

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA EN EL USO DEL HIPOCLORITO DE SODIO E HIPOCLORITO DE CALCIO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CIANURADOS”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

ELIZABETH NANCY QUISPE SOTO

LIMA – PERÚ

2010

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA QUÍMICA DEL CIANURO	4
2.1 Química del cianuro	4
2.2 Determinación del contenido de cianuro	16
2.3 Descripción de técnicas aplicables en la degradación del cianuro	18
2.4 Descripción comparativa entre la oxidación con solución de NaClO al 10% y Ca(ClO) ₂ al 10%	25
III. DESARROLLO EXPERIMENTAL	27
IV. EVALUACIÓN COMPARATIVA.	39
4.1.- Comparación (eficacia/eficiencia) de las técnicas evaluadas	39
4.2.- Simulación a nivel Planta Piloto	40
4.3.- Evaluación económica de las técnicas/proyecto	49
V. CONCLUSIONES	57
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. BIBLIOGRAFIA	60
VIII. ANEXO	62

I. INTRODUCCIÓN

En el sector Industrial es habitual encontrar procesos que debido a su naturaleza utilicen compuestos cianurados. Estos compuestos suelen encontrarse formando complejos con distintos metales pesados haciendo necesaria su oxidación previa antes de la eliminación de dichos metales pesados, en los procesos de depuración. El presente trabajo ha sido realizado para cumplir como primera prioridad, la eliminación de cianuros y remover los metales pesados de la solución a niveles máximos permisibles (0,1-1 mg/L según la calidad del agua) de acuerdo a las normas medioambientales **DS 002-2008-MINAM-ECA DE AGUA y ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL –AGUAS (D.S 261-69-AP/ D.S 007-83-SA/ D.S 003-2003-SA)**.

A nivel nacional se viene aplicando varios procesos como:

- Acido sulfúrico y sulfato ferroso
- Proceso Inco
- Oxidación con peróxido de hidrógeno
- Oxidación con “Ácido Caro”
- Arcillas y bentonitas

Pero uno de las técnicas mas utilizadas es la “OXIDACIÓN POR CLORINACION ALCALINA” los reactivos a usar son hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio. En el presente estudio se realizara una comparación técnica, y económica con la finalidad de obtener las ventajas y desventajas de cada una de las técnicas mencionadas y establecer criterios de mejoras en dichos procesos.

II.- ASPECTOS GENERALES SOBRE LA QUÍMICA DEL CIANURO

2.1 .- Química del Cianuro ⁽¹⁾

Cianuro es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. Los compuestos de cianuro contienen sustancias químicas (antropogénicas) que se encuentran presentes en la naturaleza o que han sido producidas por el hombre. Existen más de 2,000 fuentes naturales de cianuro, entre ellos, distintas especies de artrópodos, insectos, bacterias, algas, hongos y plantas superiores. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro sólido de sodio y de potasio.

Debido a sus propiedades únicas, el cianuro se utiliza en la fabricación de partes metálicas y en numerosos productos orgánicos comunes como los plásticos, las telas sintéticas, los fertilizantes, los herbicidas, los tintes y los productos farmacéuticos.

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

2.1.1 .- El manejo del cianuro en la extracción de oro

La minería es una actividad industrial que utiliza una cantidad significativa de cianuro, aproximadamente un 20% de la producción total. Desde 1887, las soluciones de cianuro se han

utilizado principalmente para extraer oro y plata de los minerales, que de otro modo no podrían extraerse eficazmente. Además, el cianuro se utiliza en concentraciones bajas como un reactivo de flotación para ayudar a recuperar metales base como el plomo, el cobre y el zinc.

2.1.2 .- Presencia del cianuro en la naturaleza

El carbono y el nitrógeno, los dos elementos que forman el cianuro, están presentes a nuestro alrededor. Juntos forman casi el 80% del aire que respiramos y ambos están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida.

El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas del desarrollo de nuestro planeta como precursor de los aminoácidos, a partir de los cuales evolucionó la vida sobre la tierra. El cianuro se forma naturalmente, las plantas y los animales lo producen y utilizan como un mecanismo de protección que los convierte en una fuente alimenticia poco atractiva. Muchos organismos pueden adaptarse a la presencia del cianuro o eliminar su toxicidad.

Una fuente natural de cianuro de hidrógeno (HCN) es un compuesto similar al azúcar llamado amigdalina, que existe en muchas frutas, verduras, semillas y nueces, entre ellos los damascos, brotes de poroto, castañas de cajú, cerezas, castañas, maíz, judías, lentejas, nectarinas, duraznos, maníes, pecanas, pistachos, papas, soja y otras nueces. En el corazón de la almendra amarga hay aproximadamente 1mg de HCN en forma de amigdalina. Ver tabla 2.1 concentraciones de cianuro en plantas seleccionadas.

Tabla 2.1. Concentraciones de cianuro en plantas seleccionadas

Fuente (1)

Especies de plantas	Concentración (mg/kg)
Yuca (variedades dulces)	
Hojas	377-500
Raíces	138
Raíces desecadas	46-<100
Puré	81
Punta de bambú	Máx. 8000
Poroto blanco(judía, Birmania)	2,100
Almendra (Amargo)	280-2,500

Los compuestos de cianuro se producen en miles de especies de plantas y en otras formas de vida. En algunas plantas, el cianuro está presente en concentraciones que podrían juzgarse como “peligrosas” si estuvieran asociadas a fuentes manufacturadas.

Plantas tales como la alfalfa, el sorgo y la yuca son conocidas fuentes de envenenamiento por cianuro para el ganado y a los seres humanos. Además de estas formas naturales del cianuro, los compuestos de cianuro también están presentes en fuentes antropogénicas de la vida diaria como los escapes de los automóviles, el humo del cigarrillo e incluso la sal de mesa y la sal usada para derretir el hielo de los caminos.

2.1.3 .- Usos industriales del cianuro

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

Anualmente se utiliza un aproximado de 1,4 millones de toneladas de cianuro, que representan el 80% de la producción mundial, en la producción de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos.

Otras aplicaciones industriales incluyen la galvanoplastia, el procesamiento de metales, el endurecimiento del acero, las aplicaciones fotográficas y la producción de goma sintética.

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

Además, el cianuro se utiliza en productos farmacéuticos como el laetril, una sustancia para combatir el cáncer, y el nitroprusiato, una droga para reducir la presión arterial. Los compuestos de cianuro también se utilizan en vendas quirúrgicas que promueven la cicatrización y reducen las cicatrices.

El 20% restante de la producción de cianuro se utiliza para fabricar cianuro de sodio, una forma sólida de cianuro cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De este porcentaje, el 90%, es decir, el 18% de la producción total, se utiliza en minería en todo el mundo, mayormente para la recuperación de oro. Ver figura 2.1

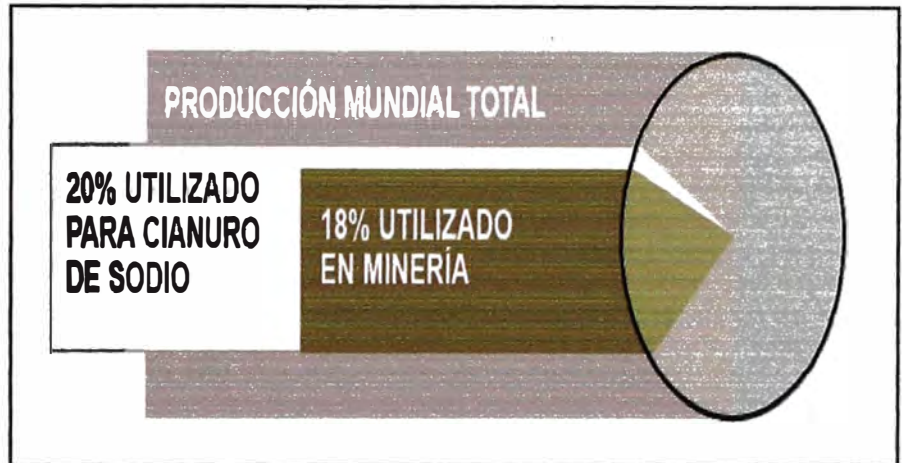


Figura 2.1 Producción mundial total

Fuente (1)

2.1.4.- Producción y manipulación del cianuro

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

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

y la solución de cianuro se transporta en forma líquida en camiones tanque especialmente diseñados.

Todos los embarques de cianuro de sodio se acompañan de las Material Safety Data Sheet (MSDS) donde figuran los datos químicos y de toxicidad del cianuro de sodio, instrucciones en caso de accidentes, número de teléfono para solicitar ayuda en casos de emergencia e información adicional del fabricante. Cuando el material sale de la planta productora se realiza el inventario de todos los embarques y dicho inventario se controla contra los registros de entrega para asegurar una adecuada vigilancia en todo momento. En el mundo hay tres productores principales de cianuro sólido, líquido y gaseoso: Dupont (Estados Unidos), ICI (Inglaterra) y Degussa Corporation (Alemania).

La producción anual mundial es de aproximadamente 1,4 millón de toneladas de HCN. Tal como se mencionó anteriormente, el 20% de la producción total de HCN se usa para producir cianuro de sodio (NaCN) y el 80% restante se usa en numerosas actividades industriales.

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

La familia del cianuro comprende un grupo de compuestos inorgánicos que se caracterizan por la presencia del grupo $\text{-C}\equiv\text{N}$. Los compuestos orgánicos que contienen este grupo se denominan nitrilos. En lo que resta de este documento se aplicará la denominación específica de cianuro al anión CN^- .

Algunos autores han descrito al cianuro como un pseudo halógeno (Chatwin, 1990). Sin embargo, esta analogía no es siempre adecuada, especialmente en términos de formación de complejos metálicos (Cotton y Wilkinson, 1972).

2.1.5.- El cianuro en soluciones ⁽¹⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾

- **Ion cianuro:** Como se indicó previamente, este término se refiere únicamente al anión libre CN^- en solución.
- **HCN molecular:** El HCN molecular es una molécula neutra a la que se denomina ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno.
- **Compuestos simples de cianuro:** Son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un ión cianuro. Son sales que provienen de reacciones ácido – base (por ejemplo el cianuro de sodio).
- **Compuestos complejos de cianuro:** Son compuestos que se disocian en el agua liberando un catión y un anión que contiene ión cianuro. El anión, denominado complejo, puede seguir disociándose produciendo en última instancia un catión y varios iones cianuro como por ejemplo: $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ o triciano cuprito.
- **Organocianuros:** Son compuestos orgánicos que contienen el grupo $\text{-C}\equiv\text{N}$; se los denomina nitrilos o cianuros. Las cianhidrinas son compuestos que contienen un grupo ciano y un hidroxilo sobre el mismo carbono ($\text{R}_1\text{HC}(\text{OH})\text{CN}$) y los glucósidos

cianogénicos ($R_1R_2C(OR_3)CN$) son nitrilos que pueden liberar iones cianuro en condiciones apropiadas, de ahí que presenten un comportamiento análogo al de los cianuros simples. Otros organocianuros, como el acrilonitrilo (CH_2CHCN) y el acetonitrilo (CH_3CN), se degradan para producir sus respectivos ácidos y amoníaco, mostrando en consecuencia un comportamiento diferente de las formas inorgánicas del cianuro.

- **Cianuro libre:** Esta denominación comprende tanto al HCN molecular como al ión de cianuro. Esta terminología se emplea tanto para la descripción analítica del cianuro como para evaluar su toxicidad. “El Cianuro libre” es un 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 ión 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 alrededor de 8. 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 alrededor de 9.4. Ver figura 2.2 Equilibrio CN^- / HCN

Al cianuro libre se le considera como uno de los cianuros más tóxicos. Los procesos biológicos, químicos y físicos que afectan a las concentraciones de cianuro en el agua, el suelo y el aire han sido extensamente estudiados durante las dos décadas pasadas, de modo que su comportamiento en el ambiente es bien conocido.

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

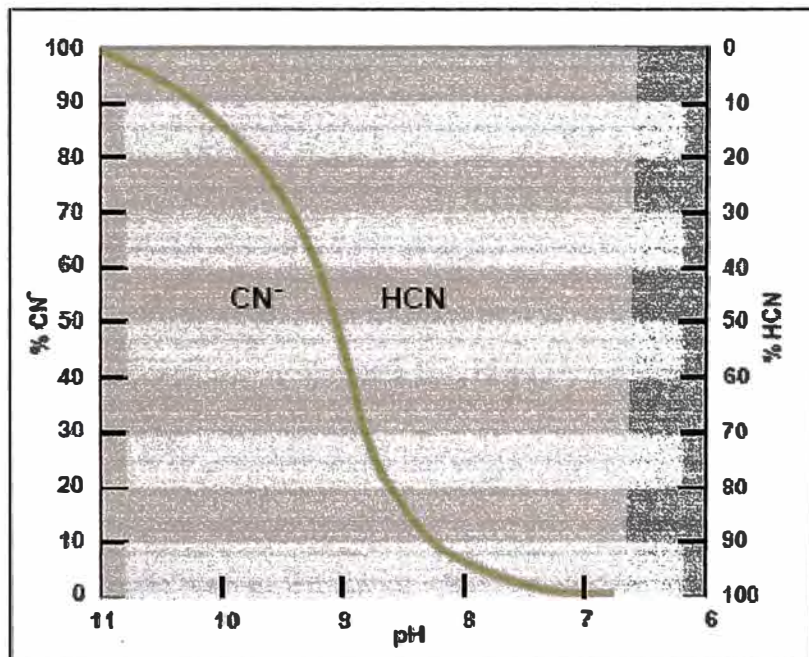


Figura 2.2 Equilibrio de CN^- / HCN con el pH

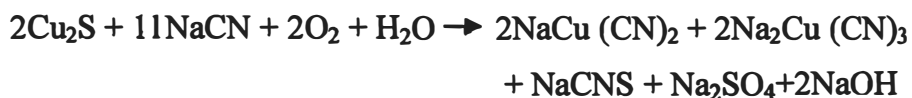
Fuente (1)

- **Cianuro total (TCN):** Se denomina así a todos los compuestos de cianuro existentes en una solución acuosa. Este es un término que se emplea en los procedimientos analíticos. El cianuro total incluye el cianuro libre, los cianuros simples y los todos los cianuros complejos.
- **Cianuro disociable con ácido débil (WAD):** Es un término analítico utilizado para designar a los compuestos de cianuro que se disocian, con un ácido débil a pH= 4.5.

