

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN EFLUENTES INDUSTRIALES”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**YANY UGARTE BARRAZA**

**LIMA-PERÚ**

**2004**

## RESUMEN

Una gran parte de la población mundial está expuesta a la agresión de metales pesados en los medios acuosos. Hoy en día es importante tratar los efluentes industriales contaminados antes de realizar el vertido al medio ambiente. Los metales pesados no siempre ejercen efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente, pero su acumulación, ligada a una tasa demasiado alta en las aguas potables o en los alimentos, puede suponer un verdadero peligro para la salud pública.

La mayoría de las industrias utilizan volúmenes grandes de agua en sus operaciones industriales. Desde que mucha de esta agua se contamina en estos procesos, se requiere tratamiento antes de la descarga. La remoción de metales pesados en los efluentes industriales, ha sido una de las aplicaciones más importantes en el tratamiento de efluentes. La legislación (USA) actual ha establecido límites de descarga estrictos que han obligado a las plantas a implantar o a modernizar los procesos de remoción de metales. En el Perú, también existen límites máximos permisibles para ciertos elementos de metales pesados en efluentes líquidos vertidos, establecidos por algunas instituciones sectoriales más no una norma ambiental general.

Existen métodos de tratamiento convencionales los cuales otorgan buenos resultados, pero debido a las exigencias medioambientales ha surgido, la aplicación de nuevas tecnologías y ciertas técnicas innovadoras. Los programas de investigaciones realizadas sobre la materia reportan excelentes resultados en los estados finales de depuración, donde otros procesos pueden resultar mediocres y no son solamente las más eficaces que cualquier otra en el mercado, sino también presentan baja toxicidad.

En el presente trabajo se discutirá algunas tecnologías nuevas de tratamiento que son eficaces en remoción de metales pesados de los efluentes y ayuda a las industrias a cumplir con los límites de descarga evitando la posibilidad de generar impactos medioambientales y/o multas.

# INDICE

## **1 INTRODUCCIÓN**

## **2 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS**

2.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS

2.2.- MECANISMO – ESTABILIDAD DE LA PARTICULA

2.3.- COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

2.3.1.- Polímeros

2.3.2.- Coagulantes Inorgánicos

2.3.3.- Mezcla

2.4.- IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

2.5.- PROCEDIMIENTO DEL JAR TEST

2.5.1.- Consideraciones

2.5.2.- Desarrollo de un Programa Químico

## **3 DESARROLLO DEL TEMA**

3.1.- BASE LEGAL NORMATIVA

3.2.- TIPOS DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA

3.2.1.- Industrias Involucradas

3.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES EN LA INDUSTRIA

3.3.1.- Procesos de Producción y Contaminantes Generados

3.3.2.- Clasificación de Contaminantes de Efluentes

3.4.- TECNOLOGÍA REMOVEDORES DE METALES

3.4.1.- Métodos Tradicionales

3.4.1.1.- Por Precipitación: Hidróxidos

3.4.1.2.- Por Precipitación: Sulfuros

3.4.1.3.- Proceso Unipure

3.4.2.- Métodos con Nuevas Tecnologías

3.4.2.1.- Agentes de Pulmentos

## **4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE REMOCIÓN DE METALES UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE REMOVEDOR DE METALES (CASO REAL)**

4.1.- DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES M.Y.S.R.L.

4.2.- OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

4.3.- PRUEBAS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS PARA LA SELECCIÓN DEL PRODUCTO.

4.4.- CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

4.5.- EVALUACIÓN ECONÓMICA.

## **5 BIBLIOGRAFÍA**

## **6 ANEXOS**

# 1 INTRODUCCIÓN

El agua contiene muchas impurezas que provienen de la erosión de la tierra, la disolución de minerales, y de la degradación de materias orgánicas. Estas impurezas disueltas y suspendidas se deben remover antes de su uso industrial, doméstico o; vertido al cuerpo receptor. Se debe garantizar un tratamiento eficaz del agua ya que de esta manera se esta garantizando y asegurando la preservación de un ambiente limpio y seguro para las futuras generaciones.

Este informe discute una tecnología de tratamiento que mejora la eficiencia en la remoción de metales pesados de los efluentes y ayuda a las industrias a aproximarse a los límites de descarga exigidos por los entes reguladores, además muestra los métodos y ensayos de simulación en laboratorio ya que es importante para la selección y dosis de los productos en el tratamiento.

## **2 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS**

### **2.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS**

#### **Introducción**

Las impurezas en el agua se clasifican típicamente como: sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos coloidales. Los sólidos suspendidos son las partículas que no se disuelven en el agua y son capturados por el análisis gravimétrico en un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ , esto incluye barro, arcilla, cieno y materia microbiológica. Los sólidos suspendidos son visibles al ojo desnudo o por un microscopio ordinario y contribuyen a la turbidez o “la nubosidad” del agua. Tales partículas son suficientemente grandes para la eliminación por sedimentación, flotación o filtración.

Los sólidos disueltos son naturalmente aquellas materias solubles en el agua y no pueden ser removidos por procesos tales como filtración. Las sales de calcio y magnesio, cloruros y alcalinidad son ejemplos bien conocidos de sólidos disueltos.

Los coloides son partículas dispersas que no son visibles bajo microscopios ordinarios (1 – 1000 nm). Las partículas coloidales tienen tal superficie grande de área relativa a su masa que las fuerzas gravitacionales no influyen su suspensión, como lo hace con sólidos suspendidos. Las partículas coloidales contribuyen poco a la turbidez pero son en gran parte responsable del color de las aguas naturales.

#### **Tipos de impurezas**

##### **Turbidez- Medida**

La turbidez, un término a menudo confundido con sólidos suspendidos, es la medida de la capacidad del agua para absorber o dispersar la luz.

La turbidez es medida como Jackson (JTU), Nephelometric (NTU), o las unidades de turbidez de Formazin (FTU). La turbidez por encima de 5 unidades es visible; un agua fangosa puede tener los valores por encima de 100 unidades.

El procedimiento más fácil para determinar la turbidez se realiza por el método de vela de Jackson. Hoy raramente visto, el tubo se coloca sobre una vela y se llena con agua hasta que la imagen de la llama de vela apenas desaparezca. El valor más bajo medido por esta técnica es 25 unidades. Debido a que la turbidez de aguas tratadas fluctúa típicamente entre 0 a 5 unidades, indirectamente métodos secundarios se han desarrollado.

La mayoría de los turbidímetros comerciales existentes hoy en día son nephelometers. Estos instrumentos miden la luz dispersada en ángulos rectos a la luz incidente y el reporte resulta en NTU. No hay una relación directa entre nephelometric y las unidades de Jackson. A causa de la precisión, la sensibilidad y la aplicabilidad sobre una gama ancha de la turbidez, el método de nephelometric es el método estándar aceptado para medir la turbidez.

Las medidas de la turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) no se pueden relacionar directamente, porque sólidos o partículas diferentes reflejan la luz diferente. Una partícula grande que contribuye con el alto porcentaje en un análisis de SST contribuirá muy poco en dispersar la luz. Sin embargo, los sólidos finamente dispersados de igual peso dispersarán la luz y por lo tanto el resultado de turbidez es mucho más alto.

## **El color**

El color en el agua resulta de la presencia de iones metálicos naturales (por ejemplo, el hierro y el manganeso), los materiales del humus y turba, y los desechos industriales. El color natural o verdadero es el color que queda después que toda la turbidez se ha removido. El color se debe principalmente a la presencia de sustancias húmicas que se originan en la descomposición microbiana de la materia vegetativa. El color aparente incluye el color verdadero contribuido por la turbidez o la materia suspendida.

En efluentes sumamente coloreados se deben medir ambos colores el verdadero y el aparente. El color es determinado típicamente por comparación visual con una concentración conocida del color o por medios espectrofotométricos. La solubilidad del color depende del pH y aumenta con el incremento de este. El color puede ser removido por oxidación química, por adsorción de carbón, coagulación, y/o precipitación.

## **2.2.- MECANISMO - ESTABILIDAD DE LA PARTICULA**

Las partículas suspendidas en la superficie y en los efluentes son estabilizadas por muchos mecanismos diferentes. Los sólidos se quedan suspendidos en el agua por períodos largos a causa de fuerzas electrostáticas y de su tamaño. La mayoría de las partículas en el agua muestran carga de superficie neta negativa y son las causantes de que las partículas estén suspendidas en el agua debido a una repulsión mutua.

### **Repulsión Electroestática**

Es el mecanismo que controla la estabilidad de la partícula. En la interfase de superficies hidrófobas (sedimentos), un exceso de aniones y cationes puede acumularse y producir un potencial eléctrico que repela las partículas con carga semejante.

Con superficies hidrófilas (ácido húmico, ácido fulvico o bacterias), las cargas de la superficie resultan de la disociación de grupos orgánicos, por ejemplo, un grupo carboxilo en la superficie de la partícula. Las bacterias, pueden también atrapar agua, proporcionando una barrera líquida a choques sucesivos de partículas.

Estas cargas en la superficie se originan de muchas maneras. Los ejemplos siguientes explican el comportamiento:

Los átomos del silicio en materiales de cristal pueden ser reemplazados por átomos con valencia más baja, tal como un ión de aluminio, teniendo como resultado una carga negativa en exceso al material de cristal. De esta manera las cargas negativas se producen en la superficie de partículas de arcilla.

La disociación de los grupos funcionales hidroxilo o carboxilo producen una carga eléctrica en la superficie que depende del pH de la solución. Los ejemplos típicos incluyen óxidos de metal hidrolizables (óxidos de hierro) y las bacterias (grupos de carboxilo en superficies bacterianas). Por estos mecanismos, la mayoría de los coloides en el agua y en efluentes desarrollan cargas negativas en la superficie.

Cuando la superficie de una partícula llega a ser cargada, los iones de una carga contraria llegan a juntarse en la superficie. Las fuerzas Electroestáticas y de Van der Waals unen fuertemente estos iones a la superficie. Esta capa fija circundante (también conocido como la capa severa) es una capa difusa de iones que forman una capa doble de iones (ver las Figuras 2.1 y 2.2)

A causa de los cationes en exceso cerca de la superficie de la partícula, surge una diferencia de potencial eléctrico. Este disminuye exponencialmente de un valor máximo en la superficie de la partícula con la distancia de la superficie.

