

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALÚRGICA



IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
DEGRADACIÓN DE CIANURO

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALURGISTA

JORGE ALFREDO TORRES SALINAS

LIMA – PERÚ

2009

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento va a mis padres Jorge Torres Román y Carmen Salinas Rivera, por todo el esfuerzo que dieron para hacer de mí un profesional y una persona con valores.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis hijos Diana Carolina, Jorge Felipe y a mi esposa Carolina, ya que ellos son mi razón de vivir y el motor que me impulsa a seguir desarrollándome mas día a día.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
--------------	---

Capítulo I.- Antecedentes

1.1 Fundamento teórico	
1.1.1 ¿Qué es el cianuro?	3
1.1.2 Tipos de cianuro.....	5
1.1.3 Métodos de análisis.....	8
1.1.4 Métodos de degradación	9
1.2 Regulaciones ambientales vigentes para efluentes de operaciones mineras.....	13
1.3 Proceso de degradación empleado en MARSÁ anteriormente	
1.3.1 Caracterización de la solución problema.....	19
1.3.2 Anterior proceso de degradación.....	20
1.3.3 Esquema del proceso anterior	23
1.3.4 Desventajas.....	25
1.3.5 Costo del tratamiento.....	27

Capítulo II.- Pruebas metalúrgicas

2.1 Determinación de la dosis de sulfato ferroso.....	30
2.2 Determinación de la cinética para la precipitación.....	35
2.3 Determinación de la dosis de peróxido de hidrógeno.....	38
2.4 Determinación de la cinética para la oxidación.....	41
2.5 Selección y dosificación del floculante.....	44
2.6 Adsorción con carbón activado.....	48
2.7 Precipitación de metales.....	48

Capítulo III.- Optimización del proceso de degradación

3.1 Etapa de precipitación con sulfato ferroso.....	51
3.2 Etapa de oxidación con peróxido de hidrógeno	54
3.3 Esquema del proceso.....	57
3.4 Resultados	58
3.5 Cálculo del costo del proceso.....	59

Capítulo IV.- Mejoras a evaluar

4.1 Implementación de un filtro prensa para los lodos generados.....	65
4.2 Traslado de la planta de degradación a la zona de la relaves.....	75
4.3 Empleo de columnas de carbón en la etapa final del proceso.....	79

Conclusiones	80
--------------------	----

Recomendaciones.....	82
----------------------	----

Bibliografía	83
--------------------	----

Anexos

ANEXO 1: Determinación del cianuro libre.....	86
ANEXO 2: Determinación del cianuro total	89
ANEXO 3: MSDS del Magnafloc 351.....	97
ANEXO 4: Filtros Prensa ACS.....	102

RESUMEN

En la Planta de Beneficio de MARSA, al igual que en toda operación minera aurífera, en la etapa final del proceso se generan efluentes líquidos con contenidos altamente peligrosos de cianuro y metales pesados como: plomo, zinc, fierro, cobre, arsénico, y otros elementos que precisan de un tratamiento adecuado de acorde a las leyes medioambientales vigentes.

En este tratamiento se emplean el sulfato ferroso (FeSO_4) como precipitador y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como oxidante, ya que las pruebas realizadas en el año 2006 dieron como resultado que este era el método de degradación más apropiado para la solución con altos contenidos de cianuro que se almacenan en las canchas de relaves de cianuración.

En aquella ocasión se diseñó un esquema del proceso que consideraba la adición de H_2O_2 conjuntamente con el FeSO_4 en la primera etapa. En la etapa operacional se encontraron algunos inconvenientes que impedían obtener una solución que cumpla los Límites Máximos Permisibles (LMP).

En este trabajo se detallan las correcciones realizadas a las dosificaciones, forma de dosificar, puntos de dosificación, tiempo de residencia de los reactores; para garantizar el objetivo del proceso que es generar un efluente con contenidos de cianuro y metales por debajo de los límites máximos permisibles.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Fundamento teórico

1.1.1 ¿Qué es el cianuro?

El cianuro es un término general que se aplican a todas las sustancias químicas que contienen el par CN^- , estas podemos encontrarlas en la naturaleza y también son producidas por el hombre. Las principales especies de cianuro producidas industrialmente son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro sólido de sodio y de potasio.

La minería es una actividad industrial que utiliza una gran cantidad de cianuro, cerca del 13% de la producción mundial, el 87% restante de la producción de cianuro de hidrógeno se utiliza en la fabricación de una amplia gama de productos como adhesivos, componentes electrónicos para computadoras, retardantes ignífugos, cosméticos, tinturas, nailon, pinturas,

productos farmacéuticos, plexiglás, propelente para cohetes, y sales para caminos y de mesa.

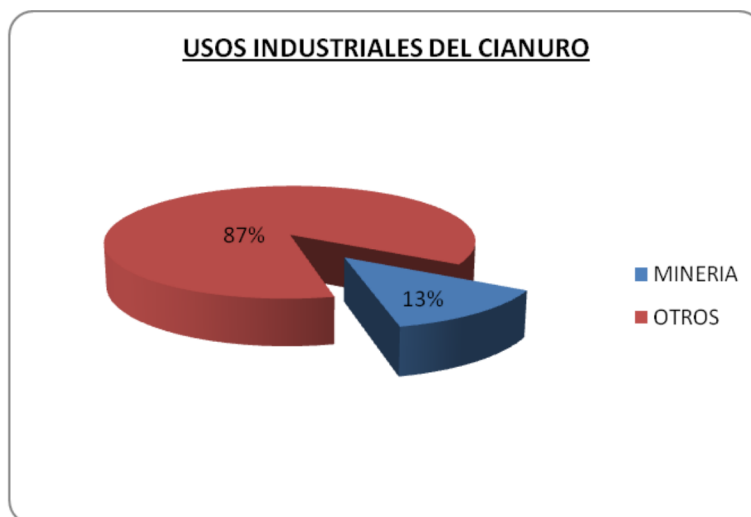


FIGURA 1. Usos industriales del cianuro.
REF. Mudder, CNI 2008.

1.1.2 Tipos de cianuro

REACCIONES DEL CIANURO EN LA LIXIVIACION

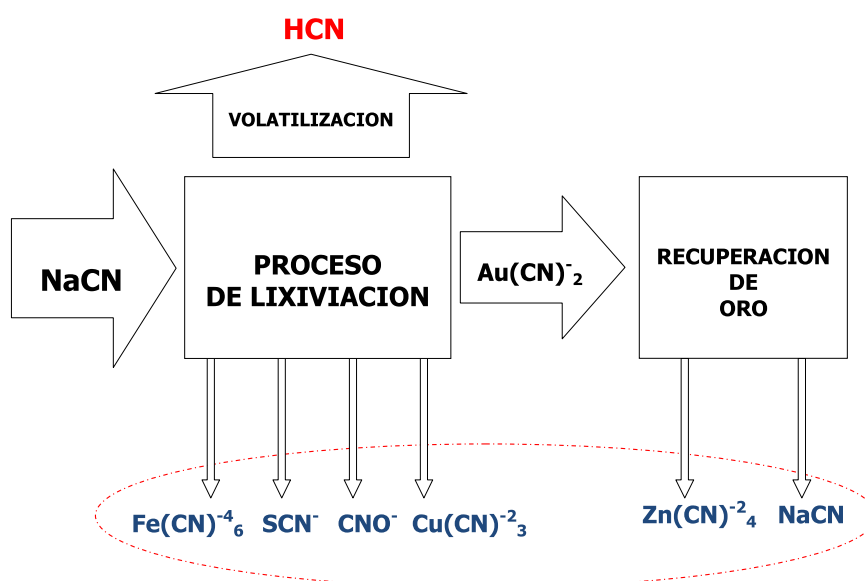
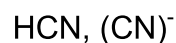


FIGURA 2. Formas de cianuro presentes en la solución de reciclo.
REF. Guía Ambiental. Manejo del Cianuro. M.E.M

A. Cianuro Libre: Esta denominación comprende a los compuestos de cianuro molecular e iónico liberadas en disolución acuosa por la disolución y disociación (o ionización) de compuestos cianurados simples o complejos, que son susceptibles a la cloración y descomposición, a los que son potencialmente dissociables (en mayor grado), y potencialmente tóxicos en bajas concentraciones, por lo tanto, el término cianuro libre se limita a dos especies, el ion cianuro el ácido cianhídrico o cianuro de hidrogeno. Esta terminología se emplea para la descripción analítica del cianuro como para evaluar su toxicidad.



La proporción relativa de estas dos formas depende del pH del sistema.

La reacción entre el ion cianuro y el agua se expresa con la siguiente ecuación:

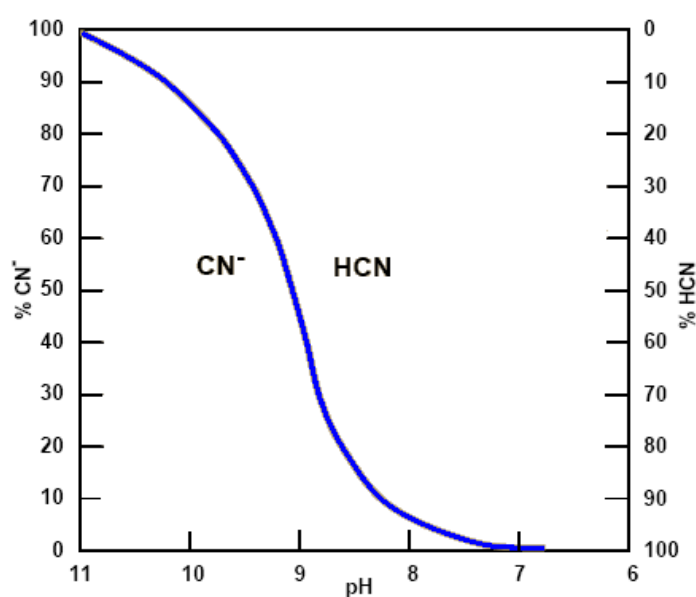


FIGURA 3. Equilibrio entre HCN y CN⁻ en función del pH.
REF. Mudder. CNI. 2008

Para un pH y una temperatura determinados, el sistema está en equilibrio y las cantidades relativas de cada uno pueden determinarse mediante la siguiente expresión:

$$K_a = \frac{[H^+][CN^-]}{[HCN]} = 2.03 \times 10^{-10}; \quad pK_a = 9.31 \text{ (a } 20^\circ\text{C)}$$

B. Compuestos simples de cianuro: Son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un ion cianuro. Son las sales que provienen de de reacciones acido-base
NaCN, KCN, Ca(CN)₂

C. Cianuro disociable en acido débil o cianuro WAD (Weak Acid Dissociable): Es un término analítico utilizado para designar a los compuestos de cianuro que se disocian bajo reflujo con un ácido débil, normalmente a pH = 4.5.
Cd(CN)₂⁻¹, Cu(CN)₃⁻², Zn(CN)₄⁻²

D. Cianuro disociable en acido fuerte o cianuro SAD (Strong Acid Dissociable): Es otro término analítico utilizado para designar a compuestos de cianuro que resisten al ataque de un acido débil, pero se disocian en presencia de una acido fuerte a un pH entorno a 2.
Fe(CN)₆⁻⁴, Au(CN)₂⁻¹, Ag(CN)₂⁻¹, Co(CN)₆⁻⁴

E. Cianuro Total: Se denomina así a todos los compuestos de cianuro existentes en una solución acuosa y está compuesto en su mayoría por todos los compuestos cianurados no disociables, los cianuros enlazados a complejos metálicos que se disocian rápidamente, y los complejos metálico-cianurados de estabilidad intermedia. No considera a los cianatos ni tiocianatos.

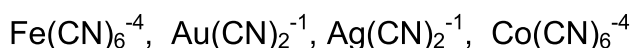


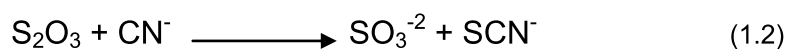
TABLA 1. Estabilidad de iones complejos de cianuros metálicos
REF. A. Smith y T. Mudder. Tratamiento de Residuos de Cianuro

ION COMPLEJO	CONSTANTE DE ESTABILIDAD	ION COMPLEJO	CONSTANTE DE ESTABILIDAD
$\text{Cr}(\text{CN})_6^{-3}$	10^{33}	$\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$	$10^{29.2}$
$\text{Cr}(\text{CN})_6^{-4}$	10^{21}	$\text{Cu}(\text{CN})_4^{-2}$	$10^{30.7}$
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$	$10^{35.4}$	$\text{Ag}(\text{CN})_2^{-1}$	$10^{20.4}$
$\text{Co}(\text{CN})_6^{-4}$	10^{50}	$\text{Ag}(\text{CN})_3^{-2}$	$10^{21.9}$
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$	10^{30}	$\text{Au}(\text{CN})_2^{-1}$	10^{37}
$\text{Pd}(\text{CN})_4^{-2}$	10^{42}	$\text{Au}(\text{CN})_4^{-1}$	10^{85}
$\text{Pt}(\text{CN})_4^{-2}$	10^{40}	$\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$	10^{21}
$\text{Cu}(\text{CN})_2^{-1}$	$10^{23.9}$	$\text{Cd}(\text{CN})_4^{-2}$	10^{19}

FUENTE: Broderius, 1973

Otros derivados de cianuro:

F. 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.



G. 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.

Los cianatos y tiocianatos no están considerados en la legislación peruana, y no existen estándares internacionales para estos parámetros. Por lo tanto, el programa de monitoreo no considera cianatos ni tiocianatos, los cuales no están considerados en la lista de contaminantes tóxicos prioritarios, contaminantes no prioritarios o compuestos con efectos organolépticos del US EPA.

1.1.3 Métodos de análisis:

Standard Methods 4500-CN-F, ASTM D 2036-91.

A. Determinación de Cianuro Libre: Se emplea concentraciones mayores a 5 ppm y en soluciones claras. El objetivo es medir el “cianuro libre”, comprendido tanto por el ión cianuro (CN⁻) y el cianuro de hidrógeno (HCN). Se toma 25 cm³ de muestra clara (filtrada) y se coloca en un pequeño frasco Erlenmeyer. Se adiciona 3 a 4 gotas de KI al 10%, se

agita y titula con una solución estándar que contiene 4.33 g de AgNO_3 , por litro. El punto final de la titulación es cuando la brillantez original de la solución se ve apagada por un amarillo opalescente (ver ANEXO I).

B. Determinación del Cianuro total: Los cianuros son determinados potenciométricamente en una solución destilada usando un electrodo selectivo de ion específico para cianuros, en combinación con un electrodo de referencia de doble junta y un potenciómetro que cuenta con una escala expandida en mili voltios o un medidor específico de iones. No es recomendable usarlo en concentraciones por arriba de $25 \mu\text{g CN}^-/\text{ml}$ (ver ANEXO II).

1.1.4 Métodos de degradación de cianuro

A. Degradación Natural: El principal mecanismo de degradación es la volatilización seguida de posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias menos tóxicas. Asimismo, otros factores que contribuyen a la degradación natural del cianuro son la oxidación biológica (en los suelos las bacterias asimilan el cianuro mediante diversas reacciones aeróbicas y anaeróbicas), las precipitaciones y los efectos de la luz solar.

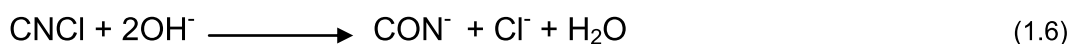
B. Clorinación Alcalina: El cloro ha sido utilizado para la destrucción del cianuro en los comienzos de la cianuración ya que era fácilmente de obtener en dichos tiempos.

Este método consiste en la oxidación y destrucción del cianuro en estado libre y compuestos débiles (cianuro WAD) en un estado alcalino de pH > 11.

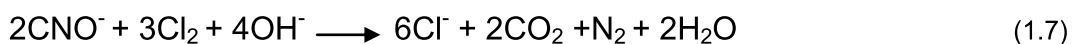
El ion cloro procedente del gas cloro ó de algún ion hipoclorito reacciona rápidamente con el ion cianuro formando el cianuro cianógenos de acuerdo a las siguientes reacciones:



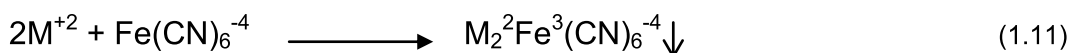
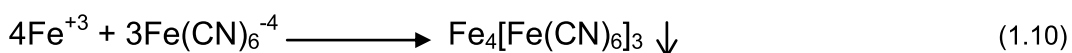
Luego el cloruro cianógeno es hidrolizado a cianato según la siguiente reacción:



Con una suficiente cantidad de Cl, el cianato se oxida a amoníaco y carbonato:



C. Acidificación y Precipitación con Sulfato Ferroso: La primera etapa consiste en la leve acidificación empleando ácido sulfúrico H_2SO_4 , hasta llevar el pH entre 9.5 y 10.5, esto ayuda a eliminar gran parte del cianuro libre como HCN , de lo contrario tendríamos un mayor consumo de reactivos en la siguiente etapa. La segunda etapa consiste en la precipitación de la especie CN^- formando ferrocianuros complejos con el ion Fe^{+2} , mediante las siguientes reacciones:



D. Proceso INCO: Este proceso consiste en agregar anhídrido sulfuroso y aire como oxidante, adicionalmente se emplea el ion cobre como catalizador. La reacción que rige este proceso es:

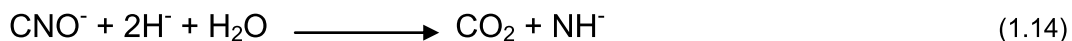


Las ventajas que presenta son:

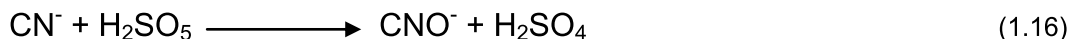
- Remoción del cianuro libre y del acomplejado.
- Cinética muy rápida a temperatura ambiente.
- Bajo consumo de reactivos.
- Bajo costo de reactivos.

E. Oxidación con Peróxido de Hidrógeno: El hidrógeno oxida al cianuro libre, complejos débiles de cianuro como los de zinc, cadmio y cobre. Pero el aurocianuro y ferrocianuros no son oxidados, es por eso que se opta por precipitar los ferrocianuros empleando excesos de iones de cobre ó fierro.

Las reacciones que se dan a cabo en este proceso son las siguientes:



F. Proceso con Ácido Sulfúrico y Peróxido (ÁCIDO CARO): Ambos forman un ácido que se emplea en este proceso posee una gran velocidad de oxidación por lo que no requiere de ningún catalizador. Además es muy eficiente en soluciones claras y pulpas. El pH óptimo de operación es de 9.5 y está regido por la siguiente reacción:



G. Reciclado: Es posible recuperar y reutilizar el cianuro reduciendo el costo operativo, tanto en la producción misma como en la destrucción de cianuro. El proceso consta de 3 pasos: control del pH, volatilización en condiciones muy controladas y captura del cianuro que se ha liberado. Este proceso esta patentado como **Proceso AVR** y es aplicado en la

Mina Golden Cross (Waikato, Nueva Zelanda) y en la Mina Delamar Siver (Idaho, EE.UU.) y recientemente se han puesto 2 plantas en operación en Brasil y Argentina.

1.2 Regulaciones ambientales para efluentes de operaciones mineras

1.2.1 Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales D.L.N°613 (1990)

El código del medio ambiente y los Recursos Naturales D.L. N° 613 de 1990, señala que al titular, le corresponde prevenir y controlar la contaminación ambiental y cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que pueda interferir en el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

1.2.2 Ley General de Salud. Ley N° 26842 (1997)

La Ley General de Salud, Ley N° 26842 de 1997, establece que es responsabilidad del Estado vigilar, cautelar y atender los problemas de salud ambiental, asimismo reconoce el derecho de toda persona a ser debida y oportunamente informada por la Autoridad de salud sobre medidas y prácticas de higiene. Se señala también, la responsabilidad compartida del Estado con los particulares para el mantenimiento del ambiente dentro de los estándares establecidos por la autoridad competente para preservar la salud.

Asimismo toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua o el suelo, sin haber adoptado precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de la protección del ambiente (art. 104).

Esta ley está destinada a proteger como fin supremo al ser humano, según el art. 12 del Capítulo VII de la Higiene y Seguridad en los ambientes de trabajo; en art. 104 Capítulo VIII de la protección del Medio Ambiente para la salud, donde se impide la contaminación del Medio Ambiente.

1.2.3 El Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (1998)

En relación a la actividad minera, en el año 1993, por Decreto Supremo No 16-93-EM, se aprobó el Reglamento de Título Décimo Quinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, sobre el medio ambiente, el mismo que ha sido modificado por Decreto Supremo No 059-93-EM. En el año 1998, se publica el D.S. No 038-98-EM que aprueba el Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera. (30.11.98), que en Artículo 1º dice: El titular de la actividad minera (Titular), es el responsable por las emisiones, vertimientos y disposición de desechos al medio ambiente que se produzcan como resultado de las actividades de exploración minera efectuadas en el área de su concesión.

A este efecto es su obligación evitar e impedir que se sobrepasen los niveles máximos permisibles establecidos, para aquellos elementos o sustancias que por sus concentraciones o prolongada permanencia puedan tener efectos adversos en el ambiente. Cualquier efecto perjudicial ocasionado al medio ambiente deberá ser rehabilitado utilizando las mejores prácticas disponibles.

1.2.4 Ley General del Medio Ambiente. Ley N° 28611

Artículo 1: Del objetivo.

La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

1.2.5 Ley N° 17752: Ley General de Aguas.

Dispone que todo usuario esté obligado a la conservación de las aguas y se prohíbe verter cualquier residuo líquido o sólido que pueda contaminar las aguas causando daños y poniendo en peligro la salud humana o el

normal desarrollo de la flora y fauna o comprometiendo su empleo para otros usos.

