esencial para un máximo de efectividad. Acuda inmediatamente al médico.
	CONTACTO CON LA PIEL Lave inmediatamente con gran cantidad de agua y jabón durante por lo menos 15 minutos. Se puede aplicar ungtento calmante sobre la piel irritada después de enjuagar abundantemente. Quite la ropa contaminada incluyendo zapatos, una vez que se ha comenzado el lavado. Lave la ropa antes de reusar. Procure atención médica inmediata.
	INHALACION Mueva a la víctima a donde se respire aire fresco. Aplique respiración artificial si la víctima no respira. Suministre oxígeno húmedo a presión positiva durante media hora si respira con dificultad. Mantenga a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal. Obtenga atención médica inmediata.
	INGESTION Si una persona ha ingerido el producto no induzca a vómito, dele gran cantidad de agua o leche. Mantenga las vías respiratorias libres. Nunca de nada por la boca si la persona está inconciente. Solicite atención médica inmediatamente.

ANEXO F

MANEJO DEL CIANURO

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 Página 1 de 6

**TAREA: 4. PRÁCTICAS DE MANEJO DE
MATERIALES PELIGROSOS**

ELEMENTO: 4.1 MANEJO DEL CIANURO

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO:

Transporte

Desde el inicio de sus operaciones en 1993, Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL) viene empleando cianuro de sodio (NaCN) para el proceso de lixiviado del mineral. Actualmente, este NaCN es transportado desde el puerto del Callao hasta el campamento de Minera Yanacocha en el departamento de Cajamarca, recorriendo aproximadamente 900 km.

El cianuro de sodio es transportado en contenedores cerrados y sellados, en camiones de una empresa de transportes en un número que varía, generalmente, entre 8 y 10 camiones por envío. Cada contenedor contiene 20 toneladas de cianuro de sodio. El cianuro viene en cajas de madera de una tonelada de peso y en el interior de la caja hay dos bolsas de polietileno para proteger el cianuro del contacto con el agua. El cianuro viene en forma de gránulos.

Cada envío de NaCN es escoltado por una camioneta de supervisión y un camión mediano, en donde viajan personal de MYSRL y personal de la empresa transportadora.

Vehículos policiales acompañan eventualmente el convoy en algunos tramos. El motivo principal por el cual personal de MYSRL acompaña durante todo el viaje el convoy de camiones, es para tomar las medidas necesarias en el supuesto caso que ocurra un accidente durante el transporte que pueda comprometer la carga, para lo cual se cuenta con un equipo de seguridad mínimo. El personal de supervisión de la empresa transportadora y los conductores son también entrenados para responder a emergencias.

Los camiones realizan el transporte de los contenedores con NaCN en un lapso de cuatro días, teniendo como paradas obligatorias las ciudades de Casma, Pacasmayo y Cajamarca, para posteriormente ser transportados a los almacenes de MYSRL.

Los puntos críticos son los centros poblados, los puentes y los pasos cerca de cuerpos de agua.

Almacenamiento

Una vez que todo el convoy llega a las instalaciones de MYSRL, los camiones se estacionan en el área de paqueo de Pampa Larga, para posteriormente ser pesados y proceden a la descarga de las cajas de cianuro. El departamento de logística da prioridad a la recepción y descarga del producto.

Una vez que los camiones se encuentran en la zona de descarga, se procede a romper el sello de los contenedores para proceder a la descarga, el jefe del convoy se asegura que no haya emisiones de gases de HCN desde el interior del contenedor utilizando el equipo de monitoreo de HCN. Posteriormente, utilizando maquinaria adecuada, las cajas de cianuro son descargadas y colocadas en el almacén de cianuro.

El personal de MYSRL y de la empresa transportista que están involucrados en la descarga, utilizan los implementos de seguridad necesarios (lentes de seguridad, guantes, respiradores, etc). Asimismo, el jefe del convoy supervisa y evalúa las condiciones de seguridad durante la descarga.

Las cajas de cianuro son almacenadas en los almacenes preparados por MYSRL en Pampa Larga (350 toneladas de capacidad), Maqui Maqui (180 toneladas), Yanacocha (980 toneladas) y La Quinoa (350 toneladas).

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 Página 2 de 6

El almacén de cianuro de Pampa Larga ocupa un área seca, ventilada y segura que tiene como piso una losa de concreto y el techo de calamina. Se encuentra asegurado con una puerta de malla de alambre que exhibe avisos de seguridad borrosos. También cuenta con una caja que contiene el kit de antídoto de cianuro.