### **Medidas de la Carga**

El Potencial Zeta.- Cuando una partícula se mueve en un campo eléctrico, alguna porción del agua cerca de la superficie de la partícula se mueve con esta. Esto ocasiona una elevación en el plano de corte (ver la Figura 2.1). El potencial eléctrico entre el plano de corte y la solución másica que determina la estabilidad de la partícula puede ser medida por electrofóresis y es llamada el potencial zeta. Por lo tanto "electrofóresis" es la medida de la relación del movimiento de partículas en un campo eléctrico.

El potencial Zeta determina la estabilidad relativa de la superficie y efluente basados sobre la carga de superficie de las partículas suspendidas. En este sentido, el potencial zeta es determinado colocando las partículas en una solución electrolítica y pasando una corriente eléctrica por la solución. Dependiendo de la carga de superficie en la partícula, la partícula emigrará a uno de los electrodos y arrastrará consigo una nube de iones. La medida del potencial en la superficie de la nube (o superficie de corte) es el potencial zeta.

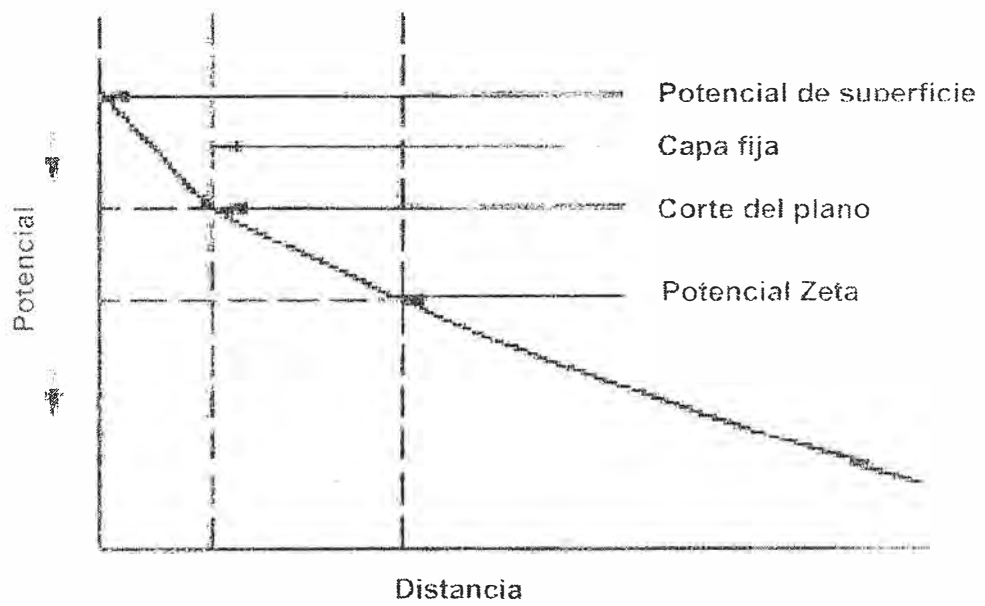
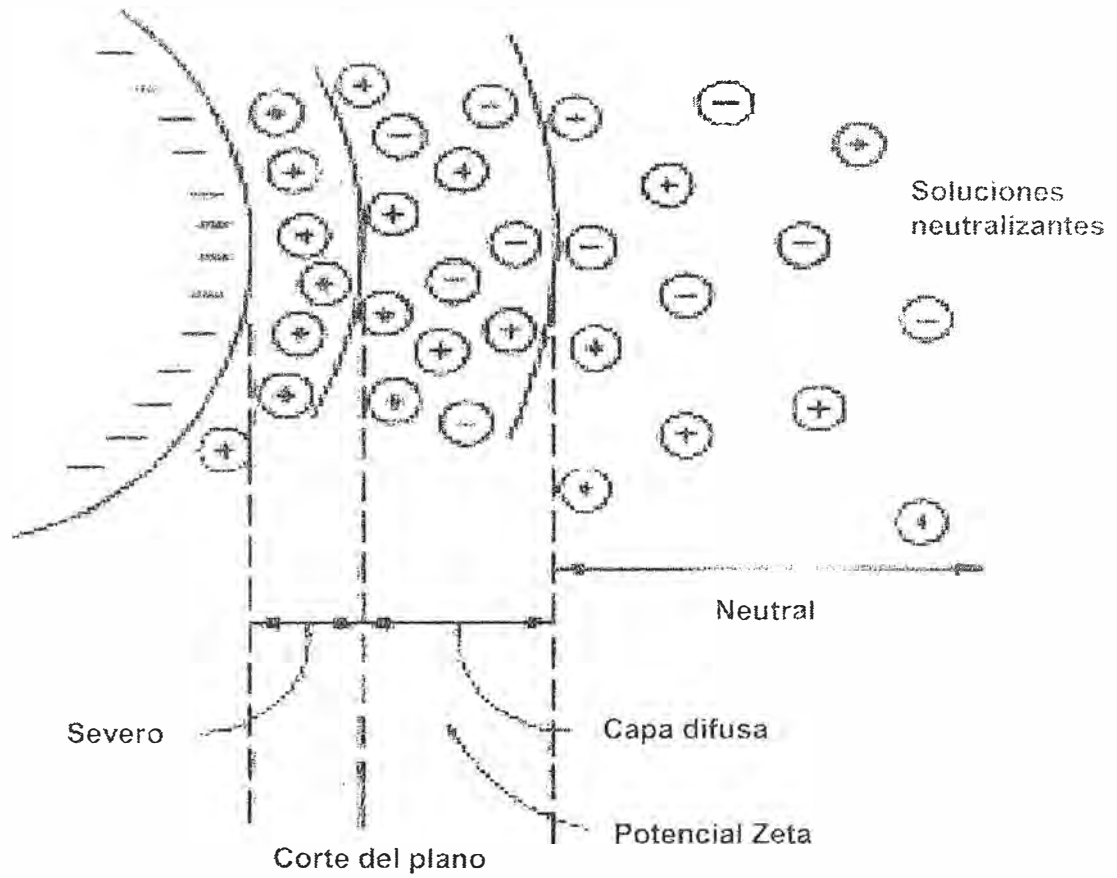


Figura 2.1: Carga en una partícula coloidal



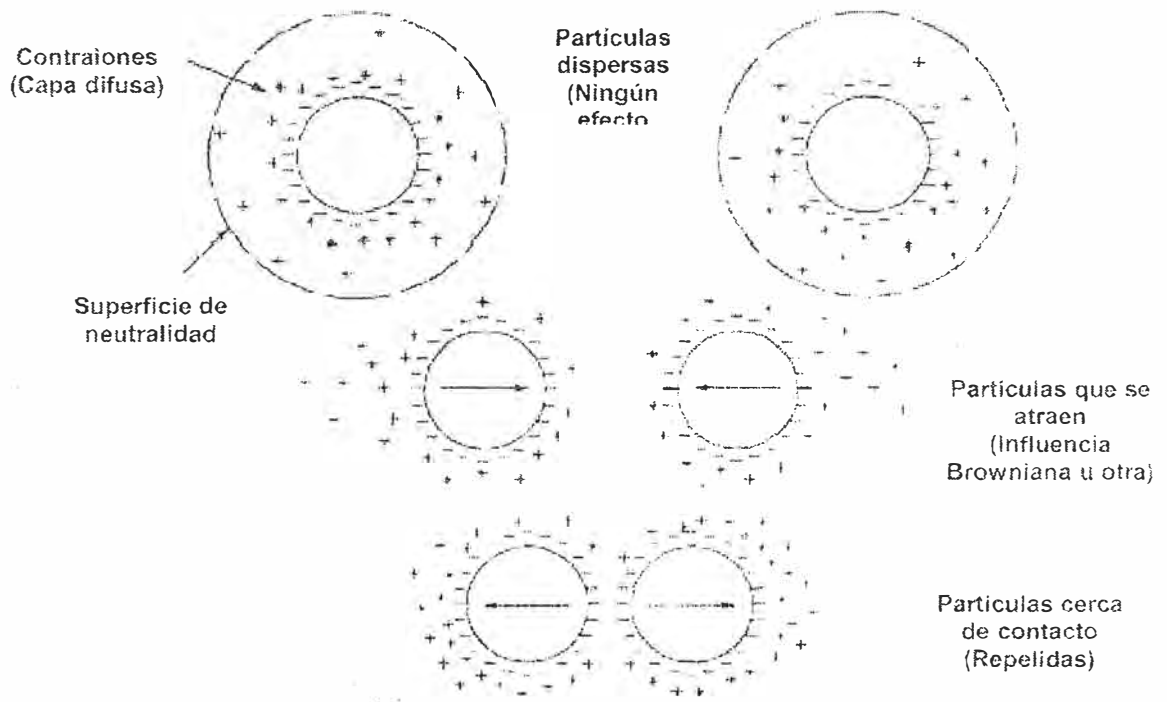


Figura 2.2: Efectos de las cargas en aglomeración de partículas

Note que la medida del valor del potencial zeta variará con la naturaleza de los componentes de la solución. La medida del potencial zeta a menudo es limitada a estudios de laboratorio.

Corriente común.- En planta (on-line) la medida de la demanda de la carga se puede realizar utilizando un detector de corriente común (DCC). La medida común de un DCC es proporcional a la demanda de la carga del sistema.

Una muestra de fluido continuo es enviada al reconocedor del DCC. El reconocedor consiste de un émbolo reciprocante, moviéndose dentro de un cilindro. Ambos terminales del cilindro tienen un electrodo de plata. El émbolo reciprocante inmoviliza las partículas sólidas (turbidez) en el agua contra las paredes del cilindro. Pasado el flujo de agua, estas partículas inmovilizadas físicamente originan las contraiones, la cual es asociada a los sólidos en movimiento. El movimiento de los contraiones produce un potencial a través de los electrodos de plata. Esta señal es amplificada, rectificadora (CA cambiada a CC) y mostrada en una escala analógica y reproducida al controlador.