1.2.6 Ley N° 27314: Ley General de Residuos Sólidos.

Aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos (Acápites 2.1 del art. 02). Establece desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización, que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos y su manejo adecuado (Acápites 5 del art.04). Dentro de las disposiciones, busca incentivar al buen manejo de residuos sólidos y motivar su tratamiento.

1.2.7 Ley N° 26821: Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales.

Tiene como objetivo promover y regular el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables, estableciendo un marco adecuado para el fomento a la inversión, procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los recursos naturales y del ambiente y el desarrollo integral de la persona humana (art. 2°).

1.2.8 Ley N° 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

Que tiene por objeto crear el SINEA (Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental) como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión; establecer un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos de inversión y el establecimiento de los mecanismos que aseguren la participación ciudadana en el proceso de evaluación ambiental.

1.2.9 Decreto Legislativo N° 757: Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.

Modificada por la Ley N° 26734, que promueve la inversión de los diversos sectores, buscando alternativas amigables con el medio ambiente.

1.2.10 Decreto Supremo N° 033-2000-ITINCI.

Establece disposiciones para la aplicación del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono y sus disposiciones

complementarias (Resolución Ministerial N° 050-2002-ITINCI/DM y Resolución Ministerial N° 277-2001-ITINCI/DM).

El Decreto Supremo N° 033-2000-ITINCI establece el compromiso del Estado peruano en el control de la reducción progresiva del uso y comercialización de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO).

La Resolución Ministerial N° 277-2001-ITINCI/DM establece Recomendaciones a tomar en cuenta sobre la importación de equipos de refrigeración y congelamiento de acuerdo con el Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal, y la Resolución Ministerial N° 050-2002-ITINCI/DM establece modificatorias a la resolución antes mencionada, descartando el uso de equipos que requieran el uso de sustancias consideradas en el Anexo I del Protocolo.

1.2.11 Límites Máximos Permisibles (LMP) Ministerial N° 011-96- EM/VMM (13.ENE.1996)

TABLA 2 Y 3. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de labores mineras, establecidas por el MEM.

CONDICIONES DEL EFLUENTES	CN _{TOTAL} ppm	CN _{WAD} ppm	CN _{LIBRE} ppm	pH
En cualquier momento	1	0.2	0.1	6 a 9
Promedio anual	1	0.2	0.1	6 a 9

CONDICIONES DEL EFLUENTES	As (ml/L)	Cu (ml/L)	Fe (ml/L)	Mn (ml/L)	Pb (ml/L)	Zn (ml/L)
En cualquier momento	1.0	1.0	2	1	0.4	3
Promedio anual	0.5	0.3	1	1	0.2	1



FIGURA 4. Medición del cianuro total en laboratorio químico.

1.3 Procedimiento de degradación empleado anteriormente.

1.3.1 Caracterización de la solución problema

Se puede notar la alta concentración de cianuro existente en la solución contenida en la relavera de cianuración, la que es recirculada al circuito de remolienda y cianuración. Esta solución va cargándose constantemente de iones metálicos, calcio, cianuro, etc.; saturándose de esta manera la solución y perjudicando posteriormente al proceso.

TABLA 4. Características químicas de la solución de reciclaje de cianuración

CN_{LIBRE} ppm	CN_{TOTAL} ppm	As (ml/L)	Cu (ml/L)	Fe (ml/L)	Mn (ml/L)	Pb (ml/L)	Zn (ml/L)	pH
700	1633	196	133	462	1	9	258	11.2



FIGURA 5. Relavera de cianuración # 3 y bomba de recirculación.

1.3.2 Anterior proceso de degradación empleado

Este proceso de degradación se llevaba a cabo en 2 etapas:

1° ETAPA: PRECIPITACIÓN CON SULFATO FERROSO (FeSO_4)

a) Se inicia con el bombeo de la solución de la cancha de relave de cianuración # 3, empleando una BOMBA TOYO de 12 HP, hacia la planta de Tratamiento de Efluentes a razón de $7.5 \text{ m}^3/\text{h}$.

b) La solución llega al agitador $6' \times 8'$ de 5.44 m^3 de capacidad, donde se dosifican FeSO_4 y H_2O_2 a razón de $3.84 \text{ Kg}/\text{m}^3$ y $1.34 \text{ Kg}/\text{m}^3$ respectivamente. Para el caso de sulfato ferroso, se disuelven 150 Kg en 1 m^3 de agua fresca, cada 4 horas.

c) La solución tiene un tiempo de retención de 0.725 hr, en el agitador 6'x8' y es descargada por medio de tuberías hasta el tanque Pachuca de 8'x16' empleado como reactor de paso, en cuyo ingreso se adicionará el Magnafloc para acelerar la sedimentación de los lodos en la poza # 1. El tiempo de residencia en el reactor mencionado fue:

TABLA 5. Determinación del tiempo de residencia – PRECIPITACIÓN

REACTOR	VOLUMEN (m ³)	VOL. EFICAZ 85%(m ³)	TIEMPO DE RESIDENCIA (Hr)
AGITADOR 6'x8' # 2	6.4	5.44	0.725
TIEMPO TOTAL			0.725

d) La mezcla se deja reposar en la poza por 24 horas y se extrae una muestra de la solución para filtrarla y analizarla. En caso de contener menos de 200 ppm de cianuro total se puede pasar a la ETAPA DE OXIDACION, de lo contrario se recircula a través de la planta, dosificando mas FeSO₄. Para completar la etapa de precipitación, la solución por los agitadores 14'x14' # 1 y # 2; y retorna a la poza #1.

En este caso, la solución contaba con pH=7.4 y se determino que el pH de trabajo optimo es de 6.5, al cual se llegó agregando 1.11 Kg FeSO₄/m³ y 0.233 Kg H₂O₂/m³. En este pH **se elimina mayor cantidad de cianuro en forma de gas HCN.**

En este momento se considera culminada la etapa de precipitación.

2° ETAPA: OXIDACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H₂O₂)

- a) La etapa de oxidación se inicia con el bombeo de la solución clarificada de la poza # 1; para ello se emplea una BOMBA TOYO de 10 HP, con un caudal de 12 m³/h.
- b) La solución pasara por los tanques Pachuca # 1 y # 2 de 8'x16', estos trabajaran como SEDIMENTADORES, captando en su fondo cónico las partículas finas de lodo q hayan podido ser jaladas con la solución. El H₂O₂ a razón 0.63 Kg/m³, se dosifica al ingreso del primer tanque Pachuca, cuyos fondos cónicos están conectados a los dos filtros prensa MC USA 24"x 24" x 16 cámaras cada uno.
- c) La solución clarificada que rebosa de los tanques Pachuca pasa a los agitadores 14'x14' # 1 y # 2.
- d) El tiempo de retención total de la solución al pasar por la planta de degradación es de 10.6 horas.

TABLA 6. Determinación del tiempo de residencia – OXIDACIÓN

REACTOR	VOLUMEN (m ³)	VOL. EFICAZ 85%(m ³)	TIEMPO DE RESIDENCIA (Hr)
PACHUCA 8'x16' # 1	17.1	14.54	1.163
PACHUCA 8'x16' # 2	17.1	14.54	1.163
AGITADOR 14'x14' # 1	61.0	51.85	4.148
AGITADOR 14'x14' # 2	61.0	51.85	4.148
TIEMPO TOTAL			10.622

e) Finalmente, al rebosar del tanque agitador 14'x14' # 2, la solución pasaran a la poza # 2 donde se mezclará con la solución del subdrenaje.

1.3.3 Esquema del proceso anterior

Los reactivos empleados en las etapas de tratamiento fueron:

TABLA 7. Reactivos empleados en las etapas de tratamiento.

ETAPAS DE TRATAMIENTO	FeSO ₄ (Kg/m ³)	H ₂ O ₂ (lt/m ³)	Magnafloc (g/m ³)
PRECITACIÓN	3.840	1.340	5.500
RECIRCULACIÓN	1.111	0.233	0.023
OXIDACIÓN	0.000	0.63	0.000

Los contenidos de CIANURO TOTAL (CN_{TOTAL}) y metales disueltos analizados fueron:

TABLA 8. Características de la solución para cada etapa.

PUNTOS DE MONITOREO	CN _{TOTAL} ppm	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)
SOL. RECICLO CANCHA # 3	1633	190.10	132.60	462.50	<0.01	0.51	1.87
TRAT. EN POZA # 1 (ETAPA 1)	180	0.010	100.75	3.62	<0.01	0.12	0.82
DESCARGA PLANTA (ETAPA 2)	6.20	<0.001	47.43	1.45	0.51	0.09	0.13
DESCARGA POZA # 2 (ETAPA 2)	1.84	<0.001	0.02	1.36	1.62	0.01	0.45
E - 24	0.78	<0.001	0.03	1.20	1.09	0.05	0.67

A continuación se muestran los esquemas seguidos en cada una de las etapas:

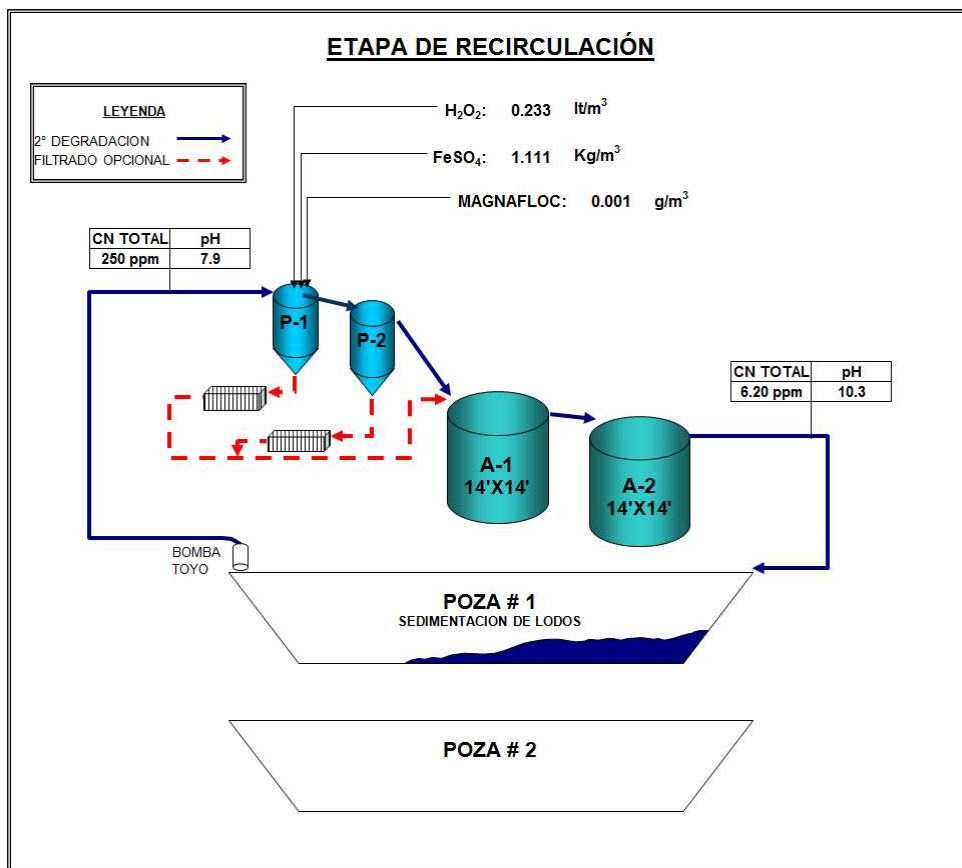
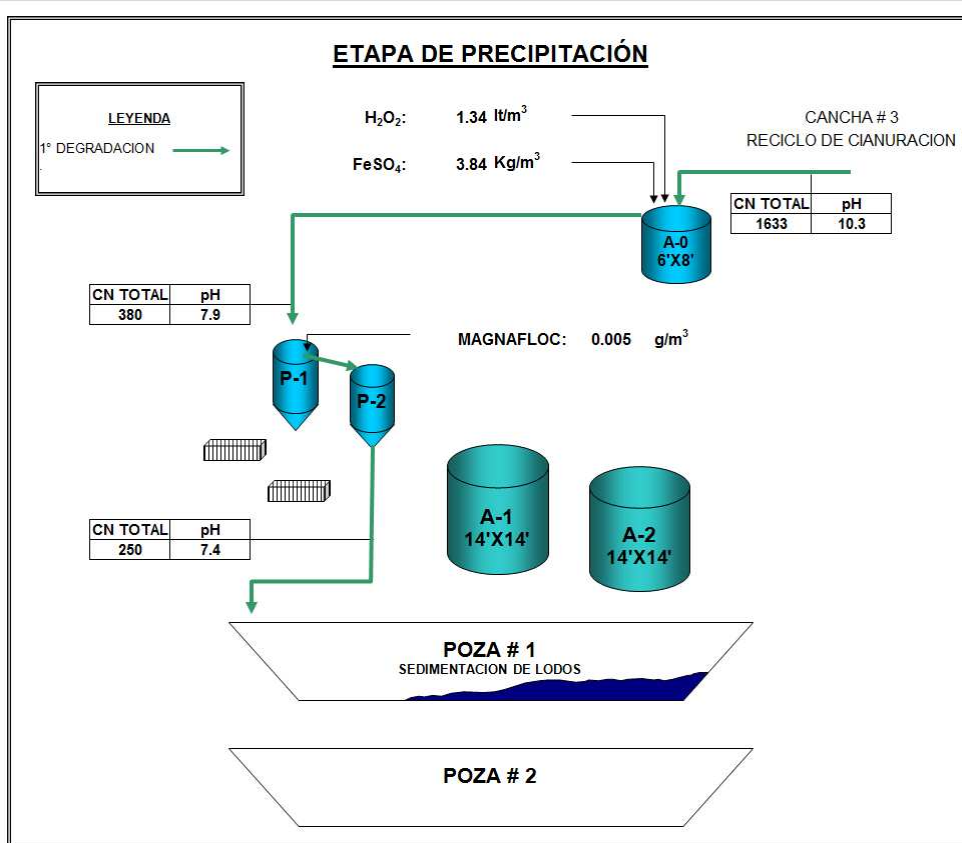


FIGURA 6. Esquema de la etapa de precipitación.

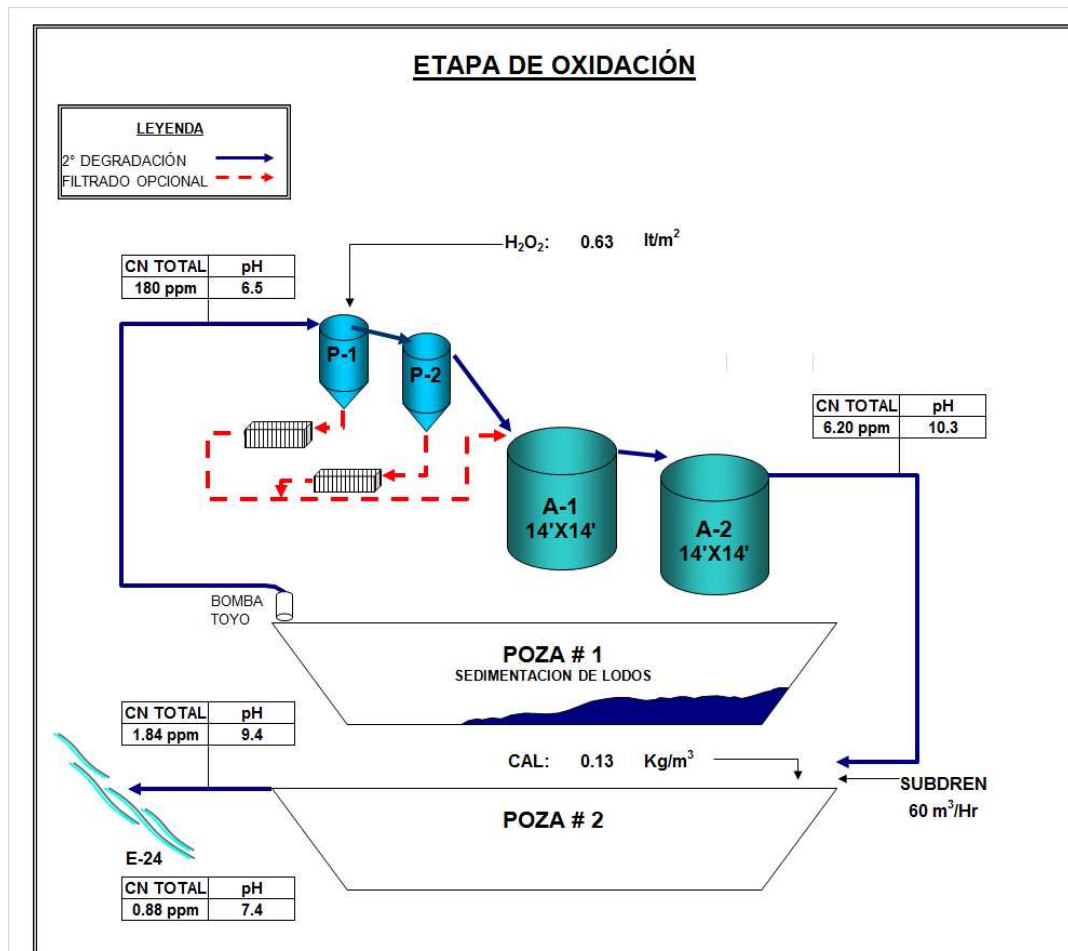


FIGURA 7. Esquema de la etapa de oxidación.

1.3.4 Desventajas

- Se tiene que trabajar con flujos de 5 - 7 m³ de solución para garantizar un tiempo de retención apropiado en el agitador 6'x8', limitando de esta manera la capacidad de tratamiento.
- El trayecto de bombeo de la solución reciclo era de 300 metros de distancia horizontal y 60 metros en diferencia de cotas, esto origina grandes presiones en la tuberías.

- Ingreso de agua fresca en el proceso, para la preparación del sulfato ferroso.
- Mala agitación del sulfato ferroso, originando sedimentación y cristalización de este en el fondo de bidón de preparación por sobresaturación del reactivo, por lo tanto una dosificación muy irregular.
- Mala agitación de la mezcla de la solución reciclo con el sulfato ferroso en el agitador 6'x8', generando "corto circuitos" en el tratamiento, debido a que dicho agitador no cuenta con deflectores ni tampoco con el tubo de descarga.
- Para finalizar la primera etapa, siempre es necesaria la recirculación de la solución contenida en la poza # 1 y disminuir su pH hasta valores óptimos, obteniendo inevitablemente un consumo extra de energía, de reactivos y tiempo extra en el tratamiento.
- El empleo de H_2O_2 en la primera etapa genera una elevación en el pH, lo cual no ayuda en la eliminación del cianuro en forma de HCN, y asimismo esto trae problemas en la decantación de los lodos pues interfiere en el trabajo del floculante. Otro de los inconvenientes que teníamos es una solución de color azul por la gran cantidad de partículas en suspensión, debido a la oxidación del AZUL DE PRUSIA (precipitado de color azul) con el H_2O_2 , interfiriendo este reactivo con el trabajo del floculante básico empleado, el MAGNAFLOC; confirmado en el laboratorio (ver FIGURA 8).



FIGURA 8- Dificultad de sedimentar los lodos en soluciones con contenidos de H_2O_2 .

- Siempre se tiene un alto riesgo de derrames y contaminación en el bombeo y traslado de los lodos producidos, desde la poza # 1 hasta la zona de las cancha de relaves de cianuración, empleando camiones cisterna.
- Las instalaciones de la planta de degradación están en un terraplén rodeado de cerros y en tiempo de lluvias es el paso obligado de grandes flujos de agua de escorrentillas, convirtiéndola en una zona físicamente insegura.

1.3.5 Costo del proceso

En este caso se puede ver un gran costo en el campo de los reactivos, el resto de los costos se mantiene muy similar a los costos obtenidos después de las mejoras:

TABLA 9. Descripción del costo de tratamiento.

<i>DESCRIPCION</i>	<i>COSTO TOTAL (US\$)</i>	<i>COSTO UNITARIO (US\$/m³ sol.)</i>
1.- Costo del personal	1,731.18	1.08
2.- Costo de reactivos	8,114.41	5.05
3.- Costo de energía eléctrica	355.64	0.22
4.- Costo del secado del filtro prensa	196.00	0.16
5.- Costo del bombeo y traslado de lodos	566.30	0.35
	10,963.52	6.86

Costo Total del Proceso de Degradación:

US\$ 10,963.52

Costo por m³ de Solución Tratada:

US\$ 6.86

CAPITULO II

PRUEBAS METALÚRGICAS

El problema encontrado en el proceso de degradación de cianuro, era que NO SE PODIA OBTENER LA SOLUCION FINAL CON LOS PARAMETROS APROPIADOS, se decide entonces:

- a. Analizar la parte operacional del proceso, formas y puntos de dosificación de reactivos, forma de equipos de agitación, etc.
- b. Verificar los parámetros de operación calculados en la etapa de diseño.

Es por ello que se realizaron las siguientes pruebas metalúrgicas:

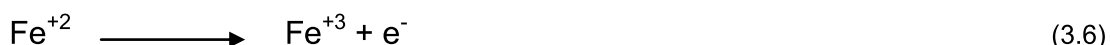
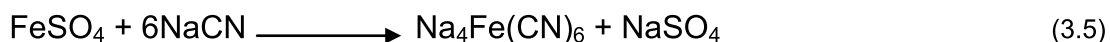
- Determinación de la dosis de sulfato ferroso.
- Determinación de la cinética de reacción para el sulfato ferroso.
- Determinación de la dosis para el peróxido de hidrógeno.
- Determinación de la cinética para el peróxido de hidrógeno.
- Selección y dosificación del floculante.
- Adsorción con carbón activado.
- Precipitación de metales.