2.1.6.- Otros compuestos derivados del cianuro ⁽³⁾⁽¹⁾

- **Tiocianato:** la presencia de tiocianato, SCN^- en efluentes resulta de la reacción del cianuro con iones sulfuros desprendidos de los sulfuros metálicos durante la lixiviación.

El tiocianato se forma por la reacción del cianuro, del oxígeno y de sustancias que contienen azufre. Las especies que contienen azufre pueden hallarse en forma de minerales o polisulfuros. La formación del tiocianato durante la cianuración de los minerales que contienen calcocita (Cu_2S) puede describirse por la siguiente reacción:



Fuente (3)

Los tiocianatos son más estables que los cianatos en solución acuosa. El tiocianato puede degradarse lentamente debido a la acción de diversos organismos, como el *Thiobacillus thiocyanoxidans*, el cual lo oxida formando amoníaco y sulfato.

Ciertos organismos tienen la capacidad de utilizar el tiocianato como una fuente de nitrógeno, lo cual ocurre sólo después de agotarse todo el amoníaco disponible. Los mecanismos de descomposición química son lentos; el tiocianato es resistente a la foto descomposición.

El tiocianato es un pseudohalógeno, forma sales insolubles con la plata, el mercurio, el plomo, el cobre y el zinc. Además, puede formar complejos similares al cianuro con los metales de transición. Sin embargo, estos complejos se disocian en solución en mayor medida que los complejos equivalentes de cianuro.

Uno de los mecanismos más importantes que permiten a los animales eliminar el cianuro es su conversión en tiocianato por acción de enzimas del cuerpo como la rodanasa.

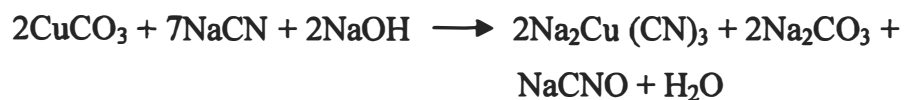
Existe en solución principalmente como ión SCN^- . El tiocianato de hidrógeno (HSCN) con una constante de disociación de 1.4×10^{-1} ($\text{pK}_a = 0.85$). Para valores de pH superiores a 2, el tiocianato se disocia por completo. El tiocianato puede ser oxidado químicamente por una diversidad de agentes para formar el cianato. El cloro y el ozono pueden oxidar totalmente el tiocianato, en tanto los agentes oxidantes con potenciales redox más bajos normalmente oxidan sólo una porción del tiocianato en efluentes, dependiendo del tiempo de residencia y la dosificación. La reacción de oxidación en la que interviene el cloro es:



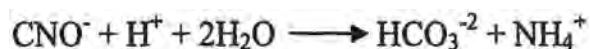
- **Cianato y Amoniaco:** La oxidación del cianuro se puede realizar con oxidantes tales como el cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrógeno para convertirlo a cianato. A temperatura ambiente, el

cianato y tiocianato reaccionan lentamente con el agua para formar amoníaco, ión formato, y/o carbonato.

El cianato (CNO⁻) es un producto generado durante el procesamiento de minerales, debido a la reacción entre el ión cianuro libre y el ión cúprico, o durante el tratamiento de efluentes que contienen cianuro por medio de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno o el ión hipoclorito. La formación del cianato, a partir de un mineral que contiene carbonato cúprico, puede ser descrita por medio de la siguiente reacción:



El cianato puede hidrolizarse para producir ion amonio:



Fuente (3)

No se ha llegado a entender del todo los factores que afectan la velocidad de la hidrólisis del cianato. Un estudio dirigido por Wastart ⁽³⁾ sobre la estabilidad del cianato indicó que éste era muy estable en soluciones sintéticas durante un período de 28 días, pero que mostraba cierta degradación en efluentes de plantas de tratamientos de minerales.

El cianato puede oxidarse para formar gas nitrógeno y carbonato, cuando se usa agentes oxidantes fuertes como el cloro (pH 8 - 9, tiempo de reacción de 1.5 horas, 1981). El cianato es estable en condiciones alcalinas pero se descompone en condiciones ácidas para generar amonio.

Los suelos investigados por Chatwin⁽³⁾⁽²⁾ (1989) demostraron una gran capacidad para adsorber cianato. Los trabajos efectuados por International Corona (empresa minera en Estados Unidos) para evaluar la capacidad de diversos tipos de suelo y reducir las concentraciones de cianuro, pusieron en evidencia reducciones superiores al 90%. Aparentemente, no se produjo el consiguiente incremento de amoníaco.

El cianato se equilibra en el agua para formar el isocianato, que puede reaccionar con varios compuestos orgánicos e inorgánicos. La literatura especializada ofrece muy poca información sobre el destino final y el comportamiento del cianato inorgánico.

Asumir que el único mecanismo de descomposición del cianato es la hidrólisis para formar amoníaco y carbonato puede ser muy simple y amerita una investigación más profunda.

2.2 .- Determinación del contenido de Cianuro ⁽⁶⁾

Existe una norma internacional como la **NMX-AA-058-SCFI-2001⁽⁶⁾** “Norma de análisis de aguas-Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, industriales y residuales tratadas-Método de prueba que es utilizada para la determinación de cianuros”; la cual se resume los siguientes métodos que son los más usados:

2.2.1 .- Destilación con NaOH

El método de destilación se aplica para liberar de la muestra de agua, bajo condiciones controladas, el cianuro total presente en compuestos o complejos de cianuros orgánicos e inorgánicos en la medida que puedan ser separados bajo las condiciones del medio

(temperatura mayor a 30 °C, exposición a la luz, variación de pH, descomposición microbiana). Ver figura 2.3 Equipo de destilación

El cianuro total se descompone al adicionar ácido clorhídrico con un pH inferior a 1. Esta condición es garantizada al añadir 10 mL de ácido clorhídrico en 100 mL de muestra de agua. En este caso quedan comprendidos en forma completa todos los cianuros de enlace completo. Cuando se utiliza aire como gas de arrastre, los cianuros son trasferidos al recipiente de absorción en forma de ácido hidrocianico el cual es absorbido por la solución de NaOH de 1N.

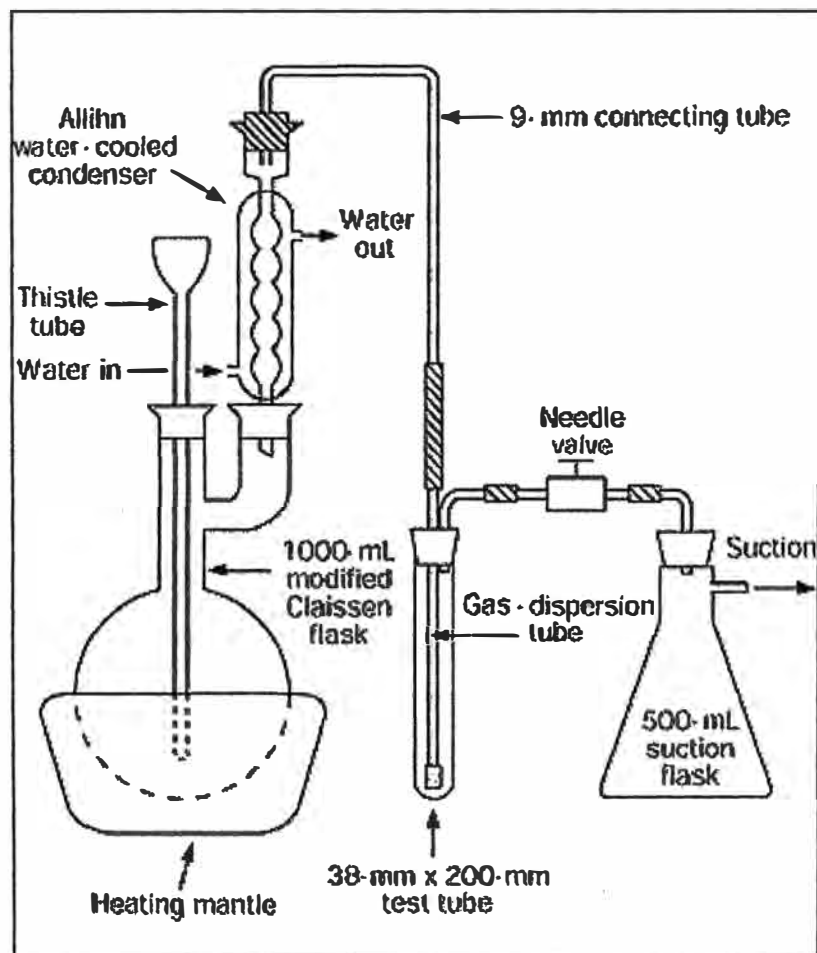


Figura. 2.3 Equipo de destilación

Fuente (6)

2.2.2.- Método Espectrofotométrico

Este método es usado para determinar la concentración de cianuros inorgánicos en aguas residuales, potables y naturales. El método detecta los cianuros tanto en forma de sales simples solubles como de radicales complejos.

2.2.3.- Método Potenciométrico

Los cianuros son determinados potenciométricamente en el destilado alcalino del tratamiento preeliminar usando un electrodo selectivo de ión específico para cianuros, en combinación con un electrodo de referencia y un potenciómetro que cuente con una escala expandida en milivoltios o un medidor específico de iones.

2.2.4.- Método Volumétrico:

El CN^- presente en la muestra se valora con nitrato de plata AgNO_3 , en presencia de yoduro de potasio (KI) como indicador, para formar el complejo de cianuro soluble ($\text{Ag}(\text{CN})_2^-$). En cuanto se halla acomplejado todo el CN^- y exista un pequeño exceso de plata (Ag^+) añadido, este exceso es detectado por el indicador de yoduro de potasio (KI), sensible a la plata y ocasiona un viraje en la solución.



2.3.- Descripción de técnicas aplicables en la degradación del cianuro.⁽¹⁾⁽⁵⁾

El principal objetivo en una campaña de degradación de cianuro en efluentes industriales es disminuir la concentración de cianuro libre a niveles asimilables para los seres vivos. En el caso del tratamiento de soluciones con cianuro, también se deberá tomar en cuenta de su efectividad en el tratamiento y remoción de los metales residuales

presentes en la solución. Los métodos para tratamiento deben ser seleccionados de acuerdo a la viabilidad de ser aplicados en un proceso en cuestión.

Para ello, se han empleado varios métodos que en general se pueden clasificar en:

2.3.1 .- Degradación natural

El principal mecanismo de degradación natural es la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas. Otros factores como la oxidación biológica, la precipitación y los efectos de la luz solar también contribuyen a la degradación del cianuro. Ver figura 2.3 Ciclo del cianuro

Las especies de cianuro pueden ser adsorbidas sobre las superficies de los minerales o del desecho de carbono orgánico en los suelos del terraplén de un estanque, en un recubrimiento de arcilla o a lo largo de una vía de agua subterránea. En los suelos, las bacterias asimilan el cianuro mediante diversas reacciones aeróbicas y anaeróbicas.

En algunos casos, la combinación de estos procesos de degradación natural es suficiente para satisfacer los requisitos que reglamentan la descarga de soluciones que contienen cianuro.

En los depósitos de relaves, la gran superficie permite la descomposición del cianuro WAD (cianuro dissociable con ácido débil). Las velocidades reales de degradación deben determinarse mediante ensayos basados en la especificidad del emplazamiento y empleando condiciones que imiten, tanto como sea posible, los

tipos de soluciones y los procesos naturales que probablemente ocurran en ese lugar.

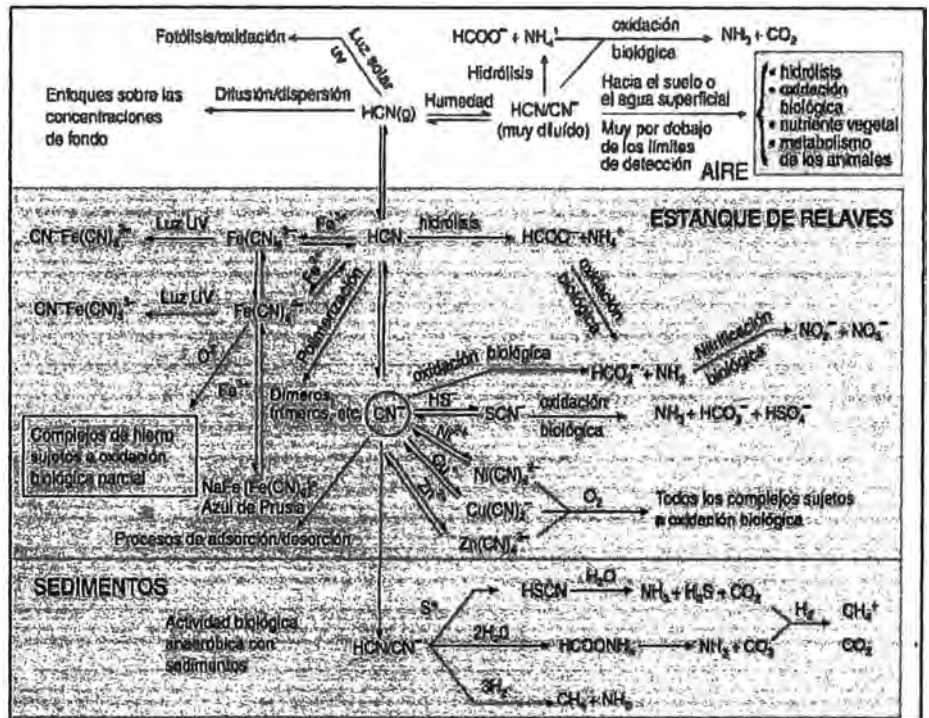


Figura.2.4 Ciclo del cianuro

Fuente (1)

2.3.2.- Degradación por precipitación.