Un DCC no es un contador continuo de zeta. Sin embargo, la corriente común y el potencial zeta están relacionados por:

$$\frac{i \propto ZD}{\eta}$$

Donde:

i = corriente común

Z = potencial zeta

D = constante dieléctrica

$\eta$  = viscosidad del fluido

## Reducción de la Estabilidad de la Partícula

Aumentando la fuerza iónica de la solución, es decir, por un aumento en los sólidos disueltos totales (SDT), se comprimirá la doble capa difusa mostrada en la Figura 2.1. El agua de mar, por ejemplo, contiene sales y otras materias iónicas, exhibe un potencial zeta bajo debido a la supresión de la capa doble.

La estabilidad de la partícula se puede reducir también cuando algunas especies iónicas se adsorben sobre la superficie de la partícula e invierten el potencial de superficie. Por ejemplo, un polímero catiónico adsorbido en una superficie de la partícula negativamente cargado produciría una inversión de la carga deseada.

Las partículas pequeñas requieren mucho tiempo para asentarse porque su peso es insignificante relativo a su área de superficie (ver Tabla 2.2). El plazo de tiempo requerido para asentar solo coloides es físicamente o económicamente poco práctico.

Típicamente, la sedimentación de las partículas se mejora, cuando los diámetros de la partícula se aumentan. Esta relación está expresado en la ley Stokes:

$$V = \frac{18.5 \times D(S_1 - S_2)}{n}$$

- V = velocidad del descenso
- D = diámetro de la partícula
- S1 = la densidad de la partícula
- S2 = densidad del fluido
- n = viscosidad del fluido

El factor clave que aumenta el diámetro de la partícula es la reducción de la estabilidad de la partícula por coagulación y floculación. Algunos mecanismos contribuyen a esta desestabilización. Los cuatro más significativos son:

- La compresión de la capa doble
- La atracción electrostática
- Puentes entre partículas
- Barrido de los floculos

<b>Tabla 2.2: Efecto del Decrecimiento del Diámetro de la Partícula sobre la Sedimentación</b>			
<b>Diámetro de la particular en mm</b>	<b>Orden de tamaño</b>	<b>Área de superficie total*</b>	<b>Tiempo requerido para asentar 1 ft</b>
10	Grava	0,487 pulg. <sup>2</sup>	0,3 seg.
1	Arena tosca	4,87 pulg. <sup>2</sup>	3 seg.
0,1	Arena fina	48,7 pulg. <sup>2</sup>	38 seg.
0,01	Aluvión	486.72 pulg. <sup>2</sup>	33 min.
0,001	Bacteria	4867.2 pulg. <sup>2</sup>	55 hr.
0,0001	Partículas coloidales	4924.8 pulg. <sup>2</sup>	230 días
0,00001	Partículas coloidales	4390865.6 pulg. <sup>2</sup>	6,3 años
0,000001	Partículas coloidales	43908655.6 pulg. <sup>2</sup>	63 años mínimo

\* Área para partícula del tamaño indicado producido de una partícula de 10 mm de diámetro con gravedad específica de 2,65.

### Compresión de la Capa doble

Comprimiendo el electrón de la capa doble da como resultado una reducción del potencial zeta y subsecuentemente la reducción de la repulsión. Con el efecto de

dispersión reducido, las fuerzas de Van der Waals proporcionarán colisiones que tienen como resultado un gran diámetro de partícula promedio.

### Atracción electrostática

En adición a duplicar la compresión de la capa, las partículas pueden ser desestabilizadas por atracción electrostática, que ocurre cuando las superficies se cargan opuestamente. Esto puede ser promovido por la adsorción de iones específicos en la superficie de las partículas, tales como sulfato de aluminio, sales de hierro y polímeros catiónicos.

Las arcillas y la mayoría de las partículas orgánicas, que es el tipo predominante de partículas encontradas en aguas naturales, son cargadas negativamente a un pH neutro (pH 7,0). Muchas partículas encontradas en aguas naturales tienen cargas de superficie dependientes del pH. Reducir la carga de la superficie alterando el pH o adicionando iones absorbentes específicos pueden llevar también a la neutralización de la carga y desestabilización de las partículas.

### Puentes entre partícula

Aunque el modelo electrostático describe la conducta de algunas suspensiones de partículas, es incapaz de predecir la eliminación de la partícula con la carga de superficie neutra. En este caso, polímeros de cadena larga que llevan las cargas negativas forman puentes entre partículas y desestabilizan la suspensión.

### Barrido de Flóculos

Los cationes solubles, tales como el aluminio o hierro, hidrolizan para formar precipitados insolubles. Este tipo de desestabilización se ha descrito como un mecanismo de barrido de flóculos en el cual las partículas divididas finamente son atrapadas en el precipitado amorfo formado.

Este mecanismo predomina en las aplicaciones del tratamiento de agua donde el pH se mantiene generalmente en un rango que varía entre 6,0 y 8,0 y sales de aluminio o hierro se utilizan en las concentraciones que exceden la saturación con respecto al sólido amorfo de hidróxido de metal que se forma. Debido a solubilidades muy bajas de metal, aguas tratadas han terminado con bajo contenido de hierro y aluminio en el agua residual.

Un mecanismo semejante existe con polímeros de precipitación. En este caso, el polímero es insoluble en condiciones típicas de pH >6,0 en el agua, cuando el polímero precipita, un flóculo amorfo semejante a los productos de la hidrólisis de aluminio e hierro coge en una red o barre partículas del agua.

## **2.3.- COAGULACION Y FLOCULACION**

La coagulación y floculación son mecanismos que se utilizan para aumentar químicamente el tamaño de la partícula permitiendo que las impurezas se asienten y se logren separar. La coagulación es neutralización de carga por materiales positivamente cargados (catiónicos). La Floculación es un mecanismo físico de unión que se basa principalmente en el tamaño de la molécula más que en su carga.

Polímeros catiónicos y coagulantes inorgánicos construyen el tamaño de la partícula neutralizando las cargas de superficie negativas en partículas vía la compresión de capa doble y atracción electrostática. Polímeros precipitantes y coagulantes de inorgánicos producen partículas más grandes a través de un enlace entre partículas y un barrido general. Ellos sirven para un propósito doble, tanto como coagulante, como floculante. Polímeros de peso molecular alto de material aniónico o catiónico es una característica específicamente de floculantes, los cuales trabajan principalmente en la unión entre partículas.

### **2.3.1.- POLÍMEROS**

Polímeros son polielectrolitos sintéticos que puede funcionar como coagulantes y/o floculantes, pueden ser catiónicos, no iónicos, o aniónicos. Polímeros pueden ser líquidos, polvos, o emulsiones; generalmente, polímeros de alto peso molecular son polvos o emulsiones.

El tipo de carga, la carga por unidad de masa (la densidad de la carga), y el peso molecular determina la aplicabilidad de cada polímero a un uso específico (ver Tabla 2.3.1).

<b>Tabla 2.3.1: Tipos de Polímeros y sus aplicaciones.</b>	
<b>Polímero</b>	<b>Aplicaciones</b>
Baja masa molecular Polímeros Catiónicos	Clarificación de afluentes, clarificación secundaria, y/o separación de efluentes aceitosos
Alta masa molecular Polímeros Catiónicos	Lodos orgánicos, tratamiento de efluentes como Floculantes
Alta masa molecular Polímeros aniónicos	Como ajuste y ayuda, floculantes y para tratamiento de lodos inorgánicos.

### **2.3.2.- COAGULANTES INORGÁNICOS**

Las sales del aluminio y hierro son los coagulantes inorgánicos extensamente más utilizados. Estos incluyen alumbre (sulfato de aluminio), aluminato de sodio, sales básicas de aluminio, de sulfato o cloruro, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro y

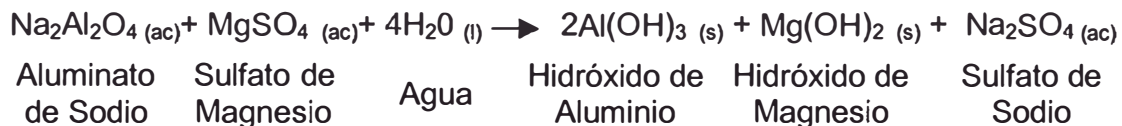
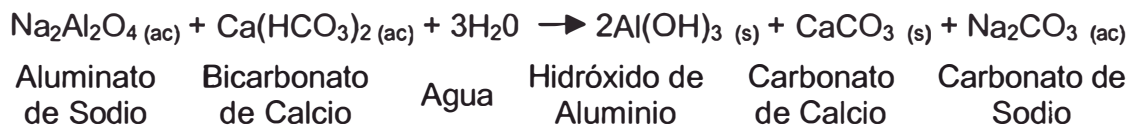
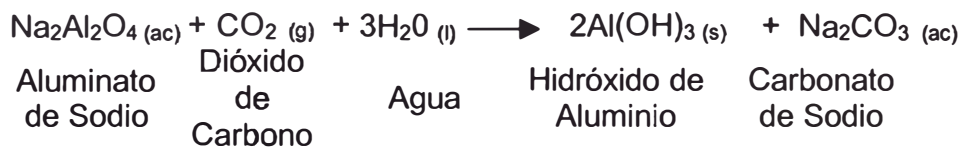
sales férricas. A excepción de aluminato de sodio, éstos coagulantes son sales ácidas que bajan el pH del agua.

Los coagulantes inorgánicos reaccionan con la alcalinidad natural del agua formando flóculos de hidróxido como se apreciará mas adelante en las ecuaciones de las reacciones químicas de floculación.

La reacción ocurre cuando alumbre o sulfato férrico reacciona con los compuestos químicos existentes en el agua para formar hidróxido insoluble de metal los cuales precipitan.

### Aluminato de Sodio

Las Reacciones químicas que ocurren en el agua son:



### Ventajas

Aluminato de sodio es utilizado en ablandamiento porque aumenta el pH. El sulfato de aluminio disminuirá el pH del agua. Las dosis de cal se pueden disminuir debido al contenido cáustico del aluminato. Aluminato se puede utilizar como el único coagulante en frío y procesos de ablandamiento en caliente.