Mediante las pruebas realizadas en el laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas, se determinó que en la primera etapa es necesario **agregar solamente sulfato ferroso**, para obtener una mayor reducción del pH y esto ayude a que mayor cantidad del cianuro libre sea eliminado como gas cianhídrico.

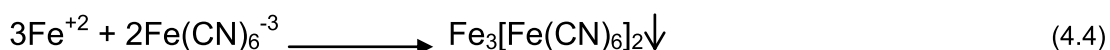
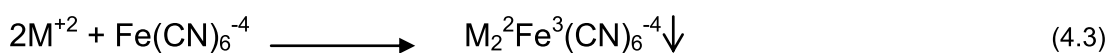
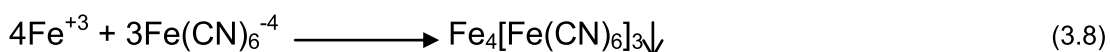
Asimismo, se comprobó que si se emplea H_2O_2 , en la primera etapa, genera la presencia de partículas muy finas de ferrocianuros que reaccionarían en la segunda etapa, elevando ligeramente los valores de cianuro total.

2.1 Determinación de la dosis de sulfato ferroso ($FeSO_4$)

1° MECANISMO: Los iones ferrosos en solución reaccionan con el CN^- .



Los ferrocianuros no son tóxicos, debido a su gran estabilidad (**tabla 10**), y al añadir un exceso de sulfato ferroso, el cianuro de la solución es inmovilizado como un precipitado insoluble $Fe_4(Fe(CN)_6)_3$, conocido como azul de Prusia.



Donde: M = Zn, Cu, Ni, Fe, etc.

Inicialmente es de color blanco y absorbe rápidamente oxígeno del medio tornándose de color azul.

Se debe de tener en cuenta que los ferrocianuros son inestables en soluciones alcalinas debido a la descomposición del complejo y a la precipitación de $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

2° MECANISMO: La reducción del pH ayuda a **eliminar mayor cantidad de cianuro en forma de gas HCN.**

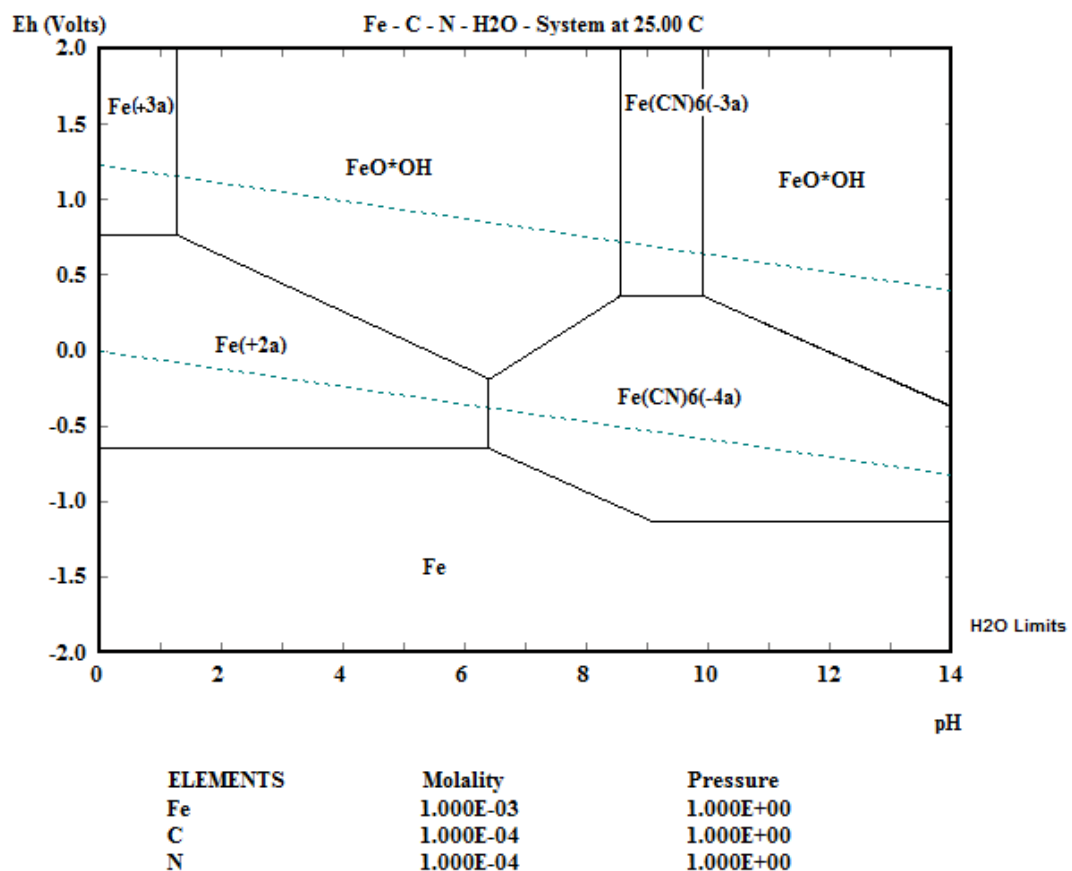


FIGURA 9. Diagrama Eh-pH, para Fe – CN – H₂O, a 25 °C y 1 Atm.

TABLA 10. Solubilidad en agua de algunos ferrocianuros y ferricianuros
REF. Guía Ambiental para el Manejo de cianuro – MEM 1990

COMPUESTO	FORMULA	SOLUBILIDAD EN AGUA (mg/L)
Ferricianuro de amónico	$(\text{NH}_3)_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Muy soluble
Ferrocianuro amónico	$(\text{NH}_4)_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Soluble
Ferrocianuro de bario	$\text{Ba}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.7 g (15°)
Ferrocianuro de cadmio	$\text{Cd}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	Insoluble
Ferrocianuro de calcio	$\text{Ca}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	868 g (25°)
Ferrocianuro de cobalto	$\text{Co}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	Insoluble
Ferricianuro de cobre (I)	$\text{Cu}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Insoluble
Ferricianuro de cobre (II)	$\text{Cu}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	Insoluble
Ferrocianuro de cobre (III)	$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	Insoluble
Ferricianuro de fierro (II)	$\text{Fe}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2$	Insoluble
Ferricianuro de fierro (III)	$\text{FeFe}(\text{CN})_6$	-
Ferrocianuro de fierro (II)	$\text{Fe}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$	Insoluble
Ferrocianuro de fierro (III)	$\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3$	Insoluble
Ferricianuro de plomo	$\text{Pb}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Ligeramente soluble
Ferrocianuro de magnesio	$\text{Mg}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	330 g
Ferrocianuro de manganeso (II)	$\text{Mn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Insoluble
Ferrocianuro de níquel	$\text{Ni}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	Insoluble
Ferricianuro de potásico	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	330 g (4°)
Ferrocianuro de potásico	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	278 g (12°)
Ferricianuro de plata	$\text{Ag}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	0.00066g (20°)
Ferrocianuro de plata	$\text{Ag}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Insoluble
Ferricianuro sódico	$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Insoluble 189 g (0°)
Ferrocianuro sódico	$\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	318.5 g (20°)
Ferrocianuro de estroncio	$\text{Sr}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	500 g
Ferrocianuro de talio	$\text{Tl}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.7 g (18°)
Ferrocianuro de estaño (II)	$\text{Sn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$	Insoluble
Ferrocianuro de estaño (IV)	$\text{SnFe}(\text{CN})_6$	Insoluble
Ferrocianuro de cinc	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$	Insoluble

FUENTE: Broderius, 1973

2.1.1 Condiciones de la prueba:

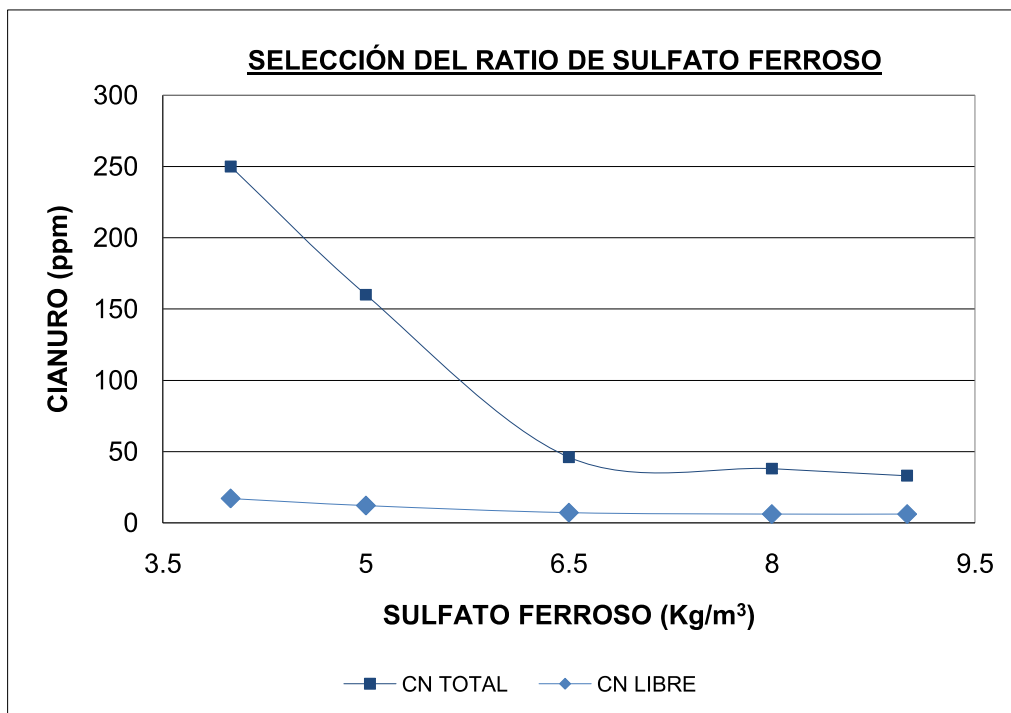
Muestra	:	solución de recicló de cianuración
Volumen	:	6000 ml
pH inicial	:	11.3
CN TOTAL inicial	:	1630 ppm
CN LIBRE inicial	:	700 ppm
Equipo	:	agitador mecánico
Tiempo	:	6 horas
Dosis de FeSO ₄	:	4.0, 5.5, 6.5, 8.5 y 9.0 Kg/m ³

2.1.2 Resultados:

Como puede apreciarse en el gráfico # 10, alcanzamos una considerable reducción de cianuro al emplear de **6.5 – 8.0 Kg FeSO₄/m³** de solución, es por ello que usaremos estos 2 ratios como base para la determinación del ratio de H₂O₂ a dosificarse en la 2° etapa.

TABLA 11. Valores de CN después de la precipitación con FeSO₄.

RATIO DE FeSO ₄ (Kg/m ³)	CN libre ppm	CN total ppm
4.0	17	250
5.5	12	160
6.5	7	46
8.5	6	38
9.0	6	33

FIGURA 10. Precipitación con FeSO_4 .FIGURA 11. Pruebas de precipitación con FeSO_4 .

2.2 Determinación de la cinética de reacción para la precipitación

Analizando la cinética de la reacción tendremos:

El caso a analizar corresponde a una reacción elemental, dependiendo de que la ecuación de velocidad esté en función de la concentración de un solo reactivo, es por ello que tendremos:



Que podrá describirse mediante la ecuación de velocidad de segundo orden siguiente:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k * [A]^2 \quad (3.9)$$

La integración de esta ley de velocidad conduce a:

$$\frac{1}{[A]} = K_r * t + \frac{1}{[A]_0} \quad (3.10)$$

Y por tanto, la representación de $1/[A]$ frente al tiempo da lugar a una recta de pendiente k y ordenada en el origen $1/[A]_0$. La concentración de A experimenta una variación hiperbólica con el tiempo:

$$[A] = \frac{[A]_0}{(1+[A]_0 * k * t)} \quad (3.11)$$

La prueba a realizar se efectúa con solución reciclo de la cancha de cianuración #3.

2.2.1 Condiciones de la prueba:

Muestra	:	solución de recicló de cianuración
Volumen	:	6000 ml
pH inicial	:	11.3
pH final	:	5.5
CN _{TOTAL} inicial	:	1630 ppm
CN _{LIBRE} inicial	:	160 ppm
Equipo	:	agitador mecánico
Tiempo	:	4 horas
Dosis de FeSO ₄	:	4.5 Kg/m ³

2.2.2 Resultados:

Se obtuvieron los resultados de las columnas A y B, a las concentraciones de CN (columna B), se le invierte obteniendo la columna C, graficando A y C, se hace la regresión lineal según la ecuación (3.10), obteniendo D y posteriormente E.

TABLA 12. Datos de la cinética para la precipitación.

A	B	C	D	E
t (hr)	[CN]_{REAL} (ppm)	$\frac{1}{[CN]_{REAL}}$	$\frac{1}{[CN]_{CALCULADO}}$	[CN]_{CALCULADO} (ppm)
0.00	700	0.001	0.0017	576.827
0.33	180	0.006	0.0076	132.112
0.66	120	0.008	0.0134	74.599
1.00	70	0.014	0.0194	51.500
2.00	18	0.056	0.0371	26.953
3.00	17	0.059	0.0548	18.253
4.00	16	0.063	0.0725	13.799

Regression Output:

Constant = 0.0017
 Std Err of Y Est = 0.010
 R Squared = **0.944**
 No. of Observations = 7.000
 Degrees of Freedom = 5.000
 X Coefficient(s) = 0.0177

$$1/[\text{CN}] = 0.0017 + 0.0117 t$$

$$K = 0.0177$$

$$[\text{CN}]_0 = 576.83 \text{ ppm}$$

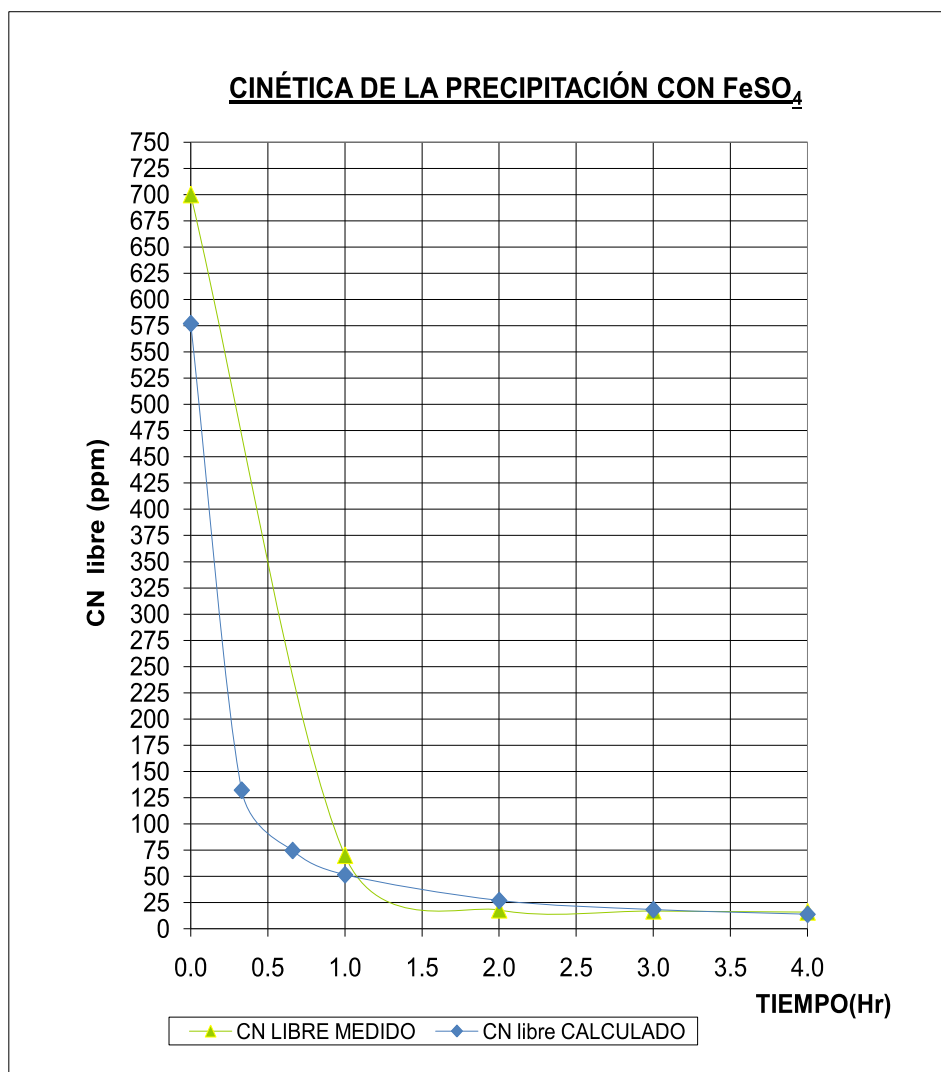


FIGURA 12. Precipitación con FeSO₄.

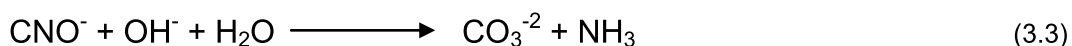
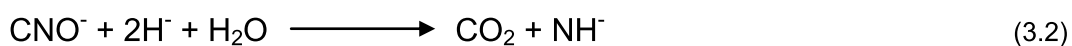
Por lo tanto la ecuación que representa la cinética de reacción de segundo orden, llega a expresarse de la siguiente manera:

$$[CN_{LIBRE}] = \frac{576.83}{(1 + 576.83 * 0.0177 * t)} \quad (3.12)$$

como se puede observar, se llega a alcanzar la destrucción del cianuro entre las 3 y 4 horas, es por ello que se emplean los agitadores necesarios para alcanzar el tiempo de retención óptimo para esta primera etapa, que es considerado como **3 horas de agitación**.

2.3 Determinación de la dosis de peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

En esta etapa se busca la oxidación del CN⁻ a cianato, CNO⁻, el cual es 1000 veces menos tóxico que el cianuro, posteriormente el cianato se oxidará completamente a CO₃⁻² y NH₃, según las siguientes reacciones:



Según el diagrama Eh-pH, de CN-H₂O, a 25 °C, FIGURA 13, se tiene que mediante la oxidación se llega al compuesto estable de CNO⁻.

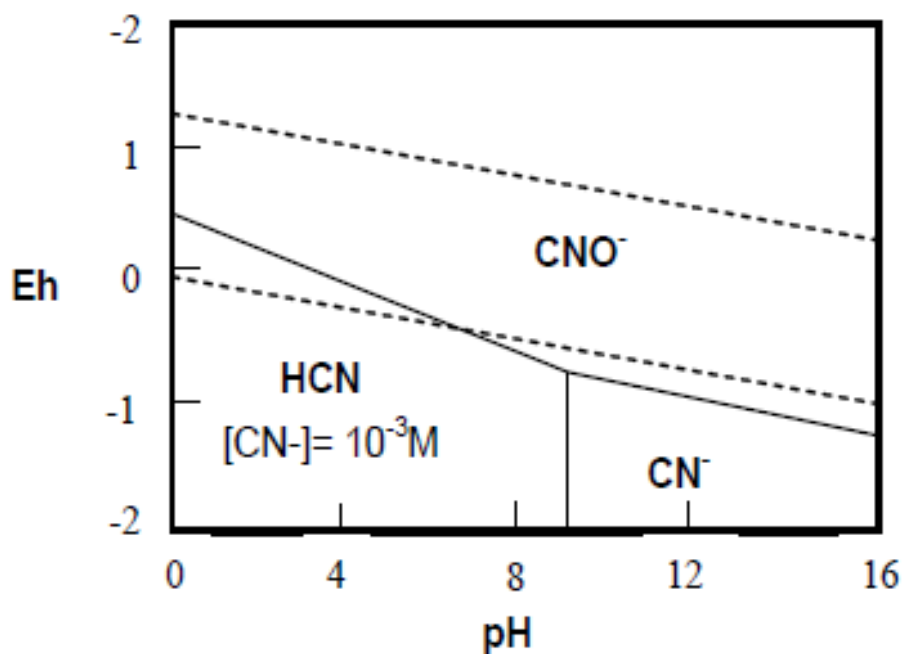


FIGURA 13. Diagrama Eh-pH, para CN – H₂O, a 25 °C y 1 Atm.

2.3.1 Condiciones de la prueba:

Muestra	: solución resultante de la precipitación con 6.5 Kg FeSO ₄ /m ³
Volumen	: 2000 ml
pH inicial	: 5.6
CN _{TOTAL} inicial	: 46 ppm
CN _{LIBRE} inicial	: 7 ppm
Equipo	: agitador magnético
Tiempo	: 6 horas
Dosis de H ₂ O ₂	: 2.5, 3.5, 4.5 y 7.5 Kg/m ³

2.3.2 Resultados:

En este caso se realizaron pruebas de oxidación con H_2O_2 , variando la dosificación de este reactivo; los resultados se muestran en la tabla 13:

TABLA 13. CN libre a diferente dosificación de H_2O_2 .

Tiempo (hr)	CN libre (ppm)			
	2.5 Kg/m ³	3.5 Kg/m ³	4.5 Kg/m ³	7.5 Kg/m ³
0.0	7.0	7.0	7.0	7.0
0.5	2.5	2.0	2.0	3.0
1.0	2.0	1.5	1.0	2.0

Necesitamos determinar que dosificación tenemos una reacción más rápida, considerando una **reacción de primer orden para los primeros 3 puntos de cada prueba** y empleando la ecuación (3.4) para calcular la constante de reacción, para cada prueba:

$$\frac{d[A]}{dt} = -K_r * [A] \longrightarrow [A]_t = -K_r * t + [A]_0 \quad (3.4)$$

TABLA 14. K_r obtenidos por regresión lineal de los datos de la TABLA 11.