Los cianuros estables se pueden obtener mediante el agregado deliberado de complejantes tales como el hierro. Esto reduce la concentración de cianuro libre y también es eficaz para controlar los elevados niveles de otros metales que pueden estar presentes.

Los cianuros de hierro pueden reaccionar con otras sustancias químicas en solución y producir precipitados sólidos, que pueden contener una docena de sales insolubles de cianuro, removiendo de esta manera el cianuro de la solución. Parte del cianuro de las soluciones de los procesos reaccionará con otros componentes

químicos que se encuentren dentro del sistema y formarán concentraciones mucho menos tóxicas de compuestos tales como el amoníaco, el nitrato y el dióxido de carbono.

2.3.3 .- Degradación por biodegradación

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

Las condiciones aeróbicas son mucho más favorables para la degradación del cianuro que las condiciones anaeróbicas, aunque los organismos anaeróbicos pueden ser eficaces para tratar el cianuro en concentraciones de hasta varios miligramos por litro.

Se han creado tantos sistemas activos como sistemas pasivos de tratamiento biológico; estos sistemas remueven el cianuro empleando microorganismos aeróbicos o anaeróbicos. En Homestake, la solución estéril del molino aurífero se canaliza a través de recipientes para reacciones que contienen bacterias (*Citrobacter*, *Bacillus subtilis*). Las bacterias utilizan el oxígeno del aire para descomponer los compuestos de cianuro en nitratos, bicarbonatos y sulfatos. Este proceso microbiano es capaz de oxidar los complejos de cianuro metálico, los iones metálicos de las especies de cianuro WAD y los subproductos intermedios de la oxidación del cianuro.

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

2.3.4 .- Degradación por oxidación

Para el manejo de los efluentes, se aplican varias técnicas asociadas a la degradación por oxidación del cianuro.

- **Oxidación con peróxido de hidrógeno**

Se han desarrollado dos procesos los cuales utilizan el peróxido de hidrógeno para la destrucción oxidante del cianuro libre y los complejos de cianuro. El primer proceso conocido como proceso kastone fue originalmente propuesto por Dupont en 1974 y, por Mathre y Devries en 1981.

Este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrógeno al 41% con 0,1 - 0,5 mg/l de formaldehído y cobre. El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre, aunque es común no emplear las sales de cobre, debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados, la reacción fundamental es:



- **Oxidación por clorinación alcalina**

Se emplea como reactivo el hipoclorito de calcio y/o hipoclorito de sodio, en la destrucción de cianuro las reacciones del proceso se muestran a continuación:



- **Oxidación ácido peroximonosulfúrico.**

El peróxido de ácido sulfúrico H_2SO_5 es conocido como Ácido de Caro, pues lleva el nombre de su inventor Heinrich Caro (1834 – 1910) quien fue el primero que lo preparo en 1898.

El Ácido de Caro es un conocido agente degradador de cianuro muy utilizado para el tratamiento de efluentes provenientes de los procesos de cianuración en la minería del oro y de la plata.

Este es fabricado como producto de la reacción exotérmica entre el H_2SO_4 y el H_2O_2 ; de la cual, resulta una solución clara e incolora de una sola consistencia cuyas propiedades físicas se presentan en la Tabla 2.2 debido a su inestabilidad, el Ácido de Caro es generado en el mismo punto de uso bajo la siguiente reacción:



El Ácido de Caro degrada fácilmente a los cianuros WAD y los cianuros libres que provienen de las colas de las plantas en los procesos de extracción de la minería del oro debido a que estos disocian fácilmente a pH 9; este pH resulta porque la adición del Ácido de Caro a las colas disminuye el pH (los cuales varían

entre 10.5 y 11.5 debido a la cantidad de álcali utilizado en el proceso de cianuración).

Tabla 2.2 Propiedades físicas del ácido caro

Fuente (1)

Ácido Caro	Propiedades
Punto de fusión	-30.1 °C
Punto de congelamiento	-22.7 °F
Punto de ebullición	<281°C (537°F)
Estado físico	Claro, incoloro, aceitoso
Olor	Fuerte
Solubilidad en agua	100%
pH	<1
Densidad	1.7g/mL a 25 °C

• Proceso INCO

El proceso consiste en agregar anhídrido sulfuroso y aire como oxidante y cobre como catalizador. La reacción Global del proceso es:



Las ventajas que este proceso tiene se muestran a continuación:

- Remoción de ambos, cianuro libre y acomplejado.
- Cinética muy rápida a temperatura ambiente.
- Bajo consumo de reactivo.
- Bajo costo de reactivo.

2.3.5 .- Las Arcillas

Las arcillas son partículas finas, de dimensiones menores de 0,002 mm ó 2 micras, provenientes de la alteración física y química de las rocas y minerales. Casi todas las arcillas son silicatos aluminicos complejos hidratados, contienen potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro etc.

El valor de las arcillas depende de las propiedades físicas y químicas, de su composición, etc. Las propiedades más importantes son la plasticidad, cohesión, resistencia a la tensión, poder de secado, de aglutinación, etc. Las arcillas son plásticas cuando son mojadas, retienen su forma cuando se secan.

El uso de la arcilla es múltiple. Las arcillas extractoras más usadas con facultades absorbentes son las del grupo de la motmorillonita.

2.4 .- Descripción de técnicas aplicables en la degradación del Cianuro

El objetivo de la desintoxicación química del cianuro en efluentes provenientes de la producción industrial, es lograr bajos niveles de residuos de cianuro en dichos efluentes y satisfacer las siguientes consideraciones operacionales:

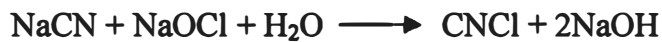
- Destruir rápidamente el cianuro
- No generar compuestos o derivados meta estables del cianuro.
- Limitar la construcción de procesos químicos adversos o a sus productos de degradación/reacción en los efluentes.

La técnica a utilizar es la oxidación por clorinación alcalina la cual se subdivide en dos: Clorinación alcalina con hipoclorito de sodio y Clorinación alcalina con hipoclorito de calcio.

2.4.1 .- Clorinación alcalina con hipoclorito de sodio

El tratamiento con hipoclorito deberá realizarse en dos etapas para lograr la destrucción de los cianuros. En la primera etapa se deberán mantener valores de pH de 10 a 11.5. Para lograr la conversión de cianuros a cianatos. Durante la segunda etapa, se deberá mantener el valor del pH mayor a 9,5 para lograr la destrucción de los cianatos.

La oxidación de residuos de cianuro que usan hipoclorito de sodio. El mecanismo de reacción es:



2.4.2 .- Clorinación Alcalina con hipoclorito de calcio

El cianuro se oxida con hipoclorito de calcio generalmente dentro de condiciones alcalinas las principales reacciones son:



El producto de la segunda reacción, la cual es más rápida entre un pH de 10 a 11, es cianato, que reacciona lentamente en una segunda etapa con cloro para formar bicarbonato de sodio, cloruro de sodio y nitrógeno.



Los métodos de clorinación alcalina se deberán utilizar para el tratamiento de soluciones acuosas que contengan uno o más los siguientes compuestos:

- Cianuro de sodio
- Cianuro de potasio
- Cianuro de calcio
- Cianuro de bario
- Cianuro de níquel
- Cianuro de plata
- Cianuro de cobre

III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

El efluente a tratar es un vertido de una mina del interior del país la cual contiene cianuro que actúa como acomplejante de metales. La muestra a evaluar tiene que ser homogenizada y luego pasar al proceso de oxidación.

En el proceso de oxidación la técnica aplicada en el desarrollo del presente estudio es la "Clorinación alcalina" los reactivos a ser comparados son:

- Prueba I : Solución de hipoclorito de sodio al 10% de cloro activo
- Prueba II: Solución de hipoclorito de calcio al 10% de cloro activo

La adición de soda cáustica al 20% tiene como función regular el pH.

El efluente tratado en la comparación de ambas pruebas tiene la siguiente composición química. Ver tabla 3.1.

Tabla 3.1 Composición química inicial del efluente

Parámetro	Valor	Unidad
pH inicial	8,5	-----
Cianuro Total	55	mg/L
Níquel	0,05	mg/L
Arsénico	<0,03	mg/L
Merc urio	0,1	mg/L

Prueba I: Proceso de oxidación con hipoclorito de sodio al 10%

Paso 1: Acondicionamiento de la muestra con solución de NaOH al 20%

A la muestra inicial se adiciono una cantidad de hidróxido de sodio al 20% para regular el pH a 11,2 aproximadamente.

Para un litro de muestra se calcula la cantidad en miligramos de cianuro de sodio:

- CN^- : 55 mg/L (concentración inicial de cianuro)
- Peso de CN^- : 55 mg
- Peso NaCN (en un litro): 103,65 mg

La prueba se realiza con medio litro de efluente, la cantidad de cianuro de sodio para medio litro se obtiene dividiendo la cantidad de cianuro de sodio calculada para un litro entre dos:

- Peso NaCN (en ½ litro) : 51,83 mg

Paso 2: Oxidación del CN⁻ a cianato de sodio con hipoclorito de sodio



- Del cálculo estequiométrico se obtiene la cantidad de hipoclorito de sodio al 100% a utilizar. (1g = 1000 mg)

- X(masa de NaClO) = 78,80 mg de NaClO al 100%

- X(masa de NaClO) = 0,079 g de NaClO al 100%

- Y(masa de NaCNO) = 68,86 mg de NaCNO al 100%

- Para obtener los gramos de la solución de NaClO al 10% de cloro activo se calculan tomando como referencia el valor en gramos de NaClO al 100%

$$\text{Peso de la solución de NaClO al 10\%} = \frac{0,079 \text{ g (NaClO al 100\%)} * 100\%}{10\%}$$

$$\text{Peso de la solución de NaClO al 10\%} = 0,79 \text{ g}$$

- Para determinar los gramos de NaClO al 10% a diferentes % en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 50% de solución de NaClO al 10%. (Ver tabla 3.2)

$$\text{Peso de sol. de NaClO al 10\% con un exc. del 50\%} = 0,79 \text{ g (solución de NaClO al 10\%)} * 1,5$$

$$\text{Peso de sol. de NaClO al 10\% con un exc. del 50\%} = 1,18 \text{ g}$$

Tabla 3.2 Gramos de NaClO al 10% a diferentes porcentajes en exceso.

%Porcentaje en exceso de NaClO al 10%	50%	70%	100%	125%
Solución de NaClO al 10% (g)	1,18	1,34	1,58	1,77

- El consumo de solución de NaClO al 10% por metro cúbico de efluente a diferentes porcentajes en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 50% de solución de NaClO al 10% en medio litro de efluente. (Ver tabla 3.3)

$$\left(\frac{1,18 \text{ g NaClO } 10\%}{0,5 \text{ L efluente}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = \frac{\text{kg de solución de NaClO al 10\%}}{\text{m}^3 \text{ efluente}}$$

$$2,36 = \frac{\text{kg de solución de NaClO al 10\%}}{\text{m}^3 \text{ de efluente}}$$

Tabla 3.3 Kilogramos de NaClO al 10% /m³ a diferentes porcentajes en exceso.

Porcentaje en exceso de NaClO al 10%	50%	70%	100%	125%
$\frac{\text{kg de solución de NaClO al 10\%}}{\text{m}^3 \text{ de efluente}}$	2,36	2,68	3,16	3,54

Paso 3: Oxidación posterior del Cianato a dióxido de carbono y nitrógeno

Reacción por exceso de hipoclorito mantener pH mayor a 10.