Aluminato de sodio es un acondicionador excelente de cama de fango. Como tal, el reemplazo con polímeros orgánicos puede hacer las operaciones más difíciles, sino imposibles. Sin embargo, aluminato de sodio no se necesita en todas las situaciones. Se debe realizar el reemplazo con cuidado.

Además de aumentar el pH, el aluminato de sodio disminuye también la dureza porque reacciona con la alcalinidad. El aluminato de sodio contiene en mayor proporción óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que el Sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), pero todavía los costos favorecen al Sulfato de aluminio de acuerdo con la disponibilidad



de aluminio. Sin embargo, el aluminato eleva el pH para bajar levemente el contenido de carbonato sódico anhidro.

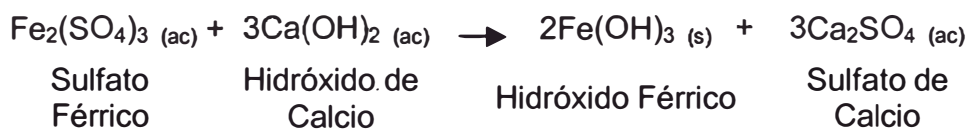
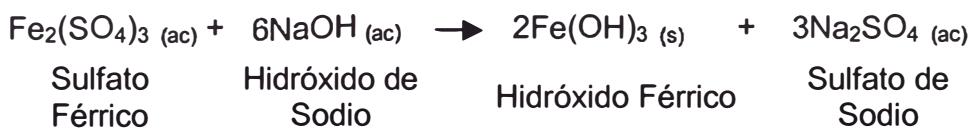
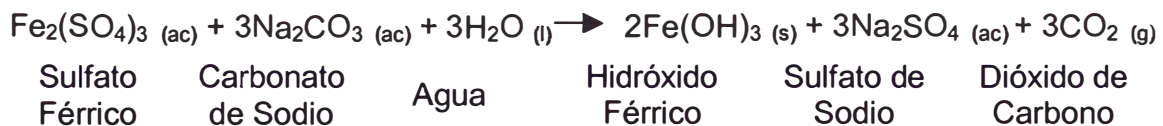
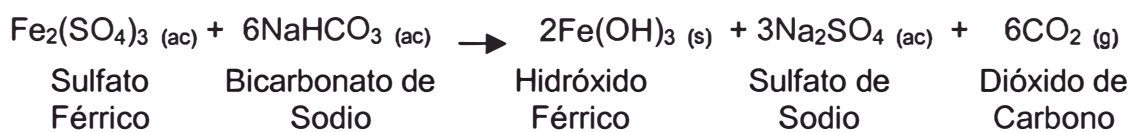
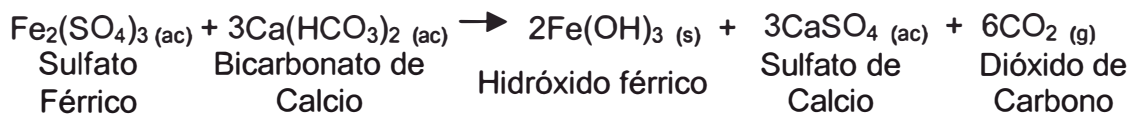
### Las desventajas

Aluminato es un producto bueno para el uso en ablandamiento. Sin embargo, el tratamiento con polímeros en cal sosa o cal cáustica, puede proporcionar a veces igual o mejor resultados a bajos costos generales. Las desventajas de aluminato en comparación con el tratamiento de polímero incluyen:

- El costo más Alto
- Llevar a la etapa siguiente alumina soluble
- Producción de más fango, que es más difícil para el tratamiento.

### **Sulfato férrico**

Las reacciones químicas del sulfato férrico en el agua son:



### Las ventajas

Los coagulantes de hierro, son efectivos sobre una ancha gama de pH (4,0-11,0); el óptimo es un rango de 5,5 a 8,8. Los Coagulantes de hierro son atractivos para el uso en operaciones de ablandamiento porque el hierro es relativamente insoluble en niveles altos de pH asociado con ablandamiento. Así, las concentraciones residuales

bajas de metal hierro se encuentran y el hierro removerá orgánicos que no son removidos por otras sales inorgánicas.

El sulfato férrico consume la alcalinidad del agua y aumenta el contenido del bióxido de carbono y sulfato en el agua. Por cada parte por millón (ppm) de sulfato férrico, 0,8 ppm de la alcalinidad es consumida y 0,6 ppm del bióxido de carbono y 0,8 ppm de sulfato son producidas. Los Flóculos de hierro son más pesados y se asientan más rápido que los producidos por el sulfato de aluminio. Esto aumenta la filtración con el fin de reducir el lodo producido. El flóculo de hidróxido férrico que se precipita es un acondicionador excelente de cama de fango. Al igual que con coagulantes de aluminio, no puede ser posible reemplazar coagulante férrico con polímero orgánico. Para estar seguro, se debe correr un ensayo de planta y comparar los resultados, realizando el reemplazo con sumo cuidado.

### Las desventajas

El tratamiento con polímero ha reemplazado efectivamente al sulfato férrico en muchas aplicaciones porque el sulfato férrico forma fango adicional y requiere más cal para el ajuste de pH.

### **2.3.3.- MEZCLA**

Mezcla es una operación unitaria importante en muchas fases del tratamiento químico. Describe la específica mezcla de sustancias químicas de coagulación y floculación. En la coagulación se entiende que la turbulencia hace más efectivo el tratamiento. Esto es, porque la agitación aumenta y facilita el contacto partícula-partícula.

La coagulación depende de la cantidad de turbulencia en la mezcla. En la práctica, el valor mínimo del declive de la velocidad para un polímero coagulante es  $300 \text{ seg}^{-1}$  con tiempos de detención de 10 a 30 seg. Coagulantes inorgánicos requieren una mezcla con un declive óptimo de la velocidad de  $200 \text{ seg}^{-1}$  y tiempos de detención de 30 seg a 2 min.

La Floculación requiere una mezcla menos turbulenta, un valor máximo típico de declives de velocidad es  $100 \text{ seg}^{-1}$ . La formación de los flóculos depende del tiempo de retención, siendo los tiempos típicos de detención de 2 a 10 min.



## **2.4.- IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO**

Debido a que es importante adaptar los procedimientos de las pruebas de laboratorio para encontrar las condiciones individuales de planta, los resultados de los procedimientos en esta sección dan las pautas generales, acerca de dosis químicas actuales, puntos de alimentación, la orden de adiciones, tiempo de retención, el tiempo y forma de la mezcla, etc. Cualquier cambio de estos parámetros afectaría el desempeño y la eficiencia del tratamiento.

Ninguna de estas pruebas da las comparaciones exactas. Las pruebas de laboratorio dan información relativa, las tendencias, y las direcciones, pero los números no son necesariamente absolutos.

Las pruebas del laboratorio se deben utilizar para proporcionar datos y directrices técnicas. Recordar que el costo del desempeño es mucho más importante para el usuario que el resultado de las pruebas de laboratorio.

### **La Técnica**

Los siguientes son procedimientos de técnicas que ayudarán a correr las pruebas descritas en esta sección de manera segura y exacta.

1.- La conservación apropiada y limpieza del equipo de prueba es crítico para obtener buenos resultados e importante para mantener una imagen profesional.

2.- El muestreo apropiado es una necesidad. Se debe tener gran cuidado para cerciorarse que la muestra sea representativa de las condiciones de planta. Una simple limpieza de la línea de muestreo puede ser suficiente; pero, dependiendo de la aplicación, puede ser necesario el compósito de una muestra. En algunos casos, la frescura de la muestra es crítica.

3.- La muestra del polímero es un parámetro a menudo dejado de lado. Las muestras deben ser las muestras frescas y diluidas el mismo día que se realiza la prueba.

### **La preparación de la solución del producto**

La solución de polímeros debe ser diluida a la gama más práctica de trabajo. La gama variará dependiendo de la corrida de prueba. Si la solución de polímero es demasiado diluida, el exceso de agua interfiere con los resultados de prueba. Si es la medida demasiado concentrada, la distribución exacta y adecuada de polímero puede ser un problema. Verifique la dosis de la Prueba de Polímero para la fuerza recomendada de la solución.

### **La dilución de Polímeros en polvo o gránulos.**

Para polímeros en polvo o gránulos es recomendable diluciones de 0,5% o 1,0% de solución.

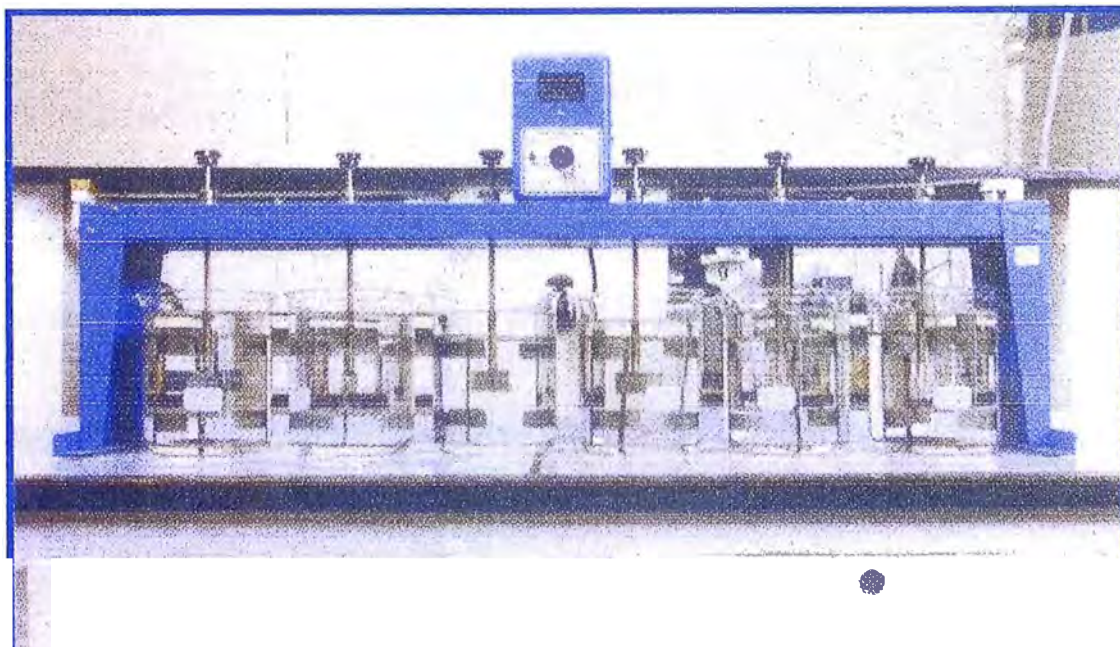
### **La dilución de Polímeros Líquidos.**

Los Polímeros de emulsión deberían primero ser diluidos al 1,0% de solución para asegurar el óptimo de la emulsión. Por ejemplo: agregue 1,0 mL del polímero a 99 mL de la dilución de agua. Mezclar por 15 min. (se recomienda que el mezclador sea de forma giratoria). Dejar reposar la mezcla de polímero por 10 min. antes de hacer las diluciones adicionales.