Manipulación

En el proceso de cianuración de oro que realiza MYSRL, se toman en cuenta las siguientes disposiciones:

- La manipulación de soluciones de cianuro debe ser efectuada en áreas ventiladas, usando guantes de látex y gafas protectoras.
- Se debe evitar la inhalación de polvos y gases de cianuro
- No se debe transportar ni almacenar cianuro junto con alimentos o bebidas.
- No se deben ingerir alimentos ni fumar cuando se trabaja con cianuro
- Se debe evitar el contacto del cianuro con ácidos o sales ácidas ya que puede generar ácido cianhídrico gaseoso, que es muy venenoso.
- Se debe evitar el contacto del cianuro con la piel y la ropa

Plan de contingencia

Los objetivos del plan de contingencia para transporte de cianuro de sodio (NaCN) elaborado por MYSRL, son los siguientes:

- Dar a conocer al personal de supervisión de Minera Yanacocha, así como al personal de la empresa de transporte, las normas básicas a cumplir y los procedimientos a seguir en el supuesto caso que uno de los camiones sufra un accidente durante el transporte, ya sea en carretera o en la ciudad.
- Identificar los posibles tipos de accidentes que pudieran ocurrir durante el transporte y desarrollar un procedimiento adecuado para cada tipo de accidente.
- Desarrollar el criterio técnico del personal de supervisión para tomar decisiones en caso de emergencias.
- Brindar información básica de emergencia (teléfonos de emergencia, apoyo logístico en la ruta, hoja de seguridad de materiales del NaCN, etc).
- Proponer los lineamientos de conductas en las relaciones que se tendrían en el caso de emergencia con las autoridades, la prensa y la población que resulte involucrada.

En caso de problemas mecánicos del vehículo la respuesta será la siguiente:

- El conductor deberá proceder con el corte del encendido del motor, colocar freno de mano, colocar los triángulos y estacionar a lado derecho.
- Deberá hacer una inspección completa para verificar que no haya escapes del producto.
- Comunicar al jefe del Convoy para que este solicite auxilio mecánico.
- De ser necesario el traspaso de la carga, este se deberá realizar solicitando el equipo de levante apropiado.
- El conductor deberá permanecer al lado del camión hasta que llegue el personal idóneo que se hará cargo de la situación.

En el caso de volcadura sin derrame, se deberán seguir los siguientes pasos:

- Verificar que no hay heridos. Si los hay, solicitar la presencia de una ambulancia para su atención o envío a un hospital
- Recurrir a la policía o a los bomberos para que mantengan el área despejada, conseguir una grúa o la maquinaria necesaria para voltear el camión o el contenedor con cianuro de sodio. Todo esto debe estar coordinado por el jefe del Convoy.

En el caso de volcadura con derrame sin reacción, se deberá:

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 Página 3 de 6

- Corte del encendido
- Revisar la concentración ambiental de HCN con el equipo de monitoreo. En caso de detectarse niveles de HCN mayores a 10 ppm, evacuar el personal que se encuentra cerca de la zona. Si hay heridos, colocarse los implementos de seguridad antes de proceder a evacuar los heridos.
- Solicitar la presencia de una ambulancia para su atención o envío a un hospital.
- Recurrir a la policía o a los bomberos para que mantengan el área despejada, solicitar a la policía que interrumpa el tráfico de vehículos e impedir que personas ajenas entren al área de peligro.
- Indicar la naturaleza del producto a la policía.
- Utilizar los water absorbents (trapos absorbentes), o sacos de arena o tierra para evitar que el cianuro se vaya a las alcantarillas o canales de drenaje o cursos de agua que puedan complicar el problema.
- Aproximarse al derrame con el viento por la espalda. Si no hay agua o ácido de por medio, proceder a recoger rápidamente el cianuro y embolsarlo. Selle las bolsas con cinta adhesiva y colóquelas en el contenedor nuevamente.
- En caso de presencia de agua o ácidos, vaciar primero la cal y luego proceder a la limpieza.
- La descontaminación del área afectada, después de haber limpiado todo el cianuro posible, debe ser realizada utilizando una solución de hipoclorito de sodio.