La tabla 3.4 presenta a continuación la variación de concentración de cianuro con el tiempo de reacción a diferentes porcentajes en exceso de la solución de hipoclorito de sodio al 10%. (Ver figura 3.1)

Tabla 3.4 Variación de la concentración de cianuro vs tiempo

%Exceso de NaClO al 10%	Tiempo (min)					pH	
	0	10	20	30	40	Inicial	Final
50%	55	41,2	35,4	20	8,0	11,2	8,79
70%	55	40,4	26,7	18	5,0	11,2	8,86
100%	55	38,1	24,5	18	3,6	11,2	8,78
125%	55	33,9	22,4	17,9	3,6	11,2	8,92

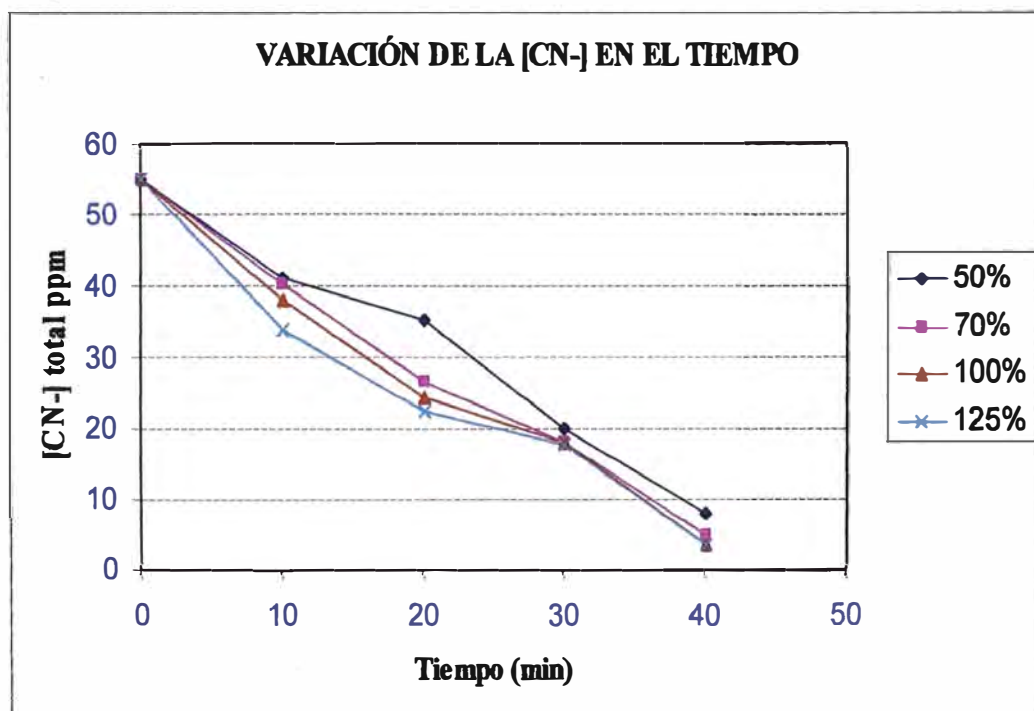


Figura 3.1 Concentración de cianuro vs tiempo

Observaciones Realizadas:

1. -Para la preparación de la muestra se adiciono **aproximadamente 2 mL** por medio litro de muestra (efluente), la densidad de la soda es 1,219 g/mL.
2. -Al adicionar un exceso de 70% de una solución de NaClO al 10% se obtiene una reducción del cianuro total de 90,9%.
3. -Al adicionar un exceso de 100% de una solución de NaClO al 10% se obtiene una reducción del cianuro total de 93,5%.
4. - El consumo de la solución de NaClO al 10% cuando se utiliza un exceso del 70% y 100% del estequiométrico y solución de NaOH al 20% utilizada en el pre-tratamiento es el siguiente:

	kg /m ³ de efluente	
	Solución NaClO 10%	Solución NaOH 20%
Exceso del 70%	2,68	4,88
Exceso del 100%	3,16	4,88

Reacción Global del Hipoclorito de Sodio

Resultados de %Reducción de la [CN⁻] con un exceso del 70% y 100% de solución de NaClO al 10%:

	Concentración Inicial CN ⁻ mg/L	Concentración final CN ⁻ mg/L	% Reducción
Exceso de 70%	55	5	90,9
Exceso de 100%	55	3,6	93,5

Prueba II: Proceso de oxidación con hipoclorito de calcio al 10%

Paso 1: Acondicionamiento de la muestra con solución de NaOH al 20%

A la muestra inicial se adiciono una cantidad de hidróxido de sodio al 20% para regular el pH a 11,2 aproximadamente.

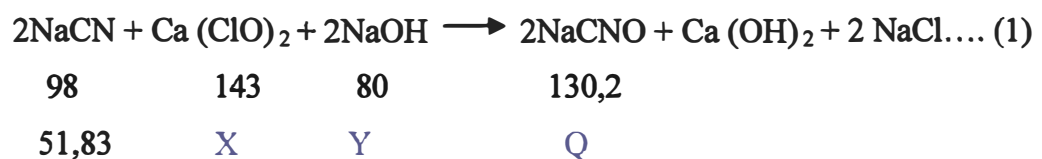
Para un litro de muestra se calcula la cantidad en miligramos de cianuro de sodio:

- CN^- : 55 mg/L (concentración inicial de cianuro)
- Peso de CN^- : 55 mg
- Peso NaCN (en un litro): 103,65 mg

La prueba se realiza con medio litro de efluente, la cantidad de cianuro de sodio para medio litro se obtiene dividiendo la cantidad de cianuro de sodio calculada para un litro entre dos:

- Peso NaCN (en ½ litro) : 51,83 mg

Paso 2: Oxidación del CN^- a cianato con hipoclorito de calcio.



- Del cálculo estequiométrico se obtiene la cantidad de hipoclorito de sodio al 100% a utilizar. (1g = 1000 mg)
- X(masa de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$) = 75,62 mg de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 100%
- X(masa de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$) = 0,076 g de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 100%
- Q(masa de NaCNO) = 68,9 mg de NaCNO al 100%

- Para obtener los gramos de la solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% de cloro activo se calculan tomando como referencia el valor en gramos de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 100% .

$$\text{Peso de la solución de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\%} = \frac{0,076 \text{ g } (\text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 100\%}) * 100\%}{10\%}$$

$$\text{Peso de la solución de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\%} = 0,76 \text{ g}$$

- Para determinar los gramos de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% a diferentes % en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 25% de solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%. (Ver tabla 3.5)

$$\text{Peso de sol. de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\% con un exc. del 25\%} = 0,76 \text{ g (solución de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\%)} 1,25$$

$$\text{Peso de sol. de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\% con un exc. del 25\%} = 0,95 \text{ g}$$

Tabla 3.5 Gramos de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% a diferentes porcentajes en exceso.

%Porcentaje en exceso de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%	25%	45%	80%	120%
Solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% (g)	0,95	1,1	1,36	1,66

- El consumo de solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% por metro cúbico de efluente a diferentes porcentajes en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 25% de solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% en medio litro de efluente. (Ver tabla 3.6)

$$\left(\frac{0,95 \text{ g } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ 10\%}}{0,5 \text{ L}_{\text{efluente}}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = \frac{\text{kg de solución de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\%}}{\text{m}^3 \text{ efluente}}$$

$$1,9 = \frac{\text{kg de solución de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ al 10\%}}{\text{m}^3 \text{ de efluente}}$$

Tabla 3.6 Kilogramos de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%/m³ a diferentes porcentajes en exceso.

Porcentaje en exceso de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%	25%	45%	80%	120%
kg de solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% ----- m ³ de efluente	1,9	2,2	2,72	3,32

- Del cálculo estequiométrico también se obtiene la cantidad de hidróxido de sodio al 100% a utilizar.
- Y(masa de NaOH) = 42,31 mg de NaOH al 100%
- Y(masa de NaOH) = 0,0423 g de NaOH al 100%
- Para obtener los gramos de la solución de NaOH al 20% se calculan tomando como referencia el valor en gramos de NaOH al 100%. (1g = 1000 mg)

$$\text{Peso de la solución de NaOH al 20\%} = \frac{0,0423 \text{ g (NaOH al 100\%)} * 100\%}{20\%}$$

$$\text{Peso de la solución de NaOH al 20\%} = 0,212 \text{ g}$$

- Para determinar los gramos de NaOH al 20% a diferentes % en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 25% de solución de NaOH al 20%. (Ver tabla 3.7)

$$\text{Peso de sol. de NaOH al 20\% con un exc. del 25\%} = 0,212 \text{ g (solución de NaOH al 20\%)} * 1,25$$

$$\text{Peso de sol. de NaOH al 20\% con un exc. del 25\%} = 0,265 \text{ g}$$

Tabla 3.7 Gramos de NaOH al 20% a diferentes porcentajes en exceso.

%Porcentaje en exceso de NaOH al 20%	25%	45%	80%	120%
Solución de NaOH al 20% (g)	0,26	0,31	0,38	0,47

- El consumo de solución de NaOH al 20% por metro cúbico de efluente a diferentes porcentajes en exceso se calcula como sigue: Como referencia se calcula para un exceso del 25% de solución de NaOH al 20% en medio litro de efluente. (Ver tabla 3.8)

$$\left(\frac{0,265 \text{ g NaOH } 20\%}{0,5 \text{ L}_{\text{efluente}}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right) \times \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}\right) = \frac{\text{kg de solución de NaOH al } 20\%}{\text{m}^3 \text{ efluente}}$$

$$0,53 = \frac{\text{kg de solución de NaOH al } 20\%}{\text{m}^3 \text{ de efluente}}$$

Tabla 3.8 Kilogramos de NaOH al 20% / m³ a diferentes porcentajes en exceso.

Porcentaje en exceso de NaOH al 20%	25%	45%	80%	120%
$\frac{\text{kg de solución de NaOH al } 20\%}{\text{m}^3 \text{ de efluente}}$	0,53	0,61	0,76	0,93

Paso 3: Oxidación posterior del cianato a dióxido de carbono y nitrógeno

Reacción por exceso de hipoclorito mantener pH mayor a 10.



La tabla 3.9 presenta a continuación la variación de la concentración de cianuro con el tiempo de reacción a diferentes porcentajes en exceso de la solución de

hipoclorito de calcio al 10% los valores obtenidos se aproximan al límite máximo permisible. (Ver figura 3.2)

Tabla 3.9 Variación de la concentración de cianuro vs tiempo

%Exceso de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%	Tiempo (min)					pH	
	0	10	20	30	40	Inicial	Final
25%	55	28,6	19,3	9	2	11,2	8,97
45%	55	20,6	12,1	2,25	1,27	11,2	8,92
80%	55	15,8	9,6	2,26	0,26	11,2	8,89
120%	55	12,7	8,8	2,30	0,26	11,2	8,90

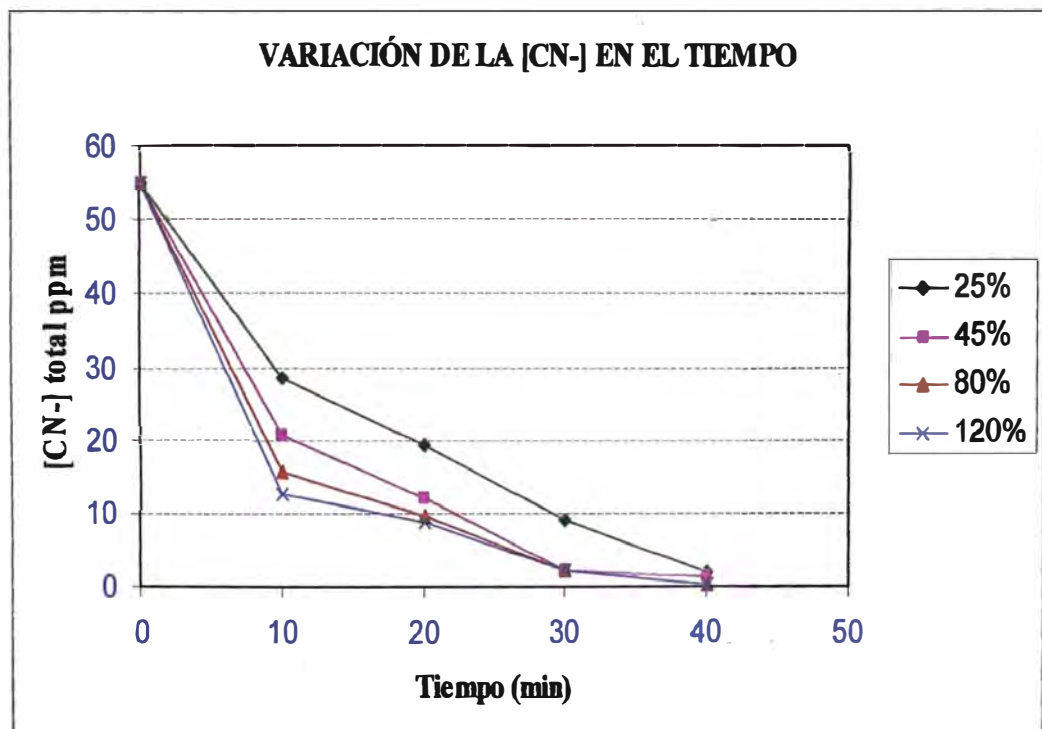
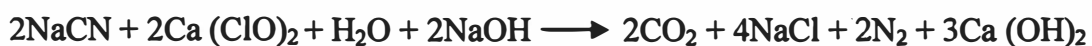


Figura 3.2 Concentración de cianuro vs el tiempo

Observaciones Realizadas:

1. - Para la preparación de la muestra se adiciono aproximadamente 2 mL por medio litro de muestra del efluente, la densidad de la soda es 1,219 g/mL .
2. -Al adicionar un exceso de 45% de una solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% se obtiene una reducción del cianuro total de 97,7%.
3. - Al adicionar un exceso de 80% de una solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% se obtiene una reducción del cianuro total de 99,5%.
4. - El consumo de la solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10% y solución de NaOH al 20% cuando se utiliza un exceso del 45% y 80% del estequiométrico de ambos reactivos mas la adición de NaOH al 20% en el pre-tratamiento es el siguiente:

	kg /m ³ de efluente	
	Solución $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 10%	Solución NaOH 20%
Exceso del 45%	2,19	5,49
Exceso del 80%	2,72	5,64

Reacción Global del Hipoclorito de Calcio

Resultados del %Reducción de la $[\text{CN}^-]$ con un exceso del 45% y 80% de una solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%:

	Concentración Inicial CN^- mg/L	Concentración final CN^- mg/L	% Reducción
Exceso de 45%	55	1,27	97,7
Exceso de 80%	55	0,26 ⁽⁸⁾	99,5

IV.- EVALUACION COMPARATIVA

4.1.- Comparación de las técnicas

La comparación entre las pruebas I, II se realiza con los ensayos en los que obtiene mayor porcentaje de reducción de la concentración de cianuro.