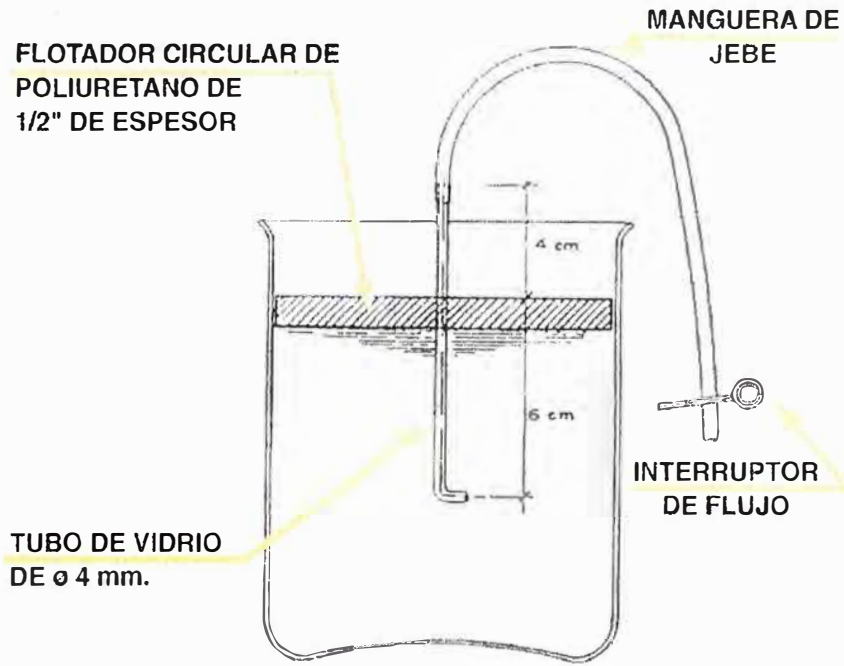
## **2.5.- PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA DEL JAR TEST (PRUEBA DE JARRAS) PARA LA CLARIFICACION GENERAL**

Jar Test es un método estándar usado en sistemas de Clarificación con bajos contenidos de sólidos:

### **FOTO N° 1: EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS**



**FIGURA N° 2.5: SISTEMA TOMA MUESTRAS**



**FIGURA N° 2.6: DETALLE DEL DEFLECTOR**



Objetivos:

- Determinar el programa químico óptimo.
- Determinar el mejor punto de dosificación de los químicos.
- Determinar el más apropiado dosaje químico.
- Determinar el mejor equipo de operación, tal como la más efectiva mezcla de eventos dado por el programa químico.

Los resultados del Jar Test son relativos más que absolutos acercando a coincidir con las actuales condiciones operativas de la planta. En consecuencia se predice los resultados y la información debe ser compilada antes en las corridas de prueba del laboratorio.

### **2.5.1.- CONSIDERACIONES**

#### **a) Recopilación de información**

Reunir datos y antecedentes de lo siguiente:

- Registros históricos de la planta
- Conversar con el personal de planta
- Visita y recorrido general de planta

La visita a planta es esencial. Su auditoria debe investigar las características del efluente, los requisitos de la calidad del agua clarificada, el equipo que se utiliza, la corriente y todos los puntos posibles de alimentación de químicos.

Con la información obtenida es posible utilizar la prueba del Jar Test de una manera significativa para reunir los datos pertinentes y diseñar un programa químico efectivo.

#### **b) Características del Efluente**

Una revisión de registros de planta mostrará el rango del grado de turbidez del efluente. Los rangos de color del agua se deben determinar también.

Agua con turbidez alta se puede clarificar generalmente con un polímero catiónico. El agua baja en turbidez, sin embargo, puede necesitar Sulfato de Aluminio como complemento, coagulante ó clarificación en línea.

#### **c) Los Requisitos de la calidad de Agua Clarificada.**

Los registros de la planta establecerán que calidad de agua ha estado produciendo generalmente con su programa y el equipo químico y a que calidad se desea llegar a producir. ¿Qué problemas existen en el programa presente que impiden alcanzar

esta calidad deseada?. Determinar el destino final del agua clarificada. ¿Será agua de proceso, agua para consumo ó se utilizara de otra manera?.

#### **d) Diseño y Tasa de Operación del Equipo de Clarificación**

Además de determinar el tipo de Clarificador a usar, otras preguntas se deben contestar:

- ¿El Clarificador opera arriba de la capacidad de diseño?.
- ¿Los flóculos se conservan?
- ¿La alimentación a planta son todos productos líquidos?
- ¿Cuál es el ciclo de mezclas para una rápida o lenta combinación?
- ¿La velocidad del mezclador del equipo se puede aumentar?
- ¿Cuánto tiempo de la retención se proporciona para una rápida combinación, lenta combinación y en estabilizar las zonas?

La inspección del equipo debe involucrar también el equipo químico de alimentación que está en uso o disponible.

#### **e) Identificación de Puntos de Alimentación de los Químicos**

Determina toda sustancia química que la planta maneja actualmente y sus puntos de alimentación. ¿Cuál es la relación de un punto de alimentación a otro? ¿Están los puntos cerca uno al otro o separados por tiempo y distancia?

Estar alerta para puntos de alimentación alternativo donde la mezcla puede ser mejorada. ¿Qué tipo de mezcla se espera utilizar en el actual punto de alimentación?. ¿Existen líneas de muestreo adicional en el sistema (por ejemplo, los lugares de la agitación alta) donde una llave se podría instalar, así como detrás de una válvula del flujo?. ¿Se puede alimentar la sustancia química en el lado de la succión de la bomba del suministro?.

### **2.5.2.- DESARROLLO DE UN PROGRAMA QUÍMICO**

El Jar Test se puede utilizar para comparar las capacidades de planta actuales y determinar el efecto de cambios secundarios en el sistema de alimentación o equipos.

Al realizar una prueba del Jar Test, los operadores deben ser creadores y flexibles. El Jar Test debe ser utilizado como un instrumento creador para explorar la gama entera de posibilidades en vez de utilizarlo mecánicamente como un procedimiento del paso por paso.

## **Planificación**

Antes de correr la prueba del Jar Test, los objetivos del programa de clarificación deben estar definidos. El objetivo puede ser uno cualquiera o todos los que se indican:

- Producir mejor calidad de agua.
- Producir la misma calidad de agua pero con el costo químico reducido
- Aumentar el rendimiento del Clarificador, produciendo flóculos que asienten más rápido.

## **Procedimientos generales**

Una regla fundamental en la prueba del Jar Test deberá ser cambiar sólo una variable a la vez. Por ejemplo, no cambiar ambas dosis químicas (coagulante y floculante) se debe cambiar sólo una variable a la vez en una prueba del Jar Test.

## **Equipo a utilizar**

El equipo utilizado en la prueba del Jar Test incluye:

- De 4 a 6 raquetas o agitadores.
- De 4 a 6 vasos de vidrio o plástico de 1000 mL.
- Una probeta de 250 mL graduada.
- Un Turbídmetro
- Varios jeringas de 1,0 mL, 5,0 mL, y 10 mL.

## **Las muestras**

Obtener muestra reciente de efluente. Las muestras viejas se coagulan generalmente más fácilmente que las muestras frescas porque la suspensión coloidal se vuelve inestable. Por lo tanto, en general nunca se debe utilizar una muestra con más de 2 horas de muestreada. También se debe verificar la fecha de vencimiento en muestras de polímeros, porque las muestras viejas pueden anular el efecto y perjudicar las pruebas.

## **Procedimiento de mezcla**

La Clarificación implica generalmente las etapas resumidas en la Tabla 2.5.2. Estas se deben cumplir en la prueba del Jar Test.

La velocidad del tiempo y la secuencia de agitación se deben realizar conforme a las condiciones de planta. La excepción se da cuando se examina el efecto de mezclar aumentado estos parámetros en el sistema. Por ejemplo, si se contempla cambiar el punto de alimentación a un lugar antes de la zona de la óptima combinación del Clarificador. En este caso, la velocidad de mezcla debe ser la única variable que se cambia.



Tabla 2.5.2: Etapa de Clarificación que debe ser cumplida en el Jar Test	
Etapa de Clarificación	Propósito
Mezcla Rápida	Distribuye uniformemente sustancias químicas primarias de coagulantes y proporciona la energía necesaria para la coagulación. (neutralización de cargas)
Mezcla Lenta	Construye el floc aumentando su tamaño y permitiendo que se asiente (floculación)
Ajuste (Mezcla muy leve)	Permite el asentamiento de los flocs

Si la velocidad de mezcla de la planta es desconocida, se debe estimar tan de cerca como sea posible.

Ejemplo:

- Para la mezcla rápida: 1 – 2 min. de 80 – 100 rpm
- Para la mezcla lenta: 5 – 10 min. de 20 – 30 rpm
- Para asentar: 5 – 10 min.

La Tabla 2.5.3 lista los declives mínimos de la velocidad requeridos para los procesos de coagulación y floculación.

