

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
MINERA Y METALÚRGICA**



**TRATAMIENTO DE EFLUENTES EXCEDENTES  
DE PROCESOS AURIFEROS Y  
POLIMETALICOS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**IVES MARCELO CUZCANO CORTEZ**

**LIMA – PERÚ  
2009**

## Prólogo

El 97 % del agua existente en la tierra es de origen marino, el 3% restante corresponde a agua dulce. De este 3%, alrededor del 2% está congelada en los polos y solo el 1% es agua natural líquida.

El recurso hídrico en nuestro país y a nivel mundial cada vez es más valioso, por lo que nos lleva a reflexionar cuan importante es aprovechar el uso de este recurso. En la minería, la descarga de efluentes debe cumplir con los estándares de calidad de agua que el organismo u organismos establece(n).

El Informe de Suficiencia a presentar describe las alternativas usadas para el tratamiento de efluentes en operaciones minero – metalúrgicas, centrándose en los procesos auríferos y de concentración de minerales. Si bien es cierto existen otros tipos de alternativas, estas no son desacreditadas por no ser mencionadas.

El capítulo I, es la introducción del informe, señalándose el objetivo del estudio, el planteamiento del problema y su solución.

El capítulo II, menciona antecedentes y características de las operaciones metalúrgicas típicas y una presentación del marco legal con las legislaciones vigentes.

El capítulo III, describe las alternativas o tratamientos de los efluentes. En esta parte se menciona a la operación de filtración como separación física, tratamientos químicos mediante uso de reactivos y por último la descripción del proceso de ósmosis inversa. Cada tipo de tratamiento es acompañado por sus ventajas, desventajas y resultados típicos obtenidos mediante el uso de estas alternativas.

**Agradecimiento:**

A mis padres,  
Profesores de la Universidad, y  
Colegas con los que he compartido días de trabajo.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Objetivos del estudio	9
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Solución del problema planteado	10
<b>CAPÍTULO II: ANTECEDENTES</b>	
2.1 Tipos de operaciones metalúrgicas en el país	11
2.1.1 Procesos de cianuración	11
2.1.2 Concentración de Minerales	12
2.2 Características de los efluentes de los procesos descritos	13
2.2.1 Efluentes provenientes de concentración de minerales	13
2.2.2 Efluentes provenientes de Cianuración	14
2.3 Descripción de Tratamientos	15
2.3.1 Tratamiento Pasivo	15
2.3.2 Tratamientos Activo	15
2.3.2.1 Tratamiento Químico	15
2.3.2.2 Filtración	16
2.3.2.3 Osmosis Inversa	16
2.4 Marco Legal	17
2.4.1 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (MINAM)	17

2.4.2 Estándares de Calidad de Agua (DIGESA)	19
2.4.3 Límites Máximos Permisibles (MEM)	20
2.4.4 Estándares Internacionales	21

### **CAPÍTULO III: TECNOLOGIA EN TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

<b>3.1 Mecanismos de Operación de Filtros para la Recuperación de la Calidad de Efluentes en una Operación de Concentración de Minerales.</b>	<b>22</b>
3.1.1 Introducción	22
3.1.2 Principio de Operación	23
3.1.3 Equipo usado en el proceso de filtración para la recuperación de la calidad de agua	24
3.1.4 Factores que afectan la filtración	26
3.1.5 Medios de Filtración	28
3.1.6 Ayudas filtrantes	30
3.1.7 Secuencia de Operación en la técnica de filtración.	33
3.1.7.1 Etapa de uso de una ayuda filtrante (opcional)	33
3.1.7.2 Etapa de la operación de filtración	33
3.1.7.3 Etapa de drenaje o escurrimiento de solución	34
3.1.7.4 Etapa de secado de los sólidos capturados (opcional)	35
3.1.7.5 Etapa de descarga de sólidos y su disposición final	36
3.1.8 Resultados obtenidos durante una operación de filtración	36
3.1.9 Ventajas y Desventajas de la operación	40

<b>3.2 Tratamiento Químico de Efluentes Provenientes del Proceso de Cianuración.</b>	<b>41</b>
3.2.1 Introducción	41
3.2.2 Mecanismo de Operación mediante uso de reactivos en cianuración	41
3.2.3 Secuencia de operación en la recuperación de la calidad del agua	42
3.2.3.1 Oxidación del cianuro y otros	42
3.2.3.2 Precipitación de metales	45
3.2.3.3 Coagulación	47
3.2.3.4 Etapa de floculación y separación sólido / líquido	49
3.2.4 Resultados obtenidos durante la etapa de remoción de contaminantes	50
3.2.5 Ventajas y Desventajas	52
<b>3.3 Uso de la Tecnología de Osmosis Inversa para la Recuperación de la Calidad de Agua Durante el Proceso de Cianuración</b>	<b>53</b>
3.3.1 Introducción	53
3.3.2 Ósmosis	54
3.3.3 Ósmosis inversa (OI)	55
3.3.4 Tipos de Membranas de Osmosis Inversa	56
3.3.5 Configuraciones Osmosis Inversa Tipo Espiral	57
3.3.6 Rechazo de Membranas	58

3.3.7 Secuencia de operación durante la ósmosis inversa	59
3.3.7.1 Sistema de preparación de la solución mediante filtración	59
3.3.7.2 Sistema de membranas (Ósmosis Inversa)	61
3.3.7.3 Sistema de lavado de membranas	61
3.3.8 Resultados obtenidos en una prueba de ósmosis inversa	62
3.3.9 Ventajas y Desventajas de la Osmosis Inversa	63
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES</b>	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>70</b>

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Para las operaciones minero metalúrgicas el manejo del agua es de vital importancia. Esta realiza diferentes funciones en una operación minera combinándose con soluciones, minerales y obteniéndose pulpas o efluentes de diferentes características.

Hay momentos en que este efluente es un excedente en la planta por lo que es necesario su liberación al ambiente.

Cuando el efluente se tiene que descargar al ambiente es necesario entonces de que estos efluentes cumplan ciertos requisitos de acuerdo a las normas vigentes por los organismos reguladores. Es entonces donde entra a tallar una etapa de tratamiento de esta agua en exceso.

Las características de un efluente en su mayoría es el gran contenido de sólidos en suspensión, reactivos provenientes de procesos anteriores como flotación o cianuración.



El grado de toxicidad de estos tipos de efluentes es muy variado como también las alternativas a usar para su tratamiento y disposición final al ambiente.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### **Objetivos específicos**

El presente informe tiene como objetivo dar a conocer las principales alternativas usadas en nuestro medio para el tratamiento de los efluentes excedentes en procesos auríferos y en el procesamiento de minerales polimetálicos.

### **Objetivos Generales**

Describir las diferentes técnicas para el tratamiento de efluentes provenientes de procesos auríferos y de concentración de minerales.

Dar a conocer las regulaciones vigentes en cuanto a descarga de efluentes dada en nuestro país.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Efluentes contaminados o con contenidos de metales por encima de los límites máximos permisibles. Estos a su vez son descargados a cuerpos receptores, perjudicando el ambiente (fauna, flora) puesto que lo desequilibra.

### **1.3 Solución del problema planteado**

Uso de una de las alternativas descritas en el presente informe

Si fuera necesario o se de el caso, combinación de alternativas para la solución de un problema mas complejo.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES**

#### **2.1 Tipos de operaciones metalúrgicas en el país**

En términos generales las plantas de beneficio en el Perú se dividen en 2 categorías:

- Procesos Hidrometalurgicos (Cianuración)
- Concentración de minerales

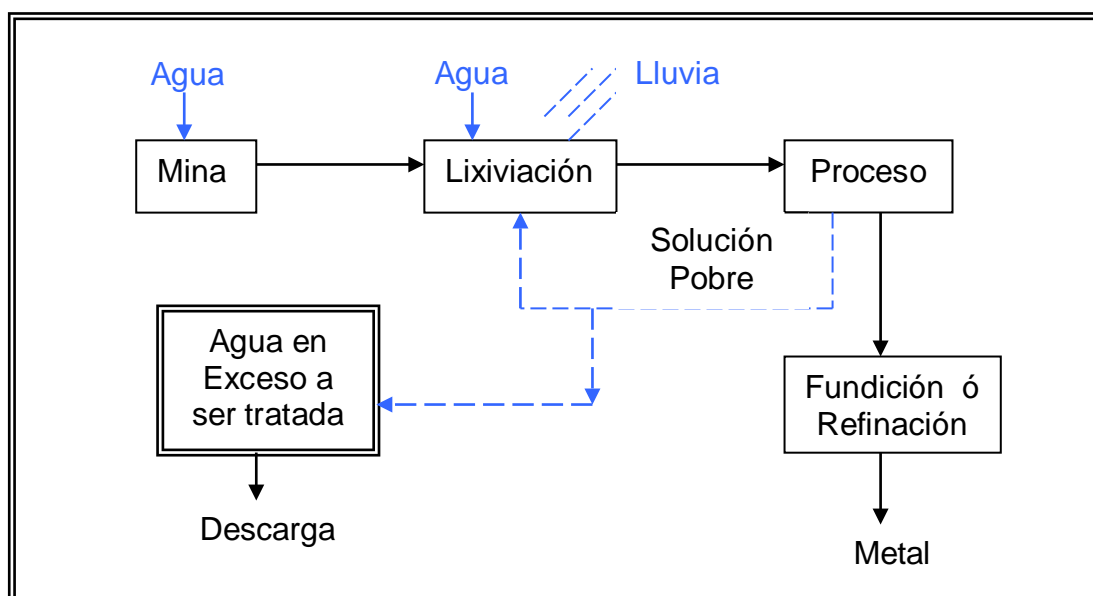
##### **2.1.1 Procesos de cianuración**

La cianuración es usada para la extracción del oro y la plata, el cual el agente lixiviador es el cianuro de sodio. No solo el cianuro es usado en la etapa de lixiviación, este también es usado durante el proceso ya sea carbón activado o Merrill Crowe.

Los procesos de cianuración requieren una cantidad de agua mayor respecto a los de concentración. Un problema que es común es la época de lluvia, existe un exceso en la cantidad de agua a ser usada en el proceso,

es por ello que se recurre a incluir en plantas de tratamiento de aguas excedentes para poder descargar las aguas excedentes al ambiente.

La figura 1 muestra un diagrama típico del proceso de lixiviación.



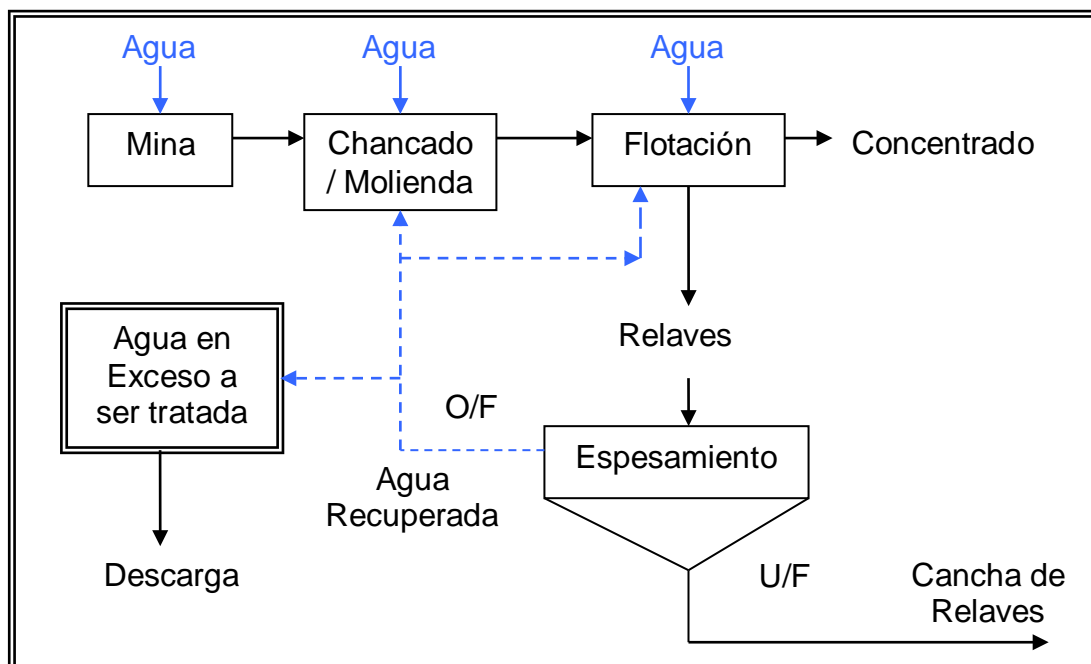
**Figura 1. Flowsheet Procesos de lixiviación**

### 2.1.2 Concentración de Minerales

La figura 2 muestra un típico diagrama de concentración de minerales.

El mineral es preparado mecánicamente, para ello se reduce de tamaño, luego pasa a la etapa de flotación la cual conjuntamente con los colectores, depresores, espumantes, etc. se obtiene un concentrado. Pero la mayor parte es el relave el cual se encuentra en una pulpa. Esta pulpa es desaguada con el uso de un espesador. El underflow del espesador lo constituyen los lodos, los cuales son bombeados a una cancha de relaves. El overflow del espesador es un líquido que recircula al proceso.

Como muestra el diagrama el agua es vital para esta operación pero a su vez puede existir un excedente. Este excedente es captado desde el rebose del espesador y dirigido a una etapa de tratamiento para su disposición final.



**Figura 2. Flowsheet Procesamiento de minerales**

## 2.2 Características de los efluentes de los procesos descritos

### 2.2.1 Efluentes provenientes de concentración de minerales

En plantas concentradoras, un efluente proveniente de la descarga de los espesadores contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión (pudiendo llegar a los 2000 ppm), y una diversa gama de reactivos que fueron añadidos durante el proceso de flotación y se citan:

- Colectores: Xantatos, dixantógenos, etc. (En concentraciones que varían entre 0.006-2.5 Kg/t)

- Espumantes: Aceite de pino, metilisobutil carbinol, ácido cresílico, etc. (En concentraciones que varían entre 0.06-0.5 Kg/t)
- Modificadores, activadores, depresores, reguladores de pH: Sulfato de cobre / zinc, dicromatos, cromatos, permanganatos, sulfuro de sodio, cianuro, etc. (En concentraciones que varían entre 0.006-6 Kg/t)
- Floculantes, coagulantes, dispersantes: Silicatos solubles, sulfatos de fierro, aluminatos sódicos, polifosfatos, etc. (En concentraciones que varían entre 0.005-1 Kg/t)
- pH variado desde 7 hasta 11.

De igual forma una solución que circula en los circuitos de flotación se halla diferentes tipos de iones como Fe, Cu, Zn, Pb, etc. En concentraciones desde 0.05ppm hasta valores mayores a 5ppm como metales totales.

### **2.2.2 Efluentes provenientes de Cianuración**

En el caso de una planta de cianuración, el efluente tiene las siguientes características:

- CN WAD mayor desde 50 a 500 ppm
- Metales disueltos en solución As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn, Hg, Nitritos como N, Nitratos como N. Concentraciones variadas.
- pH entre 9 a 11.

## **2.3 Descripción de Tratamientos**

Se presenta una descripción general de tratamientos para el manejo de aguas en operaciones minero – metalúrgicas.