En el caso de volcadura con derrame con reacción se deberá:

a) Sobre el suelo con clima lluvioso:

- Minimizar los efectos del derrame y controlarlo totalmente.
- Cortar el encendido del vehículo
- Revisar la concentración ambiental de HCN con el equipo de monitoreo. En caso de detectarse niveles de HCN mayores a 10 ppm, evacuar el personal que se encuentra cerca de la zona. Si hay heridos colocarse los implementos de seguridad antes de proceder a evacuar los heridos.
- Solicitar la presencia de una ambulancia para su atención o envío a un hospital.
- Recurrir a la policía o a los bomberos para que mantengan el área despejada, solicitar a la policía que interrumpa el tráfico de vehículos e impedir que personas ajenas entren al área de peligro.
- Indicar la naturaleza del producto a la policía en caso de mezclarse con agua o sustancias ácidas.
- Utilizar los water absorbents (trapos absorbentes), o sacos de arena o tierra para evitar que el cianuro se vaya a las alcantarillas o canales de drenaje o cursos de agua que puedan complicar el problema.
- Debido a la presencia de lluvia o condiciones húmedas es necesario cubrir el derrame con el toldo que forma parte del equipo de emergencia para prevenir la disolución del cianuro.
- Proceder a recoger el cianuro derramado y embolsarlo. Debido a que los niveles peligrosos de gases de cianuro pueden juntarse en espacios cerrados, el cianuro mojado recolectado en bolsas debe mantenerse cerrado mientras se efectúa la limpieza del área.
- Los líquidos contenidos o escurriendo cianuro de sodio deberán ser detoxificados utilizando una solución de hipoclorito de sodio. Se debe agregar 20 litros de hipoclorito de sodio por kilogramo de cianuro disuelto para neutralizar completamente el cianuro de sodio. Posteriormente utilizando el equipo de monitoreo de HCN asegurarse que el cianuro ha sido neutralizado.

b) En un curso o cuerpo de agua:

- Se debe aislar toda el área debido a la alta posibilidad de emanación de gases de HCN.
- En caso de heridos no ingresar al área sin equipo de protección personal.
- Aislar la zona del curso de agua hasta dos kilómetros aguas abajo.
- Informar a la mayor brevedad a los habitantes y evitar la ingesta del agua.
- Evitar que animales domésticos y silvestres beban agua.
- Retirar de la ribera del río todas las briquetas de cianuro de sodio.
- Se deberá tratar de controlar la formación de ácido cianhídrico, consiguiendo gran cantidad

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 **Página 4 de 6**

de hipoclorito de sodio y cal para verterlo en el lugar del derrame.

- Si el derrame fuera de pequeña magnitud (hasta una tonelada) proceder a verter la cal y el hipoclorito de sodio en el lugar del derrame para neutralizar el cianuro.
- Permitir que el curso de agua circule libremente durante dos horas y después haga beber agua a un animal doméstico y obsérvelo por una hora, sino se observan daños, se puede permitir el consumo humano.

En caso de incendio del camión:

- Si hay heridos solicitar la presencia de una ambulancia para su atención o envío a un hospital
- Recurrir a la policía o a los bomberos para que mantengan el área despejada, solicitar a la policía que interrumpa el tráfico de vehículos e impedir que personas ajenas entren al área de peligro.
- Tratar de extinguir el fuego mediante los extintores de tipo ABC del camión, sin exponer su integridad física.
- El agua puede ser utilizada contra fuegos cerca del cianuro de sodio, pero debe ser usada cuidadosamente para evitar que exista contacto entre agua y cianuro.
- Todas las personas que intervengan en la emergencia deberán vestir obligatoriamente el equipo apropiado de protección personal contra gases de mercurio.

EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ELEMENTO:

Análisis:

El cianuro (CN⁻) es una de las moléculas de mayor toxicidad que se conoce. Bioquímicamente el cianuro es capaz de bloquear la respiración celular al interferir con sistemas enzimáticos que facilitan la reducción del oxígeno a agua, además de interferir con otros procesos celulares. Aunque el cianuro puede eventualmente ser descompuesto por la luz solar bajo condiciones neutras de pH, no sucede lo mismo una vez ha alcanzado los acuíferos. De igual forma, su descomposición es menor en zonas lluviosas y alta nubosidad.