Tabla 2.5.3: Rangos mínimos de mezcla.		
Proceso	Típicos rangos mínimos de mezcla	
	G(seg <sup>-1</sup> )	Gt
Coagulación Inorgánicos Polímeros	200-300	3000-6000
	300-400	6000-9000
Floculación	60-90	10,000-100,000

Al reemplazar Sulfato de aluminio con polímeros, la mezcla extensa y rápida a menudo mejora los resultados

### La orden de la Adición Química

La orden de intervalo químico de adición y tiempo entre adiciones se debe observar con cuidado ya que ellos pueden influir drásticamente en los resultados. Adicionar los aditivos químicos al Jar Test (que contiene el programa químico actual en planta) siguiendo precisamente el procedimiento de como ellos son agregados en la planta.

Seleccionar el mejor punto de alimentación basado en el tipo de polímero que se va ha agregar (ver Tabla 2.5.4). Recordando simular estas condiciones en su Jar Test.

En algunos tipos de agua, el polímero catiónico interfiere con el Sulfato de aluminio si es agregado primero. Para evitar que esto suceda, el polímero catiónico se debe

agregar después del Sulfato de aluminio. En su Jar Test, siempre se deben probar ambas órdenes de la adición.

<b>Tabla 2.5.3: Punto de Alimentación Sugeridos para Tipos de Polímeros</b>			
<b>Tipo de Polímero</b>	<b>Uso</b>	<b>Punto de Aliment. Sugeridos</b>	<b>Comentarios</b>
Coagulantes Primarios	Eliminar o disminuir las sales de alumbre o hierro en el sistema.	Se agregan tan temprano como sea posible en el sistema, preferiblemente antes de la sección de rápida mezcla del Clarificador.	Requiere energía alta de mezcla para el desempeño
Floculantes	Incrementar el tamaño de los flóculos	Se agregan antes de la sección lenta de la combinación	

### **Procedimiento del Jar Test para la Aplicación de Coagulantes**

1. Llenar los frascos con una muestra fresca de agua.
2. Encender los agitadores en aproximadamente 20-30 rpm. Estableciendo una velocidad constante, se debe evitar mezclar el primer Jar Test más que el último Jar Test y prevenir también la coagulación de superficie que puede ocurrir en el agua quieta. Cargar de antemano las jeringas con dosis apropiadas de coagulante y floculante lo cual disminuirá el tiempo entre cada Jar Test.
3. Agregar las sustancias químicas, en el orden que estas son agregadas o se adicionarían en la planta.
4. Aumentar la velocidad de los agitadores de 80 -100 rpm para un tiempo aproximado de 1 - 2 min. ó como las condiciones de mezcla de planta lo dicte. Si la planta puede obtener mayor velocidad de mezcla alimentando coagulante primario en la succión cruda de bomba de agua, tratar rápido de mezclar una serie para un plazo de tiempo similar.
5. Reducir la velocidad del agitador a 40-50 rpm y agregar el floculante.
6. Inmediatamente después de la última adición, reducir la velocidad a 20-30 rpm para la etapa de floculación. Mezclar por 5-10 min.
7. Parar el agitador. Note el tamaño del flóculo y la tasa de asentamiento en cada Jar Test.
8. Después de 5-10 min., tomar una muestra y registrar la claridad con un Turbidímetro.
9. Valorar el desempeño de cada Jar Test. Evaluar la claridad, la tasa de asentamiento, y el tamaño de flóculo.



Generalmente los polímeros coagulantes que reemplazan a los coagulantes inorgánicos se utilizan en menos cantidad, aproximadamente 1 ppm por 10 a 15 ppm del coagulante inorgánico.

### **Procedimiento del Jar Test para la Aplicación de Floculantes.**

Los Floculantes se seleccionan diferente a los coagulantes. Trate cada Jar Test de la serie con un floculante diferente en el máximo recomendado de dosis para ese producto.

1. Preparar el Jar Test para una agitación rápida en una velocidad que duplica las condiciones de planta (normalmente 80 a 100 rpm).
2. Agregar coagulante tan rápidamente como sea posible, agregar el ácido o agente cáustico si es necesario.
3. Reducir la velocidad del agitador a 40-50 rpm y agregar floculante.
4. Inmediatamente después de la adición del floculante, reducir la velocidad a un nivel similar a planta en mezcla y tiempo (generalmente 20-30 rpm por 5-10 min.).
5. Parar el agitador. Note el tamaño del flóculo y la tasa de asentamiento de cada Jar Test.
6. Después de 5-10 min., medir y registrar la turbidez.
7. Verificar y registrar los niveles de pH.

Cuando el floculante más efectivo se ha seleccionado, reducir sus dosis en pasos para determinar el requisito mínimo aproximado.

Evaluar las combinaciones de cantidades diferentes de coagulante y floculante para determinar la combinación más económica. En estas pruebas, se debe agregar las cantidades presentes del tratamiento de planta actual para establecer el primer Jar Test como una muestra de control.

## **3 DESARROLLO DEL TEMA**

### **INTRODUCCION**

La mayoría de las industrias utilizan volúmenes grandes de agua en sus operaciones industriales. Debido a que gran cantidad de esta agua se contamina en estos procesos, el tratamiento se requiere antes de la descarga.

Los efectos de descargas industriales de desecho han llevado de los gobiernos a la dación de leyes ambientales más rigurosas, que define los niveles aceptables de la calidad efluente. En USA, permisos de la descarga son establecidos por el EPA (Environmental Protection Agency) y las regulaciones ambientales federales. Entonces cada estado individual es responsable de mantener los estándares mínimos establecidos por el EPA. En el Perú los permisos de vertimientos lo da DIGESA (Dirección Ambiental de Saneamiento Ambiental)

Después que el agua se trata para cumplir los requisitos de la descarga, algunos valores de contaminantes pueden ser “demasiado valiosos” para descargarse. La recirculación ó rehúso del efluente puede ser entonces el procedimiento más práctico. Un estudio detallado del efluente de la planta es necesario realizar para determinar que corrientes podrían ser concentradas para la recuperación y empleo en planta y que otras pueden ser descargadas al cuerpo receptor. Cabe resaltar que en lo posible se debe tratar de minimizar el tratamiento global del efluente.

### **3.1.- BASE LEGAL O NORMATIVA**

En el Perú existen organismos que regulan el vertimiento de los efluentes a los cuerpos receptores (alcantarillado, ríos, mares, lagos), así como el control de los mismos mediante programas de vigilancia y monitoreo continuo. Los sectores que más han avanzado al respecto son: Energía y Minas, Producción y Salud. Estas instituciones han emitido algunas normas ambientales que regulan el vertimiento de líquidos a los cuerpos receptores; sin embargo a la fecha no se ha determinado estándares de calidad de agua similar a la emitida con relación a calidad de aire. Las principales normas ambientales que se han tomado en cuenta dentro de este informe son:

- Decreto Legislativo N° 613 Código del Medio Ambiente
- Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, “Reglamento de Protección ambiental para el Desarrollo de Actividades de la industria Manufacturera”.
- Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM de Enero de 1996, sobre Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos provenientes de las operaciones minero - metalúrgicas.
- Decreto Supremo N° 007-83 SA: Ley General de Aguas.
- Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE: Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel

- Resolución Directoral N° 030-96-EM-DGAA: Aprueban los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos producto de actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos y sus productos derivados
- Decreto Supremo N° 003-2003-SA Modifican artículo 82 del Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas
- Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM, "Aprobación de los Protocolos de Monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas".
- Decreto Supremo N° 028-60 S.A.C.P.L. 29-11-60 Reglamento de desagües Industriales.

### **3.2.- TIPOS DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA**

Los metales son tóxicos a muchos organismos acuáticos y ellos pueden causar también problemas de la calidad del producto para el uso doméstico. Cuando grandes cantidades de sales metálicas se descargan, río abajo las industrias deben realizar la eliminación costosa de estas sales antes de utilizar la corriente.

El efecto de metales en descargas industriales de efluentes no es limitado a los organismos que viven en las aguas receptoras. El valor industrial, así como usuarios agrícola y municipales, también son afectados directamente por descargas de contaminantes en su fuente de agua.

Metales pesados, tales como cobre, zinc, níquel, plomo, cadmio y el cromo, pueden reaccionar con enzimas microbianas retardando o inhibiendo completamente sus metabolismos. Los metales pesados presentes como precipitados pueden ser solubilizados por un cambio en el pH, causando una disminución en la eficiencia biológica del proceso.

La degradación biológica de ciertos compuestos orgánicos, tal como cianuro, puede causar la liberación de metales tóxicos de complejos solubles afectando actividad biológica. Los desechos no metálicos por encima de concentraciones específicas pueden causar una pérdida temporal en la eficiencia biológica del proceso si la aclimatación no se proporciona en forma adecuada.

En estos casos, considerar el tratamiento más apropiado que se puede aplicar para cumplir de manera constante con los requisitos del vertimiento. Si los efluentes contienen los niveles significativos de metales pesados u otras materias tóxicas que pueden inhibir o de otro modo puede impresionar el proceso del tratamiento, estas materias se tendrán que eliminar en su fuente o en la planta del tratamiento por un pre-tratamiento apropiado.

Los metales pesados problemáticos y que deben controlarse en la emisión de efluentes varían de planta a planta, sin embargo una clasificación general son los indicados en la Tabla 3.2

<b>Tabla 3.2: Metales Pesados Preocupantes</b>			
Ag	Plata	Hg	Mercurio
Al	Aluminio	Mn	Manganeso
As	Arsénico	Mo	Molibdeno
Au	Oro	Ni	Níquel
Cd	Cadmio	Pb	Plomo
Co	Cobalto	Sb	Antimonio
Cr	Cromo	Se	Selenio
Cu	Cobre	Sn	Estaño
Fe	Hierro	V	Vanadio
Zn	Zinc		

### 3.2.1.- INDUSTRIAS INVOLUCRADAS

En la Tabla 3.2.1 se presentan las principales industrias que usan metales en su proceso de producción y sus aplicaciones, las cuales producen efluentes que podrían exigir la remoción de metales pesados:

<b>Tabla 3.2.1: Principales Industrias cuyos Efluentes contienen Metales Pesados</b>	
<b>INDUSTRIA</b>	<b>APLICACIÓN</b>
<b>Metales básicos</b>	
Minería	Lixiviado del proceso
Fundiciones	Reciclado del scrubber (limpiador)
Siderúrgicas	Decapado y laminación del scrubber
<b>Metales fabricados</b>	
Latas	Gravación/trefilación
Electrónica	Galvanización/galvan. "electroless"
Procesamiento de metales	Fresado/esmerilado/galvanización
<b>Automotriz</b>	
Pre-tratamiento de pintura	Fosfatación/bonderization
Pintura	ELPO/sub-revestimiento
Piezas	Galvanización
<b>Textil</b>	
Teñido	Colorantes (que contienen metales)
Lavado	Dyes/colorantes
Lavanderías	Shop towels (toallas)
<b>Otras</b>	
Material bélico	Galvanización
Reparos	Limpieza de efluente descartado
Tintas/pigmentos	Dyes/colorantes



### **3.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES EN LA INDUSTRIA**

Los requisitos para la remoción de efluentes varían no solamente de acuerdo al tipo de producción, sino también con relación al destino del efluente.