En la tabla 4.1 se muestra los resultados de la prueba I y la prueba II. (Ver figura 4.1- 4.2)

Tabla 4.1 Resultado de la prueba I y la prueba II

	% Exceso	[CN ⁻] i mg/L	[CN ⁻] f mg/L	kg reactivo ----- m ³ efluente	% Reducción de [CN ⁻]	100%	kg(CIO) ⁻ 100% ----- m ³ efluente
NaClO 10%	70%	55	5	2,68	90,9	NaClO	0,185
	100%	55	3,6	3,16	93,5		0,218
Ca(CIO) ₂ 10%	45%	55	1,27	2,19	97,7	Ca(CIO) ₂	0,158
	80%	55	0,25	2,72	99,5		0,196

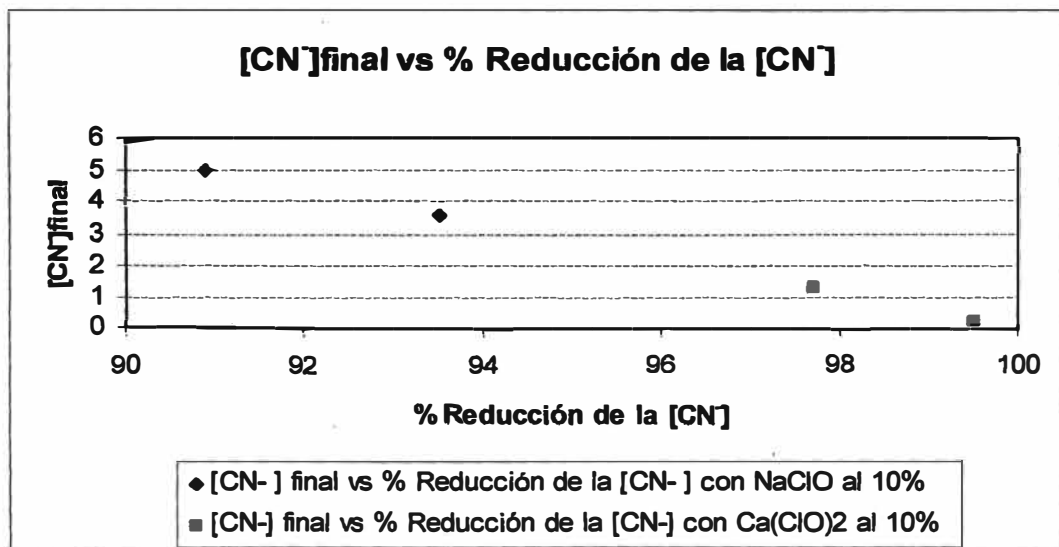


Figura 4.1 [CN⁻] final de cianuro vs % Reducción de [CN⁻]

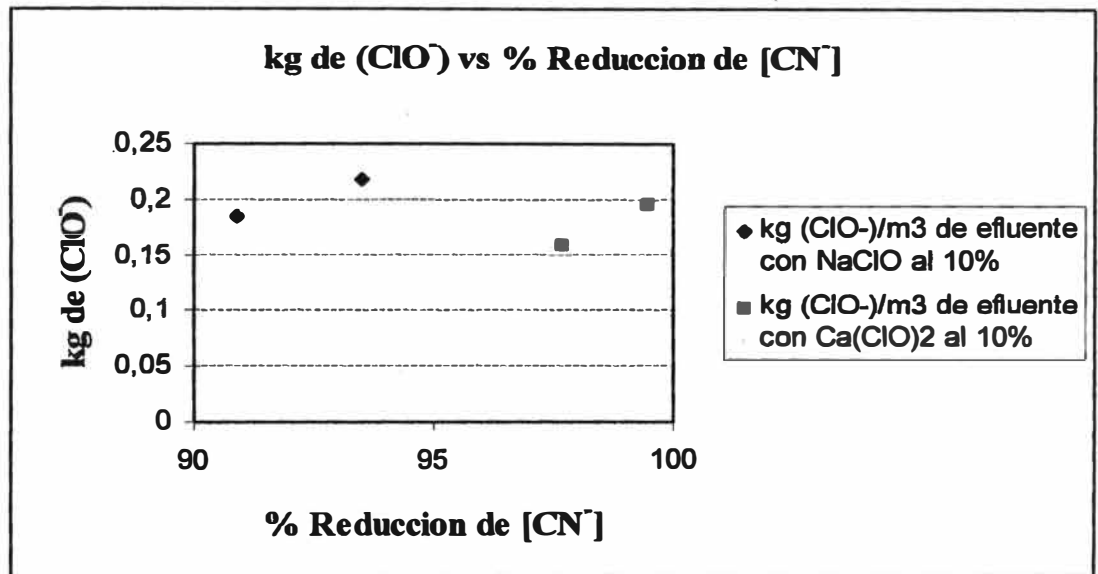


Figura 4.2 kg de (ClO⁻) vs % Reducción de [CN⁻]

4.2.- Simulación a nivel planta piloto

4.2.1.- Contexto

En la necesidad de tratar un efluente proveniente del proceso minero en la extracción de oro, se requiere la construcción de una planta piloto para el tratamiento del efluente que contiene un elevado porcentaje de cianuro, el cual causa un fuerte impacto en el medio ambiente. El tratamiento empleado es por Clorinación Alcalina utilizando como oxidante hipoclorito de sodio al 10% ó hipoclorito de calcio al 10%

4.2.2.- Descripción

La planta piloto de tratamiento de efluentes cianurados opera para un flujo aproximado de 5m³/h, flujo de una mina pequeña en nuestro país los cálculos realizados se han hecho en base a las pruebas realizadas en laboratorio.

Los tanques de almacenamiento de reactivos serán diseñados, tomando en cuenta las características del fluido a almacenar, las condiciones ambientales, las cantidades a tratar y el impacto económico.

El diseño de la bomba tomará en cuenta la capacidad para manejar los volúmenes de adición del reactivo (NaOH al 20%). Asimismo, considerará, las conexiones y los accesorios necesarios. También, tomará en cuenta la agresividad del fluido para su manipuleo y su impacto ambiental en caso de derrames y fugas.

4.2.3 .- Alcance del proyecto

En el presente trabajo se evaluará los sistemas: Agitación, mezclado y reacción de la solución de Soda Cáustica, Hipoclorito de sodio y calcio con el efluente cianurado.

4.2.4 .- Balance de masa- Simulación CHEMCAD

El programa de simulación CHEMCAD nos permite obtener el balance de masa para cada una de las pruebas.

- Prueba I con hipoclorito de sodio al 10%

En el caso de la prueba I el balance corresponde al 100% en exceso de la solución de hipoclorito de sodio, con este % en exceso se obtiene una %de reducción del 93,5% en la concentración de cianuro. (Tabla 4.2 Balance de masa con NaClO al 10%)

- Prueba II con hipoclorito de calcio al 10%.

En el caso de la prueba II el balance corresponde al 80% en exceso de la solución de hipoclorito de calcio, con este % en exceso se obtiene una reducción del 99,5% en la concentración de cianuro.

Ver (Tabla 4.3 Balance de masa con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%)

- Tabla 4.2 de la prueba I: Balance de masa con un exceso del 100% de solución de hipoclorito de sodio al 10%.

	g/h	
	Entrada	Salida
NaCN	0,103	0,007
NaClO	1576	1575,634
H ₂ O	5033689,06	5033689,06
N ₂	0	0,028
CO ₂	0	0,086
NaCl	0	0,287
NaOH	4876	4876,078
Arsenic	0,15	0,15
Mercury	0,5	0,5
Ni ⁺⁺	0,25	0,25
Total	5040142,12	5040142,12

Tabla 4.2 Balance de masa-NaClO al 10%

- Tabla 4.3 de la prueba II: Balance de masa con un exceso del 80% de solución de hipoclorito de calcio al 10%.

	g/h	
	Entrada	Salida
NaCN	0,103	0,001
H ₂ O	5034801,26	5034801,26
N ₂	0	0,029
CO ₂	0	0,046
NaCl	0	0,122
NaOH	5638	5637,958
Arsenic	0,15	0,15
Mercury	0,5	0,5
Ni ⁺⁺	0,25	0,25
$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	1361	1360,85
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0	0,077
Total	5041801,45	5041801,01

Tabla 4.3 Balance de masa – $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 10%