La auditoría de los procesos que involucran la utilización de cianuro en la mina arrojó los siguientes resultados:

- El cianuro es transportado desde Lima y almacenado en la mina.
- El cianuro es almacenado con muy buena ventilación.
- En el recinto en donde estaba almacenado el cianuro fue detectado un tanque de acetileno
- En la planta de Merryll Crowe, específicamente en la plataforma de adición de polvo de zinc, el monitor de HCN no funciona adecuadamente o no está calibrado, dado que presenta valores negativos de HCN en aire. Otro de los monitores de cianuro no presentaba ninguna lectura.
- En la Planta Merryll Crowe existen varias duchas de emergencia que no funcionan (Foto 4-1-3). Varias duchas lavadoras de ojos portátiles funcionan muy bien. No obstante, la presión suministrada es moderadamente baja.
- En los tubos de transporte de fluidos de la planta de Merryll Crowe aparecen varias fugas de los sistemas que no son controladas y otras cuyo control no es óptimo. Esto puede significar pérdidas o exposición a sustancias nocivas. En esta misma planta también fueron observadas geomembranas dispuestas sobre el suelo.
- En ausencia de derrames accidentales o fugas, todo el cianuro empleado en la extracción del oro es re-circulado. Cuando aparecen en el proceso las aguas de exceso, este anión es tratado utilizando un método denominado clorinación alcalina, en la cual el cianuro es destruido por oxidación con cloro generando una diversidad de especies químicas con toxicidad generalmente menor a la del cianuro. Estos compuestos con potencial tóxico no son analizados ni rutinaria ni esporádicamente y, al hacer parte de los efluentes, pueden estar impactando a los ecosistemas.
- Normalmente, en las operaciones mineras el cianuro es analizado como Cianuro Libre, Cianuro WAD y Cianuro Total. El cianuro libre mide la concentración de ión cianuro (CN⁻) y ácido cianhídrico (HCN), más cualquier cianuro proveniente del rompimiento de complejos débiles (no incluye

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 Página 5 de 6

complejos de níquel, hierro, cobalto, oro, platino y paladio). El cianuro WAD cuantifica los cianuros libres más muchos de los débiles complejos de cianuro que son degradados en caliente bajo condiciones moderadamente ácidas (pH 4,5). El análisis de cianuro total mide las formas de cianuro libre, cianuro WAD y aquellos complejos metálicos que se rompen en caliente bajo la acción de una solución ácida concentrada (pH menor de 1).

- El método WAD no detecta cianatos, tiocianatos, cloruro cianógeno, cloramias, la mayor parte del cianógeno, la mayoría de los orgánicos de cianuro, los complejos de oro, platino, cobalto, y de gran importancia, los complejos cianurados de hierro. Por su parte, el método de análisis de cianuro total no detecta cianatos, tiocianatos, cloramias, la mayoría de los compuestos orgánicos de cianuro y la mayoría de los complejos cianurados de cobalto y platino.
- Por lo tanto, ni el método de cianuro total ni el WAD miden la concentración total de cianuro y sus especies relacionadas. Lo anterior puede significar una sub-valoración del impacto de los efluentes sobre los ecosistemas a los cuales son vertidos los mismos.
- En cuanto al plan de contingencias, el Plan de Respuesta a Emergencias 2001, en el capítulo relacionado con el transporte de "cianuro de sodio" aparecen varias inconsistencias técnicas. Es de recordar que esta Plan constituye el timón de operaciones ante cualquier emergencia y es de suponer que las acciones especificadas son de estricto cumplimiento y por tanto no deben presentar ambigüedades. En sus observaciones al Informe Preliminar de Auditoría y Evaluación Ambiental, MYSRL informó que el plan analizado no es el actual puesto que existe una nueva versión revisada y presentada al MEM en el año 2003.
- En relación con el derrame de cianuro en un curso o cuerpo de agua, en la página 18 de 48 aparece en negrita: "Permitir que el curso de agua circule libremente durante dos horas y después haga beber agua a un animal doméstico y obsérvelo por una hora. Si no se observan daños, se puede permitir el consumo humano". Indicarle a las personas que pueden consumir el agua porque un animal no mostró ningún síntoma luego de ingerir el líquido del cuerpo de agua que acaba de ser contaminado muestra carencia de rigurosidad científica e irresponsabilidad y puede poner en peligro la vida de las personas. A continuación son señaladas algunas de las preguntas y comentarios al respecto:
- La toxicidad del cianuro varía de especie a especie. La toxicidad no solo del cianuro sino de cualquier químico depende de la dosis suministrada. ¿Cómo se sabe cual fue la dosis que recibió el animal al ponerlo a beber agua? ¿Qué pasa si el animal ingirió una dosis que no le causó ningún efecto "observable"?
- Los efectos de los tóxicos pueden aparecer a varios niveles. Que el animal no muestre síntomas no quiere decir que no se está gestando un proceso toxicológico a nivel celular en alguno de sus órganos. Más difícil aún es detectar un cambio a nivel bioquímico, solo observando el comportamiento del animal. ¿Qué pasaría si a las dos horas de haber ocurrido el accidente gran parte del cianuro que no ha sido neutralizado apenas empezara a entrar en contacto con el cuerpo de agua?