La dificultad técnica para remover estos metales depende no solamente de las características del metal o metales que necesiten ser removidos, sino también de otros contaminantes originarios del proceso de producción que están en el afluente. Estos otros contaminantes pueden dispersar y solubilizar los metales, dificultando la remoción de los mismos de la manera convencional

#### **3.3.1.- PROCESO DE PRODUCCIÓN Y CONTAMINANTES GENERADOS**

A continuación se citan algunos ejemplos de procesos de producción y tipos de contaminantes que suelen presentarse, ver tabla 3.3.1:

<b>Tabla 3.3.1: Procesos de Producción y Tipos de Contaminantes</b>		
<b>PROCESO</b>	<b>METALES</b>	<b>CONTAMINANTES</b>
Electro galvanización.	Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surfactantes.</li> <li>• Cianuro.</li> </ul>
Galvanización no-electrolítica.	Au, Ag, Co, Cu, Ni, Pb, Zn.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosfatos.</li> <li>• Quelantes.</li> <li>• Agentes para tamponar el pH.</li> </ul>
Anodización	Cr, Ni, metal que esta siendo anodizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Sulfúrico.</li> </ul>
Cauterización (grabado)	Metal sometido a cauterización (grabado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surfactantes</li> <li>• Ácido Nítrico</li> <li>• Fosfatos</li> </ul>
Acabamiento de tambor (Retirada de rebordes, fabricación de tambores)	Cr, Sn, Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surfactantes</li> <li>• Inhibidores de corrosión de aceites emulsionados.</li> </ul>

#### **3.3.2.- CLASIFICACIÓN DE EFLUENTES CONTAMINANTES**

Los efluentes contaminantes se agrupan en tres categorías básicas:

- Los Sólidos Suspendidos, que son los materiales insolubles.
- Las Impurezas Disueltas (solubles), las cuales deben ser alterados químicamente a una forma insoluble y eliminadas por medios físicos.
- Materiales de Flotación, tales como petróleo, grasas, espumas y sólidos menos densos que el agua.

Tabla 3.3.2 Algunos contaminantes importantes concernientes al tratamiento de efluentes industriales.

<b>Tabla 3.3.2: Contaminantes Importantes Concernientes al Tratamiento de Efluentes</b>	
<b>Contaminantes</b>	<b>Razón de importancia</b>
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de fangos y condiciones anaerobias cuando un efluente sin tratamiento se descarga en el ambiente acuático
Biodegradables, orgánicos	Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, orgánicos biodegradables medidos comúnmente en términos de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno). Si es descargado sin tratamiento al ambiente, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Enfermedades pueden ser transmitidas por organismos patógenos en el agua de efluentes.
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo y carbono son alimentos esenciales para el crecimiento. Cuando se descarga al ambiente acuático estos alimentos nutritivos pueden llevar al crecimiento de indeseable vida acuática. Cuando se descarga en cantidades excesivas en la tierra ellos pueden llevar también a la contaminación de aguas subterráneas
Compuestos Contaminantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos se escogieron a base de su conocido o sospechado efecto cancerígeno, de mutación etc, o en base de la aguda toxicidad. Muchos de estos componentes se encuentran en el efluente.
Orgánicos refractarios	Estos compuestos orgánicos tienden a resistir los métodos tradicionales del tratamiento de efluentes, los ejemplos típicos incluyen surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados se añaden generalmente a efluentes de la comercialización y actividades industriales y posiblemente pueden ser retirados si el efluente es reciclado para ser empleado nuevamente.
Inorgánicos disueltos	Compuestos inorgánicos tal como el calcio, sodio y el sulfato son añadidos del abastecimiento original de agua como resultado de uso de agua y podría ser retirado si el efluente se deseara emplear de nuevo.

### **3.4.- TEGNOLOGIAS REMOVEDORAS DE METALES.**

Las industrias que utilizan metales pesados en sus procesos están cada vez más preocupadas con la presencia de metales tóxicos en sus efluentes y lodos así como en el impacto de estos metales pesados tanto en el medio ambiente, como en la salud.

Actualmente existen tecnologías avanzadas que preparan el camino para las restricciones ambientales más estrictas. Los límites para metales pesados, anteriormente reglamentados en partes por millón, ahora pueden ser limitados a partes por billón. Los tratamientos tradicionales se están volviendo deficientes, exigiendo que la industria gaste mas dinero, no solamente debido a multas y tratamiento, sino también por el alto costo de la eliminación de lodos peligrosos.

Han surgido tecnologías innovadoras de tratamiento, patentadas, para solucionar problemas de metales pesados en las áreas de tratamiento de efluentes. Finalmente la industria cuenta con tecnologías que funcionan bien.

En el presente trabajo se han denominado a estas tecnologías: REMOVEDORES DE METALES.

#### **Tratamiento de efluentes con removedores de metal**

Estos agentes precipitantes (con fórmula avanzada patentada), tienen éxito en la remoción de metales pesados del agua de descarga. Los excesos de costo y multas son evitadas; ya que generan menos lodos. Y la calidad del efluente permite, con frecuencia, que éste sea reciclado nuevamente al proceso de la fábrica si es esto lo que se desea realmente.

#### **No agresivas para el medio ambiente**

Las tecnologías de tratamiento Removedores de Metal, para Efluentes no son solamente más eficaces que cualquier otro proceso de tratamiento en el mercado actual, sino que también su baja toxicidad para los organismos acuáticos las vuelve menos agresivas al medio ambiente.

### **3.4.1.- MÉTODOS TRADICIONALES**

#### **3.4.1.1.- Precipitación por Hidróxido**

Hasta hace poco tiempo, el sistema de tratamiento químico aplicado con mayor amplitud, para remover metales solubles del efluente era provocar la precipitación de estos iones metálicos, en forma de hidróxidos metálicos insolubles. Este método relativamente simple, exige la adición de cal u otro agente cáustico para elevar el pH del efluente al punto de solubilidad mínima de un ión metálico en particular. Una de las limitantes del método de precipitación por hidróxido es la incapacidad de precipitar iones metálicos que forman complejos. Por ejemplo durante los procesos de agotamiento del metal, soluciones de removedor (striping) y de limpieza actúan como agentes de quelación y secuestro, inhibiendo la formación de flóculos de

hidróxido (insolubles). Por ejemplo, el cobre precipita a un pH de 8,0 aproximadamente, en ausencia de agentes formadores de complejos.



Por otro lado si se encuentra presente en el agua, cualquier compuesto que contenga nitrógeno, por ejemplo amoníaco o EDTA, la reacción anterior no irá hacia la derecha y el cobre permanecerá en el efluente, no obstante que el pH sea el ideal para su remoción.

Igualmente estando en condiciones ideales, en ausencia de compuestos quelantes y secuestrantes y con suficiente control de ajuste de pH, existen diversos casos en que la solubilidad mínima de ión metálico no es suficientemente baja, para atender las restricciones actuales sobre la descarga, al usar el método del hidróxido. Muchas veces estos permisos para descarga exigen límites de metales en el rango de ppb (partes por billón) en vez de ppm (parte por millón).

Otra deficiencia del método que usa hidróxido para precipitación de metales se manifiesta cuando la planta en estudio necesita remover diferentes metales, cada uno de ellos con un pH ideal diferente para un mínimo de solubilidad. En este caso, la solución sería seleccionar, entre los posibles setpoints de pH, aquel que sería ideal para todo el proceso, dejando la posibilidad para que algunos metales permanezcan en solución ya que presentan niveles demasiados elevados para que sean descargados.

Finalmente, existen algunos metales que presentan un mínimo de solubilidad comparada con las curvas de pH. En otras palabras, en el caso del zinc, a medida que el pH aumenta de neutro a un pH de 9,5, el ión metálico precipita como flóculo de hidróxido de zinc. Mientras tanto, si el pH aumenta mas, el flóculo empieza a disolverse nuevamente y no será removido en al etapa de clarificación.



### 3.4.1.2.- Precipitación por Sulfuro

Una alternativa al método de hidróxido, es el método de precipitación de sulfuro. Usa sales de sulfuro solubles, tales como sulfuro de sodio o de calcio, para precipitar los iones metálicos solubles. Como los sulfuros metálicos son menos solubles en agua comparados con la mayoría de los hidróxidos metálicos a pH alcalino, la eficacia de la remoción de los metales puede mejorar. Este método, por más eficaz que se haya mostrado, no es ampliamente practicado, por diversos motivos. En primer lugar, está el hecho que los sulfuros en soluciones ácidas generan H<sub>2</sub>S, que es extremadamente tóxico. Aparte de esto, el costo del método, es considerado más elevado, al ser comparado con la precipitación por hidróxido.



Para abordar los problemas de toxicidad se desarrolló un método para generar ión sulfuro insoluble, llamado proceso de precipitación de sulfuro insoluble (ISP). Este método usa una pasta de sulfuro ferroso recién preparada como fuente de iones sulfuro. (El sulfato ferroso reacciona con bisulfuro de sodio, formando un precipitado de sulfuro ferroso).



El proceso opera basado en el principio de que el sulfuro ferroso se disolverá rápidamente, proporcionando iones sulfuro en concentraciones muy bajas en la solución (cerca de 0,02 ppb). Los metales pesados disueltos en el agua formarán sulfuro del metal como precipitado insoluble.