H_2O_2 (Kg/m ³)	K_r
5.0	2.5
5.5	3.5
6.0	4.5
5.5	7.5

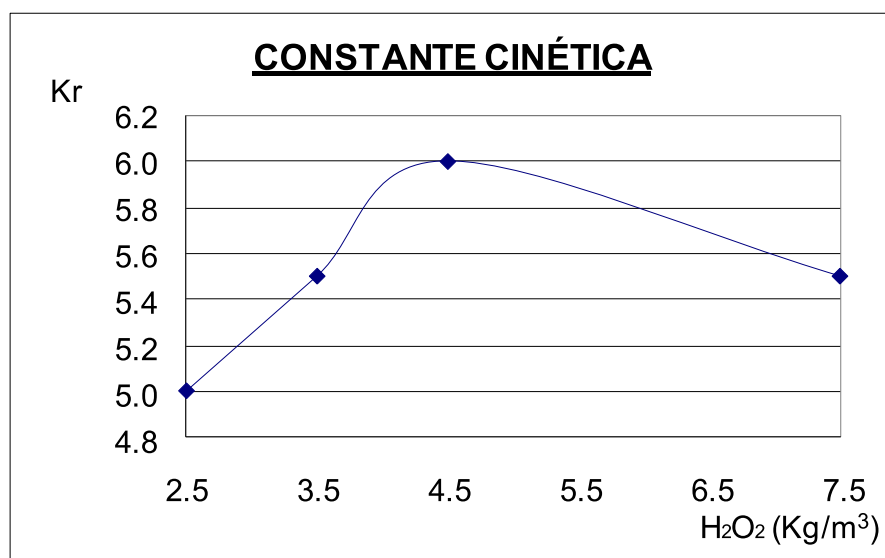


FIGURA 14. Velocidad de reacción para la oxidación con H₂O₂.

Se nota un **máximo Kr para 4.5 Kg H₂O₂/m³**, es por ello que la solución resultante de la precipitación con FeSO₄ será oxidada con solución de H₂O₂ al 50% con 1.19 Kg/l de densidad, a las siguientes proporciones:

- 4.5 Kg H₂O₂/m³ de solución ó 3.78 litros/m³
- 7.5 Kg H₂O₂/m³ de solución ó 6.30 litros/m³

2.4 Determinación de la cinética de reacción para la oxidación

2.4.1 Condiciones de la prueba:

Muestra	: solución resultante de la precipitación con 6.5 y 8.0 Kg FeSO ₄ /m ³
Volumen	: 2000 ml
pH inicial	: 5.6
CN _{TOTAL} inicial	: 46 ppm

CN LIBRE inicial : 7 ppm
 Equipo : agitador magnético
 Tiempo : 4 horas
 Dosis de H₂O₂ : 4.5 y 7.5 Kg/m³

2.4.2 Resultados:

A. *Precipitado con 6.5 Kg de FeSO₄/m³ solución:*

TABLA 15. Datos de oxidación con H₂O₂.

Tiempo horas	4.5 Kg H ₂ O ₂ /m ³		7.5 Kg H ₂ O ₂ /m ³	
	CN libre	CN total	CN libre	CN total
0.0	7	46	7	46
0.5	2	ND	3	ND
1.0	1	ND	2	ND
2.0	1	ND	1.5	ND
4.0	1	3.1	1	4.2

ND: No Determinado, no medido.

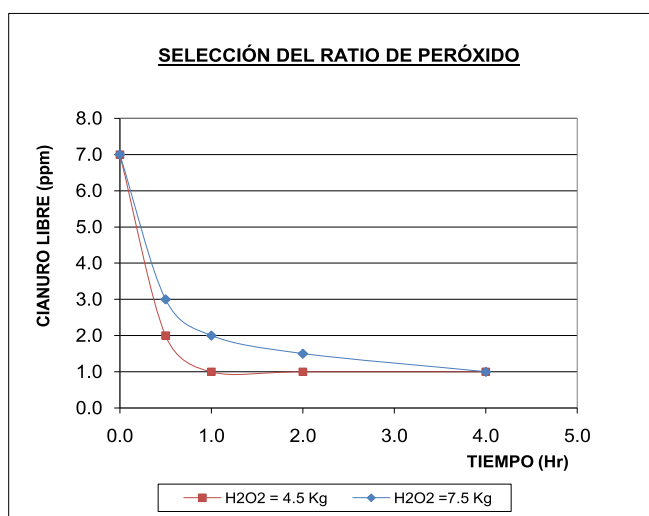


FIGURA 15. Oxidación con H₂O₂.

B. Precipitado con 8.0 Kg de FeSO_4/m^3 solución:

TABLA 16. Datos de oxidación con H_2O_2 .

Tiempo horas	4.5 Kg $\text{H}_2\text{O}_2/\text{m}^3$		7.5 Kg $\text{H}_2\text{O}_2/\text{m}^3$	
	CN libre	CN total	CN libre	CN total
0.0	6	38	6	38
0.5	2	ND	2.5	ND
1.0	1	ND	2	ND
2.0	1	ND	1	ND
4.0	1	2.6	1	3.7

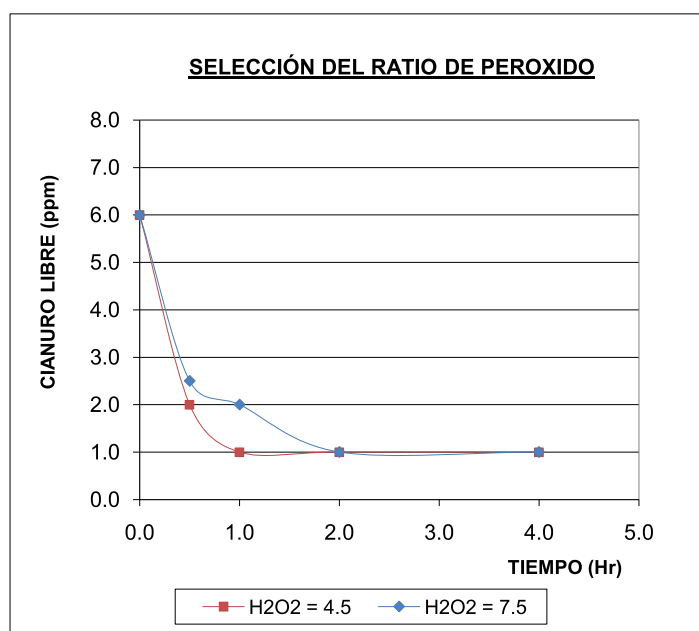


FIGURA 16. Oxidación con H_2O_2 .

En las tablas 13 y 14, se puede observar que la cantidad de **4.5 Kg de H_2O_2** , es suficiente para lograr reducir el **Cianuro Total a valores de 3 ppm**. Además el comportamiento de las soluciones precipitadas con ferroso son similares es por ello se considera el de menor consumo de FeSO_4 , es decir, **6.5 Kg de FeSO_4** .

2.5 Selección y dosificación del floculante

En la actualidad se está empleando como floculante para los lodos de la primera etapa el MAGNAFLOC 351 y por efecto del alto consumo de este reactivo (10 g/m^3 de solución o 10 ppm), se vio necesario la optimización de la dosificación del mismo o encontrar otro con mayores beneficios, es por ello que se realizaron las siguientes pruebas de sedimentación:

- Dosificación del MAGNAFLOC 351 y empleo de coagulante
- Comparación entre diferentes reactivos para sedimentación.
- Dosificación del AR-2507 ARENAS (alternativa)

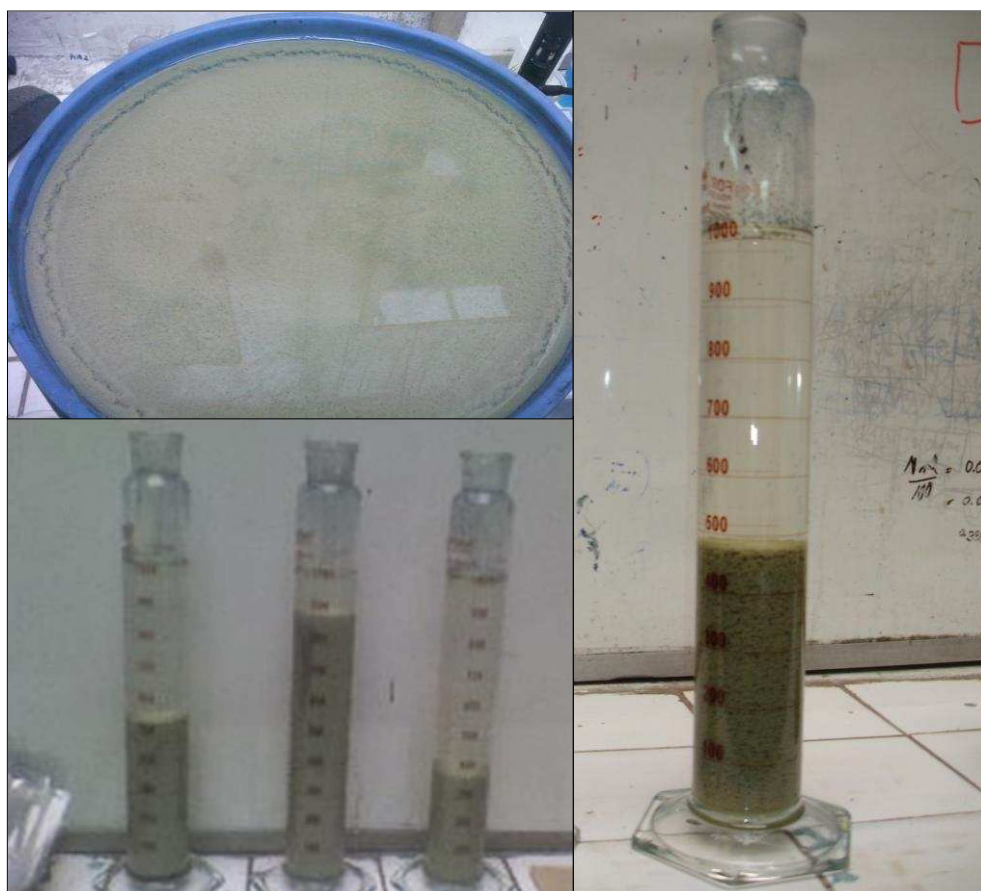


FIGURA 17. Usos industriales del cianuro

2.5.1 Dosificación de MAGNAFLOC 351

En esta prueba se observa que la cantidad óptima de Magnafloc 351, a dosificar es de 10 ppm y que en nada ayuda la adición de coagulante para la reducción del tiempo de sedimentación, además de ser un costo extra que no amerita hacerse. Además el nivel de turbidez alcanzado en estas 3 pruebas es muy cercano entre sí.

TABLA 17. Prueba de sedimentación

H (cm)	MAGNAFLOC 351		
	6 ppm	10 ppm	10 ppm + 20 ppm coag.
36.00	0.14	0.00	0.00
35.28	0.16	0.72	7.20
34.56	0.12	0.72	7.20
34.20	0.15	0.72	7.20
33.12	0.12	0.96	0.89
32.40	0.12	1.03	0.65
30.60	0.12	1.35	0.45
29.52	0.11	1.30	0.43
28.08	0.13	1.44	0.50
Veloc. Promedio	0.13	0.91	3.07
Turbidez (NTU)	77	80	66

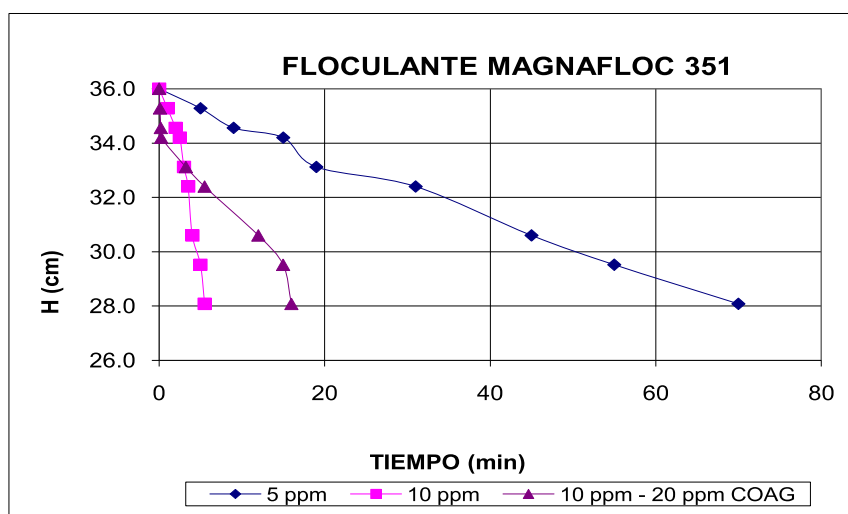


FIGURA 18. Sedimentación con Magnafloc 351.

2.5.2 Comparación entre diferentes floculantes

En esta prueba se observa que a 6 ppm de dosificación, el floculante AR-2507 cuenta con una mayor velocidad de sedimentación frente a los otros reactivos. Además el nivel de turbidez alcanzado por el reactivo AR-2507 genera una solución con menos nivel de turbidez que los otros reactivos.

TABLA 18. Prueba de sedimentación

H (cm)	VELOCIDAD CON 6 ppm DE FLOCULANTE		
	AR-2507 ARENAS	F-62020 OXIQUIM	1010 CHEMFLOC
36.00	0.00	0.00	0.00
35.28	3.60	3.60	7.20
34.56	5.14	2.88	4.80
34.20	5.00	1.64	3.60
33.12	7.20	1.37	2.57
32.40	7.20	1.64	2.57
30.60	4.50	1.35	2.35
29.52	3.24	1.08	0.92
28.08	2.64	1.08	0.65
Veloc. Promedio	4.82	1.63	3.08
Turbidez (NTU)	8.5	13.3	16

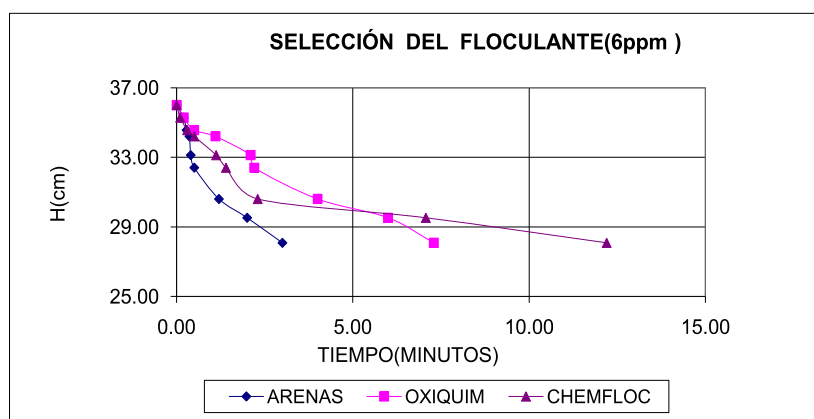


FIGURA 19. Sedimentación con varios floculantes.

2.5.3 Dosificación de AR-2507 ARENAS

En esta prueba se observa que al adicionar un coagulante conjuntamente con el floculante AR-2507 se tiene un incremento en la velocidad de sedimentación y es notable la mejora en la clarificación (cuenta con solo 7.3 NTU de turbidez).

TABLA 19. Prueba de sedimentación

H (cm)	AR-2507 ARENAS		
	4 ppm	5 ppm	6 ppm + 40 ppm coag.
36.00	0.00	0.00	0.00
35.28	7.20	7.20	7.20
34.56	5.76	7.20	7.20
34.20	3.60	6.00	7.20
33.12	2.06	5.76	6.40
32.40	1.16	3.00	3.00
30.60	1.06	2.70	3.86
29.52	1.08	2.95	3.24
28.08	1.08	3.30	3.67
Veloc. Promedio	2.88	4.23	5.22
Turbidez (NTU)	20.6	21.0	7.3

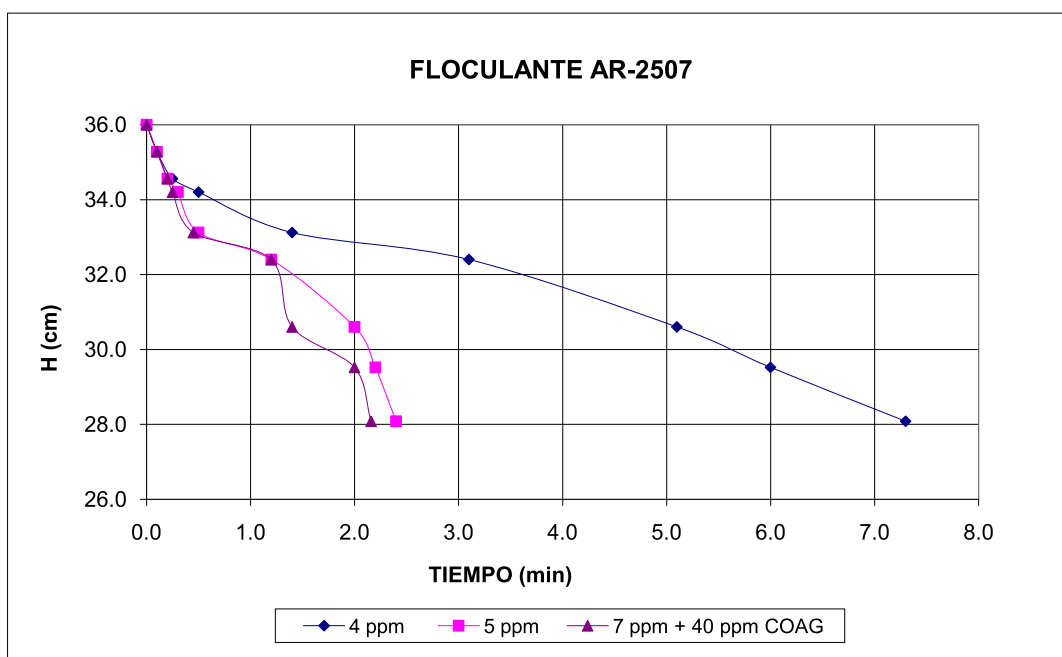


FIGURA 20. Sedimentación con AR-2507.

Se puede notar que la cantidad óptima de Magnafloc 351, a dosificar es de 10 ppm y que en nada ayuda la adición de coagulante para la reducción del tiempo de sedimentación. Además debe de evaluarse el reemplazo de este floculante por el AR-2507 que tiene un incremento en la velocidad de sedimentación y mejora en la clarificación.

2.6 Adsorción con carbón activado

Se tiene una recuperación de 91% de oro y 33% de plata en las soluciones de degradación por adsorción con carbón activado. Por ello se considera la columna de carbón activado como medio de recuperación de valores de los grandes volúmenes de tratamiento.

- Volumen : 1 litro de solución clarificada
- Carbón activado : 30g
- Tiempo de agitación : 15 minutos

TABLA 20. Prueba de adsorción

	Au (mg/l)	Ag (mg/l)
CABEZA COLUMNA CA	0.55	0.18
COLA COLUMNA CA	0.05	0.12
ADSORCION %	90.91	33.33

2.7 Precipitación de metales

La solución de la 2° etapa se descarga hacia la poza N° 2 donde se debe

dosificar lechada de cal para precipitar los metales, en esta poza se hace el análisis de cianuro total y pH. De acuerdo a los límites se evacua al cuerpo receptor.

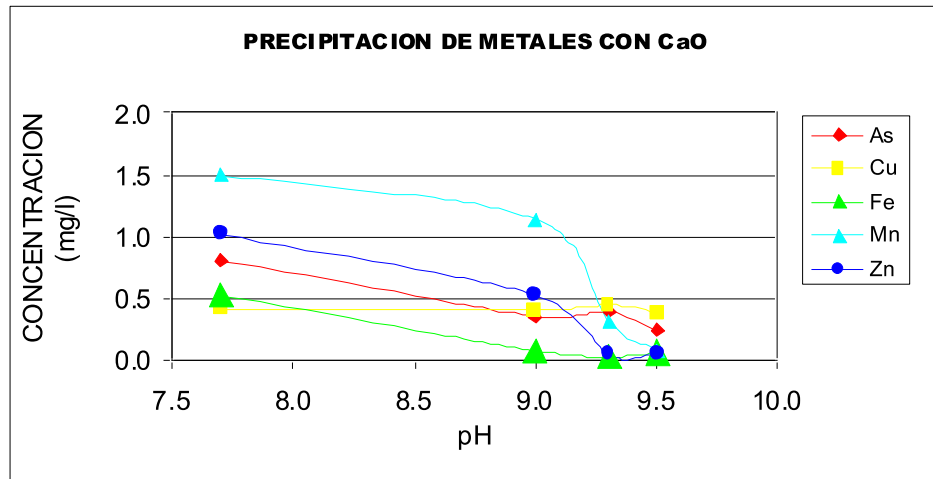


FIGURA 21. Precipitación de metales en función del pH.

CAPITULO III
OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN



FIGURA 22. Vista panorámica de la planta de Tratamiento de Efluentes.

TABLA 21. Caracterización de la solución reciclo:

CODIGO ANALISIS	pH	CN Libre ppm	CN Total ppm	As (ml/L)	Cu (ml/L)	Fe (ml/L)	Mn (ml/L)	Pb (ml/L)	Zn (ml/L)
C-02043	11.2	700	1633	196	133	462	1	9	258

Este proceso de degradación se llevó a cabo en 2 etapas:

3.1 Etapa de precipitación con sulfato ferroso

Las pruebas realizadas en laboratorio metalúrgico, determinaron que en la primera etapa es necesario agregar solamente sulfato ferroso, para obtener una mayor reducción del pH y esto ayude a que mayor cantidad del cianuro libre sea eliminado como gas cianhídrico.