### **2.3.1 Tratamiento Pasivo**

Sistemas en donde la intervención humana es casi nula. Por ejemplo, descarga de efluentes de mina a través de sistemas biológicos como tierras pantanosas, musgo y turba para el control ácido y metales, la reducción de sólidos en suspensión, nutrientes y metales.

Este tratamiento no es común en nuestro medio, debido a la gran presencia de contaminantes en las soluciones.

### **2.3.2 Tratamientos Activo**

Aquellos en que el proceso requiere la intervención del hombre y la instalación de etapas o plantas de tratamiento de aguas.

Algunas de estas plantas involucran los siguientes procesos:

- a) Tratamiento Químico
- b) Filtración
- c) Osmosis inversa,

Se describe un resumen de las citadas:

#### **2.3.2.1 Tratamiento Químico**

Combinación de varias técnicas (mediante el uso de reactivos) como neutralización, precipitación, oxidación, coagulación, floculación, etc.

La neutralización es un proceso muy común usado en la mayoría de las plantas de beneficio y se realiza a través del uso frecuente de la piedra caliza o de sus derivados. Mas allá de neutralizar la solución los iones de los metales pesados formaran hidróxidos y precipitarán. Los aniones formaran compuestos insolubles con muchos metales pesados a pH neutro y también pueden ser removidos simultáneamente.

En la oxidación el caso más común es la oxidación del fierro (de ferroso a férrico). El ión férrico por razón de su alta carga (+3) y su tamaño pequeño, tiene una gran tendencia de capturar aniones.

#### 2.3.2.2 Filtración

La filtración es un método ampliamente usado capturando partículas a escalas de 0.1 micrones.

#### 2.3.2.3 Osmosis Inversa

La osmosis inversa es un método sencillo también pero de mucha inversión, su rango de captura de partículas y/o iones es de tamaño molecular. Esta eficiencia de captura de iones se logra gracias al uso de membranas semipermeables las cuales dejan pasar a las moléculas del agua más no otras.



## **2.4 Marco Legal**

La legislación ambiental actual contempla dentro el marco normativo la siguiente documentación:

-Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM (Aprueban Plan de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximo Permisibles para el Año Fiscal 2009), 1 de junio del 2009.

-Decreto Legislativo 1013 (Creación del Ministerio del Ambiente), 13-05-2008.

-Ley N° 28611 (Ley General del Ambiente), 13-10-2005.

Además:

-Registro de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP)

-Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, 30 de julio del 2008.

-Límites Máximos Permisibles (LMP) Sector Energía y Minas

-Límites Máximos Permisibles (LMP) Sector Producción

-Límites Máximos Permisibles (LMP) Sector Transporte y Comunicaciones

### **2.4.1 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua**

#### **(MINAM) - Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM**

Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida y el Estado determina la Política Nacional

del Ambiente. Este decreto clasifica en cinco categorías a las aguas de acuerdo a su uso.

### **Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

*Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable*

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

*Aguas superficiales destinadas para recreación*

B1: Contacto primario

B2: Contacto secundario

### **Categoría 2: Actividades Marino Costeras**

*Agua de mar*

Sub-Categoría 1 (C1): Extracción y cultivo de moluscos bivalvos

Sub-Categoría 2 (C2): Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas

Sub-Categoría 3 (C3): Otras actividades

### **Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales**

Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto

Parámetros para bebidas de animales

### **Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático**

-Lagunas y Lagos

-Ríos: Costa, sierra y selva

-Ecosistemas marino costeros: estuarios y marinos

**VER ANEXO 1.**

#### **2.4.2 Estándares de Calidad de Agua (DIGESA)**

**Decreto Ley N° 17752 (D.S. 261-69-AP, mod. por D.S. 007-83-SA y D.S. 003-2003-SA)**

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) es el órgano técnico-normativo en los aspectos relacionados al saneamiento básico, salud ocupacional, higiene alimentaría, zoonosis y protección del ambiente.

De acuerdo a DIGESA se debe cumplir con los parámetros mencionados en la Ley General de Aguas (Decreto Ley N° 17752) están definidos de acuerdo al uso actual o potencial del cuerpo de agua, según las seis categorías:

**Clase I.-** Aguas de Abastecimiento doméstico con simple desinfección.

**Clase II.-** Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.

**Clase III.-** Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

**Clase IV.-** Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).

**Clase V.-** Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.

**Clase VI.-** Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

**VER ANEXO 2.**

### **2.4.3 Límites Máximos Permisibles (MEM)**

#### **Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM (13.ene.1996)**

Referido a los valores máximos permisibles para efluentes líquidos, señalados por el Ministerio de Energía y Minas.

#### **Artículo 2°.- Niveles Máximos Permisibles**

Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las Unidades Minero-Metalúrgicas están señalados en el Anexo 1 (Anexo 3 en este informe). Las Unidades Mineras en Operación y aquéllas que reinician sus operaciones podrán sujetarse a lo señalado en el Anexo 2 (Anexo 3 en este informe 3), siguiendo lo establecido en el Decreto Supremo N° 016 -93-EM.

#### **Artículo 6°.- Caso de los parámetros no regulados**

Los titulares mineros deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros no regulados por la presente Resolución Ministerial, tales como cadmio, mercurio, cromo y otros, cumplan con las disposiciones legales vigentes en el país o demostrar técnicamente ante la autoridad competente,

que su vertimiento al cuerpo receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

**VER ANEXO 3.**

#### **2.4.4 Estándares Internacionales**

Se mencionan los más comunes, citando las organizaciones de referencia:

- Organización Mundial de la Salud: Estándares para agua potable (OMS 2004)
- Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente: Guías de Calidad Ambiental (CCME 2004).
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: Estándares Nacionales Primarios para Agua Potable (USEPA 2003);
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: Criterios Nacionales de Calidad de Agua Recomendados (USEPA 2002).
- Corporación Financiera Internacional (Grupo del Banco Mundial): Manual de Prevención y Mitigación de la Contaminación – Requerimientos para la Descarga de Efluentes Presentes en las Guías para la Industria (WBG 1998).
- Prevención y Mitigación de la Contaminación - Requerimientos para la Descarga de Efluentes Presentes en las Guías para la Industria (WBG 1998).

**VER ANEXO 4.**

## **CAPÍTULO III**

### **TECNOLOGIA EN TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

#### **3.1 Mecanismos de Operación de Filtros para la Recuperación de la Calidad de Efluentes en una Operación de Concentración de Minerales**

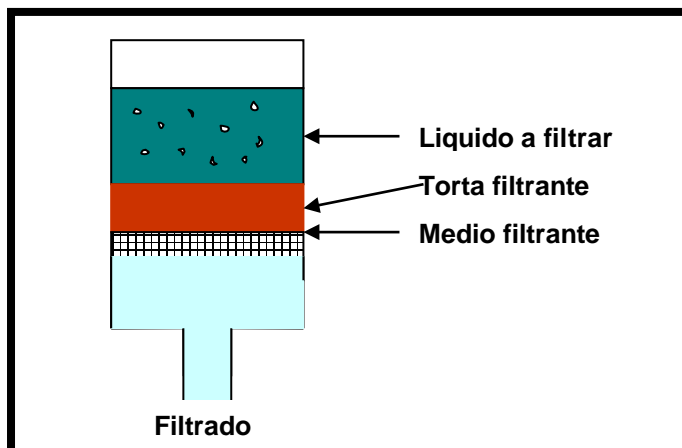
##### **3.1.1 Introducción**

La filtración es una operación unitaria de separación sólido - líquido por la cual se hace pasar una solución a través de un medio filtrante. Este medio filtrante denominado filtro se encarga de retener las partículas sólidas y dejar pasar un fluido claro.

En nuestro país existen numerosas empresas que utilizan los filtros clarificadores y no solo como alternativa de descarga de efluente sino también como una etapa de limpieza que evita los sólidos suspendidos a una etapa subsiguiente.

De entre los filtros usados en minería existen de diferentes diseños y para una aplicación dada. El presente informe solo describe al filtro clarificador como alternativa limpia en el tratamiento de efluentes.

### 3.1.2 Principio de Operación



**Figura 3. Principio de Filtración**

La figura 3 muestra la operación típica de filtración. Se tiene un líquido el cual contiene sólidos en su composición, este líquido pasa a través de un medio filtrante (para equipos en la mayoría de los casos es una tela). El medio filtrante captura las partículas y deja pasar el líquido teniendo como producto un filtrado. Se menciona que con el transcurso del tiempo el medio filtrante acumula sólidos y estos sólidos formaran una torta.

Para este caso, la filtración es considerada como la mezcla de dos mecanismos distintos pero complementarios: Transporte y adherencia.

Al inicio las partículas suspendidas son transportadas a la superficie del medio filtrante. Estas partículas permanecen adheridas a la superficie del medio filtrante, siempre y cuando resistan a la acción de las fuerzas de cizallamiento debido a las condiciones hidrodinámicas del efluente.

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas.

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar y, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente.

Los mecanismos de transporte podemos citar a la difusión e intercepción.

Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido. Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como *movimiento browniano*, y se debe al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua.

La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

Los mecanismos de adherencia son los siguientes: fuerzas de Van der Waals, fuerzas electroquímicas y puente químico.

### **3.1.3 Equipo usado en el proceso de filtración para la recuperación de la calidad de agua**

Es el filtro que se encuentra dentro de la categoría de filtros de presión.

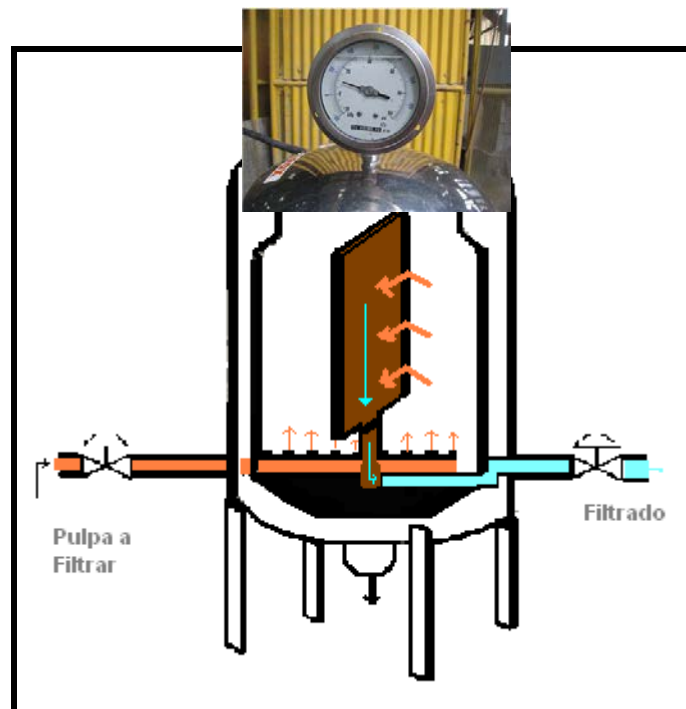
La mayoría de los filtros industriales operan a vacío o a presión, es decir, operan a presión superior a la atmosférica.



De igual forma existen filtros tipo batch y continuos. En la secuencia de operación del filtro siempre va a existir la parada de este para la descarga de los sólidos capturados por el medio filtrante.

El principio de funcionamiento de este filtro se aprecia en la figura 4.

La figura 4 muestra la entrada de una pulpa, la cual pasa a través de una bolsa (medio filtrante). Esta bolsa atraparán a los sólidos en suspensión y dejará pasara a una solución “libre” de sólidos.



**Figura 4. Filtro Prensa**

Cabe destacar que el filtro de prensa se puede encontrar una variedad muy amplia de estos en el mercado dependiendo de la finalidad del proceso a realizar.

### **3.1.4 Factores que afectan la filtración**

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión, del medio filtrante y de la hidráulica de la filtración.

#### **a) Características de la suspensión**

Relacionada con las siguientes características de la suspensión:

- Tipo de partículas suspendidas,
- Tamaño de partículas suspendidas,
- Densidad de partículas suspendidas,
- Temperatura del agua por filtrar,
- Potencial zeta de la suspensión, y
- pH del afluente.

#### **b) Características del medio filtrante**

Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, destacan:

- Tipo del medio filtrante,
- Características granulométricas del material filtrante,
- Peso específico del material filtrante, y
- Espesor de la capa filtrante.

#### **c) Características hidráulicas**

Las características hidráulicas que influyen en la eficiencia de la filtración son las siguientes,

- Tasa de filtración,
- Carga hidráulica disponible para la filtración,
- Calidad del efluente.

A nivel de **operación**, los factores más importantes se citan a continuación:

- La caída de presión desde la alimentación con respecto a su salida. Esto se da cuando el medio filtrante está saturado, incrementándose la presión del flujo de ingreso para mantener una alimentación constante.
- El área de la superficie filtrante. Esta puede incrementarse si se dispone el medio filtrante de tal manera que se aproveche al máximo su área, como por ejemplo plegándose la tela.
- La viscosidad del líquido a filtrar.
- La resistencia de la torta filtrante.
- La resistencia del medio filtrante y de las capas iniciales de torta.
- Las partículas muy finas o incluso coloides, forman una torta de filtración muy compacta que dificulta la filtración. Muchas operaciones metalúrgicas del centro del Perú cuentan con este problema, y se han identificado a los coloides como causantes de tapamiento de poros de los medios filtrantes.
- Las partículas gruesas y cristalinas, en cambio, forman una torta porosa y se dejan filtrar con facilidad.

- Las partículas cristalinas redondas o esquinadas se filtran bien. Por el contrario, las partículas laminares se depositan una sobre otra dificultando el paso del líquido a filtrar. Partículas laminares como el caso de la sílice.

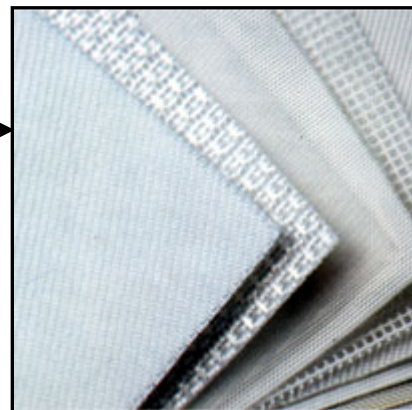
### 3.1.5 Medios de Filtración

Se debe considerar que un medio de filtración debe cumplir lo siguiente:

- Capturar los sólidos y dejar pasar una solución clara.
- Ser resistente al flujo alimentado y a diferentes tipos de presiones.
- No se debe taponar, es decir que sus poros no deben de ser fácilmente tapados.
- Debe ser químicamente resistible a la solución a tratar.
- Debe ser resistente al desgaste mecánico.
- Permitir una fácil desadherencia en la descarga de la torta formada.
- Debe tener un costo factible para el proceso.

Entre los tipos de medios de filtración se citan los siguientes:

- Filtros tela de poliéster
- Filtros tela de polipropileno
- Filtros tela de poliamida
- Filtro tela de polivinilo
- Otros.