En sus observaciones al Informe Preliminar de Auditoría y Evaluación Ambiental, MYSRL indicó que concuerda con estos últimos conceptos del Informe y que la versión más reciente del Plan de Respuesta y Emergencias ha corregido estos aspectos.

Los sistemas de contención de derrames y fugas para los diferentes materiales peligrosos como el cianuro, están contemplados en los Planes de Contingencias desarrollados para los eventuales accidentes que puedan ocurrir. Ante la ocurrencia de un derrame o fuga, la contención y asistencia a los mismos dependerá de la magnitud de la emergencia de acuerdo con lo expuesto en los Planes de Respuesta a Emergencias (Ver: Plan de respuesta a emergencias, MYSA, 2001; Manual de prevención de pérdidas, MYSA, 1999). En forma adicional a la legislación nacional vigente, la minera ha implementado diversas normas internacionales relacionadas con procedimientos adecuados para el empaque, identificación y transporte de los materiales peligrosos.

Para el caso del cianuro, el almacenamiento es efectuado en sitios cerrados y cubiertos pero altamente ventilados, de tal forma que pueda evitarse la acumulación de gases tóxicos o reactivos. Dada la

REPORTE DE AUDITORÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL No. 4.1 Página 6 de 6

naturaleza sólida de estos químicos y el transporte permanente requerido de los mismos, no es necesario desarrollar sistemas específicos para contención de derrames en los lugares de almacenamiento. Sin embargo, es necesario mantener en buen estado y bajo supervisión permanente dichas instalaciones.

Fortalezas:

- Existe un conocimiento importante del balance de masas del cianuro lo cual permite mantener un buen control sobre los derrames y escapes.
- Existen varios niveles físicos y de proceso para la contención de derrames de cianuro en caso de inundaciones severas.
- La puesta en marcha del nuevo Laboratorio de Aguas, el cual puede ser considerado como "estado del arte", permitirá un excelente conocimiento de todos los subproductos asociados con la planta de tratamiento de aguas de exceso.

Debilidades:

- El monitoreo del cianuro en general no incluye algunas especies que pueden ser ambientalmente relevantes.
- Los planes de contingencia relacionados con Plan de Respuesta a Emergencias 2001 en caso de derrames de cianuro durante su transporte deben ser revisados y mejorados por personal especializado. MYSRL informó que este plan ya ha sido revisado.
- No existen datos sobre la toxicidad de los derivados cianurados sobre las especies nativas.
- La localización geográfica de la mina, en particular sobre la cima de varias cuencas, la alta pendiente de los cursos de agua y el régimen de precipitación constituyen un alto potencial de riesgo sobre las poblaciones en el área de influencia.

RECOMENDACIONES:

- Realizar un análisis detallado de riesgos relacionados con el transporte, manejo y uso de cianuro y diseñar los planes de contingencia para enfrentar todas las situaciones de riesgo importantes identificadas.
- El personal de salud ocupacional y prevención de pérdidas debe realizar mayor trabajo de campo para garantizar que las normas de seguridad están siendo cumplidas cabalmente.
- Existen tecnologías alternativas para el tratamiento del cianuro. Es importante que la empresa evalúe la utilización de sistemas de tratamiento de cianuro con sistemas de biomasa inmovilizada.
- Realizar bioensayos para conocer la toxicidad de los derivados del cianuro (cianatos, tiocianatos y complejos con metales, entre otros) sobre las especies de peces locales.
- Se recomienda que la mina cuente con un Ecotoxicólogo de planta para coordinar los planes de manejo ambiental de la minera.
- Establecer una ruta alterna para el transporte de materiales peligrosos hacia la mina que evite pasar por el casco urbano de Cajamarca.