4.2.5.-Diagrama de bloques

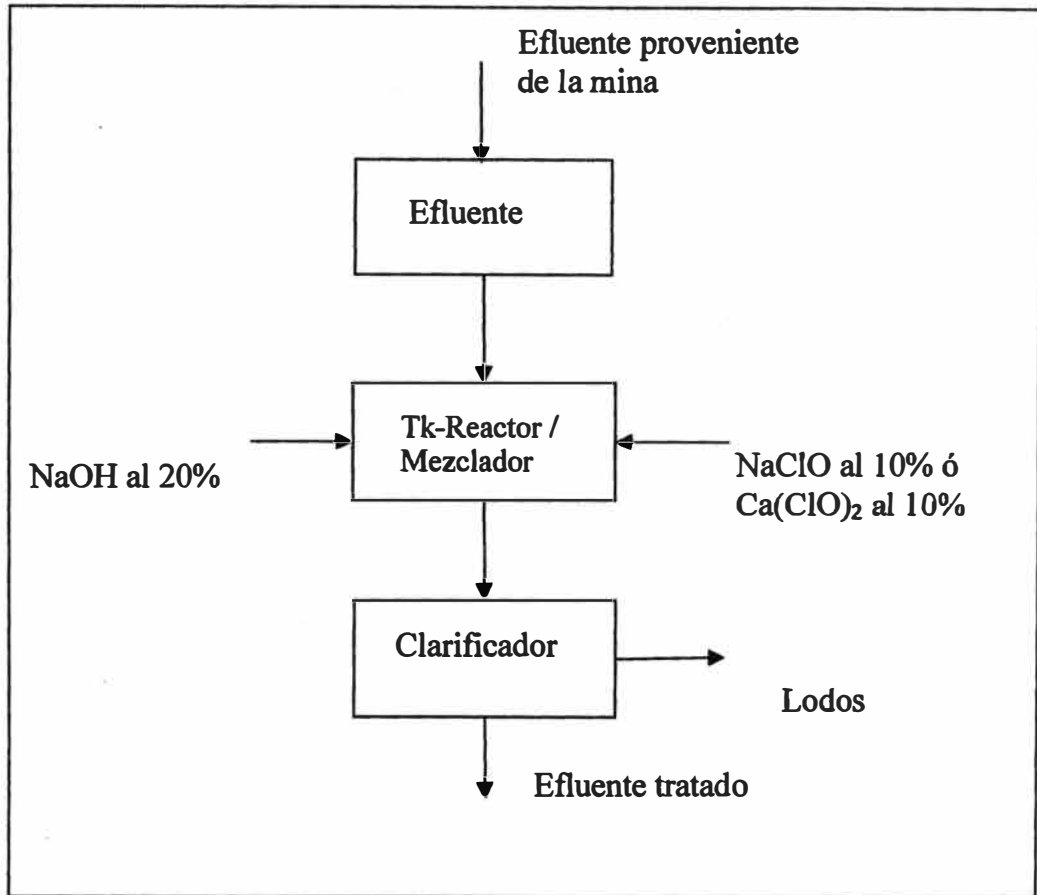


Fig 4.3 Diagrama de bloques-Detoxificación de efluente cianurado

4.2.6.- Diagrama de Flujo

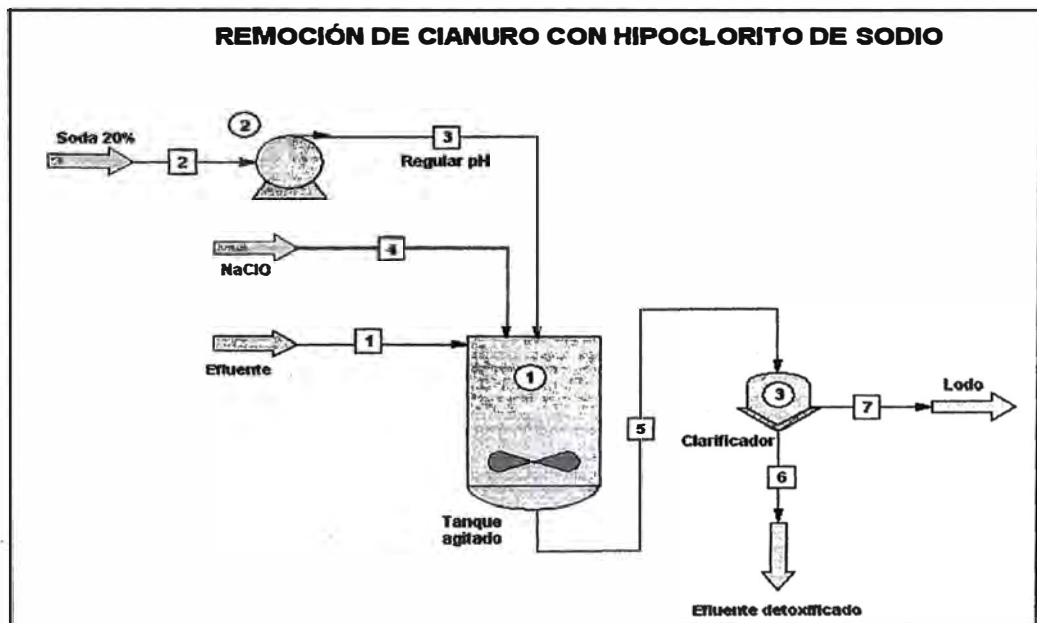


Fig.4.4 Diagrama de flujo con solución hipoclorito de sodio al 10%

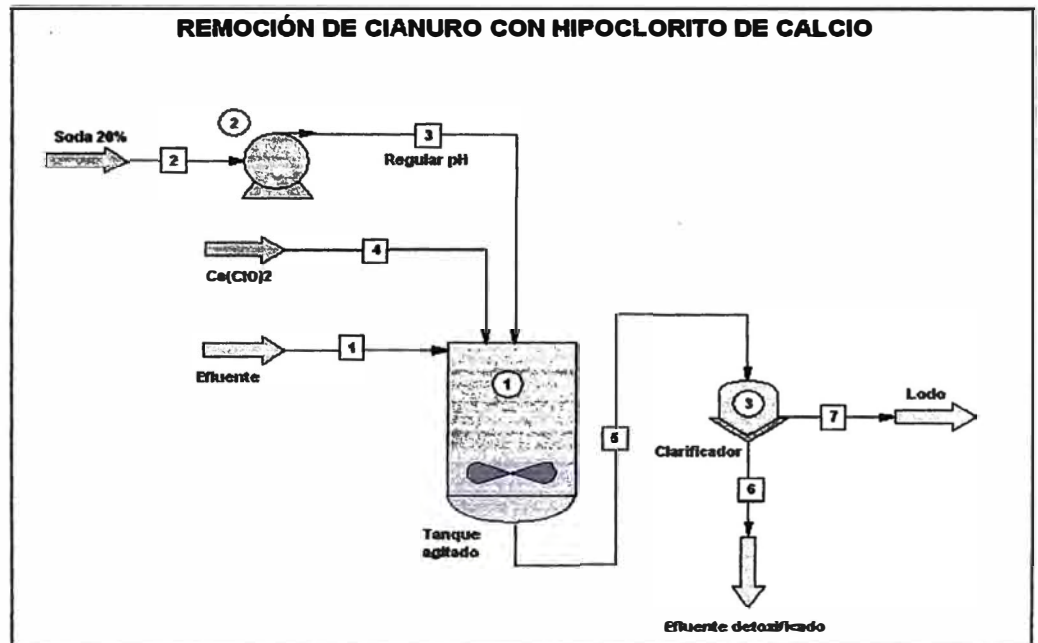


Fig.4.5 Diagrama de flujo con solución hipoclorito de calcio al 10%

4.2.7.- Bases del diseño

- Se trabajara a presión atmosférica $P = 1 \text{ atm.}$
- La temperatura del ambiente se considerara de 25°C.
- La adición de solución de soda cáustica al 20% en el pre-tratamiento para alcanzar un pH superior 10 es de aproximadamente 4 mL por litro de efluente.
- Los cálculos son realizados en base a las pruebas de laboratorio
 - Con el 100% en exceso de Solución de hipoclorito de sodio al 10% se obtiene una reducción del 93,5%.
 - Con el 80% en exceso de Solución de hipoclorito de calcio al 10% se obtiene una reducción del 99,5%.
- El tiempo de residencia requerido para la degradación con hipocloritos es de 40min.

4.2.8 .- Propiedades físicas de los reactivos

	Densidad (ρ)	Viscosidad dinámica μ	
	kg / m ³	cp	kg / m-h
Efluente cianurado	1000	1	3,6
NaClO al 10%	1160	2,6	9,36
Ca(ClO) ₂ al 10%	1094	2,9	10,44
NaOH al 20%	1219	4,4	15,84

4.2.9 .-Consideraciones de diseño

En base a los requerimientos de almacenamiento los tanques tendrán una capacidad de almacenamiento de 120 tn/día, con un factor de diseño por seguridad del 25%.

- **Forma del tanque**

Los tanques serán cilíndricos verticales de fondo plano que nos permiten trabajar con grandes cantidades volumétricas con un costo bajo y a condiciones de presión atmosféricas. El diseño del fondo del tanque depende de las siguientes consideraciones: los cimientos usados, el grado de sedimentación de sólidos en suspensión y el tamaño del tanque. Con esta premisa elegiremos un tanque vertical de fondo plano que se encuentra soportado por una base de concreto.

- **Material de Construcción**

Evaluando las características de los materiales para trabajar con hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio y soda cáustica que son productos altamente corrosivos se empleara el Acero al carbono revestido internamente con fibra de vidrio (para los hipocloritos) y Acero inoxidable respectivamente. El tanque de reacción será de acero inoxidable debido a que la mezcla de los

dos reactivos ($\text{NaClO}+\text{NaOH}$) ó ($\text{Ca}(\text{ClO})_2+\text{NaOH}$) más el efluente en el proceso de detoxificación pueden presentar problemas de corrosión.

4.2.10 .-Resultados/Memoria descriptiva

El flujo de efluente a tratar es $5\text{m}^3/\text{h}$ ($120\text{m}^3/\text{día}$), el efluente es tratado inicialmente debiendo alcanzar un pH superior a 10 basándonos en las pruebas de laboratorio para alcanzar un $\text{pH}=11.2$ aproximadamente, para ello se necesita 4mL de NaOH al 20% para 1L de efluente.

El alcance del siguiente trabajo contempla una ingeniería pre-básica que consiste en:

- a.- Diseño de los tanques,
- b.- Diseño y/o selección de agitadores y bombas de dosificación

a.- Diseño de tanques

Según las bases, consideraciones de diseño, las unidades de almacenamiento serán de forma cilíndrico-vertical de fondo plano que nos permitirá trabajar con grandes cantidades volumétricas a un bajo costo, esto toma en cuenta la tecnología de fabricación disponible y la disponibilidad de materiales comerciales locales.

Para la construcción del tanque de reacción se emplearán planchas de acero inoxidable, para los tanques para hipocloritos al 10% y soda cáustica al 20% se emplearan planchas de acero al carbono y acero inoxidable

respectivamente tanto para la fabricación del cuerpo cilíndrico y de los cabezales respectivamente. Considerar:

-Porcentaje seguridad en el volumen almacenado: 25%

-Porcentaje Volumen muerto 5% de la altura: 5%

-Se asume la altura igual al diámetro $D = H$

		Tanques de operación-Tratamiento con NaClO al 10%		
		TK-Reacción	TK-NaClO al 10%	TK-NaOH al 20%
Volumen	m ³ /día	120	0,326	0,48
Volumen con % de seguridad	(m ³)	150	0,41	0,6
Altura	(m)	5,76	0,8	0,91
Diámetro	(m)	5,76	0,8	0,91
Altura volumen muerto	(m)	0,29	0,04	0,05
Altura total	(m)	6,05	0,84	0,96
Altura (H)	(m)	6,05	0,84	0,96
Diámetro (D)	(m)	5,76	0,8	0,6

		Tanques de operación-Tratamiento con Ca(ClO) ₂ al 10%		
		TK-Reacción	TK-Ca(ClO) ₂ al 10%	TK-NaOH al 20%
Volumen	m ³ /día	120	0,3	0,55
Volumen con % de seguridad	(m ³)	150	0,37	0,69
Altura	(m)	5,76	0,78	0,96
Diámetro	(m)	5,76	0,78	0,96
Altura volumen muerto	(m)	0,29	0,04	0,05
Altura total	(m)	6,05	0,82	1,01
Altura (H)	(m)	6,05	0,82	1,01
Diámetro (D)	(m)	5,76	0,78	0,96

b.- Diseño del sistema de agitación

Según las bases, consideraciones de diseño y cálculos de diseño, el sistema de agitación estará constituida por una agitador tipo turbina por la viscosidad de la mezcla que es aproximadamente 1cp a una velocidad de 120 rpm.

Para el agitador el material a utilizar es fibra de vidrio, la fibra de vidrio, además de satisfacer las exigencias de estabilidad de agitadores muy largos, representa una solución ideal para la resistencia química a líquidos corrosivos.

Cálculo de la potencia del agitador

$$P = K_T \cdot n^3 \cdot D^5 \cdot \rho \text{ (W)}$$

K_T : Constante de agitación turbulenta. Ver tabla 4.2, n : velocidad de rotación en revoluciones por segundo (rps) (s^{-1}), D : Diámetro del rodete (m), μ : Viscosidad del agua ($N*s/m^2$)

Tabla 4.4 Valores de K_L y K_T para régimen laminar y turbulento respectivamente. Fuente (11)

Tipo de agitador	K_L	K_T
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41	0,32
Hélice, paso 2, 3 palas	43,5	1
Turbina de disco con 4 palas planas	60	5,31
Turbina de disco con 6 palas planas	65	5,75
Turbina con 6 palas curvas	70	4,8
Turbina de ventilador, 6 palas 45 °	70	1,65
Turbina cerrada de 6 palas curvas	97,5	1,08
Potencia del agitador = 2755191,15 W		

c.- Diseño y selección de Bomba

La bomba seleccionada será del tipo centrífuga de una sola etapa con ayuda del programa de simulación CHEMCAD se determino el Head de la bomba (1,87 m) y el caudal (5,84 gal/h) el fluido a bombear es de soda cáustica al 20%

La bomba debe ser construida con materiales termoplásticos resistentes a la corrosión como: PP, PVC, PVDF además que no haya partes metálicas en contacto con el líquido bombeado.

Una opción son las bombas centrífugas verticales a un estadio, adaptas para el traslado, para el reciclaje y para la distribución de líquidos corrosivos. Las bombas de la serie (modelo AS) se recomiendan para la instalación en pozos, tanques o depósitos con nivel variable.

4.3.Evaluación Económica de las técnicas/ proyecto

4.3.1.- Índice de costos CEPCI

Tabla 4.5 Índices CEPCI (Chemical Inginierring Index)

	2010	1999
ÍNDICE DE COSTOS CEPCI	512,1	390,6
Equipos	601,2	435,6
Intercambiadores de calor y tanques	542,8	371,2
Equipos de proceso	589,7	433,6
Tuberías, válvulas y dispositivos	732,1	539,2
Instrumentos de control	387,8	363,5
Bombas y compresoras	898,5	656,8

Equipos eléctricos	459,1	335,8
Estructuras soporte y misceláneos	615,9	413,1
Labores de construcción	327,3	292,5
Construcciones	486,9	380,4
Ingeniería y supervisión	346,5	339,9

El escalamiento de los equipos de acuerdo a sus capacidades se calculará con:

$$\frac{C_a}{C_b} = \left(\frac{P_a}{P_b} \right)^n$$

El escalamiento del costo respecto al año de inversión se calculará con:

$$\frac{C_a}{I_a} = \frac{C_b}{I_b}$$

Donde:

- P_a =Característica referencial (en tablas)
- P_b =Característica calculada (del diseño de equipos)
- n =Factor de costo (en tablas) valor típico 0,6
- C_a =Costo en el año de referencia a la característica de referencia
- $C_b(1999)$ =Costo en año de referencia a la característica calculada
- $C_b(2010)$ =Costo del equipo actualizado a la fecha actual

Con las siguientes formulas calcular el costo total -Ver tabla 4.6

Costo total de equipos

Tabla 4.6 Cuadro de costo total de equipos

Equipo	# Unidades	Unidades de capacidad	n	Capacidad	
				P _a	P _b
Bombas	1	gal/min	0,5	10	0,10
Tanque de Hipoclorito	1	gal	0,6	10	4
Tanque de reacción	1	gal	0,6	1.000,00	1321
Tanque de NaOH	1	gal	0,6	10	6
Agitador	1	W	2.755,191		

Equipo	Costo US\$		Costo US\$
	C _a	C _b (1999)	C _b (2010)
Bombas	1.000,00	98,67	135,0
Tanque de Hipoclorito	1.000,00	540,53	790,4
Tanque de reacción	11.000,00	3.083,89	4.509,5
Tanque de NaOH	1.000,00	743,86	1.087,7
Agitador	Precio del mercado		1.500,0
COSTO TOTAL DE EQUIPOS			8.022,7