Para la filtración tipo clarificación, lo más usual es el uso de textiles tejidos de algodón o fibras sintéticas. Además del material del que se hacen las hilazas, se utilizan ciertas características de construcción para describir las telas de filtros:

1) Tejido: Se pueden hacer con cualquier fibra textil natural o sintética. De entre Los muchos disponibles, sólo se utilizan 4 de ellos como medios de filtración:

- Tejido liso (cuadrado): Los hilos cruzados se tejen par encima y par debajo de Los hilos largos, en forma alterna.
- Sarga: Se caracterizan par su aspecto diagonal.
- Tejido de cadena: La tela resultante tiene características intermedias a Las de Las lonas y Las sargas.
- Satín: Similar a Las sargas, con hilos flotantes. El resultado es una tela de cara Lisa sin el aspecto diagonal de una sarga.

2) Estilo: número arbitrario que asigna cada fabricante.

3) Conteo: número de hilos par pulgada en coda dirección, expresándose primero el de Los hilos largos.

4) Peso (en onzas par yarda cuadrada): Las telas de poso elevado y conteo bajo, constituyen Las telas más fuertes, pero en general tienden a atascarse y retener sólidos gruesos.

5) Pliegues: Número de pequeñas hilazas torcidas juntas para constituir el hilo final.

6) Número de hilaza. peso del filamento original torcido (raramente constituye un factor a tener en cuenta par el usuario)

**Tabla 1 - Data de Filtro Tela - Fibra de Polipropileno**

Modelo N°		Densidad Warp/weft/10 cm	Espesor	Peso	Permeabilidad
A	B		(mm)	(g/m <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup> . m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s
	521	214/150	0.79	302	70
	522	228/185	0.32	154	120
	527	230/180	0.64	222	28
	534	194/102	0.99	345	70
8401	750A	198/115	0.78	340	76
8402	750B	268/157	0.88	460	35
2402		232/116	1.45	540	105
2403	4212	235/118	1.34	390	250
	850	252/134	0.78	418	95

Fuente: TIANTAI INDUSTRIAL CLOTH FACTORY

### 3.1.6 Ayudas filtrantes

Una ayuda filtrante es un producto finamente dividido que no interviene químicamente en el producto filtrado (inerte), que no es comprimido por la presión de filtrado (incomprensible), que se mezcla fácil e íntimamente (ligero), reteniendo los sólidos en suspensión (poroso), alargando productivamente los ciclos de filtrado (permeable).

En el mercado encontramos como ayuda filtrante a las diatomitas, perlitas, zeolitas, etc.

La ayuda filtrante más común es la diatomita y se debe a que fue la primera en ser usada durante la Segunda Guerra Mundial por soldados americanos para la filtración de sus aguas.

**Tabla 2. Composición de la Diatomita**

<b>Sílice</b>	SiO <sub>2</sub>	93 %
<b>Alúmina</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.9 %
<b>Calcio</b>	CaO	1.8 %
<b>Óxido de magnesio</b>	MgO	0.22 %

Fuente: Royal Chemical del Perú

Cabe señalar que esta es la composición de un tipo de ayuda filtrante. Esta mezcla es posteriormente sometida a temperaturas entre 900 a 1100°C, eliminándose cualquier material orgánico o impurezas y obteniéndose una expansión de hasta 20 veces su volumen; luego este material pasa a ser molido.

El cuadro siguiente muestra una típica composición de la perlita.

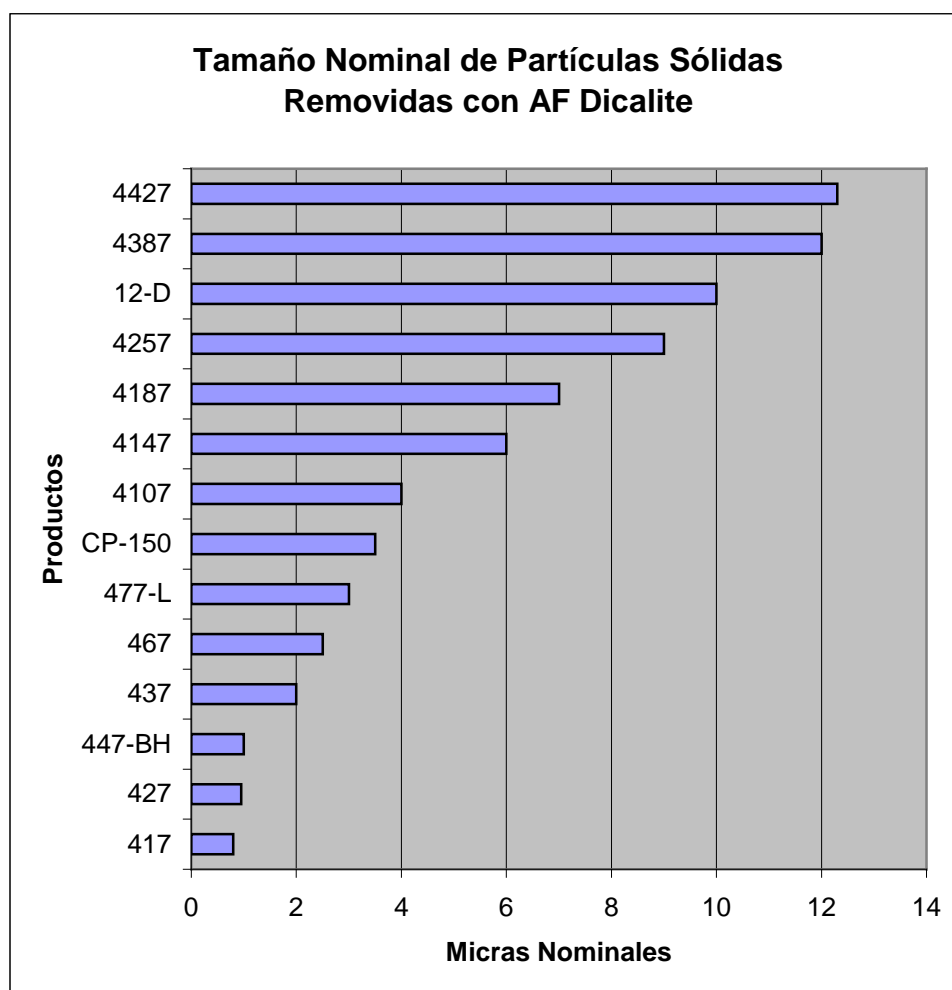
**Tabla 3. Composición de la Perlita**

<b>Sílice</b>	SiO <sub>2</sub>	75.3 %
<b>Alúmina</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.92 %
<b>Sodio</b>	Na <sub>2</sub> O	4.98 %
<b>Potasio</b>	K <sub>2</sub> O	4.58
<b>Calcio</b>	CaO	0.62
<b>Hierro</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51
<b>Otros Óxidos</b>		0.09

Fuente: Chemsupply SAC

Como se mencionó líneas arriba, existe una gran variedad de productos en el mercado como ayuda filtrante, y estas básicamente se diferencian por su granulometría, a continuación el cuadro presenta algunas de estas:

**Tabla 4. Remoción de partículas de diferentes productos Dicalite**



Fuente: Presentación Dicalite



### 3.1.7 Secuencia de Operación en la técnica de filtración.

#### 3.1.7.1 Etapa de uso de una ayuda filtrante (opcional)

Esta es una etapa opcional y su consideración esta dada para los siguientes casos:

- Cuando los contaminantes son gelatinosos o pegajosos, la precapa forma una barrera que evita el contacto con la tela o medio de filtración. Así también la interfase entre la pre-capa y la tela es de fácil despegue permitiendo una rápida descarga de la torta.
- Cuando se requiere en menor tiempo el producto filtrado.

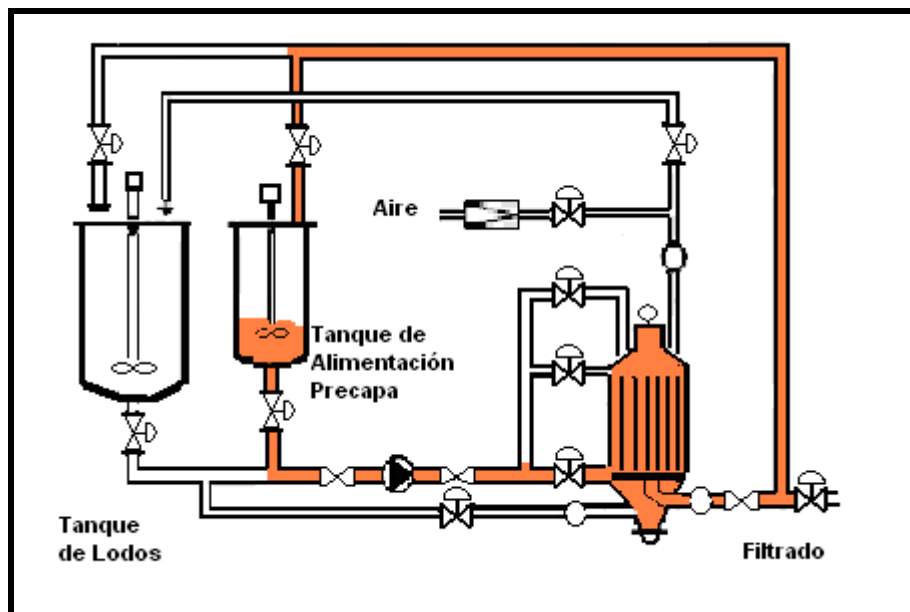
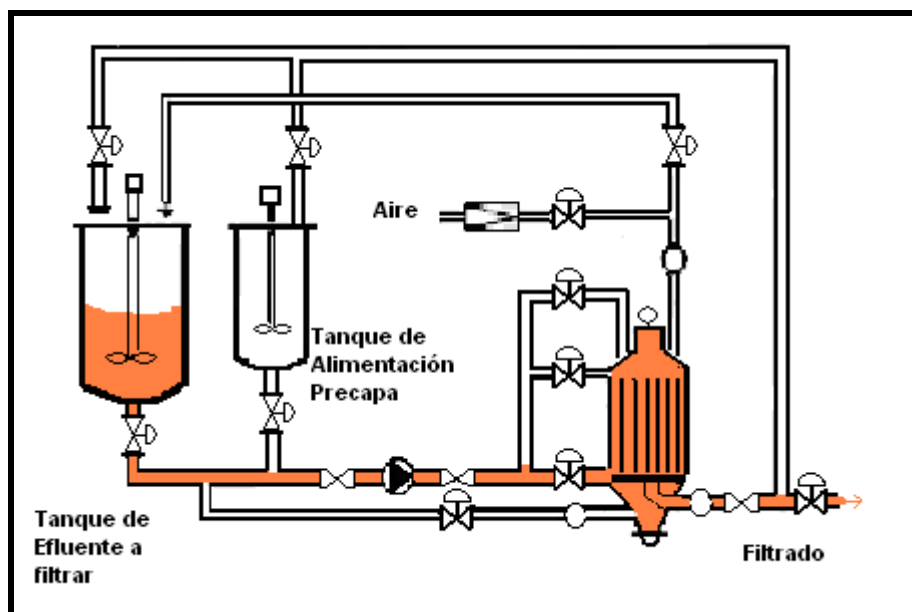


Figura 5. Acondicionamiento de la precapa

#### 3.1.7.2 Etapa de la operación de filtración

Después de acabar la etapa de pre-capa, la pulpa es bombeada a los filtros, formando una torta que esta compuesta por el material contaminante y dejando pasar la solución.

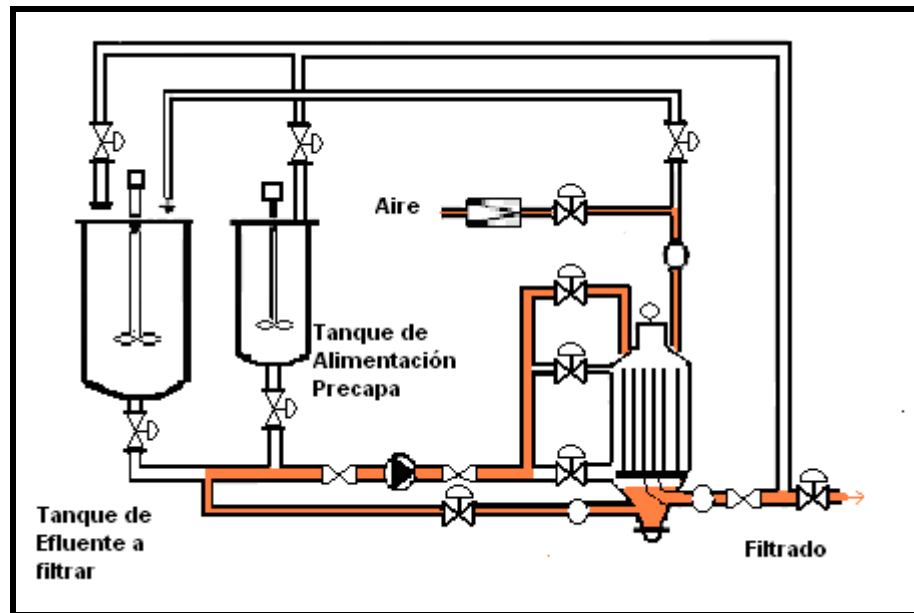
Cuando los sólidos son muy finos y toman mucho tiempo en filtrar, se añade un body-aid para alimentar la pulpa a fin de mejorar la permeabilidad de la torta. Sin embargo, la adición de un body-aid incrementa la concentración de sólidos en la alimentación, ocupando así un volumen adicional, también ocurre un incremento en la cantidad de torta a ser dispuesta.



**Figura 6. Etapa de filtrado**

### 3.1.7.3 Etapa de drenaje o escurrimiento de solución

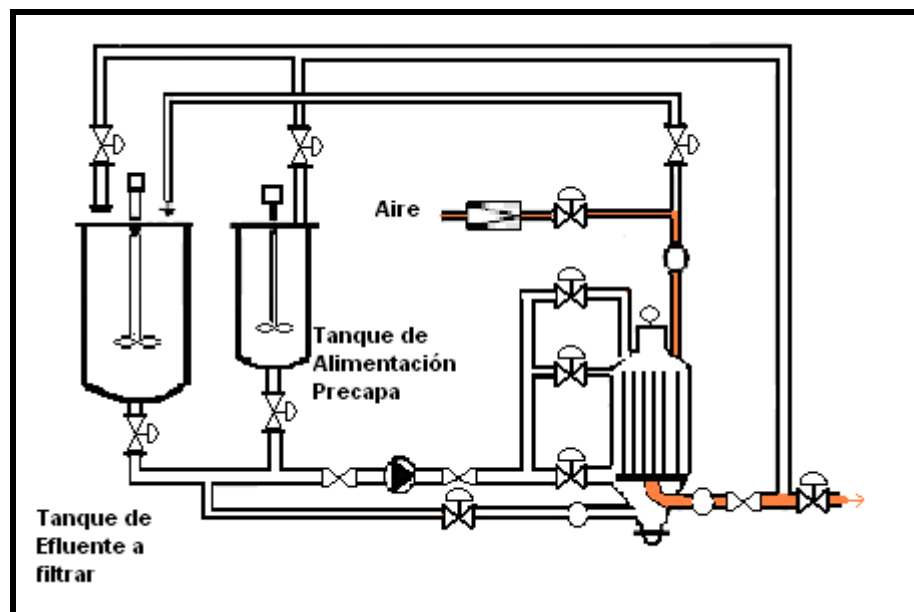
Acabado el ciclo de filtración, se añade aire u otro tipo de gas al contenedor del filtro y de esta forma la pulpa es drenado. La pulpa remanente es evacuada por la parte trasera del tanque de alimentación a través de una tubería especial, quedando el contenedor libre de pulpa.