La solución reciclo es llevada por sifoneo desde la cancha de cianuración # 3 hasta el agitador 6'x8' a una razón de 10.0 m³/h, se inicia bombeando con la BOMBA TSURUMY de 7.5 HP. Luego la solución es descargada por medio de tuberías de 4" hasta los agitadores 14'x14' instalados de tal manera que trabajen alternados y en BACH.

Al tener el primer agitador lleno hasta 1/3 de su altura, se inicia con la agitación (**3 horas**) y se dosifica el sulfato ferroso (FeSO₄) en el agitador 6'x8', para ser llevado al tanque 14'x14' por medio de la solución que sigue ingresando.

En esta ocasión **se cambia la descarga del agitador 6'x8'**, para evitar los cortocircuitos ya que este es un punto clave para la buena mezcla de la solución y el reactivo, logrando que los lodos no se queden en el fondo de este agitador.

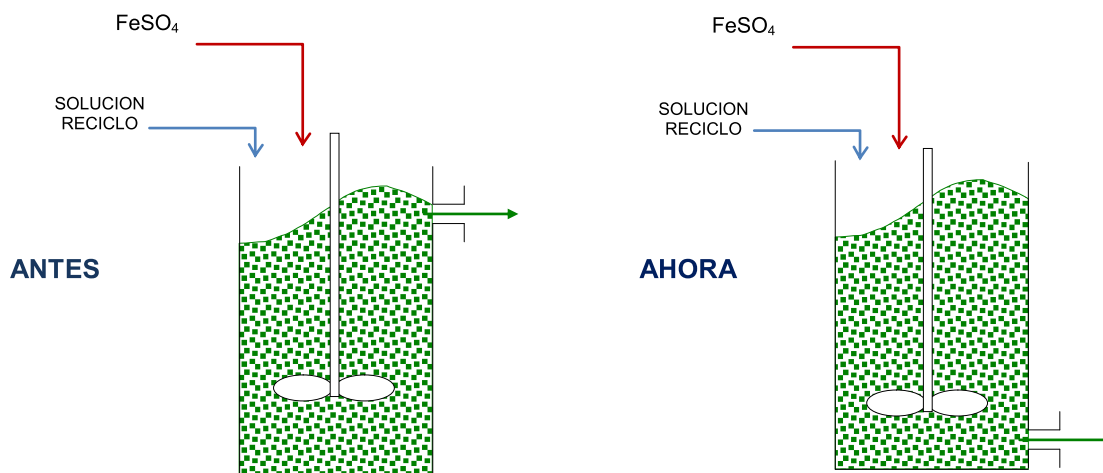


FIGURA 23. Corrección en la descarga del agitador de paso 6'x8'.

Al llenar el agitador 14'x14' hasta el 95% de su volumen, se cambia el ingreso hacia el agitador vacío y se repite la operación de dosificación del sulfato ferroso (FeSO_4).



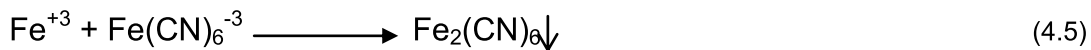
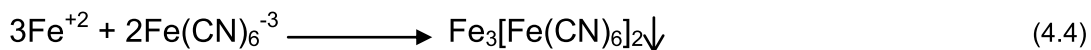
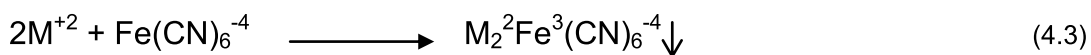
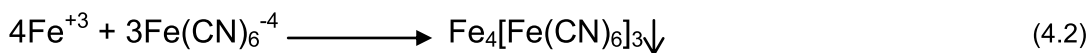
FIGURA 24. Cambio de alimentación del agitador 14'x14' # 1 y # 2.

Tener en cuenta que 15 minutos antes de descargar el agitador 14'x14' en la poza # 1, se agregan 500g de Magnafloc para acelerar la sedimentación de los lodos en dicha poza.



FIGURA 25. Descarga del lodo sobre la poza #1, para su sedimentación.

Las reacciones que se llevan a cabo son:



M = Zn, Cu, Ni, Fe, etc.

3.2 Etapa de oxidación con peróxido de hidrógeno

La solución depositada en la poza # 1 tiene un pH=6.5, este es un pH DE TRABAJO ÓPTIMO ($\text{pH} \leq 6.5$), es por ello que NO FUE NECESARIO RECIRCULAR LA SOLUCIÓN NI ADICIONAR FeSO_4 antes de iniciar la etapa de oxidación.

Culminada la etapa de precipitación se pasa a la etapa de oxidación, en la que se adiciona H_2O_2 ; se emplea una BOMBA VERTICAL 1½"X24" de 6.6 HP, con un caudal de bombeo de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (ver figura 26).



FIGURA 26. Bombeo de la solución clarificada a hacia la etapa de oxidación.

La solución fue pasada por los Pachucas #1 y #2, estos equipos sedimentaron las partículas de lodos que pudieron ser jaladas con la solución, se pusieron en operación los filtros prensa para evitar que estos tanques Pachuca se sobrecarguen y pasen los lodos a los agitadores.



FIGURA 27. Filtrado de los lodos del fondo de los tanques Pachuca.

La solución bombeada pasa por los agitadores 14'x14' #1 y #2, instalados en serie, y finalmente el rebose de este último se deposita en la poza #4. Luego de verificar sus valores en CN total y metales disueltos, se bombearon con la BOMBA TOYO de 7 HP, hacia la poza #2, donde se mezcló con la solución del subdrenaje, para su evacuación final.

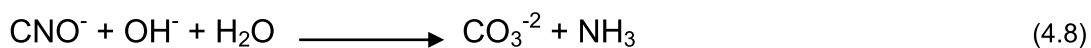
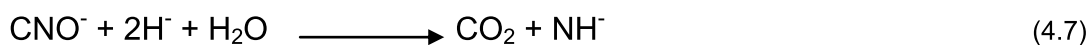
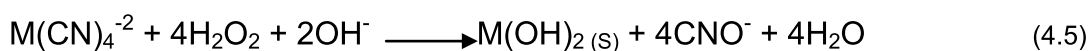
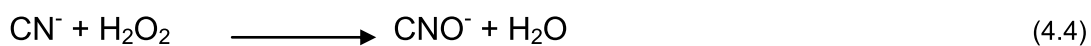
TABLA 22. Caracterización de la solución reciclo:

REACTOR	VOLUMEN(m ³)	VOL. EFICAZ(m ³)	TIEMPO DE RESIDENCIA (Hr)
AGITADOR 14'x14' # 1	61.0	55.00	5.5
AGITADOR 14'x14' # 2	61.0	55.00	5.5
TIEMPO TOTAL			11.0



FIGURA 28. Descarga de la solución hacia la poza # 4

Las reacciones que se llevan a cabo son:



3.3 Esquema del proceso

Se muestra el esquema del proceso de degradación realizado, acompañado de los valores de cianuro total después de cada etapa de dicho proceso y del respectivo pH de trabajo.

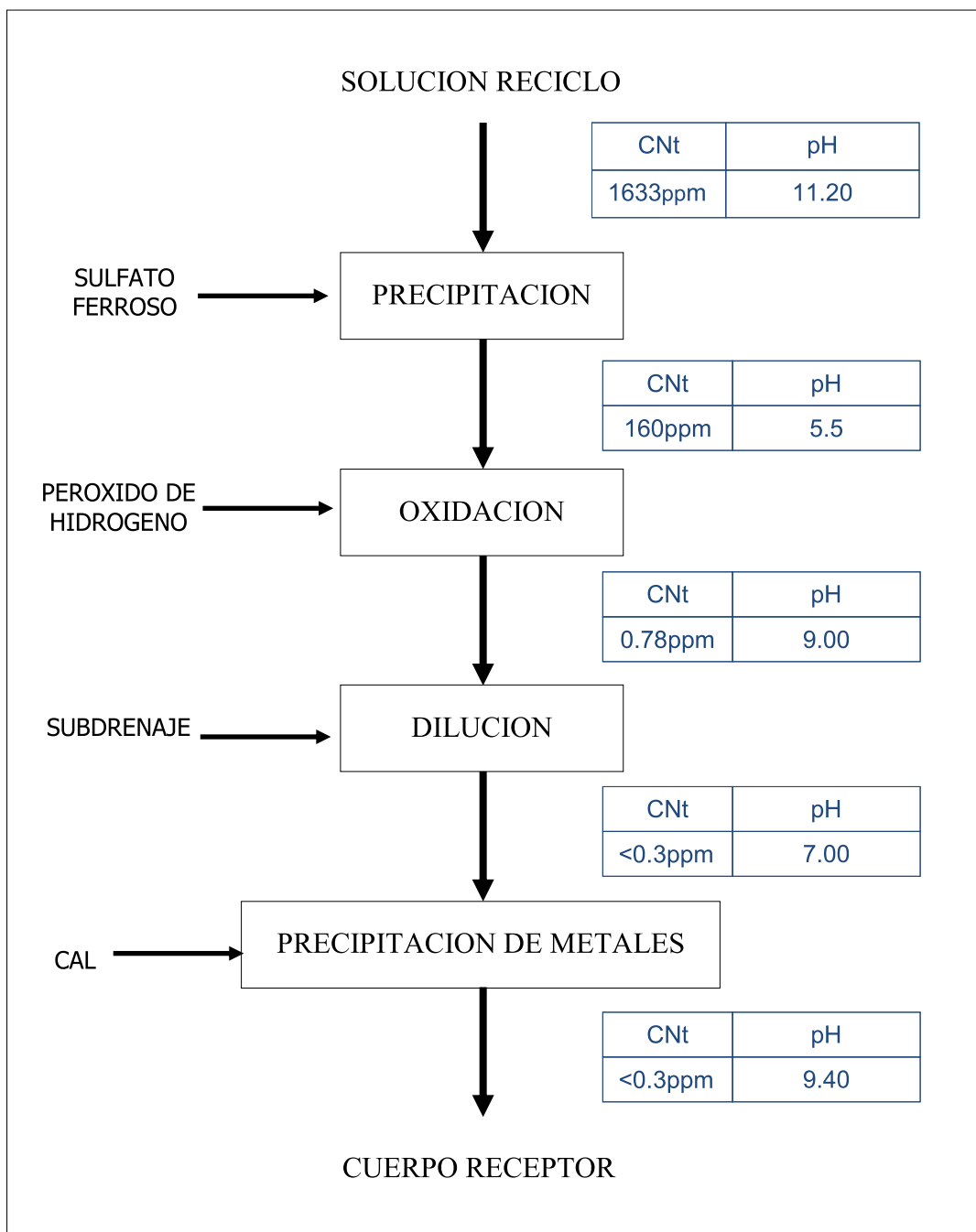


FIGURA 29. Esquema resumido del proceso optimizado

3.4 Resultados

Después de la optimización del proceso, estamos en la capacidad de generar una solución final que cumple con los siguientes contenidos de cianuro y metales.

TABLA 23 Y 24. Caracterización de la solución reciclo

EFLUENTE	CN Total	CN Libre	pH
LMP	1	0.1	9
SOLUCION RECICLO	1633	700	11.2
SOLUCION FINAL	0.78	0	9.0

EFLUENTE	Cu	Fe	Zn	Mn	As	Pb
LMP	1	2	3	0.5	1	0.4
SOLUCION RECICLO	70	462	258	1	196	9
SOLUCION FINAL	0.02	1.1	0.32	0.45	0.001	0.04

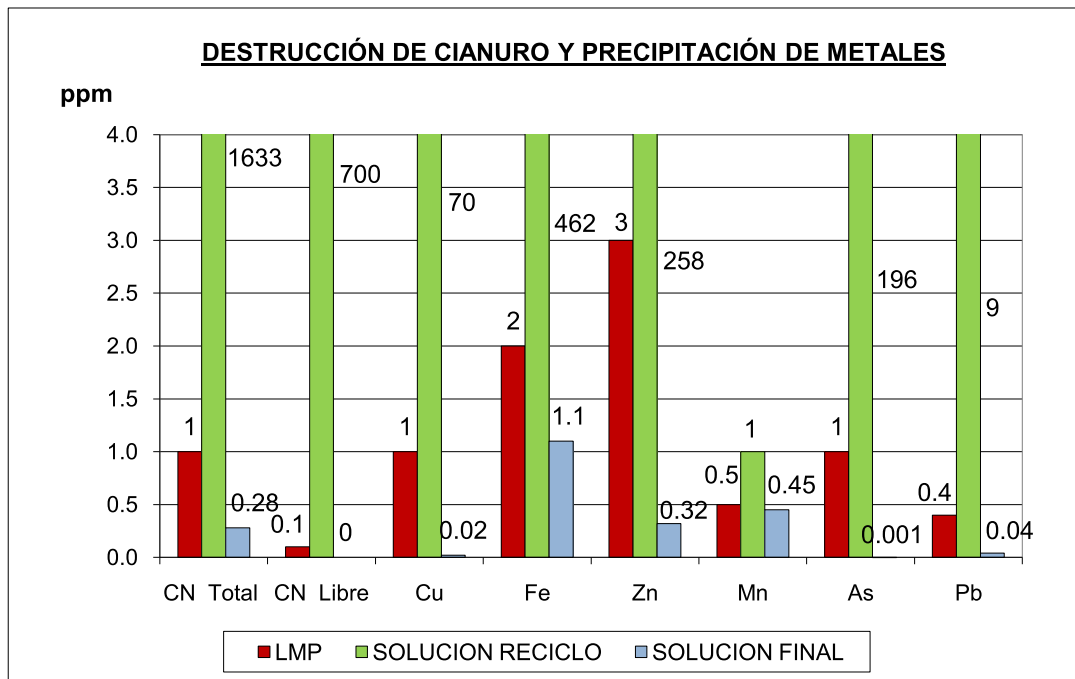


FIGURA 30. Precipitación con FeSO_4 .

3.5 Cálculo del costo del proceso

En la actualidad se está empleando como floculante para los lodos de la primera etapa el MAGNAFLOC 351 y por efecto del alto consumo de este reactivo (10 g/m³ de solución o 10 ppm), se vio necesario la optimización de la dosificación del mismo o encontrar otro con mayores beneficios, es por ello que se realizaron las siguientes pruebas de sedimentación:

3.5.1 Costo del personal

TABLA 25. Costo del personal

<i>PERSONAL</i>	<i># TURNO</i>	<i># DIAS</i>	<i>SUELDO DIARIO (US\$)</i>	<i>COSTO (US\$)</i>
Supervisión	1	15	43.01	645.16
Operador 3	3	15	14.52	653.23
				1,298.39

COSTO TOTAL DEL PERSONAL: US\$ 1,298.39

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 1.07

NOTA:

- Se asumen los sueldos de Supervisor (S/. 4,000.00) y Operador 3 (S/. 1,800.00).
- Se consideran 15 días de trabajo: 1 día de preparación, 6 días de precipitación, 5 días de oxidación y 3 días de bombeo de lodos.
- Se considera el valor del cambio de dólar S/. 3.10.

3.5.2 Costo de insumos

a) Etapa de Precipitación:

TABLA 26. Costo de reactivos en etapa de precipitación

REACTIVO	CONSUMO (Kg)	COSTO (US\$)		
		UNITARIO (US\$/Kg)	TOTAL (US\$)	US\$/m ³ SOLUCIO N
Sulfato Ferroso	7725.00	0.70	5,407.50	4.47
Magnafloc	11.00	5.54	60.94	0.05
			5,468.44	4.52

b) Etapa de Oxidación:

TABLA 27. Costo de reactivos en etapa de oxidación

REACTIVO	CONSUMO (Kg)	COSTO (US\$)		
		UNITARIO (US\$/Kg)	TOTAL (US\$)	US\$/m ³ SOLUCIO N
Peróxido de Hidrógeno	5448.71	0.78	4,250.00	3.51
Magnafloc	0.80	5.54	4.43	0.004
			4,254.43	3.52

Entonces:

COSTO TOTAL DEL REACTIVO: US\$ 9,722.87

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 8.04

3.5.3 Costo de la energía eléctrica

Costo de la energía eléctrica: 0.53 US\$/KWH

a) Etapa de precipitación:

TABLA 28. Costo de energía eléctrica en etapa de oxidación

<i>EQUIPO</i>	<i>HP</i>	<i>VOLT. (V)</i>	<i>I (A)</i>	<i>KW</i>	<i>HORAS TRAB.</i>	<i>KWH</i>	<i>US\$</i>
Agitador 14´x14´# 1	15	440	13.8	8.38	93.55	784.26	41.57
Agitador 14´x14´# 2	15	440	12.8	7.81	68.69	536.81	28.45
Agitador 6´x8´	10	440	13.8	4.82	44.00	370.65	19.64
Bomba Tsurumy	7.5	440	7.4	4.49	44.00	197.38	10.46
						1,889.11	

COSTO DE LA ENERGIA (PRECIPITACION): US\$ 100.12

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 0.08

b) Etapa de oxidación:

TABLA 29. Costo de energía eléctrica en etapa de oxidación

<i>EQUIPO</i>	<i>HP</i>	<i>VOLT. (V)</i>	<i>I (A)</i>	<i>KW</i>	<i>HORAS TRAB.</i>	<i>KWH</i>	<i>US\$</i>
Agitador 14´x14´# 1	15	440	13.5	8.24	120.30	991.42	52.55
Agitador 14´x14´# 2	15	440	12.6	7.65	108.95	833.75	44.19
Bomba Vert. 1½"x24"	6.6	440	8.1	4.97	109.03	542.23	28.74
Bomba Tsurumy	7.5	440	6.8	4.16	43.36	180.43	9.56
Bomba Vert. Goulds	10	440	3.9	2.37	93.06	221.01	11.71
Compresora IR # 6	5.3	440	6.7	4.06	34.12	138.52	7.34
						2,907.36	

COSTO DE LA ENERGIA (OXIDACION): US\$ 154.09

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 0.13

c) Etapa de bombeo de lodos:

TABLA 30. Costo de energía eléctrica en etapa de bombeo de lodos

<i>EQUIPO</i>	<i>HP</i>	<i>VOLT. (V)</i>	<i>I (A)</i>	<i>KW</i>	<i>HORAS TRAB.</i>	<i>KWH</i>	<i>US\$</i>
Bomba Tsurumy	10	440	13.9	8.46	24.00	203.15	10.77
						203.15	

COSTO DE LA ENERGIA (BOMBEO LODOS): US\$ 10.77

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 0.01

Entonces:

COSTO TOTAL DE LA ENERGIA: US\$ 264.98

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 0.22

3.5.4 Costo del secado de filtros

Para el caso del secado de los filtros prensa, durante la etapa de oxidación, se empleo la COMPRESORA DIESEL # 13.

- Consumo de diesel: 50 gln
- Costo del diesel: 2.80 US\$/gln

Entonces:

COSTO TOTAL DEL DIESEL: US\$ 140.00

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 0.12

3.5.5 Costo del bombeo y traslado de lodos

TABLA 31. Costo del bombeo y traslado de lodos

<i>DESCRIPCION</i>	<i>CONSUMO</i>	<i>COSTO UNITARIO</i>	<i>COSTO(US\$)</i>
1.- Alquiler del cisterna	3 días	96.77 US\$/día	290.32
2.- Diesel consumido	48 gln	2.80 US\$/gln	134.40
			424.72

COSTO TOTAL DEL BOMBEO : US\$ 424.72

POR m³ DE SOLUCION TRATADA : US\$ 0.35

NOTA: Información entregada por el Supervisor de Transportes.

- Alquiler del camión cisterna: S/. 9,000.00 mensuales por 12 horas de trabajo.
- El camión cisterna consume 4 gln de combustible en 01 hora de trabajo.

3.5.6 Costo total del proceso

TABLA 32. Costo total del proceso

<i>DESCRIPCION</i>	<i>COSTO TOTAL (US\$)</i>	<i>COSTO UNITARIO (US\$/m³ sol.)</i>
1.- Costo del personal	1,298.39	1.07
2.- Costo de reactivos	9,722.87	8.04
3.- Costo de energía eléctrica	264.98	0.22
4.- Costo del secado del filtro prensa	140.00	0.12
5.- Costo del bombeo y traslado de lodos	424.72	0.35
	11,850.96	9.79

Por lo tanto tenemos:

COSTO TOTAL DEL PROCESO DE DEGRADACION: US\$ 11,850.96

POR m³ DE SOLUCION TRATADA: US\$ 9.79

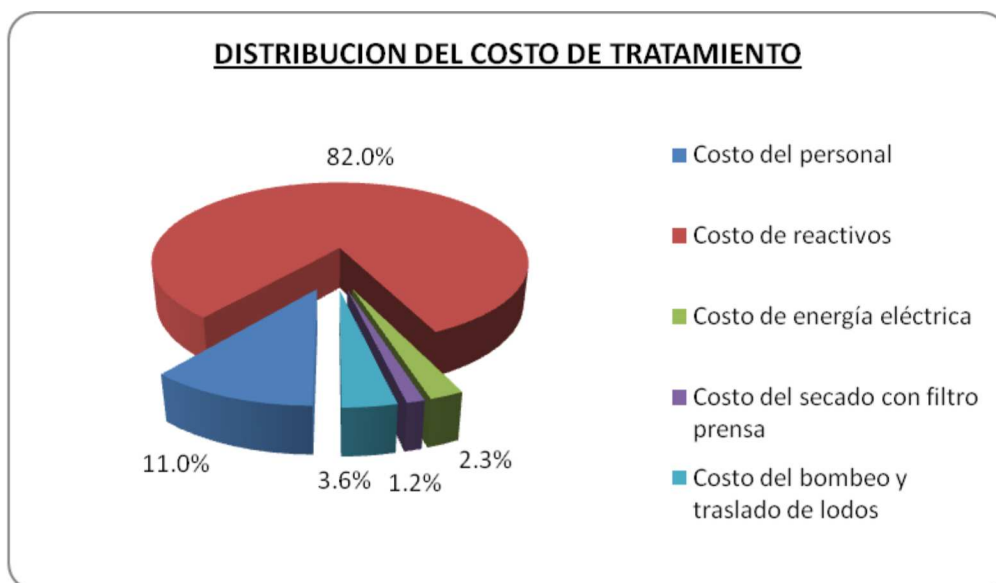


FIGURA 31. Distribución del costo de tratamiento

Se puede notar que el 82.0 % del costo esta empleado en reactivos, de los cuales el FeSO₄ es de 45.83 %, el H₂O₂ es de 35.86 % y el Magnafloc es de 0.55 %.