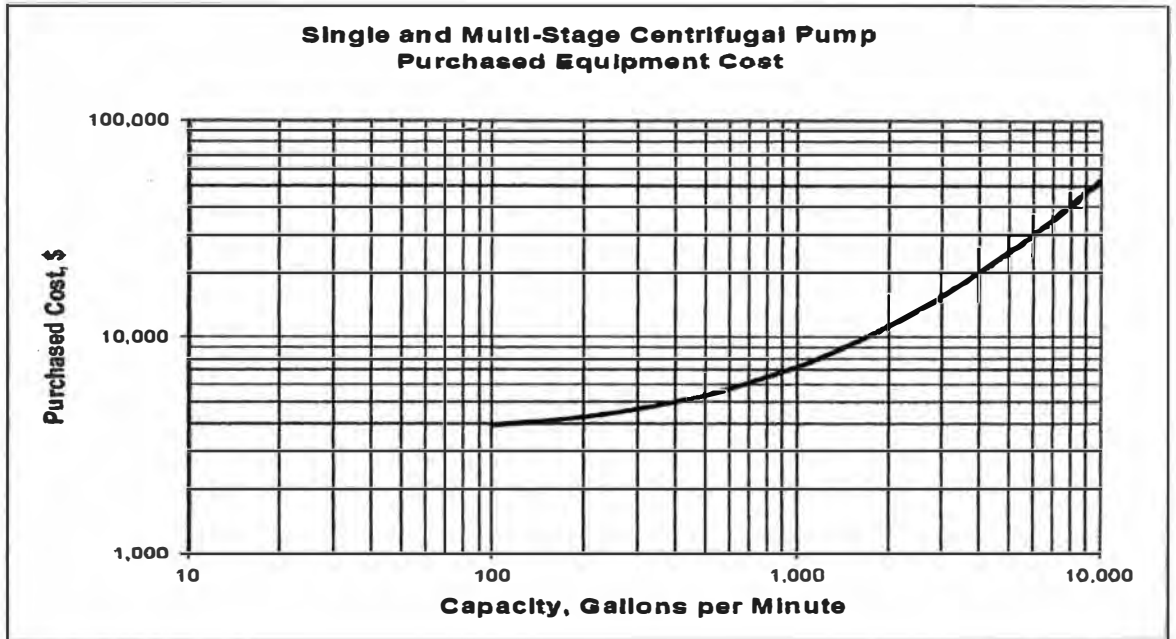


Figura 4.6 Bomba centrífuga de una sola etapa/ Compra y el costo de equipos

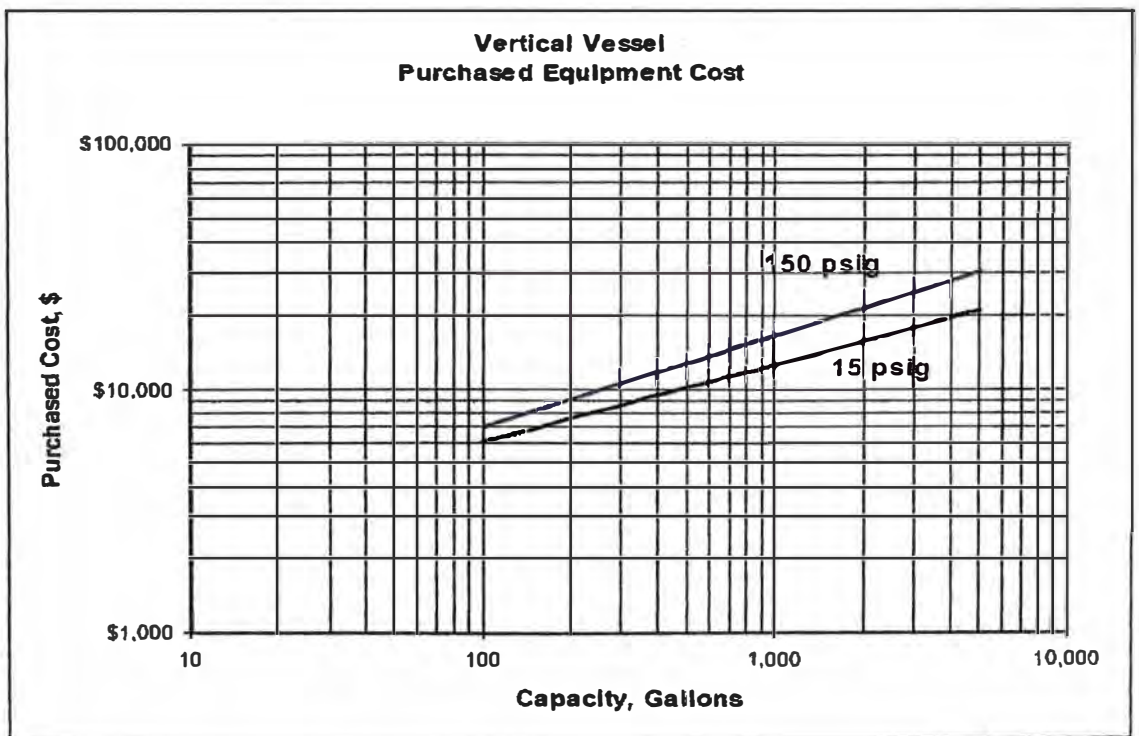


Figura 4.7 Recipientes Verticales/ Compra y el costo de equipos

4.3.2. -Costo de inversión (Planta de tratamiento de efluentes cianurados) – (Ver tabla 4.7)

Tabla 4.7 Cuadro de Costo de Inversión

ACTIVO FIJO	Rango (%)	Valor Típico %	US\$
Costo del equipo	20 - 40	30	8.022,67
Instalación (incluye aislantes y recubrimientos)	7.3 - 26	10	2.674,22
Instrumentación y control	2.5 - 7	5	1.337,11
Instalación de tuberías	3.5 - 15	8	2.139,38
Instalación eléctrica	2.5 - 9	5	1.337,11
Edificios de proceso y auxiliares	6.0 - 20	6	1.604,53
Facilidades de servicio y mejoras de planta	8.1 - 35	9	2.406,80
Terreno	1.0 - 2.0	1	267,42
Total de Activo Fijo			19.789,25
INTANGIBLES			
Supervisión e ingeniería	4.0 - 21	5	1.337,11
Costos de construcción	4.8 - 22	9	2.406,80
Contingencias	6.8 - 18	5	1.337,11
Total Intangibles			5.081,02
TOTAL DE INVERSION FIJA			24.870,28
CAPITAL DE TRABAJO (20% Inversión de Capital Fijo)			4.974,06
INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL			29.844,3

- %Rango : Rango de valores típicos para una planta química
- %Valor Típico: Valor típico para una planta química

4.3.3. -Costo de reactivos y servicios

Programa de producción:

Días x año= 320

PLANTA DE TRATAMIENTO CON HIPOCLORITO DE SODIO				
Reactivos	Unidad	Cantidad / año	Costo Unitario (US\$/unid)	Costo Local (MUS\$ / año)
NaOH al 20%	TM	74,880	400,00	30,0
NaClO al 10%	TM	121	277,78	33,60
Servicios				
Electricidad	Kw-h	881.645	0,10	88,16

PLANTA DE TRATAMIENTO CON HIPOCLORITO DE CALCIO				
Reactivos	Unidad	Cantidad / año	Costo Unitario (US\$/unid)	Costo Local (MUS\$ / año)
NaOH al 20%	TM	86,53	400,00	34,61
Ca(ClO) ₂ al 10%	TM	105	500,00	52,32
Servicios				
Electricidad	Kw-h	881.645	0,10	88,16

COSTO DE MANO DE OBRA DE LA OPERACIÓN						
Equipo	Cantidad	Factor	Turno	Hombres	US\$/h	MUS\$/año
Bombas	1	0,0	3	1	1,78	13,65
Tanque de reactivo	2	0,0	3	0	1,78	0,00
Tanque de reacción	1	0,0	3	1	1,78	13,65
TOTAL						27,31

4.3.4.- Costo de Operación Dólares/Tonelada

- Planta de tratamiento con Hipoclorito de Sodio (Ver tabla 4.8)

Capacidad= 3,600 TM/mes = 42,200 TM/año

Tabla 4.8 Costo de operación en dólares/tonelada

Costos de fabricación	MUS\$/año	US\$/TM
Directos		
Materia prima e Insumos	63,55	1,47
NaOH al 20%	30,0	0,69
NaClO al 10%	33,60	0,78
Mano de obra de la operación	27,31	0,63
Superv. Mano de obra de oficina ¹	2,73	0,06
Servicios	88,16	2,04
Electricidad	88,16	2,04
Mantenimiento y reparaciones ²	1,24	0,03
Suministros de operación ³	0,162	0,0037
Cargos de laboratorio ⁴	4,10	0,09
Total Gastos Directos	187,25	4,33
Indirectos		
Generales ⁵	18,77	0,43
Impuestos locales ⁶	0,37	0,01
Seguro ⁷	0,12	0,003
Total Gastos Indirectos	19,27	0,45
Costo de Tratamiento NaClO	206,52	4,78
Depreciación ⁸	2,49	0,06
Gastos Generales		
Costos administrativos ⁹	0,62	0,01
Distribución ¹⁰	24,66	0,57
Investigación y desarrollo ¹¹	12,33	0,29
Gastos Generales Totales	37,62	0,87
Costo de Operación	246,62	5,71

- Planta de tratamiento con Hipoclorito de Calcio (Ver tabla 4.9)

Capacidad= 3,600 TM/mes = 42,200 TM/año

Tabla 4.9 Costo de operación en dólares/tonelada

Costos de fabricación	MUS\$/año	US\$/TM
Directos		
Materia prima e Insumos	86,93	2,01
NaOH al 20%	34,6	0,80
Ca(ClO) ₂ al 10%	52,32	1,21
Mano de obra de la operación	27,31	0,63
Superv. Mano de obra de oficina ¹	2,73	0,06
Servicios	88,16	2,04
Electricidad	88,16	2,04
Mantenimiento y reparaciones ²	1,24	0,03
Suministros de operación ³	0,162	0,0037
Cargos de laboratorio ⁴	4,10	0,09
Total Gastos Directos	210,63	4,88
Indirectos		
Generales ⁵	18,77	0,43
Impuestos locales ⁶	0,37	0,01
Seguro ⁷	0,12	0,003
Total Gastos Indirectos	19,27	0,45
Costo de Tratamiento Ca(ClO)₂	229,90	5,32
Depreciación ⁸	2,49	0,06
Gastos Generales		
Costos administrativos ⁹	0,62	0,01
Distribución ¹⁰	27,41	0,63
Investigación y desarrollo ¹¹	13,71	0,32
Gastos Generales Totales	41,74	0,97
Costo de Operación	274,13	6,35

Los superíndices en las tablas 4.8 y 4.9 indican lo siguiente:

- 1.- 10% Mano de obra de la operación.
- 2.- 5% del Capital Fijo C_{FC}
- 3.- 13% Mantenimiento y reparaciones.
- 4.- 15% Mano de obra de la operación.
- 5.- 60 % Mano de obra de la Operación+ Supervisión &Mano de obra de oficina+Mantenimiento &Reparaciones.
- 6.- 1.5% Capital Fijo C_{FC}
- 7.- 0.5% Capital Fijo C_{FC}
- 8.- (Se consideran 10 años de horizonte)
- 9.- 25% Depreciación
- 10.- 10% Costo de operación
- 11.- 5% Costo de operación

V.-CONCLUSIONES DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CIANURADOS

- 1.- El pH óptimo según las pruebas realizadas para evitar que el cloruro cianógeno formado en la primera reacción tanto la solución de hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio provoque desprendimiento de gases molestos y sea más soluble en el agua el pH debe encontrarse 10,7-11,0.
- 2.- El cianuro residual presente en los efluentes líquidos producto del proceso de cianuración en la plantas mineras pueden ser degradados hasta los valores

máximos permisibles utilizando cualquiera de las dos técnicas propuestas basándonos en los resultados obtenidos en laboratorio se concluye:

- Para el tratamiento con solución de hipoclorito de sodio al 10% con un exceso del 100% del estequimétrico se requiere 3,15 kg de NaClO 10% /m³ de efluente obteniendo un rendimiento del 93,5%
- Para el tratamiento con solución de hipoclorito de calcio al 10% con un exceso del 80% del estequimétrico se requiere 2,72 kg de Ca(ClO)₂ 10% /m³ de efluente obteniendo un rendimiento del 99,5%

La degradación del cianuro se alcanza en tiempo de 40 minutos, con la finalidad de evitar la hidrólisis del cianuro y la consecuente formación del ácido cianhídrico el pH para iniciar la degradación debe ser mayor a 10,5.

3.- Los resultados obtenidos en la prueba de simulación con el programa CHEMCAD fueron los siguientes:

- Hipoclorito de sodio al 10%

	70% en exceso %reducción= 90,9%	100% en exceso %reducción= 93,5%
NaCN (g) en laboratorio	0,0094	0,00674
NaCN (g) en CHEMCAD	0,0094	0,00670

- Hipoclorito de calcio al 10%

	45% en exceso %reducción= 97,7%	80% en exceso %reducción= 99,5%
NaCN (g) en laboratorio	0,0024	0,00052
NaCN (g) en CHEMCAD	0,0024	0,00050

- 4.- El sistema convencional con hipoclorito de calcio permite obtener rendimientos superiores al 99,5% de reducción alcanzando concentraciones cercanas a los límites máximos permisibles.
- 5.- Desde el punto de vista ambiental las dos alternativas son riesgosas ya que puede presentar cloro libre residual y cloroaminas los cuales deben removerse ya que son tóxicos para la vida acuática, lo cual genera un gasto adicional.
- 6.- Desde el punto de vista económico y considerando la evaluación económica realizada se obtiene lo siguiente :
 - El costo del tratamiento con solución de hipoclorito de sodio al 10% es de 5,71 US\$/TM.
 - El costo del tratamiento con solución de hipoclorito de calcio al 10% es de 6,35 US\$/TM.

La diferencia de costos entre ambos tratamientos es de 0.64 US\$/TM por lo que resulta ventajoso utilizar hipoclorito de calcio al 10% ya que se obtienen mejores resultados en el porcentaje de reducción de la concentración de cianuro.

VI.-RECOMENDACIONES DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CIANURADOS

- 1.- La muestra debe preservarse con un pH mayor a 10 con adición de solución de hidróxido de sodio al 20%.
- 2.- Las muestras para las pruebas de laboratorio deben refrigerarse de 4°C aprox. hasta el momento del análisis.
- 3.- La muestra no puede tener un periodo de almacenamiento superior a 14 días previo análisis.

- 4.- Para asegurar la oxidación completa del cianuro la mezcla es muy importante el tanque de reacción el cual debe índice de 120 vueltas por minuto.
- 5.- La reacción en el proceso se controla con la medición constante de pH.
- 6.- Se observa la disminución de pH de 11.2 a pH entre 8,78 - 8,97 favoreciendo la formación de precipitados atribuidos a la precipitación de metales.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Logsdon M, Hagelstein.M, Mudder.I, Consejo internacional de manejo de metales y medio ambiente en el manejo del cianuro en la extracción de oro.- 2001-páginas 3-18.
- 2.- Dzombak.D, Rajat.S, Ghosh.G, Wong-Chong M, Cyanide in water and soil: Chemistry, risk, management.-2006, página 125.
- 3.- Guías ambientales del DGAAM (Dirección general asuntos ambientales mineros). Guía ambiental para el manejo de cianuro.
- 4.- Trujillo.B (MA), Normas técnicas ecológicas para diversos métodos de tratamiento y disposición de residuos peligrosos (4ta parte). 1988-página 34.
- 5.- Álvarez R., Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento residuales de procesos de cianuración en minería de oro. 2005-páginas 25-41.
- 6.- NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de aguas – Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales tratadas-Métodos de prueba. Estados Unidos Mexicanos 2001-páginas 3-23.
- 7.- NTC 4394-1 Calidad del agua. Determinación de cianuro. Parte 1: determinación de cianuro total 1999.