**Figura 7. Drenaje en la filtración**

#### 3.1.7.4 Etapa de secado de los sólidos capturados (opcional)

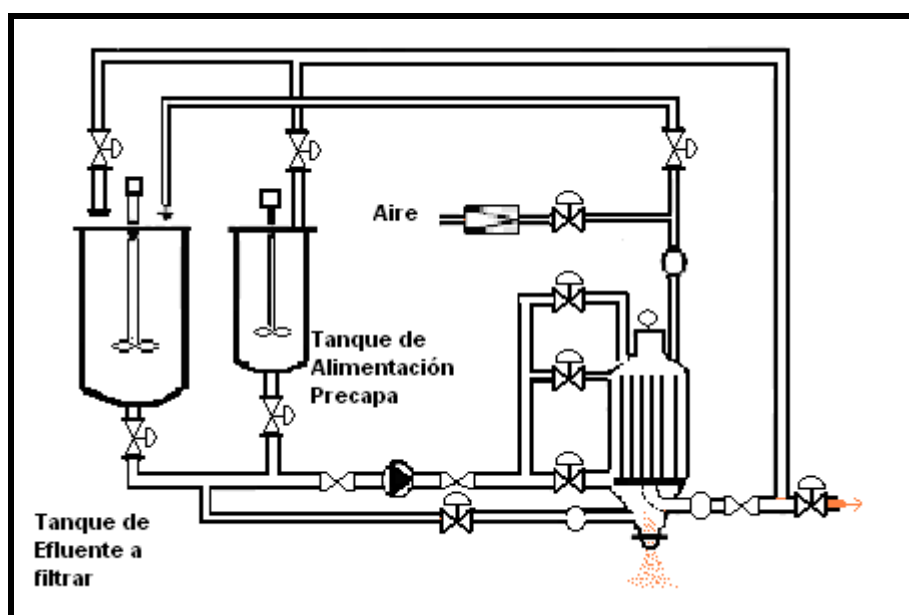
El aire continúa pasando a través de la torta hasta reducir su humedad a un mínimo, permitiendo obtener una torta (en términos prácticos) seca.



**Figura 8. Secado de la torta**

### 3.1.7.5 Etapa de descarga de sólidos y su disposición final

Se deja de añadir aire, y la torta es descargada por la parte inferior del equipo. Otra forma típica de descargar los sólidos es inyectando agua en contracorriente a la dirección del flujo normal, así el agua empujará los sólidos que están impregnados en la tela y de igual forma la evacuación de los sólidos es por la parte inferior. Estos sólidos son canalizados y bombeados a la presa de relaves para su disposición final.



**Figura 9. Descarga de la torta**

### 3.1.8 Resultados obtenidos durante una operación de filtración

Pruebas usando un filtro piloto Larox LSF R2-2

Muestra proveniente del espesador de relaves (Zn/Pb/Cu)

Filtro usado: P104, permeabilidad del aire 7 l/dm<sup>2</sup>/min (20 mm WG)

Ayuda Filtrante: Dicalite N° 427 (1Kg)

**Tabla 5. Resultado de Filtración – sin uso de ayuda filtrante.**

Característica		Alimentación	Filtrado	RM 011- 96*	LGA Clase 2	ENCAPA CAT. 1 A3
pH		10.52	<b>10.42</b>	6-9		5.5 a 9
Sol. Suspendidos Totales (ppm)		51.34	<b>&lt;10</b>	50		
Metales Disueltos (mg/l)	Zinc	0.03	<b>0.02</b>			
	Plomo	0.04	<b>0.03</b>			
	Cobre	0.14	<b>0.01</b>			
	Fierro	<0.01	<b>&lt;0.01</b>			
Metales Totales (mg/l)	Zinc	0.32	<b>0.13</b>	1	5	5
	Plomo	0.25	<b>0.17</b>	0.2	0.05	0.05
	Cobre	0.29	<b>0.20</b>	0.3	1	2
	Fierro	1.21	<b>0.06</b>	1		1

**Tabla 6. Resultados de Filtración usando una ayuda filtrante.**

Característica		Alimentación	Filtrado	RM 011- 96*	LGA Clase 2	ENCAPA CAT. 1 A3
pH		10.55	<b>10.51</b>	6-9		
Sol. Suspendidos Totales (ppm)		249.6	<b>7.6</b>	50		
Metales Disueltos (mg/l)	Zinc	<0.01	<b>&lt;0.02</b>			
	Plomo	0.03	<b>0.02</b>			
	Cobre	0.08	<b>0.03</b>			
	Hierro	<0.03	<b>&lt;0.03</b>			
Metales	Zinc	3.97	<b>0.12</b>	1	5	5

Totales (mg/lit)	Plomo	0.62	<b>0.15</b>	0.2	0.05	0.05
	Cobre	0.61	<b>0.17</b>	0.3	1	2
	Hierro	13.96	<b>&lt;0.03</b>	1		1

\*Valor promedio anual

LGA: Ley General de Aguas

ENCAPA: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua.

### **Eficiencias:**

Referidas al porcentaje de captura de sólidos y metales totales respecto a la alimentación:

<b>Parámetro</b>		<b>Sin Ayuda Filtrante</b>	<b>Con Ayuda Filtrante</b>
Sólidos Suspendidos Totales		80.5%	96.9%
Metales Totales	Zinc	59.3%	96.9%
	Plomo	32.0%	75.8%
	Cobre	31.0%	72.1%
	Hierro	95.0%	99.7%

Estas pruebas fueron realizadas en febrero del 2008, cuyo objetivo principal era cumplir con dos legislaciones: RM N° 011-96 EM/VMP y la Ley General de Aguas Clase 2.

Los resultados presentados son de dos horas después iniciado el proceso de filtración. Se observan dos valores que están fuera del rango.

El primero es el pH, este parámetro puede ser fácilmente manejado con el uso de ácido para bajar su valor.

El segundo es el plomo, tanto las pruebas sin uso de ayuda filtrante como la prueba con su uso, el plomo es ligeramente elevado. Y esto se debe a que el plomo presente esta en su mayoría en forma iónica. Como se sabe la alternativa de filtración captura partículas que se encuentren como sólidos mas no como iones.

### **3.1.9 Ventajas y Desventajas de la operación**

#### **Ventajas**

Bajos costos de operación

Mínimo costos de mantenimiento

Robusto diseño y de altas capacidades.

Altas recuperaciones (captura) de sólidos suspendidos totales.

Puede ser operado en forma automática.

No se requiere manipular reactivos peligrosos.

Tecnología Limpia.

#### **Desventajas**

Su desventaja principal es la remoción de sólidos disueltos.

El lavado de la tela es un poco dificultoso, especialmente cuando las partículas son muy pegajosas.

Si se tiene una gran cantidad de sólidos en suspensión se requerirá equipos de gran tamaño.



## **3.2 Tratamiento Químico de Efluentes Provenientes del Proceso de Cianuración**

### **3.2.1 Introducción**

La mayoría de las operaciones metalúrgicas de extracción de oro en pilas cuentan con este tipo de tratamiento ya sea directa o indirectamente.

En esta parte vamos a tomar el ejemplo que aplica Minera Yanacocha SRL (MYSRL) para el tratamiento de sus efluentes excedentes.

La planta de tratamiento de excesos de Minera Yanacocha (EWTP) tiene como objetivo tratar el exceso agua del circuito de lixiviación para tener un adecuado balance de este elemento en la planta de procesos. Para lograr esto es necesario transformar el cianuro en un compuesto más estable y no tóxico, precipitar los metales pesados (Hg, Cu, Zn), coagulación y posterior separación sólido líquido.

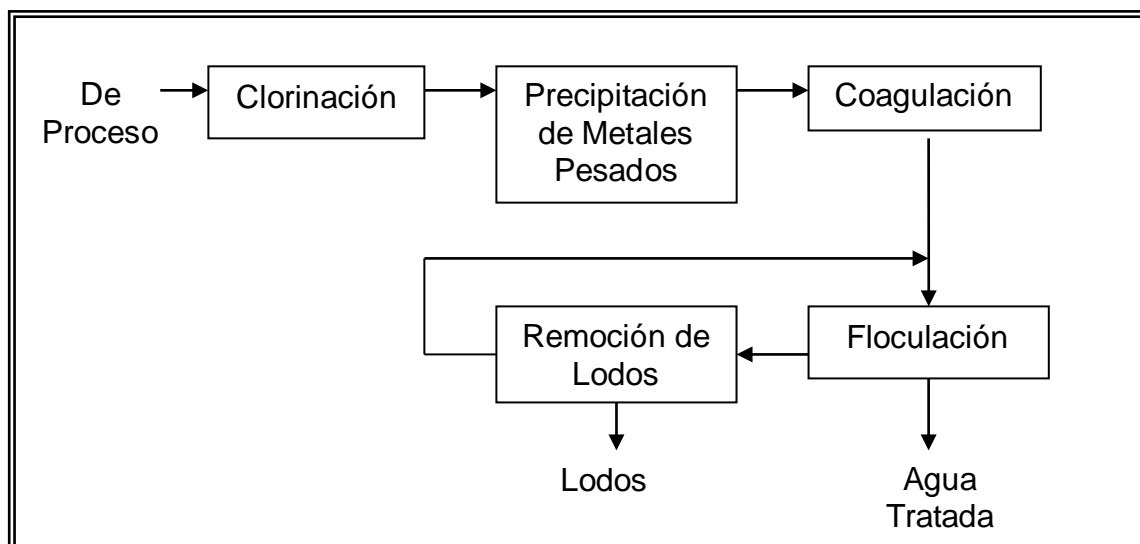
Se obtiene un efluente con las características de acuerdo a ley.

### **3.2.2 Mecanismo de Operación mediante uso de reactivos en cianuración**

Las aguas en exceso de la planta de Merrill Crowe pasan a través de las siguientes etapas:

- Destrucción del cianuro.
- Precipitación de Metales.
- Etapa de coagulación

- Etapa de floculación y separación sólido / líquido.



**Figura 10. Diagrama de flujo simplificado EWTP**

### 3.2.3 Secuencia de operación en la recuperación de la calidad del agua

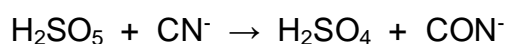
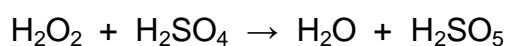
#### 3.2.3.1 Oxidación del cianuro y otros

Como se conoce los compuestos cianurados son tóxicos e influyen negativamente en la naturaleza, ya sea el suelo, como aguas superficiales y subterráneas; por lo que soluciones que contengan cianuros deberán ser tratadas hasta reducir el contenido de cianuro por debajo de los límites máximos permisibles.

Existen diferentes alternativas para la destrucción del cianuro como:

- Proceso Inco,
- Uso de peróxido,
- Método del ácido CARO,

El ácido peroximonosulfúrico, conocido con el nombre de ácido caro ( $\text{H}_2\text{SO}_5$ ) es generado por la mezcla de peróxido de hidrógeno y el ácido sulfúrico y es el principal responsable de la oxidación del cianuro.



- Uso de hipoclorito,
- Clorinación, y otros.

Hay que recordar que el  $\text{CN}^-$  reacciona con agua para formar HCN, en cantidades que depende del pH de la disolución.

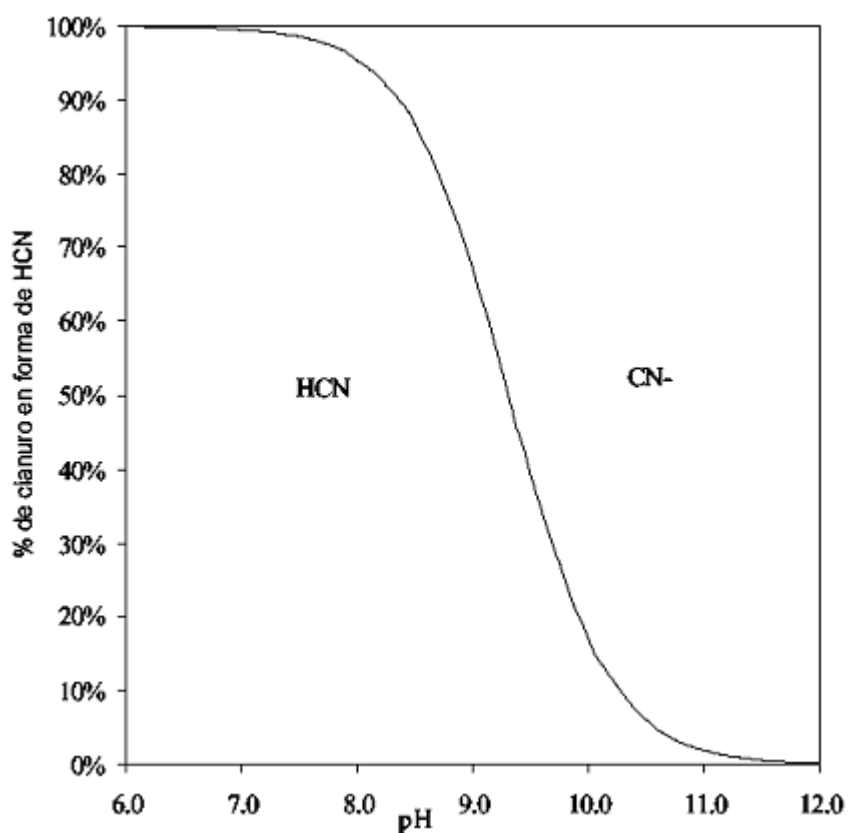
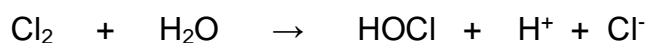


Figura11. Relación HCN-CN en función del pH

El tratamiento con uso de gas cloro es la mitad de caro con respecto al de adición de hipoclorito (liquido); pero el manejo de gas cloro es mas peligroso y sus equipos de operación mas caros.

El método usado en MYSRL es el uso de cloro para producir la oxidación del cianuro y transformarlo a cianato mediante las siguientes etapas y/o reacciones:

*Hidrólisis:* El cloro gaseoso se disuelve en agua:

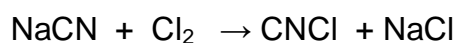


Estas reacciones hacen que el pH de la solución disminuya, por lo que es necesaria la adición de cal para mantener el pH entre 10 a 10.5 y no generar gas cianhídrico.