CAPITULO IV

MEJORAS A EVALUAR

En este capítulo se dan algunas recomendaciones para mejorar en el aspecto operativo del proceso de degradación, como puede ser la implementación de filtros prensa para la mejor disposición final de los lodos generados.

4.1 Implementación de un filtro prensa para los lodos generados

Con la finalidad de darle una mejor disposición los lodos de la precipitación con sulfato ferroso, en el proceso de degradación de la solución de cianuro acumulada en nuestras canchas, se hace el cálculo para dimensionar el tamaño del filtro prensa. Los datos para el cálculo se basan, en la prueba realizada a nivel de pilotaje, utilizando un filtro pequeño del MC USA 24"x 24" x 16 cámaras. Como determinamos el % de humedad de la torta, la densidad de la torta y el % de sólidos que se va a filtrar, para un volumen aproximado en cancha de 14,000 m³, entonces el tamaño de nuestra Planta debe de ser de 200 m³/día.

Con estos datos determinamos el volumen del filtro en ft^3 , el área a filtrar ft^2 , la cantidad de cámaras. Para lo cual se usa un catalogo de filtros J-Press y filtros prensa ACS.

4.1.1 Determinación del volumen (pie^3)

Utilizando la fórmula para un filtro prensa J-Press en la mayoría de las operaciones de secado:

$$Volumen\ total\ del\ filtro\ (\text{pie}^3) = \frac{GAL_T * \%WT_p * SPRG_p * 8.34}{\rho_{CAKE} \left(\frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3}\right) * \%WT_{CAKE}}$$

(5.1)

Donde:

(GAL)t = Galonaje total a filtrar (gal)

(%WT)p = % de sólidos en la pulpa que se filtra

(SPRG)p = Gravedad específica de la pulpa (sistema ingles)

ρ cake = Densidad de la torta húmeda

La densidad de la torta húmeda = Peso específico de la torta de filtro
humedad x densidad del agua

Densidad del agua = 62.4 (lbs/pie³ en el sistema ingles)

4.1.2 Condiciones de operación

- a. Cantidad de líquido almacenados = 22,000 m³
- b. Caudal a tratar = 200 m³/día
- c. Tiempo para tratar el líquido almacenado = 110 días
- d. Galonaje a tratar= 200 m³ /día = 36.69 gpm
- e. Tiempo de Lavado = 12 horas
- f. Galonaje a Filtrar:

$$GAL_T = q * t * 60 \quad (5.2)$$

Donde:

q = gpm de pulpa a filtrar

t = horas de filtrado hasta llenado de cámara con torta (tiempo en que debe descargarse y/o cosechar la torta)

Además:

g. Lodos de solución = 0.0166 % sólidos

h. Queque de filtrado = 85 % sólidos

* Cálculos en base a un ciclo de limpieza = 12 horas

Es decir, cada filtro prensa trabajará por un lapso de 12 horas, en las cuales se saturará, debiendo de ponerse en operación el otro. Al momento de dejar de filtrar en dicho filtro, este debe de ser descargado, limpiado y precoteado; quedando listo para volver a entrar en operación dentro de 12 horas.

4.1.3 Ecuación del volumen (pie³=interior de cámaras necesarias)

Aplicando las ecuaciones (5.1) y (5.2):

$$GAL_T = 36.69 * 12 * 60 = 26,416.8 \text{ galones}$$

$$\text{Volumen total del filtro (pie}^3) = \frac{26,416.8 * 0.0166 * 62.4 * 8.34}{54.98 * 85.00}$$

$$= 48.83 \text{ pie}^3$$

4.1.4 Cálculo del área de filtrado (pie²)

La prueba se realizo con dos filtros pequeños de 16 cámaras, utilizando lodos de precipitado con sulfato ferroso:

- a. Volumen filtrado = 4.3 m³
- b. Tiempo de filtrado = 4 horas
- c. Flujo = 1.075 m³/hora

Para:	1.075 m ³ /hora	11.28 m ²
	8.33 m ³ /hora	X

$$X = 87.406 \text{ m}^2 \rightarrow \text{Área} = 940.83 \text{ ft}^2$$

$$\text{S considera entonces: } \text{Área} = 1,000 \text{ ft}^2$$

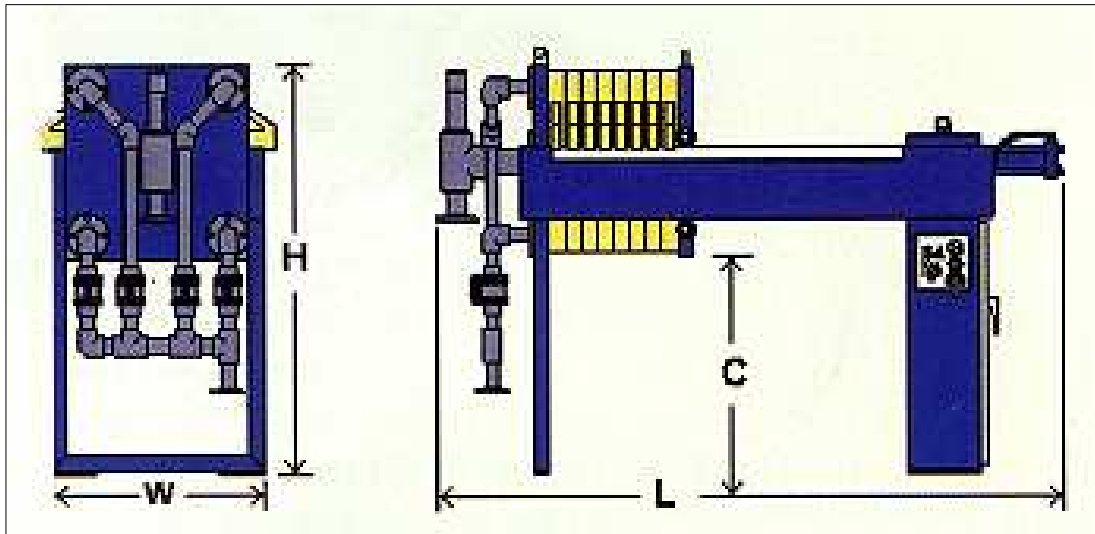


FIGURA 32. Distribución del costo de tratamiento

NOTA: Las dimensiones propias para un filtro de una determinada capacidad serán especificadas en el anexo IV.

4.1.5 Accesorios

El filtro prensa necesita trabajar con una bomba horizontal para la inyección de la pulpa a presión, también es necesario el secado de los lodos filtrados antes de la descarga y limpieza de estos, es por ello que se requieren estos equipos complementarios, de las capacidades y potencias que se indican en la tabla 35.

TABLA 35. Equipos complementarios para los filtros

Equipo	Tamaño	HP
Compresora	465 cfm	100
Bomba Horizontal	5 x 4	40

4.1.6 Conclusiones

- Se ha calculado para trabajar 200 m³/día, en donde todo el líquido acumulado se debe terminar en 110 días.
- Para que el trabajo se haga continuo debemos tener dos filtros prensas de 42 cámaras de 1m x 1m, cada uno.
- Para poder abrir y cerrar y para secar el lodo, necesitamos aire comprimido (100 PSI), para lo cual es necesario una compresora (EP 100) de 125 psi.
- Para alimentar los lodos al filtro es necesario una bomba horizontal para lodos de tamaño 5"x 4".
- Es conveniente para la primera etapa de filtrado de lodos, instalar el filtro en la zona ubicada entre las canchas de cianuración, de tal manera poder quedarnos con los lodos y solamente el líquido para la etapa de oxidación se haría en nuestra planta.

4.1.7 Cálculo del líquido en la cancha # 3

La planta de cianuración necesita una cantidad de líquido diario para repulpar, llamada solución de recicló (ver diagrama de flujo al final).

El incremento mensual de agua en cancha se hace de dos formas:

a) La diferencia entre el líquido que ingresa en el concentrado filtrado y el líquido en el lodo que se queda en la poza.

a.1) Ingreso de agua con el concentrado filtrado:

- Tratamiento en Planta = 150 TMSD
- % Sólidos = 81.814
- Relación Líquido/sólidos = 0.222
- m³ de agua/día = 33.3 m³

a.2) Líquido que se queda con los sólidos en la poza de cianuración:

- Tratamiento en Planta = 150 TMSD
- % Sólidos = 76.903
- Relación Líquido/sólidos = 0.30
- m³ de Líquido/día = 45.00 m³
- Líquido en el espejo = $45.05 - 33.3 = 11.75 \text{ m}^3/\text{día}$
- Líquido en el espejo/mes = $11.75 \text{ m}^3 \times 30 = 352.5 \text{ m}^3$
- Líquido en el espejo/año = $352.5 \text{ m}^3 \times 12 = 4,230 \text{ m}^3$

b) Caudales máximos de escorrentía, que ingresa en la época de lluvias (diciembre – abril).

Para calcular los niveles máximos de inundación, durante las épocas de lluvia (diciembre-abril), utilizamos la siguiente fórmula:

La fórmula racional es: $Q = \frac{C * I * A}{360}$

Dónde:

Q = Es el caudal en metros cúbicos por segundo

I = Es la intensidad en milímetros por hora (datos estadísticos)

A = Es la superficie de la cancha en m²

C = Es un coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

Para la cancha de cianuración N° 4:

- Área de la Cancha = 110 x 130 = 14,300 m²
- Intensidad (dic.-abril) = 114.5 mm/h = 3.18 x 10⁻⁵ m/seg
- Coeficiente de escorrentía = 0.65 superficie liza

$$Q = \frac{0.65 * 3.18 * 10^{-5} * 14,300}{360} = 0.00082 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 2,128 \text{ m}^3/\text{mes}$$

1.7.3.- La cantidad de líquido acumulado en un año:

- Líquido acumulado en meses de invierno = 10,640 m³
- Líquido que ingresa en el proceso = 11,988 m³
- Total del líquido almacenado = 22,628 m³

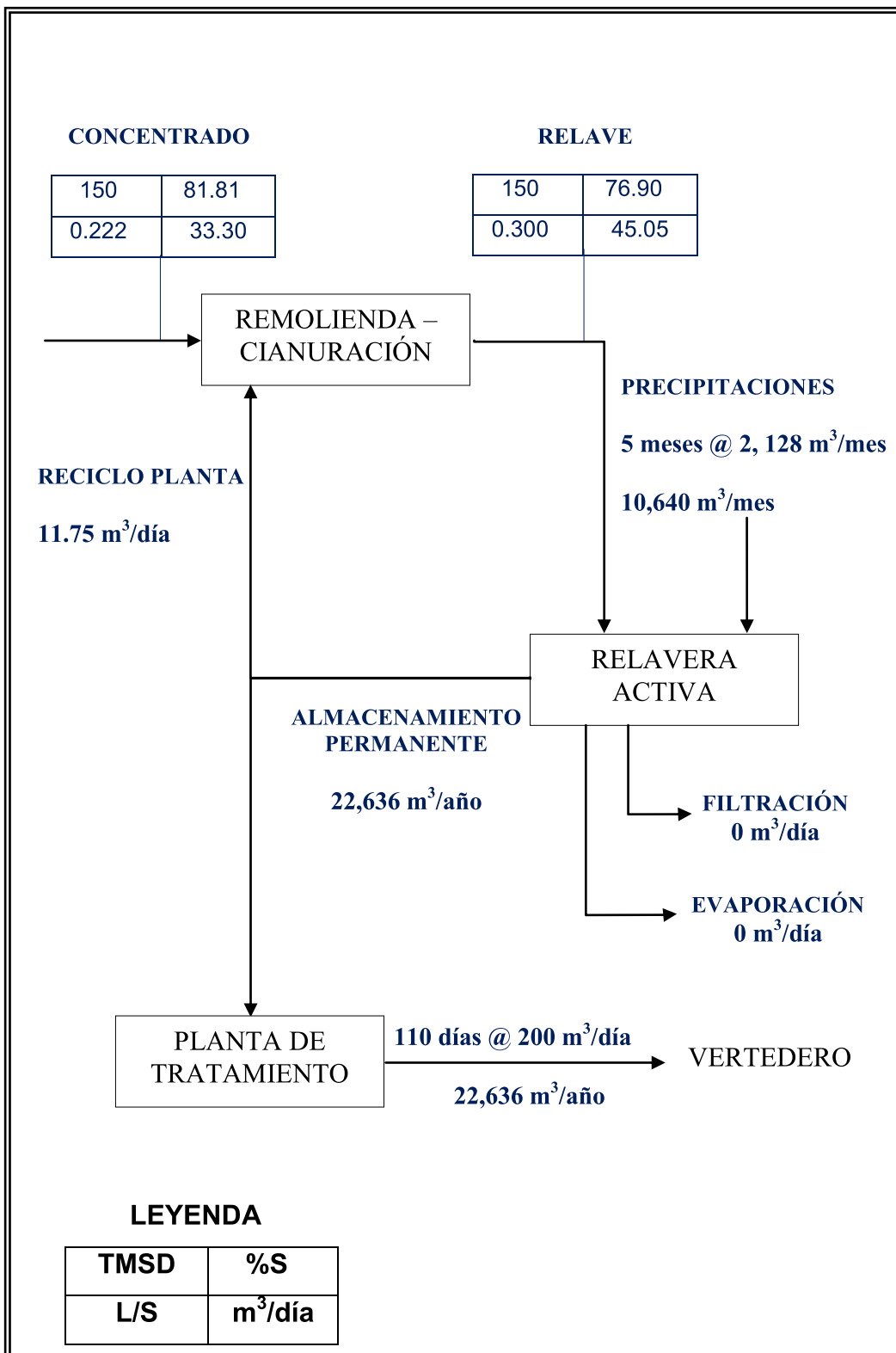


FIGURA 33. Diagrama de Flujo Balanceado de Líquidos en Cancha de Cianuración.

4.2 Traslado de la planta de degradación a la zona de relaves

4.2.1 Objetivo

La finalidad es darle una mejor disposición de los lodos de la precipitación con sulfato ferroso sobre la cancha de cianuración. La estrategia de la nueva reubicación como medida de contingencia para un mejor control del proceso.

La ubicación de la planta estará sobre la carretera antigua hacia Laguna Blanca, parte lateral de la cancha de relaves de cianuración # 4 (hacia el sur), entre las cotas 3940 y 3950 msnm (carretera actual hacia Laguna Blanca).

4.2.2 Antecedentes

Por la experiencia ya obtenida del proceso sobre el tratamiento de soluciones cianuradas en la zona de Tratamiento de Efluentes sobre el manejo de lodos (limitaciones en la capacidad de filtrado) y por las observaciones frecuentes de entes fiscalizadoras sería conveniente centralizar la disposición de estos lodos filtrados en la zona de encapsulados de los relaves de cianuración, en la cual contamos con toda la infraestructura de la planta de degradación de la zona de Tratamiento de Efluentes e involucramos el filtro prensa 24"x24", por adquirirse.

4.2.3 Descripción del proceso

La solución reciclo de cianuración de la cancha # 4 con 1630ppm de cianuro total es bombeado por una bomba Tsurumy hacia el tanque de agitación 6'x8' (5.77m³) donde se adiciona el sulfato ferroso a razón de 6.5kg/m³ y rebosa hacia el tanque 14'x14' # 1 (55m³), estos dos agitadores son tanque de reacción de la primera etapa que tendrá un tiempo de agitación por 3 horas, en esta etapa, el cianuro total se reduce a 150 ppm, trabajándose a un pH de 5.5.

La segunda etapa de oxidación inicia con el filtrado de lodos, empleándose para ello 02 filtros prensa de 24"x24". La solución filtrada se descargada al tanque 14'x14' # 2 (55 m³), donde se adiciona peróxido de hidrógeno a razón de 4 litros/m³ continuando la reacción de oxidación en los sedimentadores cónicos 8'x16' # 1 y # 2 (cada Pachuca de 18 m³) y finalmente pasan por 02 columnas de carbón activado de 4'x12' (cada una de 3.5 m³ de capacidad) para la recuperación de valores de oro y plata.

Luego la solución final disponiendo en las pozas # 1 y #2 (zona de Manganeso) para completar la etapa de oxidación teniendo un residencia total de 219 horas (9.2 días) luego de un monitoreo en la poza # 2 debemos alcanzar un CN total de 0.2 ppm y finalmente evacuar al medio ambiente.

Diagrama de flujo para la Planta de Tratamiento en la zona de relaves

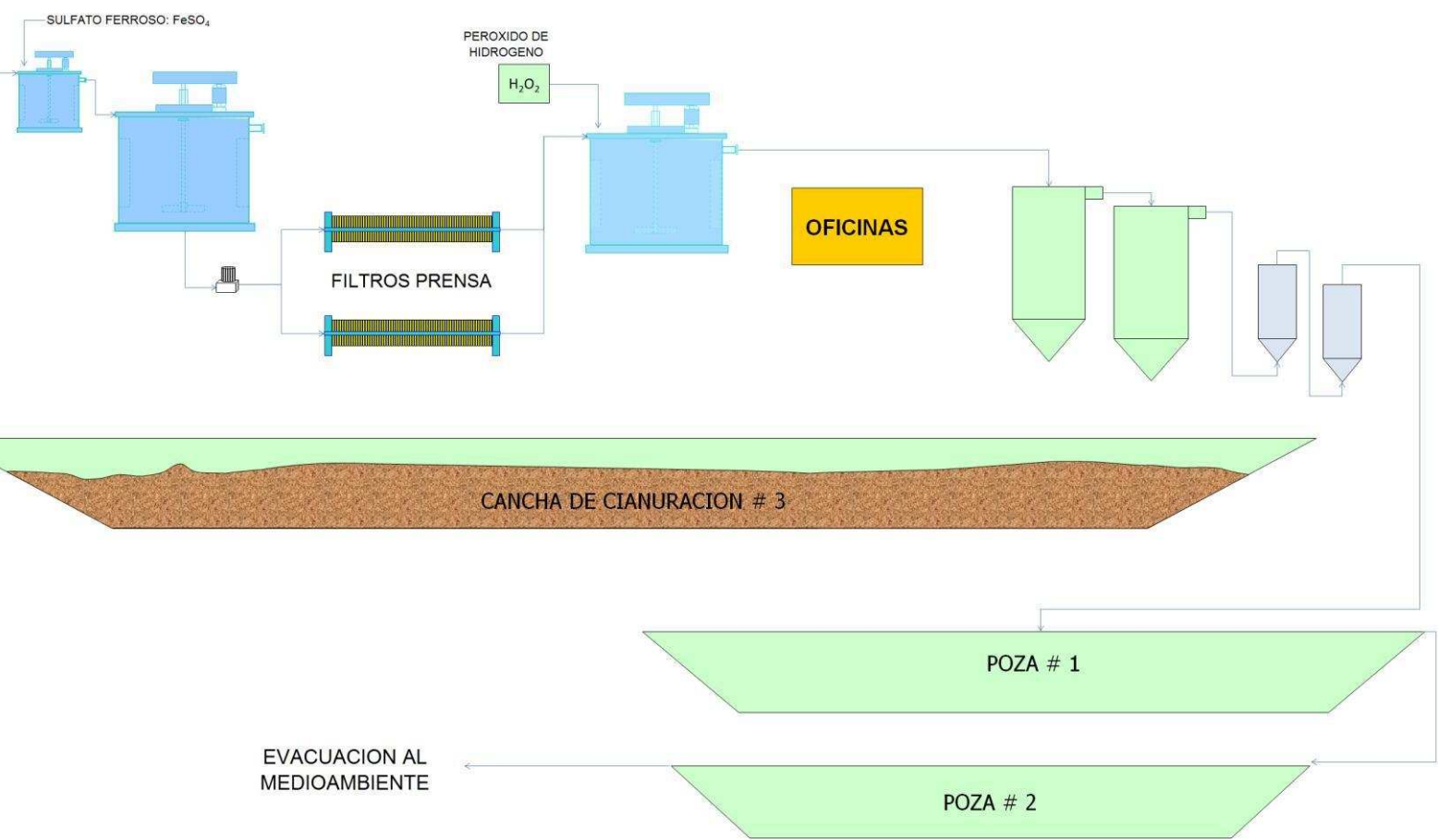


FIGURA 34. Diagrama de flujo de la nueva propuesta para la planta de degradación.