8.- DECRETO SUPREMO N° 002-2008 MINAN. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.-ECA para agua.

9.- SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA PETROLEO Y ENERGIA (en línea) disponible en la siguiente dirección electrónica:

http://www.confiep.org.pe/facipub/upload/publicaciones/1/963/inform_cianuro-snmpe.pdf

10.- ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL-AGUAS (en línea) disponible en la siguiente dirección electrónica:

http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/cursos_ciereminas/02_T%C3%A9cnico/03_Calidad%20de%20Aguas/TecCalAg-L1_ECA-LMP.pdf

11.- Constantes de Agitadores:

<http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/ConstantesAgitadores.htm>

RE SUMEN

OBJETIVO: “COMPARACIÓN TECNICA Y ECONOMICA EN EL USO DEL HIPOCLORITO SODIO E HIPOCLORITO DE CALCIO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CIANURADOS”

Existen diferentes formas de cianuro de acuerdo a su composición y estabilidad, cada una con diferente grado de toxicidad, de los cuales, la más tóxica es el cianuro libre. La medición de concentración del cianuro puede realizarse por medio de los métodos espectrofotométrico, potenciométrico, y volumétrico.

El cianuro libre en solución puede transformarse a formas menos tóxicas mediante la degradación natural, precipitación, recuperación de cianuro, adsorción sobre carbón activado y oxidación siendo este último el más aplicado. El presente estudio presenta la evaluación de pruebas de degradación por oxidación aplicadas a efluentes líquidos con restos de cianuros que actúan de complejantes de metales, producto del relave de una empresa minera. La degradación por oxidación se realizó con: hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

Las pruebas realizadas en el presente estudio con cada uno de los reactivos y basándose en el resultado de las pruebas experimentales realizadas, permiten llegar a una conclusión que el porcentaje de reducción utilizando hipoclorito de calcio es mayor en un 99,5% respecto del otro reactivo que alcanzó un 93,5%, pero económicamente no muy rentable por el elevado costo de inversión.

VIII.- ANEXO

1.- Fotos

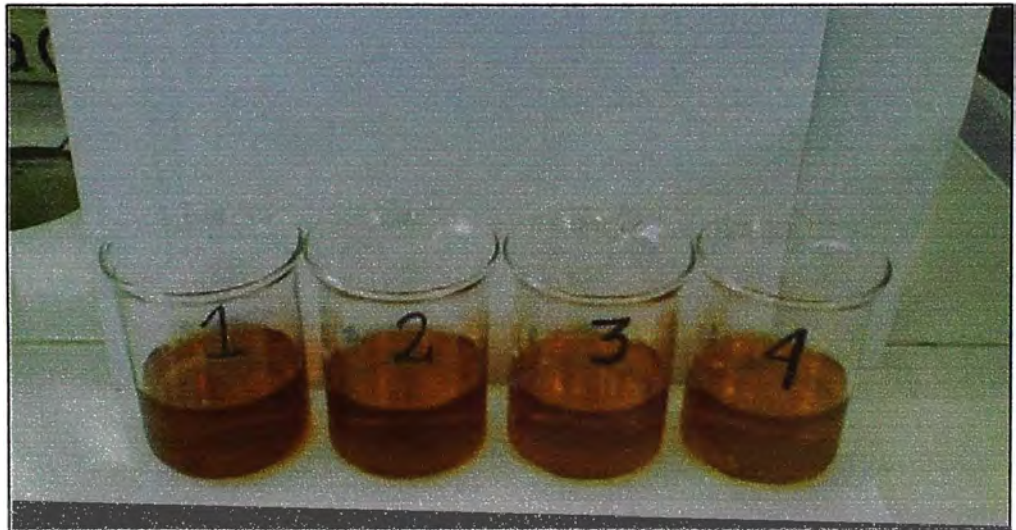


Foto N° 1- Muestra inicial para $t=0$ con un exceso del 50%, 70%, 100%, 125% en exceso de NaClO al 10%

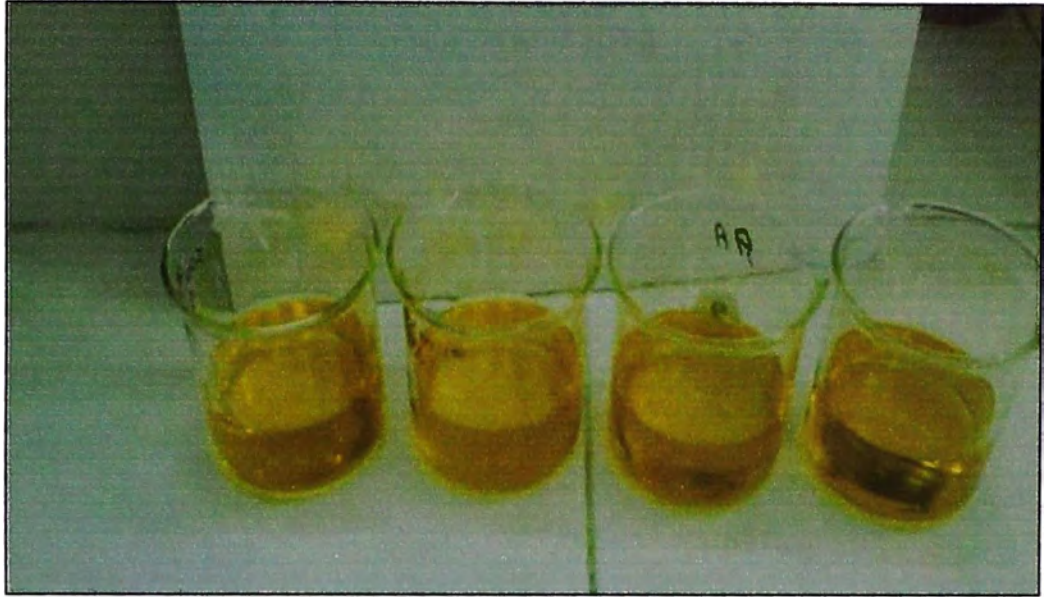


Foto N° 2- Muestra inicial para $t=20\text{min}$ con un exceso del 50%, 70%, 100%, 125% en exceso de NaClO al 10%



Foto N° 3- Muestra inicial para $t=30\text{min}$ con un exceso del 50%, 70%, 100%, 125% en exceso de NaClO al 10%



Foto N° 5- Muestra inicial para $t=40\text{min}$ con un exceso del 50%, 70%, 100%, 125% en exceso de NaClO al 10%

2.- DS 002-2008-MINAM-ECA DE AGUA

**3.- ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL-AGUAS (D.S 261-69-AP/
D.S 007-83-SA/ D.S 003-2003-SA).**

ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL - AGUAS
(D.S. 261-69-AP, mod. por D.S. 007-83-SA y D.S. 003-2003-SA)

USOS

- I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- II. Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- VI. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Parámetro	Unidad	I	II	III	IV	V	VI
Coliformes totales	NMP/100 mL ⁽¹⁾	8,8	20 000	5 000	5 000	1 000	20 000
Coliformes fecales	NMP/100 mL ⁽¹⁾	0	4 000	1 000	1 000	200	4 000
DBO ₅ ⁽²⁾	mg/L	5	5	15	10	10	10
Oxígeno disuelto ⁽³⁾	mg/L	3	3	3	3	5	4
Selenio total ⁽⁴⁾	mg/t	0,01	0,01	0,05		0,005	0,01
Mercurio total ⁽⁴⁾	mg/L	0,002	0,002	0,01		0,0001	0,0002
PCB	mg/L	0,001	0,001	⁽⁵⁾		0,002	0,002
Esteres Ftalatos ⁽⁶⁾	mg/t	0,0003	0,0003	0,0003		0,0003	0,0003
Cadmio total ⁽⁴⁾	mg/L	0,01	0,01	0,05		0,0002	0,004
Cromo total ⁽⁴⁾	mg/L	0,05	0,05	1		0,05	0,05
Níquel total ⁽⁴⁾	mg/L	0,002	0,002	⁽⁵⁾		0,002	⁽⁷⁾
Cobre total ⁽⁴⁾	mg/L	1	1	0,5		0,01	⁽⁸⁾
Plomo total ⁽⁴⁾	mg/L	0,05	0,05	0,1		0,01	0,03
Zinc total ⁽⁴⁾	mg/L	5	5	25		0,02	⁽⁷⁾
Cianuro WAD ⁽⁹⁾	mg/L	0,08	0,08	0,1			
Cianuro Libre	mg/L					0,022	0,022
Fenoles	mg/L	0,0005	0,001	⁽⁵⁾		0,001	0,1
Sulfuros	mg/L	0,001	0,002	⁽⁵⁾		0,002	0,002
Arsénico total	mg/L	0,1	0,1	0,2		0,01	0,05
Nitrógeno nítrico ⁽¹⁰⁾	mg/t	0,01	0,01	0,1			
MEH ⁽¹¹⁾	mg/L	1,5	1,5	0,5	0,2		
SAAM ⁽¹²⁾	mg/t	0,5	0,5	1	0,5		
CAE ⁽¹³⁾	mg/L	1,5	1,5	5,0	5,0		
CCE ⁽¹⁴⁾	mg/L	0,3	0,3	1,0	1,0		

(1) Número máximo probable en 100 mL de muestra. Valor máximo en 80% de 5 o más muestras.

(2) Demanda bioquímica de oxígeno. Prueba a 5 días y a 20 °C.

(3) Valores mínimos.

(4) Aunque la norma no lo especifica, se asume que se refiere al metal total.

(5) Valores a ser determinados. En caso de sospecharse su presencia se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.

(6) Aparentemente se trata de un error de tipeo en la norma, ya que no existe ninguna sustancia con este nombre. Se presume que se podría referir a Esteres Ftalatos.

(7) Valor LC₅₀ en pruebas de 96 horas, multiplicado por 0.02

(8) Valor LC₅₀ en pruebas de 96 horas, multiplicado por 0.1

(9) Cianuro disociable en ácido débil

(10) Como mg/L de nitrógeno

(11) Material Extractable en Hexano (principalmente grasas).

(12) Sustancias Activas en Azul de Metileno (principalmente detergentes)

(13) Extracto de columna de carbón activado por alcohol (según el método de flujo lento).

(14) Extracto de columna de carbón activado por cloroformo (según el método de flujo lento).

**LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES -MINERÍA
(R.M. 011-96-EM/VMM)**

ANEXO 1 - UNIDADES MINERAS NUEVAS

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	6 < pH < 9	6 < pH < 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo disuelto (mg/l)	0.4	0.2
Cobre disuelto (mg/l)	1.0	0.3
Zinc disuelto (mg/l)	3.0	1.0
Fierro disuelto (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico disuelto (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro Total (mg/l) *	1.0	1.0

* CIANURO TOTAL, equivalente a 0.1 mg/l de Cianuro libre y 0.2 mg/l de Cianuro fácilmente disociable en ácido débil.

ANEXO 2 - UNIDADES MINERAS EN OPERACIÓN O QUE REINICIAN OPERACIONES

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	5.5 < pH < 10.5	5.5 < pH < 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50
Plomo disuelto (mg/l)	1	0.5
Cobre disuelto (mg/l)	2	1
Zinc disuelto (mg/l)	6	3
Fierro disuelto (mg/l)	5	2
Arsénico disuelto (mg/l)	1	0.5
Cianuro Total (mg/l) *	2	1

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 Colegiada 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 de 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

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FISICOS 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 Total	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	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
Nitatos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitratos	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	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	**
Cobres	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						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2	**	**
Trihalometanos	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	0,005	0,005	**	**	**
Tetracloroetano - 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloro de Carbono - 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano - 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

PARAMETRO	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	Control Primario	Control 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	**	**	**
Metamidolós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrin - 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrin - 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrin - 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptaclo - 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptaclo 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)						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Miliones 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	**
Escherichia coli	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
Giardia duodenalis	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Salmonele	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
Vibrio Cholerae	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/100 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

PARAMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otros especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
ORGANOLEPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUIMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBP 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	°C	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
INORGANICOS				
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
Fosfato (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1

PARAMETRO	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	0,001	0,001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O ₃)	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	MCF/100ML	* ≤14 (Área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	MCF/100ML	* ≤88 (Área restringida)		

MMP/ 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 dañina ó potencialmente peligrosas.

** Área Restringida: Áreas acuáticas 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 multiannual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
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 (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -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
Inorgánicas		
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
Orgánicas		
Aceites y Grasa	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Pesticidas		
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 75-44-8) 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			
Cofiformes Tolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Cofiformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helminfos	huevos/litro	<1	<1(1)
Salmonella sp.		Ausente	Ausente
Vibrio cholerae		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 (NO ₃ -N)	mg/L	50	
Nitritos (NO ₂ -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	
Bario	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	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (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 heptacloripóxido	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 Helminfos	huevo/cajito	<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, camélicos 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	RIOS		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 Amónico	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 Suspendidos 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 estándar recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

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

Amoníaco: 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.