*Formación de hipoclorito:*



*Oxidación del Cianuro:*



Por hipocloritos:



Oxidación del arsénico ( $\text{As}^{+3}$  a  $\text{As}^{+5}$ ):

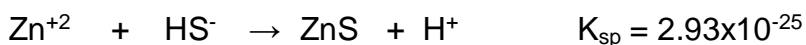
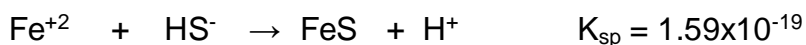
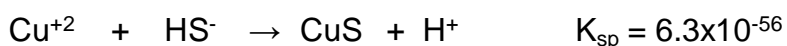
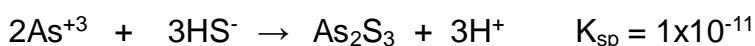
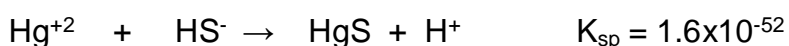


[Ox] == Cloro

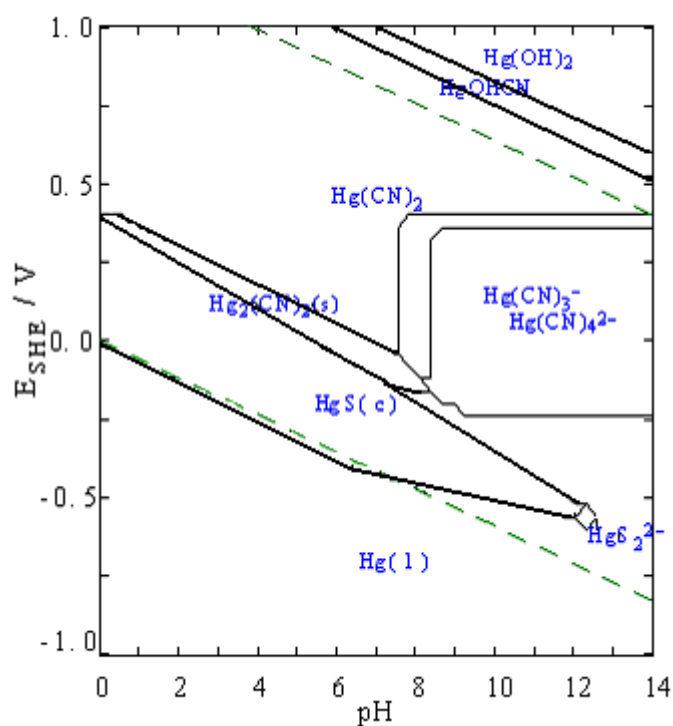
### 3.2.3.2 Precipitación de metales

En el proceso de cianuración diferentes iones metálicos fueron disueltos, y lo que se quiere hacer en la etapa de tratamiento es de estabilizar esos iones usando un ligante de tal forma se forme un precipitado que posteriormente pueda ser removido.

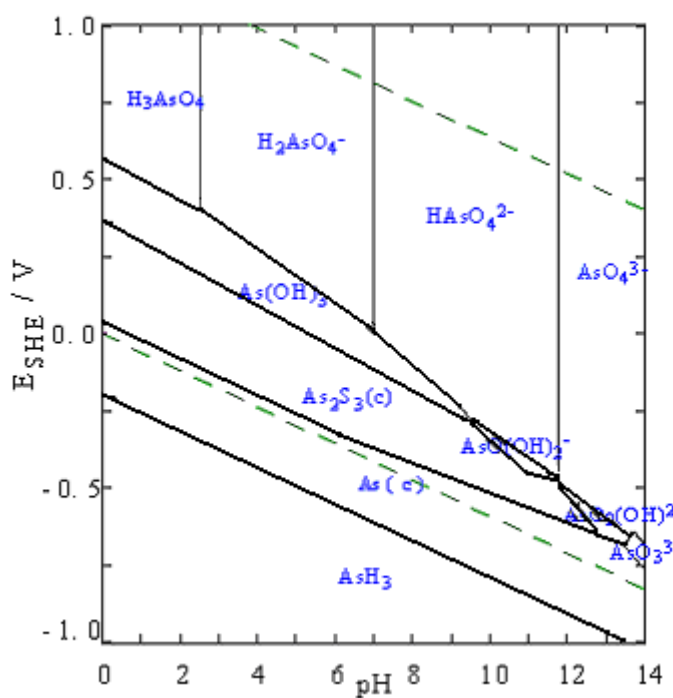
El ligante a usar es el sulfhidrato de sodio NaSH el cual reacciona con los iones de metales para formar sulfuros de metales insolubles según las siguientes reacciones:



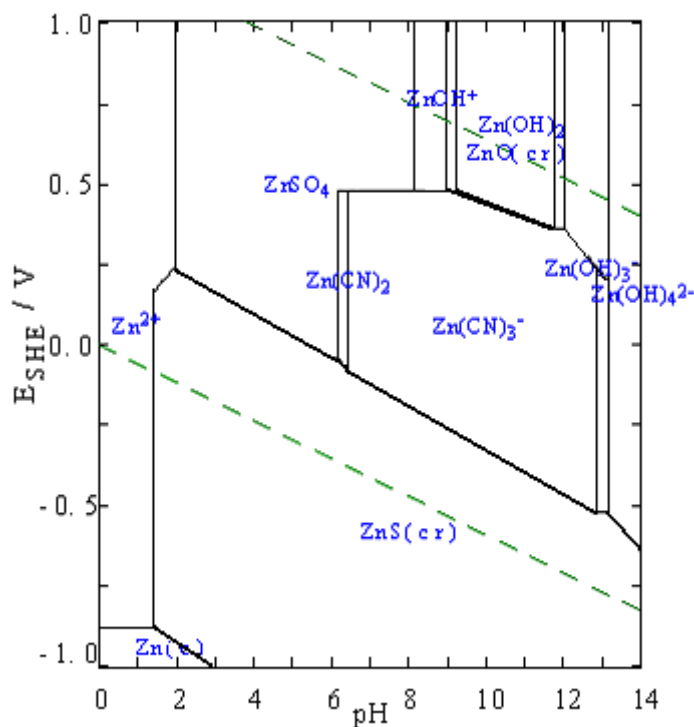
Este proceso también se puede visualizar en las áreas de predominancia abajo mostradas.



**Figura 12.**  
**Diagrama de**  
**Predominancia Hg-**  
**S-CN-H<sub>2</sub>O**  
 [HS<sup>-</sup>]<sub>TOT</sub> = 10mM, [  
 Hg<sup>+2</sup>]<sub>TOT</sub> = 10uM, [  
 CN<sup>-</sup>]<sub>TOT</sub> = 10mM @  
 25°C



**Figura 13. Diagrama**  
**de Predominancia**  
**As-S-CN-H<sub>2</sub>O**  
 [HS<sup>-</sup>]<sub>TOT</sub> = 10mM,  
 [As(OH)<sub>3</sub>]<sub>TOT</sub> = 10uM,  
 [CN<sup>-</sup>]<sub>TOT</sub> = 10mM @  
 25°C



**Figura 14. Diagrama de Predominancia Zn-S-CN-H<sub>2</sub>O**  
 $[\text{HS}^-]_{\text{TOT}} = 10\text{mM}$ ,  
 $[\text{As}(\text{OH})_3]_{\text{TOT}} = 10\text{uM}$ ,  
 $[\text{CN}^-]_{\text{TOT}} = 10\text{mM}$  @  
 $25^\circ\text{C}$

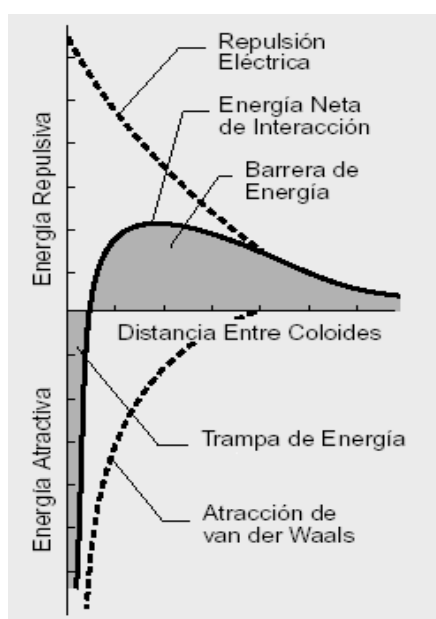
### 3.2.3.3 Coagulación

La coagulación es la conversión de partículas coloidales (tamaños menores a 1 $\mu$ ) y dispersadas (1-1000 $\mu$ s) en pequeños flocs visibles (0.1-1 mm) con la simple adición de un electrolito.

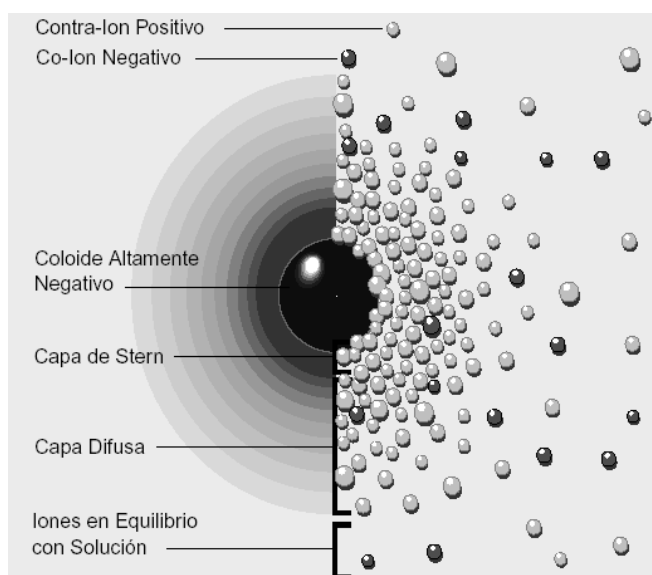
Incrementando la concentración del electrolito se comprime la doble capa eléctrica que rodea a cada partícula suspendida decreciendo la magnitud de las interacciones repulsivas entre partículas desestabilizándolas.

La teoría DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek) es la clásica explicación de los coloides en suspensión. Esta se basa en el equilibrio entre las fuerzas opuestas de repulsión electrostáticas y atracción de tipo van der Waals y explica por que algunos coloides se aglomeran y otros no.

Cada coloide contiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza negativa. Estas cargas producen fuerzas de repulsión electrostáticas entre los coloides vecinos. Si la carga es suficientemente elevada los coloides permanecerán en suspensión. Reduciendo o eliminando estas cargas se obtiene el efecto opuesto y los coloides se aglomeran y sedimentan fuera de la suspensión.



**Figura 15.**  
**Balance de**  
**Repulsión y**  
**atracción.**



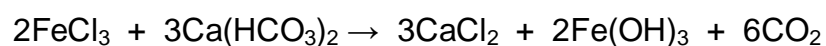
**Figura 16.** Dos  
**maneras de**  
**visualizar la**  
**doble capa**  
**eléctrica**



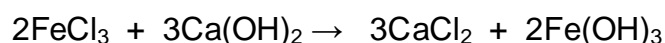
Como coagulantes son empleados electrolitos simples solubles en agua, de bajo peso molecular, ácidos orgánicos, bases o sales. Las sales que al disolverse producen cationes hidrolizados de alta valencia son los coagulantes mas efectivos (ejemplo  $\text{FeCl}_3$ ).

Reacciones del cloruro férrico en agua:

1) Con la alcalinidad



2) Con la cal:



Hay que añadir también que el cloruro férrico es también usado para la remoción del arsénico; después de la etapa de oxidación del arsénico (de  $\text{As}^{+3}$  a  $\text{As}^{+5}$ ), el  $\text{As}^{+5}$  se debe adsorber en los flóculos formados por la coagulación de los flóculos presentes en la masa de agua por la acción del hidróxido de hierro. Probablemente la adsorción se produzca mas por un efecto físico que químico debido a las fuerzas de atracción superficiales que posibilitan el fenómeno.

#### **3.2.3.4 Etapa de floculación y separación sólido / líquido**

La floculación es la aglomeración de las partículas desestabilizadas a partículas de mayor tamaño conocidos como flocs. La floculación es

esencialmente un proceso físico que describe el transporte de partículas desestabilizadas.

Después de la floculación (etapa que se inicia antes del ingreso de la solución al espesador) sigue la remoción de los lodos formados. Esta etapa se basa en la sedimentación de las partículas ya acondicionadas anteriormente. De esta manera se hace pasar la solución en contracorriente (de abajo hacia arriba) quedando atrapadas las partículas en suspensión que lleva consigo, obteniéndose en el overflow una solución clara, limpia y con contenidos metálicos por debajo de los límites permisibles. Esta solución limpia es monitoreada y luego descargada al ambiente.

### **3.2.4 Resultados obtenidos durante la etapa de remoción de contaminantes**

Resultados de auditoria por una Empresa externa (INGETEC) en el Laboratorio de agua y gases de Ingeominas Colombia S.A. Junio 2003.

Muestra: Efluente EWTP1 Carachugo.

Tabla 7. Resultados de efluente con tratamiento químico

Característica	Limite permisible (MYSRL) en la descarga	Descarga EWTP	RM 011-96 EM/VMP*	LGA Clase 2	Agua Potable USEPA (2005)	ENCAPA CAT. 3
pH	6.0 - 9.0	<b>8.6</b>	6.0 - 9.0		8.5	6.5 a 8.4
CN Total (ppm)	0.20	<b>0.016</b>	1	0.08**	0.2***	0.1**
Metales Disueltos (mg/lt)	As	0.01	<b>0.002</b>	1	0.1	0.01 (IV)
	Cd	0.018	<b>0.001</b>		0.01	0.005 (IV)
	Cu	0.3	<b>0.12</b>	1	1.0	1.3 (IV)
	Fe	1.0	<b>&lt;0.1</b>	2		1 (IV)
	Pb	0.015	<b>&lt;0.0005</b>	0.4	0.05	0.015 (IV)
	Zn	0.002	<b>0.19</b>	3	5.0	24 (IV)
Hg Total (ppm)	0.002	<b>0.0013</b>		0.002	0.01	0.001
Cloruros (Cl) ppm	1.0	<b>359</b>			250	
Nitratos como N (ppm)	10	<b>139</b>		0.01	10	50
Sólidos en Solución		<b>2020</b>	50			

\*Valor en cualquier momento

\*\*Como CN WAD

\*\*\*Como CN Libre

(IV) Como metales totales

ENCAPA: Estándares de calidad ambiental para agua, Categoría 3: Bebida de animales

Hay que recalcar que estos resultados fueron del año 2003, donde el objetivo era el cumplimiento de dos legislaciones: Ley General de Aguas Clase 2 y la R.M. N° 011-96 EM/VMP.

En cuanto a la remoción de metales esta alternativa cumple con las normas ambientales. Los parámetros observados son los cloruros, los nitratos y los sólidos en solución.

El uso excesivo de cloro durante la etapa de destrucción de cianuro involucra una concentración alta de esta sustancia en el efluente.

Los sólidos en solución se deben a un mal manejo durante ese periodo en la etapa de espesamiento y floculación.

### **3.2.5 Ventajas y Desventajas**

#### **Ventajas**

Remoción de cianuro y metales pesados de acuerdo a normas.

Método ampliamente usado.

Adaptable a procesos continuos y discontinuos

#### **Desventajas**

Alta inversión

Alto costo de operación (uso de reactivos).

Se requiere mucho cuidado en la manipulación de los reactivos.

No se recupera el cianuro, tampoco el contenido metálico

Existe un cloro residual que puede ser toxico para especies acuáticas.

No se cumple con los estándares de nitratos.

### 3.3 Uso de la Tecnología de Osmosis Inversa para la Recuperación de la Calidad de Agua Durante el Proceso de Cianuración

#### 3.3.1 Introducción

Se piensa que si una separación física no funciona, lo que se nos viene a la mente es recurrir a una separación química, y así buscando nuevos reactivos para la separación o remoción de ciertos contaminantes. En lo que concierne a filtración se captura partículas del orden de las micras; sin embargo, existe otra variante de filtración que además de filtrar partículas filtra iones disueltos, ya que sus poros están en el orden de los amstrongs.