Preparación del terreno y bases de concreto para los equipos

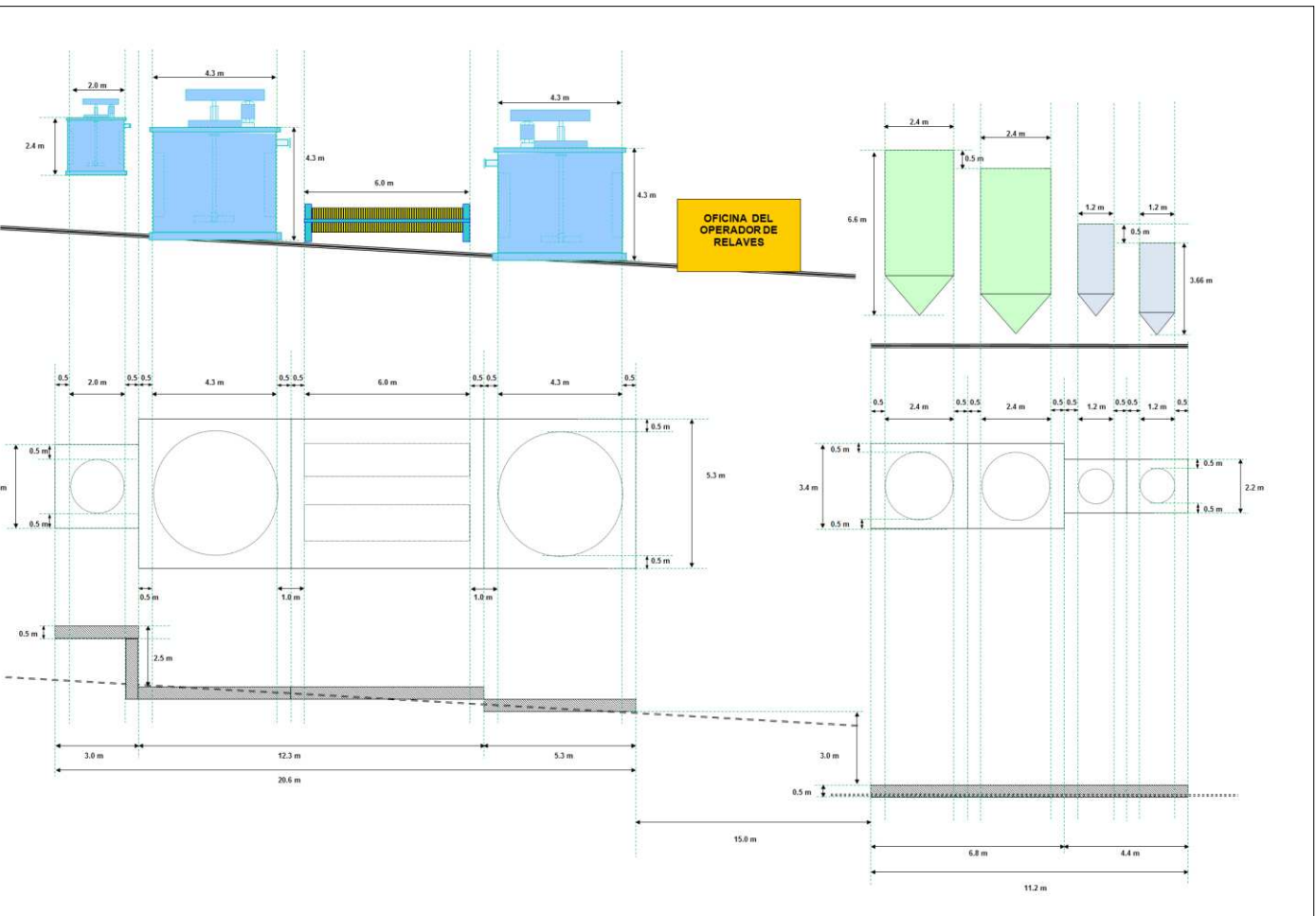


FIGURA 35. Preparación del terreno y construcción de las bases para los equipos.

4.3 Colocación de columnas de carbón activado en la etapa final del proceso

Como se comprobó en las pruebas de adsorción con carbón activado (CAP. III; 6), los complejos $\text{Au}(\text{CN})_2^{-1}$ y $\text{Ag}(\text{CN})_3^{-1}$, presentes aun en la solución final, al ser pasados por carbón activado presentarán un porcentaje de adsorción de 91% para el oro y 33% para la plata. Por ello se considera la columna de carbón activado como medio de recuperación de valores de los grandes volúmenes de tratamiento, antes de ingresar estos a la etapa de precipitación de metales.

Se considera el uso de 2 columnas de carbón de fondo cónico, con capacidad de 1,000 Kg de carbón cada una.

CONCLUSIONES

- Con esta nueva práctica, **no es necesaria la recirculación** de la solución generada en la etapa de precipitación, porque en este caso la solución resultante cuenta con las condiciones óptimas (pH y CN TOTAL), que garantizan buenos resultados en la etapa de oxidación, para su posterior evacuación.
- La gran reducción de pH en la etapa de precipitación (hasta pH=5.5), ayuda a eliminar mayor cantidad de cianuro en forma de gas HCN.
- La solución evacuada de planta de destrucción de cianuro, hacia las pozas de precipitación de metales, **NO CONTIENE PARTÍCULAS DE FERROCIANUROS EN SUSPENSIÓN**, las que le daban una tonalidad azul oscuro.
- Es importante garantizar la disolución total del reactivo en el volumen de solución tratada, asimismo de agitar el tiempo apropiado (determinado en

laboratorio y corroborado en operación) para alcanzar la máxima degradación del cianuro.

- La cinética de la reacción, para la precipitación con sulfato ferroso, es de SEGUNDO ORDEN y está regida por la siguiente ecuación:

$$[CN_{LIBRE}] = \frac{576.83}{(1 + 576.83 * 0.017 * t)}$$

- El costo del tratamiento es de US\$ 9.79 m³ de solución tratada, correspondiendo principalmente al costo de reactivos que llegaron hasta el 82 % (US\$ 8.04), debido a las dosis de 6.5 Kg de FeSO₄/m³ de solución tratada y de 4.5 Kg de H₂O₂/m³ de solución tratada. Entonces el **costo del FeSO₄ es de 45.83 %, del H₂O₂ es de 35.86 % y del Magnafloc es de 0.31 %.**
- En el laboratorio se obtuvo una solución final con 3 ppm de cianuro total a 4 horas de agitación, antes de pasar a la etapa de precipitación de metales y dilución; en operación se consiguió darle 11.5 horas de agitación y 4 días de reposo en la poza # 4, reduciendo el cianuro total hasta 0.78 ppm y luego de la precipitación de metales y la dilución con otras soluciones de efluentes de la unidad, el contenido de cianuro total se redujo a 0.28 ppm.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el traslado de la planta de degradación de cianuro hacia la zona de las relaves, para evitar la circulación de soluciones altamente tóxicas por largas distancias y en caso de emergencias las relaveras de cianuración sean empleadas como poza de eventos.
- Se recomienda la adquisición de 02 filtros prensas, cada uno de 42 cámaras de 1m x 1m; además de una compresora (EP 100) de 125 psi. y de una bomba horizontal 5"x 4", para alimentar los lodos.
- Se recomienda la pronta instalación de las columnas de carbón activado para la recuperación de valores de Au y Ag, que se encuentran en las soluciones finales como complejos cianurados fuertes, que resistieron estables a la precipitación y la oxidación. Ayuda también a la adsorción de los otros complejos metálicos cianurados fuertes presentes, reduciendo los valores de cianuro total. Los efluentes de las columnas deberán monitorearse constantemente para ser reemplazado el carbón cuando se encuentre saturado.

BIBLIOGRAFIA

1. **Adrian Smith; Terry Mudder.** 1996. Tratamiento de Residuos de Cianuración.
2. **ACS MEDIO AMBIENTE.** MANUAL DE FILTRO PRENSA ACS
http://www.acsmedioambiente.com/equipos/filtro_prensa.htm.
3. **ACS PRECIPITACION DE METALES.**
http://www.acs.com.mx/equipos/precipitacion_de_hidroxidos_metalicos.htm
4. **H. H. Haung; L. G. Twidwel; J. D. Miller.** 1986. Hidrometallurgy Tomo I. Traducido por Luis M. y Juan F. Chia Aquije. Cap.II.5. Marzo. p 235
5. **Ministerio de Energía y Minas del Perú.** 1990. Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro. Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-Metalúrgicas.

6. **M. D. Adams.** 1992. "The removal of aqueous solution by the use of ferrous sulphate". Journal of the South African Institute of mining and Metallurgy. Volume 92. Jan. pp 17-25.

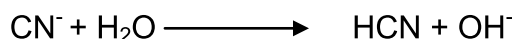
7. **J. Marsden; I. House.** 1993. "The chemistry of gold extraction". Edit. Ellis Horwood.

ANEXOS

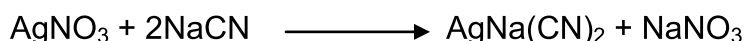
ANEXO I

DETERMINACION DEL CIANURO LIBREMETODO VOLUMETRICO**1. PRINCIPIO DEL METODO**

Se emplea este método para medir concentraciones mayores a 5 ppm y en soluciones claras. El objetivo es medir el “cianuro libre”, comprendido tanto por el ión cianuro (CN⁻) y el cianuro de hidrógeno (HCN), cuya relación puede expresarse por una reacción de hidrólisis:



La técnica se basa en la reacción del AgNO₃ con el ion cianuro en solución alcalina para formar el complejo soluble Ag(CN)₂⁻, según la reacción:



Que quiere decir: 169.9 g de AgNO₃ saturan → 98 g de NaCN

ó 4.33 g de AgNO₃ → 2.5 g de NaCN

0.00433 g de AgNO₃ → 0.0025 g de NaCN

Entonces: 1 ml de AgNO₃ → 0.0025 g de NaCN

Se emplean “V” ml de AgNO₃ para titular 25 ml de una solución de concentración “C”, se tiene:

ml de AgNO₃ → (0.025 l)*C

$$C = \frac{V \text{mlAgNO}_3 * 0.0025 \text{g}}{1 \text{mlAgNO}_3 * 0.025 \text{l}} = \frac{V}{10} * \left(\frac{\text{g}}{\text{l}} \right) * \left(\frac{1 \text{l}}{1000 \text{g}} \right) = \frac{V}{10000} \quad \Rightarrow C = \frac{V}{100} \%$$

Cuando no queda más cianuro en solución, el exceso de Ag reacciona con el indicador de la siguiente manera:



El punto final de la titulación lo proporciona la aparición de una turbidez permanente blanca o amarillo opalescente. En ausencia del indicador y habiendo metales en solución, el método cuantifica el cianuro libre, los cianuros de Zinc y una parte (<10%) de los cianuros de cobre.

2. APARATOS

2.1 Bureta graduada de 50 cm³

2.2 Erlenmeyer de 250 cm³.

3. REACTIVOS

3.1 Solución estándar de AgNO₃ (4.33 g/l): Se prepara poniendo 4.33 g de AgNO₃ en un frasco volumétrico de un litro y agregando agua destilada hasta la altura de un litro.

3.2 Indicador, solución de KI (10%): Se prepara disolviendo 10 g de KI en agua y se diluye hasta 100 cm³.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Se toman 25 cm³ de muestra clara (filtrada) y se coloca en un pequeño frasco Erlenmeyer seco; no se añade agua.
- 4.2 Se adiciona 3 a 4 gotas de KI al 10% y se agita.
- 4.3 Se titula con una solución estándar que contiene 4.33 g de AgNO₃, por litro.
- 4.4 El punto final de la titulación es cuando la brillantez original de la solución se ve apagada por un amarillo opalescente. Para determinar con más precisión el punto final se suele colocar un fondo negro de papel.

5. EXPRESION DE RESULTADOS

5.1 Cálculos

$$CN^{-}(\%) = \frac{V}{100} \quad \text{ó} \quad CN^{-}(ppm) = V * 100$$

donde:

V: Gasto de AgNO₃, en cm³.

5.2 Ejemplo

Se titulan 25 cm³ de una solución para determinar el cianuro libre presente, se emplea KI como indicador y AgNO₃ a 4.33 g/l como solución titulante, la cual se gastó 9 cm³; el cianuro libre será:

$$CN^{-}(\%) = \frac{V}{100} = \frac{9}{100} \quad \Rightarrow \quad CN^{-} = 0.09\% \quad \text{ó} \quad CN^{-} = 900 ppm$$

ANEXO II

DETERMINACIÓN DEL CIANURO TOTAL

MÉTODO DEL ELECTRODO DE IÓN SELECTIVO

1. PRINCIPIO DEL MÉTODO

Los cianuros son determinados potenciométricamente en el destilado alcalino del tratamiento preliminar usando un electrodo selectivo de ion específico para cianuros, en combinación con un electrodo de referencia de doble junta y un potenciómetro que cuenta con una escala expandida en mili voltios o un medidor específico de iones.

Ioduro, sulfuros y agentes reductores fuertes interfieren con lectura del ion cianuro. La membrana del electrodo se disuelve en disoluciones de alta concentración de CN^- , no usarlo en concentraciones mayor a 25 $\mu\text{g CN}^-/\text{ml}$.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable a muestras con rangos de concentración de cianuro de 0.05 ppm a 10 ppm.

3. APARATOS

3.1 Medidor de pH escala expandida o medidor de ion específico.

- 3.2 Electrodo selectivo de cianuro.
- 3.3 Electrodo de referencia.
- 3.4 Agitador magnético recubierto de teflón.

4. REACTIVOS

- 4.1 Solución patrón de cianuro: Se disuelve aproximadamente 2 g de KOH y 2.51 de KCN en 1000 cm³ de agua destilada (Precaución: Debido a que el KCN es altamente tóxico, se debe evitar el contacto o inhalación). Se estandariza con una solución de nitrato de plata 0.192 N usando 25 ml de solución de KCN. Se chequea el título de cada semana, ya que la concentración de la solución disminuye gradualmente. 1 ml = 1 mg CN⁻
- 4.2 Diluyente de Hidróxido de Sodio: Se disuelve 2 g de NaOH en agua y se diluye a 1000 ml.
- 4.3 Solución intermedia de cianuro: Se diluye un volumen determinado e.g. 10 ml de la solución patrón de KCN a 100 ml con la solución de NaOH diluida. Se mezcla bien. 1 ml = 100 µg CN⁻
- 4.4 Solución estándar diluida de cianuro: Se diluye 10 ml de solución intermedia de CN en 100 ml con solución de NaOH diluida; 1 ml = 10 µg CN⁻. Se prepara diariamente y se guarda en botella oscura con tapa.
- 4.5 Solución de Nitrato de Potasio: Se disuelve 100 g de KNO₃ en agua y se diluye a 1000 ml. Se ajusta a pH 12 con KOH. Esta es la solución de llenado externa para el electrodo de referencia.

5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 Precaución: Se debe de tener cuidado al manipular muestras de cianuro debido a su toxicidad. Se les debe procesar en una campana extractora ó en otra área bien ventilada. Se debe evitar el contacto, inhalación o ingestión.
- 5.2 La naturaleza del tratamiento preliminar variaría de acuerdo a las sustancias interferentes que se encuentren presentes. Los sulfuros, ácidos grasos y agentes oxidantes se eliminan mediante procedimientos especiales. La mayoría de resto de las sustancias interferentes se eliminan mediante destilación.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Calibración del equipo:

6.1.1 Se prepara una serie de 3 estándares de 0.1, 1.0 y 10.0 mg de CN/litro a partir de las soluciones estándar de cianuro diluidas e intermedias con la solución de de NaOH.

6.1.2 Se toman aproximadamente 100 ml de cada una de las soluciones estándar en un vaso de precipitación de 250 ml previamente enjuagado con una pequeña porción del estándar a ser ensayado. Se sumergen los electrodos en la solución.

6.1.3 Se mezcla bien en un agitador magnético y se mantiene en lo posible en la misma temperatura y velocidad de agitación en todas las soluciones. Se empieza siempre con el estándar de menor concentración continuando progresivamente con los de mayor concentración ya que de otro modo el equilibrio solo se alcanza lentamente. Después de efectuar las mediciones se retira el electrodo y se le sumerge en agua.

6.1.4 Después de que se alcanza el equilibrio (no menos de 5 min. y ni más de 10 min.), se registran las lecturas de potencial (milivoltios) y se platean en papel semilogarítmico las concentraciones de CN^- versus las lecturas.

6.1.5 Se registra la pendiente de la línea obtenida (milivoltios/década de concentración). La pendiente es necesaria para calcular la concentración de la muestra.

6.2 Destilación de la muestra

6.2.1 Colocar 500 ml de muestra o una alícuota (o una cantidad de muestra que no contenga más de 10 mg/L de cianuro), en un matraz de ebullición de 1 litro. Tomar una alícuota de 10 ml de hidróxido de sodio (1N), colocarla dentro del tubo de adsorción, añadir agua hasta que la espiral esté cubierta. No utilizar un volumen total de la disolución de adsorción mayor de 225 ml. Montar el equipo de destilación tal como se muestra en la siguiente figura.

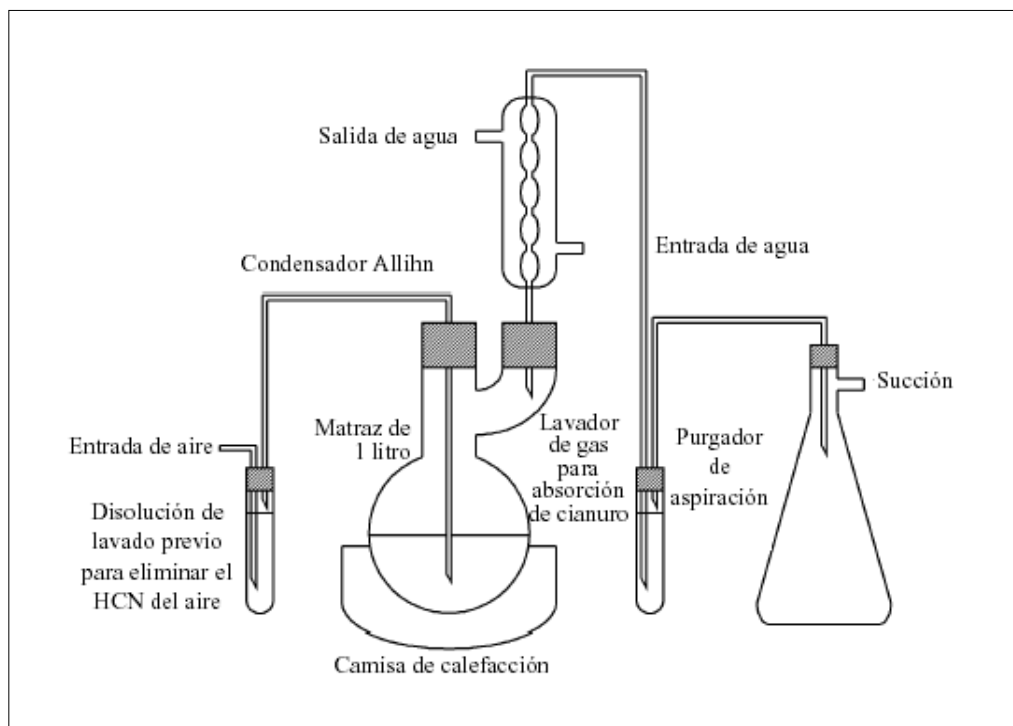


FIGURA: Aparato de destilación por reflujo

6.2.2 Ajustar la bomba de vacío, empezar con un flujo de aire lento que entre por el matraz tipo Claissen y dejar que se estabilice en dos burbujas de aire por segundo desde el tubo de entrada.

6.2.3 Utilizar papel de nitrato de plomo para revisar que la muestra no contenga sulfuros. Si el papel se torna negro, la prueba es positiva; en este caso, tratar la muestra por adición de 50 ml de la disolución de nitrato de bismuto a través del tubo de entrada de aire después de que la tasa de entrada de aire esté estable. Mezclar por 3 min. Antes de la adición de ácido sulfúrico. Otra forma de eliminar los sulfuros es colocar una trampa con una disolución de acetato de plomo al 3 % para capturar a los sulfuros previo a la disolución alcalina, ó bien adicionando 50 mg de carbonato de plomo (PbCO_3) a la disolución alcalina para precipitar el sulfuro.

6.2.4 Si se sospecha que las muestras contienen NO_3^- y/o NO_2^- adicionar 2 g de ácido sulfámico ó 50 ml de disolución de ácido sulfámico después de que la tasa de entrada de aire se ha estabilizado. Mezclar por 3 min. antes de la adición de ácido sulfúrico.

6.2.5 Lentamente añadir 50 ml de ácido sulfúrico (1:1) a través del tubo para agregar reactivos. Lavar el tubo con agua y dejar el flujo de aire para que mezcle el contenido del matraz por 3 min. Verter 20 ml de la disolución de cloruro de magnesio (II) dentro del tubo de entrada de aire y lavar con vapor de agua.

6.2.6 Calentar la disolución hasta hervir. Permitir el reflujo por lo menos 1 hora, apagar la fuente de calor y continuar con el flujo de aire por lo menos durante 15 minutos más. Después enfriar el matraz de ebullición, desconectar el adsorbedor y cerrar la bomba de vacío.

6.2.7 Drenar la disolución del adsorbedor dentro de un matraz volumétrico de 250 ml. Lavar el adsorbedor con agua y añadir el agua del lavado al matraz. Aforar con agua y homogeneizar.

6.3 Medición de la muestra

6.3.1 Se coloca 100 ml de la solución de destilado en un vaso de precipitación de 250 ml. Cuando se estén midiendo concentraciones bajas de CN, primero se enjuaga el vaso y los electrodos con un poco de muestra. Se sumergen los electrodos y se mezcla en un agitador magnético a la misma velocidad utilizada en la calibración. Una vez que se haya alcanzado

el equilibrio, se registra la lectura del potencial (**A**) y se lleva a la curva de concentración para obtener un dato aproximado de la concentración.