Micras	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000
Amstrong	10	100	1000	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>
Peso Molecular	100	200	5 000	20 000	100 000	500 000	
Tamaños Relativos de diferentes partículas	Sales Acuósas Iones Metálicos Azúcares	Pirógenos Virus Silice Coloidal Proteínas	Carbón Negro	Pigmentos de Pintura	Bacterias	Polen Harina Molida	Arena de Playa
TECNOLOGIA	OSMOSIS INVERSA		ULTRAFILTRACIÓN		MICROFILTRACIÓN		FILTRACION DE PARTICULAS

Figura 17. Rango de remoción de diferentes tecnologías

Esta otra variante de filtración es la Osmosis Inversa y ya tiene más de tres décadas en funcionamiento en la industria, y ha sido operado principalmente para el tratamiento de aguas de origen marino.

En el siguiente cuadro veremos los importantes proyectos que se han realizado con el uso de Osmosis Inversa:

**Tabla 8. Evolución Industrial de Osmosis Inversa**

<b>PROYECTO</b>	<b>LUGAR</b>	<b>VOL. TRATADO (m3/día)</b>	<b>AÑO</b>
Jeddha	Arabia Saudita	12 000	1978
Yuma Plant	Colorado, USA	285 000	1985
Refinería de Talara	Perú	3 000	2001
Desalinizadora Antofagasta	Chile	50 000	2003
Desalinizadora Codelco	Chile	40 000	2004
CM Yanacocha	Perú	2700	2004
Desalinizadora Mlipo	Perú	2 000	2006

### **3.3.2 Ósmosis**

La difusión es el movimiento de moléculas de una región de alta concentración a una región de baja concentración. Osmosis es un caso especial de difusión en la que las moléculas son agua y la gradiente de concentración ocurre a través de una membrana semipermeable.

Se denomina membrana semipermeable a la que contiene poros, al igual que cualquier filtro, de tamaño molecular. El tamaño de los poros es tan minúsculo que deja pasar las moléculas pequeñas pero no las grandes.

En el caso de la Osmosis, el solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semi-permeable. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio (Ver Figura 18).

### 3.3.3 Ósmosis inversa (OI)

La Osmosis Inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable.

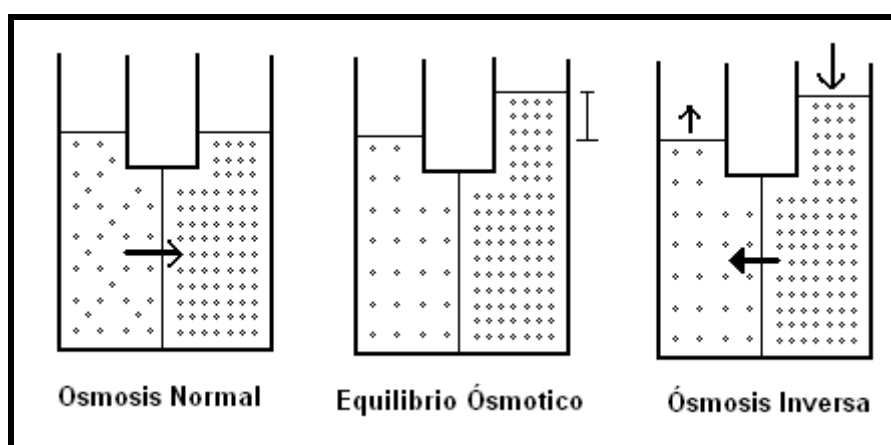


Figura 18. Principio de Ósmosis Normal e Inversa

Si se agrega a la solución más concentrada, energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la **presión Osmótica Aparente** entre las 2 soluciones. Esta presión Osmótica Aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la **Osmosis Inversa**. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

#### **3.3.4 Tipos de Membranas de Osmosis Inversa**

La parte mas importante de un proceso de ósmosis inversa es la membrana, básicamente existen dos materiales principales para la construcción de las membranas: celulosas y sintéticas.

**Celulosas.-** La más común es la membrana de acetato de celulosa. Las primeras membranas que fueron fabricadas a nivel industrial fueron de este material. Estas membranas son asimétricas, están compuestas de una capa superficial densa delgada (0.2 a 0.5  $\mu$ ) y una compacta subestructura de poros.

Las membranas de acetato de celulosa son relativamente mas cómodas, fácil de fabricar, pero con algunas limitaciones.

Su estructura asimétrica hace que sean susceptibles a las altas presiones de operación, especialmente a elevadas temperaturas. Además son



susceptibles a ser hidrolizadas, teniendo así un rango de pH para su operación (pH de 4 a 8).

Estas son vulnerables a ser atacadas por bacterias también.

**Sintéticas.-** Se encuentran las poliamidas, polioefinas, polisulfonas, etc. La más común es la poliamida aromática compuesta.

Las membranas de poliamida tienen una mejor resistencia a la hidrólisis y ataque biológicos. Estas pueden ser operadas en un amplio rango de pH (de 4 a 11). Una desventaja de las membranas de poliamida es que son muy susceptibles a la presencia de oxidantes como es el caso del gas cloro.

### **3.3.5 Configuraciones Osmosis Inversa Tipo Espiral**

Consisten en hojas de membrana que se sitúan sobre un soporte poroso y un espaciador, ese conjunto se enrolla sobre un tubo de PVC que servirá como colector de agua permeada. Hoy en día el 60% de las membranas utilizadas son de este tipo.

La razón para esta popularidad son dos ventajas apreciables:

- 1) Buena relación área de membrana / volumen del módulo.
- 2) Un diseño que permite ser usado en la mayoría de las aplicaciones, admite una turbiedad más de tres veces mayor que los otros sistemas, y permite trabajar con régimen turbulento.

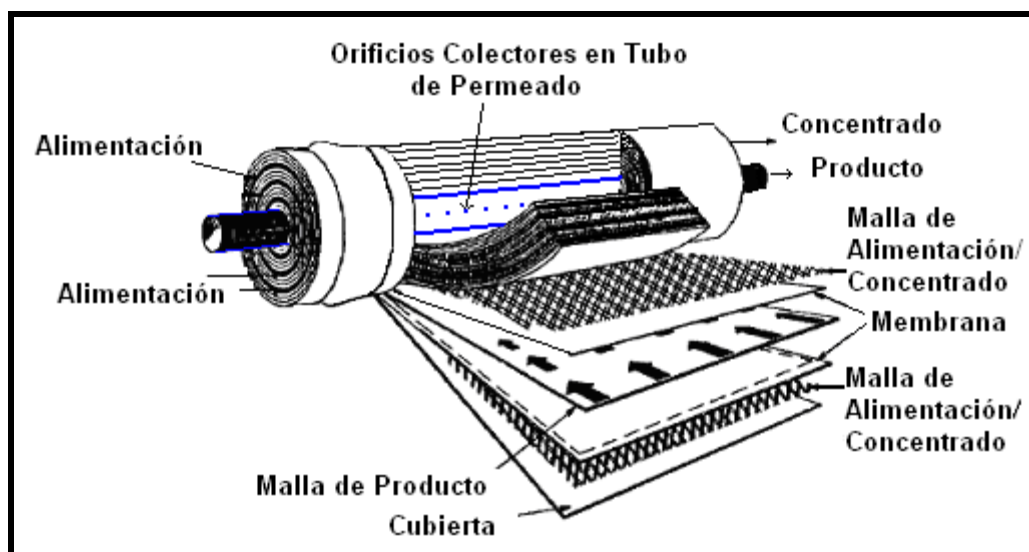


Figura 19. Membrana en espiral

### 3.3.6 Rechazo de Membranas

Tabla 9. Rechaza de membranas (Inorgánicos)

Cationes			Aniones		
Nombre	Símbolo	%Rechazo	Nombre	Símbolo	%Rechazo
Sodio	Na <sup>+</sup>	94-96	Cloruro	Cl <sup>-</sup>	94-95
Calcio	Ca <sup>++</sup>	96-98	Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	95-96
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	96-98	Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	99 <sup>+</sup>
Potasio	K <sup>+</sup>	94-96	Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	93-96
Hierro	Fe <sup>++</sup>	98-99	Fluoruro	F <sup>-</sup>	94-96
Manganeso	Mn <sup>++</sup>	98-99	Silicato	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	95-97
Aluminio	Al <sup>+++</sup>	99 <sup>+</sup>	Fosfato	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	99 <sup>+</sup>
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	88-95	Bromuro	Br <sup>-</sup>	94-96
Cobre	Cu <sup>++</sup>	96-99	Borato	B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>-</sup>	35-70**
Níquel	Ni <sup>++</sup>	97-99	Cromato	CrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	90-98
Estroncio	Sr <sup>++</sup>	96-99	Cianuro	CN <sup>-</sup>	90-95**
Cadmio	Cd <sup>++</sup>	95-98	Sulfito	SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98-99
Plata	Ag <sup>+</sup>	94-96	Tiosulfato	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99 <sup>+</sup>
Arsénico	As <sup>+++</sup>	90-95	Ferrocianuro	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-</sup>	99 <sup>+</sup>

**Tabla 10. Rechaza de membranas (Orgánicos)**

Nombre	Peso Molecular	%Rechazo
Sucrosa	342	100
Lactosa	360	100
Proteínas	Mayor 10.000	100
Glucosa	198	99,9
Fenol	94	93-99**
Ácido Acético	60	65-70
Tinturas	400 a 900	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	-----	90-99
Demanda química de oxígeno (COD)	-----	80-95
Urea	60	40-60
Bacterias y Virus	5.000-100.000	100
Pirógenos	1.000 - 5.000	100

### 3.3.7 Secuencia de operación durante la ósmosis inversa

#### 3.3.7.1 Sistema de preparación de la solución mediante filtración

Ya que en el proceso se generan partículas o ya son típicas del efluente es necesario filtrar este efluente. El filtrado se realiza con el objetivo de evitar la saturación rápida de las membranas del proceso de OI. A su vez la solución debe ser tratada con antiincrustante antes de la filtración. Las incrustaciones más comunes en el tratamiento de agua son el carbonato de calcio y el sulfato de calcio.

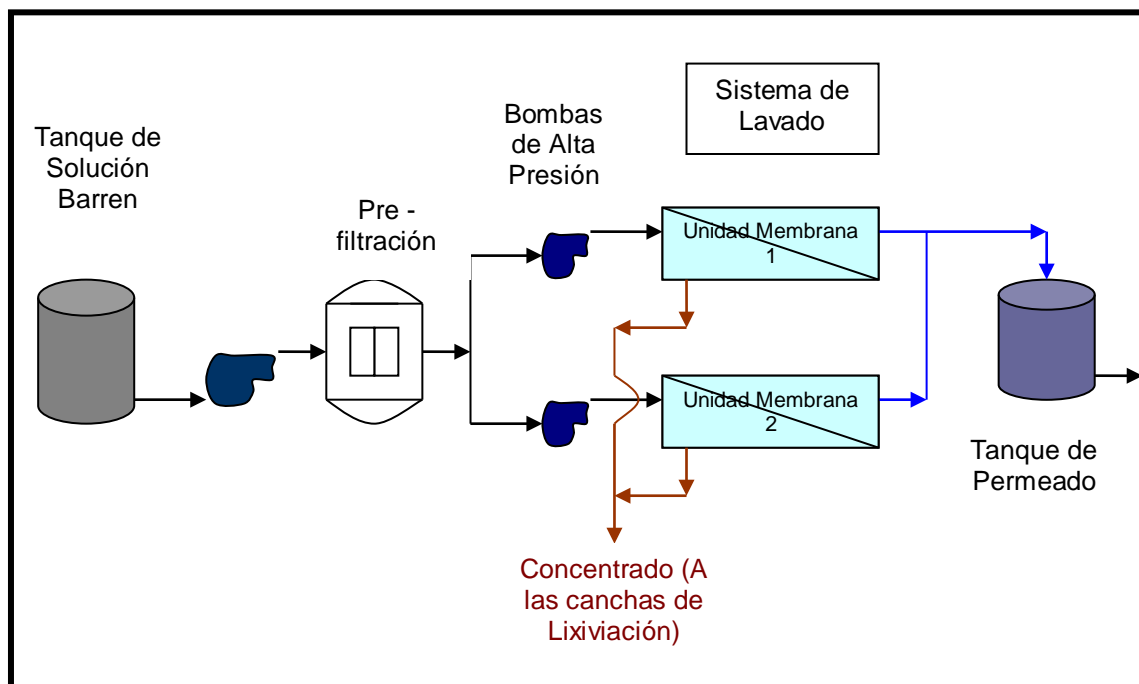


Figura 20. Diagrama de Proceso Ósmosis Inversa.



Figura 21. Vista de las unidades de membrana

### **3.3.7.2 Sistema de Membranas (Ósmosis Inversa)**

Cuenta con bombas de alta presión y una serie de elementos de membranas. Las bombas alimentan a la serie de membranas. La membrana es el filtro molecular entre dos soluciones. Bajo la influencia de la presión en los depósitos a presión, se puede forzar agua pura de la solución estéril de un lado de la membrana hacia el otro, dejando atrás una parte del total de sólidos disueltos. Este proceso es conocido como OI. Mediante la adecuada disposición de los módulos de membranas, el sistema produce dos productos: un volumen mayor de agua con un bajo TDS denominado perneado y un volumen menor de agua de alto TDS llamado concentrado.

### **3.3.7.3 Sistema de lavado de membranas**

Con el tiempo el sistema de membrana empieza a saturarse, la cual es producida por una deficiente filtración o a la formación de incrustaciones.

Se dan las siguientes opciones para el lavado de las membranas:

- Lavado con pH alto (pH 11). Uso de soda cáustica y agua para eliminar los saturantes orgánicos.
- Lavado con pH bajo (pH 2.0). Uso de ácido sulfúrico y agua par eliminar las incrustaciones o saturación por carbonatos.
- Lavado neutro. Detergente mas agua para eliminar los sulfatos.
- Lavado con cianuro. Para eliminar el mercurio.

En la etapa de lavado este lavado será separado y el perneado se dirige al tanque del perneado.

### 3.3.8 Resultados obtenidos en una prueba de ósmosis inversa

Ensayos realizados en el Laboratorio de Medio Ambiente de MYSRL, 2004, tomado de la referencia 26.

**Tabla 11. Resultados de soluciones en la ósmosis inversa**

Característica	Limite permisible (MYSRL) en la descarga	A	P	C	RM 011-96 EM/VMP*	LGA Clase 2	ENCAPA CAT. 3
pH	6.0 – 9.0	10.1	<b>8.0</b>	9.7	<b>6.0 - 9.0</b>		<b>6.5 a 8.4</b>
CN WAD (ppm)	0.20	46.70	<b>&lt;0.05</b>	117.5	<b>0.2</b>	<b>0.08</b>	<b>0.1</b>
Metales Disueltos (mg/l) Hg Total (ppm)	As	0.01	0.4	<b>&lt;0.01</b>	0.5	<b>0.5</b>	<b>0.1 **</b>
	Cd	0.018	<0.002	<b>&lt;0.002</b>		<b>0.01</b>	<b>0.01**</b>
	Cu	0.3	3.1	<b>0.1</b>	0.3	<b>0.3</b>	<b>1</b>
	Fe	1.0	<0.5	<b>&lt;0.5</b>	1.0	<b>1</b>	<b>1**</b>
	Pb	0.015	<0.001	<b>&lt;0.001</b>	0.2	<b>0.2</b>	<b>0.05</b>
Zn	0.002	17.2	<b>0.3</b>	1.0	<b>1</b>	<b>5</b>	
Hg Total (ppm)	0.002	<0.0025	<b>&lt;0.0005</b>	0.0076		<b>0.002</b>	<b>0.001</b>
Nitritos como N (ppm)	1.0	5.19	<b>0.09</b>	17.11			<b>1</b>
Nitratos como N (ppm)	10	27.47	<b>0.64</b>	89.83		<b>0.01</b>	<b>50</b>

A: Alimentación

P: Perneado

C: Concentrado

\*Valor Promedio Anual

ENCAPA: Estándares Nacionales de Calidad de Ambiental para el Agua, Categoría 3: Bebida de Animales.

Los valores obtenidos en el perneado (P) muestran una clara evidencia de la capacidad de esta alternativa para la recuperación de la calidad de agua.

### **3.3.9 Ventajas y Desventajas de la Osmosis Inversa**

#### **Ventajas**

Remoción efectiva de todo tipo de contaminantes (partículas, pirógenos, microorganismos, coloides, disolventes orgánicos).

Requiere mínimo mantenimiento.

Remoción de sales y minerales (plomo / mercurio).

La descarga cumple con las regulaciones ambientales.

Confiabilidad del sistema.

La operación puede ser automatizada.

#### **Desventajas**

Alto costo de inversión.

Alta pérdida de agua (% de recuperación bajos).

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

- Cada vez las regulaciones ambientales nacionales están aumentando en número de parámetros. Es el caso de Los Estándares Nacionales Ambientales de Calidad de Agua donde figuran parámetros nuevos como los compuestos volátiles orgánicos.
- La filtración por si sola como técnica para la remoción de metales en el proceso de concentración de minerales no es factible.
- El uso de una ayuda filtrante mejora la eficiencia de captura de sólidos en suspensión como los metales totales presentes en la solución. Eficiencia sin uso de ayuda filtrante 80.5%, con uso de ayuda filtrante 96.9% para los sólidos en suspensión.
- El tratamiento químico usado en el proceso de cianuración para la recuperación de la calidad de agua no tiene alcance para la disminución de la concentración de los nitratos.



- Osmosis inversa usada como tratamiento en un proceso de cianuración es la técnica más efectiva para la remoción de contaminantes, ya sean estos orgánicos como inorgánicos. La tabla 11, muestra la calidad de agua que produce esta alternativa.
- La alternativa de osmosis inversa logra disminuir la concentración de iones hidrógeno en su producto (perneado).
- Se puede aprovechar el cianuro remanente del concentrado (de osmosis inversa) para el uso en la cianuración en pilas.

## **CAPÍTULO V**

### **RECOMENDACIONES**

- Se debe contar con una mejor base de las legislaciones peruanas en cuanto a estándares de calidad. En la última legislación (Estándares Nacionales Ambientales de Calidad para el Agua) existen errores algunas incoherencias en las tablas que están por corregir.
- Si una alternativa no llega a cumplir con los estándares, no necesariamente se puede descartar esta alternativa, se puede usar procedimientos de una alternativa para adecuarla a otras. Se observó que la técnica de filtración usada para la recuperación de la calidad de agua en el proceso de concentración de minerales no es factible, pero esto no nos debe llevar a pensar a abortar esta técnica. Se puede usar otras alternativas que conjuntamente a esta técnica actúen para el mejoramiento de la calidad del efluente, como por ejemplo el uso de carbón activado, uso de coagulantes, etc.

- No siempre debemos de pensar que el tratamiento de efluentes es un costo, debemos buscar la forma de que este costo se convierta en un valor. Por ejemplo, el tratamiento de efluentes de concentración de minerales lo desechamos a la cancha de relaves sin pensar que podemos recuperar metales en ese desecho.

## REFERENCIAS

1. Documento "All the water in the world", version página web: [http://epa.gov/region01/students/pdfs/ww\\_intro.pdf](http://epa.gov/region01/students/pdfs/ww_intro.pdf)
- 2.- Revista InduAmbiente, artículo "Efluentes en la mira", por Jorge Rubio, Universidad Federal do Rio Grande do Sul.
3. Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera. 2009. Comisión chilena del cobre (COCHILCO).
4. Guía ambiental de manejo de agua en operaciones minero metalúrgicas Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Asuntos Ambientales.
5. Guía para la evaluación de impactos en la calidad de las aguas superficiales por actividades minero metalúrgicas. Ministerio de Energía y Minas .Dirección General de Asuntos Ambientales. 2007.
6. Reglamento de los Títulos I, II y III del D.L.Nº17752 sobre Ley General de Aguas. Decreto Supremo Nº 261-69-AP
7. Resolución Ministerial Nº 011-96-EM/VMM (13.ene.1996)
8. Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. 2004. Capítulo 9. Filtración. Ing. Víctor Maldonado Yactayo.
9. <http://www.gyyb.com>
10. <http://www.geocities.com/icasegunda/procquim/filtra/filt01.html>
11. Presentación Power Point Dicalite.
12. [http://www.royalchemical.com.pe/datos\\_prod/Ayudas%20Filtrantes%20-%20Diatomita%20Active%20Flux%20420.pdf](http://www.royalchemical.com.pe/datos_prod/Ayudas%20Filtrantes%20-%20Diatomita%20Active%20Flux%20420.pdf)
13. [http://www.solidliquid\\_separation.com/pressurefilters/verticalleaf/verticalleaf.htm](http://www.solidliquid_separation.com/pressurefilters/verticalleaf/verticalleaf.htm)
14. Pruebas Filtración usando Filtro Piloto Larox LSF R2-2. Ives Cuzcano Cortez. 2008.
15. Presentación Tratamiento de Solución Barren MYSRL, Ing. Yro Cortez Ramos.

16. Remoción del arsénico a nivel domiciliario. Qui. Maria Luisa Castro de Esparza, Quím. Mary Wong de Medina. Version web: <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/hdt/hdt74.pdf>
17. Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. 2004. Capítulo 4. Coagulación. Quím. Ada Barrenechea Martel
18. Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. 2004. Capítulo 6. Floculación. Ing. Lidia de Vargas.
19. <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/publicaciones/expedientes/yana-cocha/figuras/Anexo%20D1%20RLAG-%20023-final%20f2.doc>
20. <http://www.itp-depuracion.com/documentacion/magazine/membranas.pdf>
21. <http://www.ingenieroambiental.com/4018/cursoosmosis.doc>
22. <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>
23. <http://www.bonsaimenorca.com/index.php/2008022448/Osmosis-Inversa.html>
24. [http://www.aquatechnology.net/reverse\\_osmosis.html](http://www.aquatechnology.net/reverse_osmosis.html)
25. Harrison Western Technology. <http://www.harwest.com>
26. Osmosis Inversa como tratamiento de aguas excedentes de procesos metalúrgicos, por Yuri Gallo. MYSRL.
27. Potencial Zeta. Un Curso Completo en 5 Minutos <http://www.zeta-meter.com/redchile.pdf>

# ANEXOS

## ANEXO 1.- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua

### CATEGORÍA 1: RECREACIONAL Y POBLACIONAL

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
		VALOR	VALOR	VALOR
<b>FISICOS Y QUIMICOS</b>				
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1.00	1.00
Cianuro Libre	mg/L	0.005	0.022	0.022
Cianuro WAD	mg/L	0.08	0.08	0.08
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200
Conductividad	us/cm	1500	1600	**
D.B.O.	mg/L	3	5	10
D.Q.O	mg/L	10	20	30
Dureza	mg/L	500	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.5	0.5	na
Fenoles	mg/L	0.003	0.01	0.1
Fluoruros	mg/L	1	**	**
Fosforo Total	mg/L P	0.1	0.15	0.15
Materiales Flotantes		Ausencia material flotante		
Nitratos	mg/L N	10	10	10
Nitritos	mg/L N	1	1	1
Nitrogeno Amoniacal	mg/L N	1.5	2	3.7
Olor		Aceptable	**	**
Oxigeno disuelto	mg/L	>=6	>=5	>=4
pH		6.5 a 8.5	5.5 a 9.0	5.5 a 9.0
Solidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	**	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGANICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.2
Antimonio	mg/L	0.006	0.006	0.006
Arsenico	mg/L	0.01	0.01	0.05
Bario	mg/L	0.7	0.7	1
Berilo	mg/L	0.004	0.04	0.04

Boro	mg/L	0.5	0.5	0.75
Cadmio	mg/L	0.003	0.003	0.01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05
Hierro	mg/L	0.3	1	1
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.5
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002
Niquel	mg/L	0.02	0.025	0.025
Plata	mg/L	0.01	0.05	0.05
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.01	0.05	0.05
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02
Vanadio	mg/L	0.1	0.1	0.1
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGANICOS</b>				
<b>I. COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES</b>				
Hidrocarburos Totales de petroleo, HTTP	mg/L	0.05	0.2	0.2
Trihalometanos	mg/L	0.1	0.1	0.1
Compuestos Organicos Volatiles COVs				
1,1,1-Triclorometano --71-55-6	mg/L	2	2	**
1,1-Dicloroetano --75-35-4	mg/L	0.03	0.03	**
1,2 Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0.3	0.03	**
1,2 Diclorobenceno --95-50-1	mg/L	1	1	**
Hexaclorobutadieno --87-68-3	mg/L	0.0006	0.0006	**
Tetracloroetano --127-18-4	mg/L	0.04	0.04	**
Tetracloruro de carbono --56-23-5	mg/L	0.002	0.002	**
Tricloroetano --79-01-6	mg/L	0.07	0.07	**
<b>BETX</b>				
Benceno --71-43-2	mg/L	0.01	0.01	**
Etilbenceno --100-41-4	mg/L	0.3	0.3	**
Tolueno --108-88-3	mg/L	0.7	0.7	**
Xilenos --1330-20-7	mg/L	0.5	0.5	**
Hidrocarburos Aromaticos				
Benzo(a)pireno --50-32-8	mg/L	0.0007	0.0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.009	0.009	**



Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0.02	0.02	**
Plaguicidas				
Organofosforadas				
Malatión	mg/L	0.0001	0.0001	**
Metamidofos (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Paraquet (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organoclorados (COP)*				
Aldrin --309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Dieldrin	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Endosulfán	mg/L	0.00056	0.000056	*
Endrín	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Heptacloro --76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0.00003	0.00003	*
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Carbamatos				
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<u>Policloruros bifenilos totales</u>				
(PCBs)	mg/L	0.000001	0.000001	**
<u>Otros</u>				
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2000	20 000
Coliformes Totales (35-37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0	
Eschenchia coli	NMP/100 mL	0	0	
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0	
Giargia duodinalis	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Salmonella	Presencia/100mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Vibrio Cholerae	Presencia/100mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

### CATEGORÍA 1: RECREACIONAL Y POBLACIONAL

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR
<b>FISICOS Y QUIMICOS</b>			
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0.022	0.022
Cianuro WAD	mg/L	0.08	**
Cloruros	mg/L	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Conductividad	us/cm	**	**
D.B.O.	mg/L	5	10
D.Q.O	mg/L	30	50
Dureza	mg/L	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	**	**
Fluoruros	mg/L	**	**
Fosforo Total	mg/L P	**	**
Materiales Flotantes		ausencia de material flotante	ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	**
Nitritos	mg/L N	1(5)	**
Nitrogeno Amoniacal	mg/L N	**	**
Olor		Aceptable	**
Oxigeno disuelto	mg/L	>=5	>=4
pH		6 a 9 (2.5)	**
Solidos Disueltos Totales	mg/L	**	**
Sulfatos	mg/L	**	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGANICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0.2	**
Antimonio	mg/L	0.006	**
Arsenico	mg/L	0.01	**
Bario	mg/L	0.7	**
Berilo	mg/L	0.04	**
Boro	mg/L	0.5	**
Cadmio	mg/L	0.01	**

Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0.05	**
Cromo VI	mg/L	0.05	**
Hierro	mg/L	0.3	**
Manganeso	mg/L	0.1	**
Mercurio	mg/L	0.001	**
Niquel	mg/L	0.02	**
Plata	mg/L	0.01	0.05
Plomo	mg/L	0.01	**
Selenio	mg/L	0.01	**
Uranio	mg/L	0.02	0.02
Vanadio	mg/L	0.1	0.1
Zinc	mg/L	3	**
<b>ORGANICOS</b>			
<b>I. COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES</b>			
Hidrocarburos Totales de petroleo, HTTP	mg/L		
Trihalometanos	mg/L	**	**
Compuestos Organicos Volatiles COVs			
1,1,1-Triclorometano --71-55-6	mg/L	**	**
1,1-Dicloroetano --75-35-4	mg/L	**	**
1,2 Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	**	**
1,2 Diclorobenceno --95-50-1	mg/L	**	**
Hexaclorobutadieno --87-68-3	mg/L	**	**
Tetracloroetano --127-18-4	mg/L	**	**
Tetracloruro de carbono --56-23-5	mg/L	**	**
Tricloroetano --79-01-6	mg/L	**	**
<b>BETX</b>			
Benceno --71-43-2	mg/L	**	**
Etilbenceno --100-41-4	mg/L	**	**
Tolueno --108-88-3	mg/L	**	**
Xilenos --1330-20-7	mg/L	**	**
Hidrocarburos Aromaticos			
Benzo(a)pireno --50-32-8	mg/L	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	**	**

Plaguicidas			
Organofosforadas			
Malatión	mg/L	**	**
Metamidofos (restringido)	mg/L	**	**
Paraquet (restringido)	mg/L	**	**
Paratión	mg/L	**	**
Organoclorados (COP)*			
Aldrin --309-00-2	mg/L	**	**
Clordano	mg/L	**	**
DDT	mg/L	**	**
Dieldrin	mg/L	**	**
Endosulfán	mg/L	**	**
Endrín	mg/L	**	**
Heptaclo --76-44-8	mg/L	**	**
Heptaclo epóxido 1024-57-3	mg/L	**	**
Lindano	mg/L	**	**
Carbamatos			
Aldicarb (restringido)	mg/L	**	**
<u>Policloruros bifenilos totales</u>			
(PCBs)	mg/L	**	**
<u>Otros</u>			
Asbesto	Millones de fibras/L	**	**
<b>MICROBIOLOGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	200	1 000
Coliformes Totales (35-37 °C)	NMP/100 mL	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	200	**
Eschenchia coli	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	
Giardia duodenalis	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia
Salmonella	Presencia/100mL	0	0
Vibrio Cholerae	Presencia/100mL	Ausencia	Ausencia