6.3.2 De acuerdo a la concentración aproximada encontrada en las muestras, se toma 1 ml del estándar correspondiente según la tabla siguiente:

TABLA: Concentraciones de las muestras

Concentración de CN ⁻ encontrada en la muestra (mg/l)	Estándar utilizado
0.05-0.1	10 mg/l
0.1-1.0	100 mg/l
1.0-10.0	patrón

Se permite un tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio (no menos de 5 min. ni más de 10 min.) y se registra la nueva lectura de potencial (**B**).

7. EXPRESION DE RESULTADOS

$$7.1 \text{ Cálculos: } CN^{-} (mg/l) = \frac{C_o * V}{C}$$

y

$$C_o = \frac{0.01}{1.01 * \text{anti log} \left[\frac{(A-B)}{S} \right] - 1} * C_s$$

donde:

Co: concentración de CN en la muestra usada para la medición potenciométrica, en mg/l.

V: volumen total de la solución de absorción de la destilación, ml.

C: volumen original de la muestra utilizada en la destilación, ml.

(A-B): valor absoluto del cambio de potencial, mV.

Cs: concentración de CN⁻ del estándar, mg/l.

S: pendiente del electrodo, mV/década (independientemente del signo).

7.2 Precisión

La precisión del método del electrodo de ión selectivo de cianuro fue determinada a partir de cuatro niveles de concentración en cinco laboratorios y con siete analistas. La precisión del método dentro del rango designado puede ser expresada como sigue:

$$St = 0.113 * X + 0.024$$

donde:

St: precisión total.

X: concentración de CN⁻, mg/l.

ANEXO III

Hoja de Datos de Seguridad según Directiva 91/155/EEC

MAGNAFLOC 351

 Revisión 26.02.2003

(dd.mm.yyyy)

1. Identificación de la Sustancia/Preparado y de la Sociedad/Empresa

Nombre del producto	MAGNAFLOC 351
Identificación química	poliacrilamida no-iónica
Nº CAS	Preparado
Uso	Floculante
Productor/Suministrador	CIBA ESPECIALIDADES QUÍMICAS LTDA. MANUEL DE SALAS 529 ÑUÑO A SANTIAGO CHILE
Número de Teléfono	+56-2-3502700
Número de Fax	+56-2-3502733
Teléfono Emergencia (24 horas)	+56 (9) 237 3027

2. Composición/Información sobre los Componentes
Substancias que presentan un riesgo para la salud o el medio ambiente

Nº EINECS- /ELINCS-	Número CAS	Nombre químico	Contenido	Símbolo(s)	Frase(s) - R
204-673-3	000124-04-9	ácido adipico	1 - 3 %	Xi	R36

3. Identificación de los Peligros

No clasificado como peligroso según las Directivas de la UE.

Puede ocasionar una ligera irritación en la piel, en especial tras una repetida o prolongada exposición puede ocasionar cierta irritación ocular que debería desaparecer al separarse del producto

La inhalación del polvo, puede irritar el sistema respiratorio

Este tipo de producto tiene tendencia a formar polvo si es manipulado de forma incorrecta. No se inflama fácilmente, pero como la mayoría de polvos orgánicos puede formar con el aire nubes de polvo inflamables.

Evitar la generación de polvo y mantener alejado de focos de ignición

Muy resbaladizo cuando está mojado

4. Primeros Auxilios
Contacto con la piel

Eliminar con jabón y mucha agua. la ropa contaminada debe lavarse antes de su re-utilización.

Contacto con los ojos

Enjuagar inmediatamente y durante un mínimo de 15 minutos con abundante agua . En caso de irritación ocular, buscar atención médica

Inhalación

Trasládese al aire libre Des-obstruir vías respiratorias. Si la persona afectada no se encuentra bien, recábese atención médica.

Ingestión

No provocar vómitos. No introducir nada en la boca en caso de inconsciencia o convulsiones Si hay buena respiración y pulso, situar en posición de reposo y obtener atención médica. Si está consciente, enjuagar la boca con agua Inmediatamente dar a beber 600 ml. de agua y repetir la acción en proporciones de 200 ml. cada 10 minutos Llamar inmediatamente al médico.

Hoja de Datos de Seguridad según Directiva 91/155/EEC

MAGNAFLOC 351

Revisión 26.02.2003

(dd.mm.yyyy)

5. Medidas de Lucha Contra Incendios

Medios de extinción adecuados

Espuma, polvo seco, dióxido de carbono (CO₂), preferentemente agua pulverizada/neblina.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

ninguna conocida

Equipo de protección especial para los bomberos

Al igual que para todos los incendios con productos químicos involucrados: traje de protección química, guantes adecuados, botas y equipo autónomo de respiración.

Productos de combustión

Óxidos de carbono

Información adicional

Efecto físico/químico : Muy resbaladizo en estado húmedo.

6. Medidas que deben Tomarse en Caso de Vertido Accidental

Precauciones personales

Evitar la formación de polvo. Utilizar equipo de protección adecuado Eficaz máscara de polvo

Precauciones para la protección del medio ambiente

No verter a aguas superficiales, sistema sanitario o alcantarillas.

Métodos de limpieza

barrer, recoger y depositar en contenedor adecuado para proceder a su eliminación los residuos o pequeños derrames deberían limpiarse con agua abundante Retener el agua de lavado y eliminar según legislación local Debido a su naturaleza resbaladiza, el producto derramado en estado húmedo o en solución acuosa, genera riesgo. Este tipo de derrame, debería recogerse con tierra o arena, asegurar que no queden restos, y retirado para su eliminación.

7. Manipulación y Almacenamiento

Manipulación

al igual que para muchos polvos orgánicos pueden formarse nubes inflamables Evitar la formación de polvo y fuentes de ignición. Asegurar buena ventilación y extracción localizada. No comer, beber, ni fumar en el lugar de trabajo. Sacarse inmediatamente la ropa contaminada y lavar antes de re-utilizar. Lavar las manos inmediatamente después de manipular el producto y antes de los descansos.

Almacenamiento

Proteger de la lluvia y condiciones de humedad. mantener en sitio seco y fresco Evitar temperaturas extremas

Muy resbaladizo cuando esta mojado

8. Controles de Exposición y Protección Personal

Límite(s) de exposición

CIEL-TWA Límite exposición interno de Ciba (valor promedio en 8 horas)

no ensayado

Medidas Técnicas/Precauciones

Asegurar ventilación adecuada, especialmente en espacios confinados. En caso de formación de polvo, asegurar una exhaustiva ventilación en el lugar de trabajo.

Protección respiratoria

si se origina polvo mascarilla efectiva contra el polvo (disponible, EN 149 FFP2S) Máscara facial entera o media con filtro tipo A-P2

Protección de las manos

guantes de PVC u otro material plástico guantes de goma

Protección de los ojos

gafas protectoras

Protección de la piel y del cuerpo

Hoja de Datos de Seguridad según Directiva 91/155/EEC

MAGNAFLOC 351

Revisión 26.02.2003

(dd.mm.yyyy)

Ropa protectora ligera (de poco peso)

9. Propiedades Físicas y Químicas

Aspecto físico	polvo	
Color	blanquecino	
Olor	inoloro	
Temperatura de fusión/rango	no aplicable	
Punto de reblandecimiento	no aplicable	
Temperatura de ebullición/rango	no aplicable	
Densidad relativa	no aplicable	
Densidad aparente	0,8 g/cm ³	valor característico
Punto de destello	no aplicable	
Temperatura de ignición	no aplicable	
Evaluación de la temperatura de ignición	al igual que para la mayoría de polvos orgánicos, pueden formarse nubes de polvo inflamable	
Propiedades comburentes	no aplicable	
evaluación de la solubilidad en agua	soluble, solución viscosa en agua	
Solubilidad	no ensayado	
Presión de vapor	no ensayado	
Coefficiente de reparto; Log Poa	no aplicable	
valor-pH	no ensayado	
Viscosidad dinámica	no ensayado	
Mínimo Límite de Explosión	no aplicable	
Máximo Límite de Explosión	no aplicable	
Propiedades explosivas	no aplicable	
Velocidad de evaporación	no ensayado	
Densidad de vapor	no ensayado	

10. Estabilidad y Reactividad

Condiciones a evitar	No requiere más atenciones en su manipulación que las de un producto químico. Evitar la lluvia o condiciones de humedad. Temperaturas extremas.
Materiales a evitar	Reactivos químicos
Productos de descomposición peligrosos	la combustión puede generar formación de: Óxidos de carbono

11. Información Toxicológica

Toxicidad Oral Aguda <i>rata</i>	LD50 > 2000 mg/kg	POR ANALOGIA A PRODUCTOS SIMILARES
Toxicidad aguda dérmica	no ensayado	
Inhalación, toxicidad agua	no ensayado	
Corrosión/Irritación aguda de los ojos	no irritante	Método convencional

Hoja de Datos de Seguridad según Directiva 91/155/EEC

MAGNAFLOC 351

Revisión 26.02.2003

(dd.mm.yyyy)

Corrosión/Irritación dérmica aguda	no irritante	Método convencional
---	--------------	---------------------

Sensibilización aguda de la Piel	no ensayado	
---	-------------	--

12. Informaciones Ecológicas

Toxicidad aguda para peces <i>96 h Pez cebra (Brachydanio rerio)</i>	LC50 4220 mg/l	OECD 203 / EEC C 1
	de ensayos con productos del mismo rango	
Toxicidad aguda a la Daphnia <i>Daphnia magna 48 h</i>	EC50 1733 mg/l	OECD 202 / EEC C 2
	de ensayos con productos del mismo rango	
Toxicidad aguda para las bacterias <i>Pseudomonas putida 24 h</i>	EC50 5914 mg/l	
	de ensayos con productos del mismo rango	
Toxicidad aguda para las algas <i>Chlorella vulgaris 72 h</i>	EC50 5235 mg/l	OECD 201 / EEC C 3
	de ensayos con productos del mismo rango	
Biodegradabilidad	no ensayado	

13. Consideraciones sobre la Eliminación

Sobranante de productos / productos no aptos

Proceder de acuerdo a las regulaciones locales.

Envases contaminados

El envase contaminado debe ser tratado como el propio residuo químico. El material de envase limpio debe someterse al sistema de gestión de residuos(recuperar,reciclar,reutilizar)de acuerdo a la legislación local.

14. Información Relativa al Transporte

Punto de destello	no aplicable
ADR/RID	Clase: Libre
IMO	Clase: Libre
IATA	Clase: Libre

Hoja de Datos de Seguridad según Directiva 91/155/EEC

MAGNAFLOC 351

 Revisión 26.02.2003

(dd.mm.yyyy)

15. Información Reglamentaria

Clasificación	no requiere clasificación
Etiquetado, información adicional	Ficha de Datos de Seguridad para profesionales, a petición.

16. Otras Informaciones

Frases R del capítulo 2	R36 Irrita los ojos.
Cambios esenciales	Cap. 2 ;Cap. 3 ;Cap. 6 ;Cap. 15

MAGNAFLOC es una marca registrada.

Importante

ESTE MATERIAL NO DEBE EMPLEARSE EN ARTICULOS DESTINADOS A ESTAR EN PROLONGADO CONTACTO CON MEMBRANAS MUCOSAS, FLUIDOS CORPORALES, SER IMPLANTADOS EN EL CUERPO HUMANO O QUE PUEDAN RASPAR LA PIEL, A NO SER QUE, PREVIAMENTE SE HAYA SOMETIDO EL PRODUCTO FINAL A LOS ENSAYOS DE SEGURIDAD APROPIADOS DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS NACIONALES E INTERNACIONALES. DEBIDO AL AMPLIO CAMPO DE POTENCIALES APLICACIONES, CIBA NO PUEDE RECOMENDAR ESTE MATERIAL COMO SEGURO Y EFICAZ PARA TALES EMPLEOS, NI ASUMIR RESPONSABILIDAD POR UN USO INADECUADO DEL MISMO.

Este producto debe ser almacenado, manipulado y empleado de acuerdo con una buena práctica de higiene industrial y en conformidad a cualquier regulación local. La información aquí contenida, está basada en el estado actual de nuestros conocimientos y con el propósito de describir nuestros productos atendiendo a los requerimientos de seguridad. Por lo que no debe interpretarse como garantía de propiedades específicas.

ANEXO IV

FILTRO PRENSA ACS

Es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Utiliza un método simple y confiable para lograr una alta compactación. Es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados. Tiene una capacidad que va desde 0.5 a 300 pies cúbicos. Se fabrica en acero al carbón con recubrimiento de pintura epóxica de alta resistencia química o acero inoxidable. Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser de tipo selladas, no selladas ó membranas de alta resistencia. Cuenta con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático, semiautomático.

COMO CALCULAR LA CAPACIDAD PARA SU FILTRO PRENSA ACS

El Filtro Prensa ACS compactará lodo hasta volverlo una pasta seca, teniendo una densidad que no solo depende de la presión de compactación, sino también de las características específicas de cada lodo.

Utilice la siguiente ecuación para calcular el tamaño de su filtro prensa.

- 1.-Primero determine la cantidad de lodo en galones (base líquida) que se procesará en cada ciclo (se recomienda 8 hrs. como mínimo por ciclo).
- 2.-Luego determine el contenido de sólidos en peso por galón (base líquida) expresado en libras (ppm o mg/l deben dividirse sobre 1'000,000. Porcentajes deben dividirse sobre 100).

3.-Ahora determine el peso por pié cúbico (ft³) base seca en libras según tabla siguiente:

TABLA: Características físicas de los lodos

Tipo de Lodo	Porcentaje de Sólidos por Peso (Base seca)	Peso Promedio de Lodo por ft ³ (Base seca)
BIOLOGICO	15-25 %	15 lbs.
HIDROXIDOS METALICOS	25-40 %	25 lbs.
LODO DE CAL	30-60 %	35 lbs.

Esta tabla exhibe el peso promedio de los tres tipos de lodo más comunes.

CICLO: Tiempo de llenado y compactación de lodo dentro de un Filtro Prensa.

Este ciclo depende de las características de deshidratación de cada lodo, así como del contenido de sólidos.

Un alto contenido de sólidos reduce este ciclo.

$$\frac{1,000}{\text{Total de galones por ciclo}} \times \frac{0.01}{\text{Sólidos (1 \% por peso)}} \times \frac{8.34}{\text{Peso del agua (galón)}} \div \frac{25}{\text{Peso (lbs.) por ft}^3} = \frac{3.3}{\text{Capacidad por ciclo (ft}^3\text{)}}$$

TABLA: FILTRO PRENSA ACS MODELO - CAPACIDAD - ÁREA DE FILTRACIÓN

Capacidad ft ³	0.3	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	100.0	150.0	200.0	
AA Área ft ²	7	10	14	21	35	42	67	88																	
Cámaras	2	3	4	6	9	13	19	25																	
Largo (L)	48	50	52	59	68	74	89	104																	
A Área ft ²				19	32	44	64	89	108	128	178	223	240												
Cámaras				3	5	7	10	14	17	21	28	35	40												
Largo (L)				81	85	90	97	106	113	120	129	155	168												
B Área ft ²						40	60	80	100	120	160	200	240	300	400	500									
Cámaras						4	6	8	11	13	17	21	26	32	43	54									
Largo (L)						89	94	99	104	109	119	129	139	154	180	205									
C Área ft ²														300	400	500	600								
Cámaras															20	27	34	41							
Largo (L)															136	154	172	187							
D Área ft ²																413	510	730	820	1000	1460	1640	2040		
Cámaras																	17	21	25	34	42	50	67	84	
Largo (L)																	121	132	143	168	191	213	260	307	
E Área ft ²																				1047	1260	1690	2090	3170	
Cámaras																					34	41	55	68	103
Largo (L)																					189	206	238	275	360
F Área ft ²																						1640	2110	3166	4220
Cámaras																									
Largo (L)																									

NOTAS:

- Todas las medidas son aproximadas y en pulgadas.
- Capacidad/largo/área se basan en pastas de 1 1/4 de grueso.

- Los modelos C, D, E y F se han diseñado para ser montados sobre estructuras que permitan acceso a contenedores o bandas sinfín.

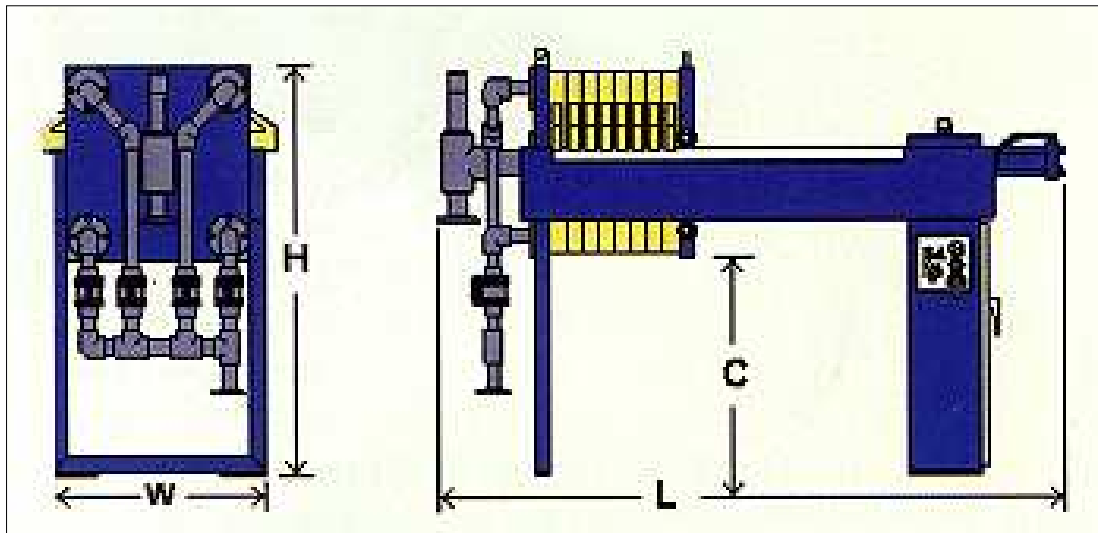


Figura: Dimensiones de un filtro prensa

AA: Estándar: C=30 H=50 W=27; Descarga a Tambo: C=42 H=61 W=27;
Portátil: C=12 H=36 W=27 PLACA: 470 mm

A: Estándar: C=30 H=50 W=34; Descarga a Tambo: C=42 H=61 W=34
PLACA: 630 mm

B: Estándar: C=30 H=63 W=41; Descarga a Tambo: C=42 H=79 W=41
PLACA: 800 mm

C: H=57 W=52 PLACA: 1000 mm

D: H=67 W=62 PLACA: 1200 mm

E: H=68 W=66 PLACA: 1300 mm

F: H=76 W=74 PLACA: 1500 mm

FUNCIONAMIENTO

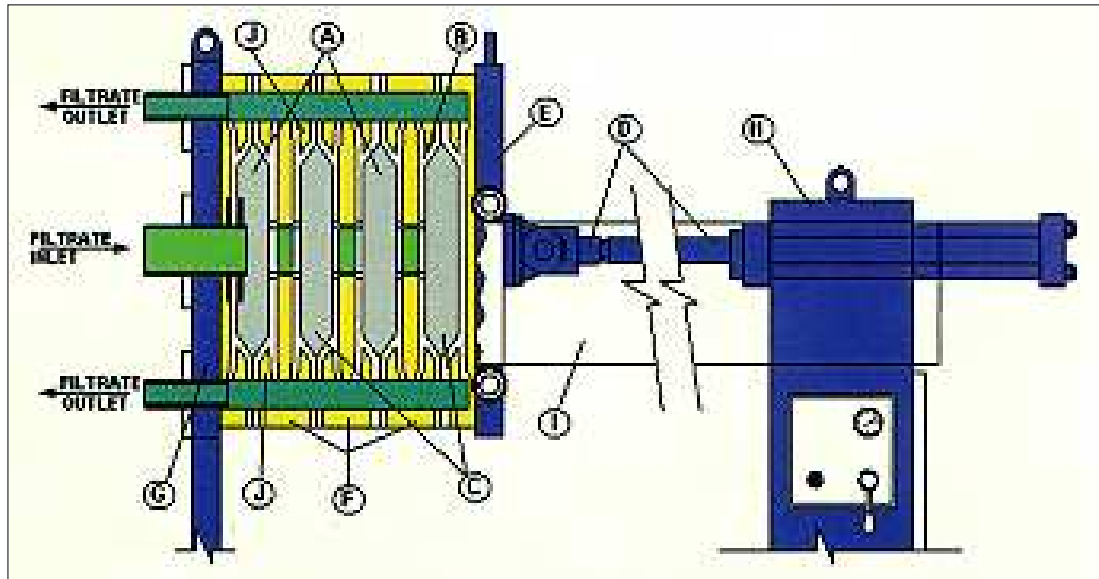


Figura: Funcionamiento de un filtro prensa

La operación del Filtro prensa es simple:

El lodo líquido es bombeado a las CAMARAS **(A)** rodeadas por LONAS filtrantes **(B)**. Al bombear la presión se incrementa y fuerza al lodo a atravesar las lonas, provocando que los sólidos se acumulen y formen una PASTA seca **(C)**.

El PISTON **(D)** hidráulico empuja la PLACA de acero **(E)** contra las PLACAS de polietileno **(F)** haciendo la prensa. El CABEZAL **(G)** y el SOPORTE terminal **(H)** son sostenidos por rieles de las BARRAS de soporte **(I)**, diseñados especialmente

El filtrado pasa a través de las lonas y es dirigido hacia los canales de las placas y PUERTOS de drenado (**J**) del cabezal para descarga. Este filtrado típicamente contendrá menos de 15 ppm (mg/l) en sólidos suspendidos.

La torta es fácilmente removida haciendo retroceder el pistón neumático, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que la pasta compactada caiga desde la cámara.

"UNA SOLUCION TAN CLARA COMO EL AGUA. . ."