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

**CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS**

PARAMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y cultivo de moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
<b>ORGANOLEPTICOS</b>				
Hidrocarburos de Petroleo		No visible	No visible	No visible
<b>FISICOQUIMICOS</b>				
Aceites y grasas	mg/L	1.0	1.0	2.0
D.Q.O	mg/L	**	10.0	10.0
Oxigeno disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2.5
pH		7 a 8.5	6.8 a 8.5	6.8 a 8.5
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	**	50.0	70.0
Sulfuro de hidrogeno	mg/L	**	0.06	0.08
Temperatura	mg/L	*** delta 3°C	*** delta 3°C	*** delta 3°C
		5	100	**
<b>INORGANICOS</b>				
Amoniaco	mg/L	**	0.08	0.21
Arsenico Total	mg/L	0.05	0.05	0.05
Cadmio Total	mg/L	0.0093	0.0093	0.0093
Cobre total	mg/L	0.0031	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0.03 a 0.09	0.1
Mercurio Total	mg/L	0.00094	0.0001	0.0001
Niquel Total	mg/L	0.0082	0.1	0.1
Nitratos (N-NO3)	mg/L	**	0.07 a 0.28	0.3
Plomo total	mg/L	0.0081	0.0081	0.0081
Silicatos (Si-Si-O3)	mg/L	**	0.14 a 0.70	**
Zinc Total	mg/L	0.081	0.081	0.081
<b>ORGANICOS</b>				
Hidrocarburos de petroleo totales, (fraccion aromatica)	mg/L	0.007	0.007	0.01
<b>MICROBIOLOGICOS</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	*<=14 (area aprobada)	<=30	1000
Coliformes Totales (35-37 °C)	NMP/100 mL	*<=88 (area restringida)		

**CATEGORIA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES**

<b>PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>FISICOQUIMICOS</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100 a 700
Conductividad	us/cm	<2000
D.B.O.	mg/L	15
D.Q.O	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos P	mg/L P	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L N	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L N	0.06
Oxigeno disuelto	mg/L	>=4
pH		6.5 a 8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
<b>INORGANICOS</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsenico	mg/L	0.05
Bario Total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5 a 6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro WAD	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Niquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo		0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
<b>ORGANICOS</b>		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001

S.A.A.M. (detergentes)		1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0.004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0.3
DDT	ug/L	0.001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0.7
Endrin	ug/L	0.004
Endosulfán	ug/L	0.02
Heptacloro (CAS 76-44-8)	ug/L	0.1
Lindano	ug/L	4
Paration	ug/L	7.5

PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES			
PARAMETROS	UNIDAD	VEGETALES TALLO BAJO	VEGETALES TALLO ALTO
		VALOR	VALOR
<b>BIOLOGICOS</b>			
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1000	2000(3)
Coliformes totales	NMP/100 mL	5000	5000(3)
Enterococos	NMP/100 mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100 mL	100	100
Huevos de helmintos	Huevos/filtro	<1	<1
Salmonella sp.		Ausente	Ausente
Vibrión cholerae		Ausente	Ausente
PARAMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR	
<b>FISICOQUIMICOS</b>			
Conductividad Electrica	us/cm	<=5000	
D.B.O.	mg/L	<=15	
D.Q.O	mg/L	40	
Fluoruros	mg/L	2	
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L N	50	
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L N	1	
Oxígeno disuelto	mg/L	>5	
pH		6.5 a 8.4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0.05	
<b>INORGANICOS</b>			
Aluminio	mg/L	5	
Arsenico	mg/L	0.1	
Berilo	mg/L	0.1	

Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0.01
Cianuro WAD	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0.5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.56
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Niquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo		0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	24
<b>ORGANICOS</b>		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A.M. (detergentes)		1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
<u>Aldrin (CAS 309-00-2)</u>	ug/L	0.03
<u>Clordano (CAS 57-74-9)</u>	ug/L	0.3
<u>DDT</u>	ug/L	1
<u>Diieldrin (N° CAS 72-20-8)</u>	ug/L	0.7
<u>Endosulfán</u>	ug/L	0.02
Endrin	ug/L	0.004
Heptacloro (CAS 76-44-8)	ug/L	0.1
Lindano	ug/L	4
Paration	ug/L	7.5
<b>Biologicos</b>		
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1000
Coliformes totales	NMP/100 mL	5000
Enterococos	NMP/100 mL	20
Escherichia coli	NMP/100 mL	100
Huevos de helmintos	Huevos/filtro	<1
Salmonella sp.		Ausente
Vibriion cholerae		Ausente



### CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARAMETROS	UNIDADES	LAGOS Y LAGUNAS	RIOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FISICOS Y QUIMICOS</b>						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrogeno Amoniacal	mg/L N	<0.02	0.02	0.05	0.05	0.08
Temperatura		Celsius			0.08	delta 3°C
Oxígeno disuelto	mg/L	>=5	>=5	>=5	>=4	>=4
pH		6.5 a 8.5	6.5 a 8.5		6.5 a 8.5	6.5 a 8.5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<=25	<=25 - 100	<=25 - 400	<=25 - 100	30
<b>INORGANICOS</b>						
Arsenico	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	—
Cadmio	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005
Cianuro Libre	mg/L	0.022	0.022	0.022	0.022	
Clorofila A	mg/L	10				
Cobre	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fenoles	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	
Fosfato total	mg/L	0.4	0.5	0.5	0.5	0.031 a 0.093
Hidrocarburos de petroleos (Aromaticos totales)	mg/L	Ausente			Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0.07 a 0.26
<b>INORGANICOS</b>						
Nitrogeno Total	mg/L	1.6	1.6			
Niquel		0.025	0.025	0.025	0.002	0.0082
Plomo	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.0081	0.0081
Silicatos						0.14 a 0.7
Sulfuro de hidrogeno (H2S indisoluble)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.06
Zinc	mg/L	0.03	0.03	0.3	0.03	0.081
<b>MICROBIOLOGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	2000		1000	<=30
Coliformes Totales	NMP/100 mL	2000	3000		2000	

**ANEXO 2.- Estándares de calidad agua emitido por DIGESA**

**Decreto Ley N° 17752 (D.S. 261-69-AP, mod. por D.S. 007-83-SA y D.S.**

**003-2003-SA)**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
coniformes Totales	MPN/100 mL (1)	8.8	20 000	5 000	5 000	1 000	20 000
coniformes Fecales	NMP/100 mL (1)	0	4 000	1 000	1 000	200	4 000
DBO5	mg/L	5	5	15	10	10	10
Oxígeno disuelto	mg/L	3	3	3	3	5	4
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05		0.005	0.01
Mercurio	mg/L	0.002	0.002	0.01		0.0001	0.0002
PCB (6)	mg/L	0.001	0.001	(3)		0.002	0.002
Esteres ftatatos	mg/L	0.0003	0.0003	0.000 3		0.0003	0.0003
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05		0.0002	0.004
Cromo	mg/L	0.05	0.05	1		0.05	0.05
Níquel	mg/L	0.002	0.002	(3)		0.002	(5)
Cobre	mg/L	1	1	0.5		0.01	(4)
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.1		0.01	0.03
Zinc	mg/L	5	5	25		0.02	(5)
Cianuro WAD	mg/L	0.08	0.08	0.1			
Cianuro Libre	mg/L					.0022	0.022
Fenoles	mg/L	0.0005	0.001	(3)		0.001	0.1
Sulfuros	mg/L	0.001	0.002	(3)		0.002	0.002
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.2		0.01	0.05

Nitratos (2)	mg/L de N	0.01	0.01	0.1			
MEH (7)	mg/L	1.5	1.5	0.5	0.2		
SAAM (8)	mg/L	0.5	0.5	1	0.5		
CAE (9)	mg/L	1.5	1.5	5.0	5.0		
CCE (10)	mg/L	0.3	0.3	1.0	1.0		

(1) NMP: Número máximo probable

(2) Como mg/L de nitrógeno.

(3) Valores a ser determinados.

(4) LC50 multiplicados por 0.1 (96 horas)

(5) LC50 multiplicados por 0.02 (96 horas)

(6) Bifenilos policlorados.

(7) Material extractable en hexano (grasas).

(8) Sustancias activas en azul de metileno (detergentes).

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

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

Nota: LC50: Concentración a la cual cierta proporción de los organismos ensayados produce una respuesta en un período definido de tiempo, generalmente 12, 24 ó 96 horas.

**ANEXO 3.- Niveles Máximos Permisibles de emisión para las unidades  
Minero Metalúrgicas (R.M. 011-96-EM/VMM)**

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR EN CUALQUIER MOMENTO</b>	<b>VALOR PROMEDIO ANUAL</b>
pH	> 6 y < 9	>6 y <9
Sol. Susp. (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1	0.3
Zinc (mg/l)	3	1
Fierro (mg/l)	2	1
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro (mg/l)*	1	1

\*CIANURO TOTAL equivale a 0.1 mg/l de cianuro libre y 0.2 mg/l de cianuro fácilmente disociable en ácido.

Nota: Los metales señalados deben ser considerados como metales disueltos.

**Valores para unidades mineras en operación o que reinician  
operaciones\***

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR EN CUALQUIER MOMENTO</b>	<b>VALOR PROMEDIO ANUAL</b>
pH	> 5.5 y <10.5	> 5.5 y < 10.5
Sól. Susp. (mg/l)	100	50
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinc (mg/l)	6	3
Fierro (mg/l)	5	2
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro (mg/l)*	2	1

\*Solo para un periodo no mayor de 10 años a partir de entrada en vigencia de la Resolución Ministerial. En la actualidad no se aplica esta tabla.

Nota: Los metales señalados deben ser considerados como metales disueltos

### Frecuencia de Muestreo y Presentación de Reporte

<b>VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTE</b>	<b>FRECUENCIA DE MUESTREO</b>	<b>FRECUENCIA DE PRESENTACION DE REPORTE</b>
Mayor que 300 m <sup>3</sup> /día	Semanal	Trimestral (1) y
50 a 300 m <sup>3</sup> /día	Trimestral	Semestral (2)
Menor que 300 m <sup>3</sup> /día	Semestral	Anual (3)

Nota: (1) Último día hábil de los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre.

(2) Último día hábil de los meses de junio y diciembre

(3) Último día hábil de los meses de junio

### Frecuencia de Análisis Químico

<b>PARAMETRO</b>	<b>EFLUENTE MAYOR QUE 300 M<sup>3</sup>/DIA</b>	<b>EFLUENTE DE 50 A 300 M<sup>3</sup>/DIA</b>	<b>EFLUENTE MENOR QUE 50 M<sup>3</sup>/DIA</b>
pH	Semanal	Trimestral	Semestral
Solidos Suspendidos	Semanal	Trimestral	Semestral
Pb, Cu, Zn, Fe, As	Mensual	Trimestral	Semestral
Cianuro Total	Semestral	Quincenal	Trimestral

## ANEXO 4.- Estándares Internacionales

Parámetro	Unidad	Agua Potable			Preservación e la Fauna Acuática		Irrigación	Consumo Animales
		OMS (2004)	CCME (2005)	USEPA (2005)	CCME (1999)	USEPA (2005)	CCME (1999)	CCME (1999)
Alcalinidad	mg/L					20		
Dureza	mg/L		80-100					
COT	mg/L							
Amoniaco	mg/L	1.5						
Calcio	mg/L							1000
Cloruro	mg/L	250	<250	250			100-700	
Cianuro Total	mg/L	0.07	0.2		0.005	0.0052		
Cianuro Libre	mg/L			0.2				
Cianuro WAD	mg/L							
Fluoruros	mg/L		1.5		0.12		1	1 -- 2
Potasio	mg/L							
Sodio	mg/L	200	<200					
Sulfatos	mg/L	250	<500	250				1000
Sulfuros	mg/L							
NO <sub>3</sub>	mg/L		10	10	13			
NO <sub>2</sub> /NO <sub>3</sub>	mg/L							100
NO <sub>2</sub>	mg/L		3.2	1	0.06			10
Aluminio	mg/L		0.1		0.005-0.1		5	5
Antimonio	mg/L		0.006	0.006				
Arsénico	mg/L	0.01	0.005	0.01	0.005	0.15	0.1	0.025
Bario	mg/L	0.7	1					
Berilo	mg/L			0.004			0.1	0.1
Bismuto	mg/L							
Boro	mg/L	0.3	5				0.5-6	5
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.005	0.000017	0.00025	0.0051	0.08
Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.1	III-0.0089 VI-0.001	III-0.074 VI-0.011	III-0.049 VI-0.008	III-0.05 VI-0.05
Cobalto	mg/L						0.05	1
Cobre	mg/L	2	<1.0	1.3	0.002- 0.004	0.009	0.2-1	0.5-5
Hierro	mg/L		<0.3		0.3		5	
Plomo	mg/L	0.01	0.01	0.015	0.001 - 0.007	0.0025	0.2	0.1
Litio	mg/L						2.5	
Magnesio	mg/L							
Manganeso	mg/L	0.4	<0.05				0.2	
Mercurio	mg/L	0.001	0.01	0.002	0.000026	0.00077		0.003
Molibdeno	mg/L	0.07			0.073		0.01-0.05	0.5
Níquel	mg/L	0.02			0.025- 0.150	0.052	0.02	1
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.001	0.0005	0.02-0.05	0.05
Plata	mg/L							
Estroncio	mg/L							
Vanadio	mg/L						0.1	0.1
Zinc	mg/L		<5.0		0.03	0.12	1 -- 5	50
Fenoles	mg/L				0.004			
Detergente anionico	mg/L			0.5				
Turbidez	mg/L	5		5				

STS	mg/L							
STD	mg/L	1000	<500	500			500-1500	3000
pH			6.5-8.5	8.5	6.5-9			

### Limites de descarga para la Industria Minero Metalúrgica (WBG, 1998)

Parámetro	Unidad	Guías Generales	A	B	C	D	E	F	G
pH	mg/L	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
BOD5	mg/L	50							
DQO	mg/L	250	150	150				250	
STS	mg/L	50	50	50	50	50	50	50	20
Aceites y Grasas	mg/L	10		10	10		10	10	
Fenoles	mg/L	0.5						0.5	
Cianuro total	mg/L	1		1					
Cianuro libre	mg/L	0.1		0.1				0.1	
Nitrógeno	mg/L	10 (como NH3)		0.5					
Fósforo	mg/L	2							
Fluoruro	mg/L	20	20						
Cloruro	mg/L	0.2							
Coliformes	mg/L	400							
HC	mg/L	5	5						
Aluminio	mg/L		0.2						
Arsénico	mg/L	0.1		0.1		0.1			0.1
Cadmio	mg/L	0.1		0.1		0.1		0.1	0.1
Cromo	mg/L	0.5						0.5	
Cromo +6	mg/L	0.1		0.1					
Cobre	mg/L			0.5		0.5	0.5		0.5
Hierro	mg/L	3.5		3.5		3.5			3.5
Mercurio	mg/L	0.01		0.01	3.5	0.01		0.01	0.01
Níquel	mg/L	0.5		0.5					
Plomo	mg/L	0.1		0.2		0.1		0.2	0.1
Plata	mg/L	0.5							
Estaño	mg/L								
Zinc	mg/L	2		2		1	2	2	2
Metales totales	mg/L	10		10	10	10			5
Selenio	mg/L	0.1							

A: Fabricación de Aluminio  
 B: Minería Metales Base y Fe  
 C: Minería y Producción Carbón

D: Fundiciones de Cobre  
E: Fundiciones  
F: Hierro y Acero  
G: Fundición Plomo y Zinc