A medida que el sulfuro es removido del sistema en el flóculo de metal pesado, una mayor cantidad de sulfuro ferroso se disuelve en el efluente. Este proceso no ganó gran popularidad, ya que un subproducto del método es el hidróxido ferroso, que produce un volumen considerablemente mayor de efluente sólido comparado al proceso convencional de precipitación de hidróxido.

La tabla 3.4.1.2 es una ilustración esquemática de las ventajas y desventajas de estos dos métodos de precipitación de metales pesados: hidróxido y sulfuro (SSP: precipitación de sulfuro soluble) e (ISP: precipitación de sulfuro insoluble).

<b>Tabla 3.4.1.2: Comparación de los Procesos de Precipitación de Sulfuro e Hidróxido</b>			
<b>Item</b>	<b>Hidróxido</b>	<b>SSP</b>	<b>ISP</b>
Remoción de metal	Ineficaz en mezclas metálicas	Muy bajo	Muy bajo
Rango de pH	Estrecho	Alcalino	PH>6,0
Cr <sup>+6</sup> Cromo Hexavalente	Necesaria pre-reducción para remover	Eficaz sin pre-reducción a Cr(III)	
Metales que forman complejos	No remueve	Precipita	
Generación de sulfuro de hidrógeno	No constituye un problema	Generado a pH<8,0	Ningún
Costo del programa	Bajo	Alto	El más alto
Volumen de lodo	Alto	Bajo	El más alto
Frecuencia de uso	Común	Raro	El mas raro
Automatización de la alimentación química	Fácilmente automatizado	Fácilmente automatizado	Muy difícil
Descarte de lodo	Desagüe, descartado en vertederos aprobados	Se produce sulfuro en exceso, puede ser considerado peligroso.	

### 3.4.2.- MÉTODOS CON NUEVAS TECNOLOGÍAS

#### 3.4.2.1.- Agentes de Pulimento

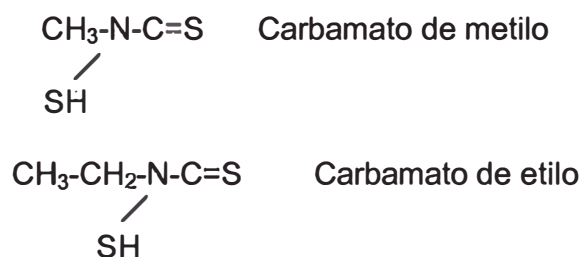
A medida que las normas de descarga se tornaban cada vez más exigentes para los metales pesados, las tecnologías de tratamiento standard (precipitación de hidróxido y sulfuro) se mostraban incapaces de proporcionar la calidad constante del agua, que era necesaria. Para resolver esta situación, se desarrolló un cierto número de “agentes de pulimento” durante los últimos cinco a siete años, para la precipitación de metales pesados residuales. Entre los tipos de compuestos disponibles en este mercado se incluyen:

Carbamatos  
Carbonatos  
Borohidratos  
Polisulfuros  
Triazinas

La principal ventaja de todos estos agentes de pulimento es su capacidad de tratar corrientes de efluente que contienen diversos metales pesados en un tanque único, sin los engorrosos ajustes de pH, y sin una cantidad extra de tanques. A pesar que cada una de estas tecnologías ha tenido éxito en su propio nicho de aplicaciones, solamente los carbamatos pasaron a ser ampliamente utilizados, sin embargo, presentan algunas desventajas significativas.

#### CARBAMATOS

Los carbamatos son comercializados por muchas compañías de tratamiento de aguas y recientemente, por diversos proveedores de commodities. La tecnología se encuentra disponible en dos formas básicas, carbamato de metilo y carbamato de etilo:



Estos productos fueron vendidos preliminarmente como agentes biocidas y de vulcanización (en la industria de goma, como agentes de curtido). Los ditiocarbamatos de sodio (SDTC) son eficaces para la remoción de metales pesados en una amplia variedad de ambientes (desde iones metálicos libres solubles hasta iones metálicos quelatos) que forman complejos. El Ditiocarbamato de sodio reacciona en proporción estequiométrica con cada metal pesado, formando

una sal metálica (ditiocarbamato insoluble). Las dosificaciones estequiométricas para la remoción de algunos de los metales pesados se muestran en la Tabla 3.4.2

<b>Tabla 3.4.2: Dosificación para Remoción de Metales pesados</b>			
<b>Metal pesado</b>	<b>Ditiocarbamato (ppm)</b>	<b>Metal pesado</b>	<b>Ditiocarbamato (ppm)</b>
Cr(VI)	41,3	Cu	11,3
Cr(III)	20,6	Zn	11,0
Mn	13,0	Cd	6,4
Fe(II)	12,8	Pb	3,5
Ni	12,1	Hg(I)	1,8

Sin embargo, existe un orden “preferencial” para la precipitación por Ditiocarbamato de metales pesados; cuando se usa dietilditiocarbamato es el siguiente:



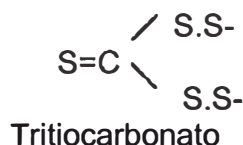
Esto significa específicamente que, en un efluente con elevados niveles de sales de hierro (como por ejemplo, cuando el cloruro férrico está siendo usado como coagulante), el Ditiocarbamato reaccionará preferencialmente con el hierro, antes que sea removido el cobre o el níquel.

El desempeño es mejor cuando las concentraciones iniciales de metales pesados son mayores que 5 ppm. Bajo este límite, el tiempo de reacción y agitación necesarios para garantizar el contacto y la reacción entre el Ditiocarbamato y los iones de metales pesados puede ser considerablemente mayor. Generalmente esta agitación mayor forma un floc semi-coloidal muy pequeño.

Similar al caso de cualquier tratamiento químico, el ditiocarbamato presenta efectos colaterales residuales que pueden constituir una desventaja en el proceso del tratamiento. El Ditiocarbamato es un biocida que actúa sobre los hongos. A pesar que cualquier residuo de Ditiocarbamato en la corriente de efluente puede ser removido, ya sea por adsorción en carbón activado o aireación en  $\text{pH} < 7$  antes de la descarga, ninguna de estas técnicas es comúnmente utilizada. En algunas áreas, principalmente en varios países europeos y en determinados estados de USA, la descarga de Ditiocarbamato está prohibida.

## CARBONATOS

En respuesta a las preocupaciones ambientales con relación a los carbamatos, se desarrollaron y fueron comercializados los carbonatos, mas o menos a partir de 1998. Estos agentes son menos tóxicos que los carbamatos:



Mientras tanto, los tritiocarbonatos presentan una desventaja operacional ya que son ineficaces sobre los metales quelatos. En base a este trabajo realizado, se descubrió también que algunos de los productos de la reacción metal-carbonato eran solubles, es decir, no se formaba precipitado.

## BOROHIDRATOS

El borohidrato de sodio es un agente reductor suave usado en las industrias de tableros de circuitos impresos para la remoción de cobre del efluente (a través del procesamiento de cobre "sin electrólisis"). El borohidrato es comercializado por la Morton (Chicago, IL). En el proceso de tratamiento del efluente, el cobre soluble se reduce a cobre metálico:



El borohidrato de sodio precipita eficazmente otros metales, tales como níquel, plomo, metales preciosos (de recuperación). Sin embargo, no precipita metales que forman complejos tales como cianuro. Esta es una desventaja que ha limitado su aplicación en el mercado.

Otra desventaja es que el borohidrato de sodio, que es vendido como producto en polvo, puede ser explosivo al entrar en contacto con humedad o fuego. Las compañías tradicionales de tratamiento de aguas no mostraron interés en comercializar borohidrato para la remoción de metales pesados.

## POLISULFUROS

Varios proveedores de commodities de pequeño porte, introdujeron recientemente los polisulfuros en el mercado de agentes de pulimentos. La Superpack (Fort Valley, GA) comercializó el polisulfuro de calcio, La Chemical (City of Industry, CA) está comercializando polisulfuro de sodio.

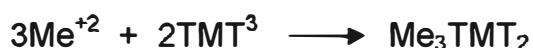
En ambos casos, el polisulfuro es un polímero de azufre, con una cadena que contiene de 2 a 8 átomos de azufre. Todas las cadenas tienen una carga negativa de 2<sup>-</sup>.

Estos productos no son necesariamente más efectivos en la remoción de metales pesados comparados al procedimiento standard de precipitación de sulfuro, pero son más estables que el sulfuro de sodio para la hidrólisis de ácido, es decir, la producción de gas H<sub>2</sub>S es menor con polisulfuros con relación a la precipitación de sulfuros (no polimero).

Una desventaja del polisulfuro de calcio es su tendencia a formar incrustaciones duras por toda la planta de tratamiento de efluente.

### **TRIMERCAPTOTRIAZINA (TMT)**

La trimercaptotriazina se mostró eficaz en efluentes con metales pesados que no forman complejos. En su reacción con los metales pesados, la trimercaptotriazina forma un precipitado insoluble:



Dos desventajas del uso de la trimercaptotriazina son que, el pH ácido (pH<6,0), esta precipita, y en corrientes de efluentes con metales que forman complejos resistentes, no es tan eficaz con relación a los agentes de pulimentos y es necesario el pre-tratamiento del complejo.

En la tabla 3.4.3 se muestran las dosificaciones de TMT para remoción de metales pesados, en ppm de TMT / ppm de metal

<b>Tabla 3.4.3: Dosificación de trimercaptotriazina para Remoción de Metales pesados</b>			
<b>Metal pesado</b>	<b>(ppm) de TMT</b>	<b>Metal pesado</b>	<b>(ppm) de TMT</b>
Ag	5,0	Cd	9,6
Cu	17,0	Hg	5,4
Ni	18,3	Pb	5,3
Zn	18,0		



## **4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE REMOCIÓN DE METALES UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE REMOVEDOR DE METALES (CASO REAL)**

### **APLICACIÓN DE REMOVEDORES DE METALES EN PLANTA DE EWTP DE MINERA YANACocha S.A.**

#### **4.1.- DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE MYSRL.**

La planta de Tratamiento de Efluentes (EWTP) de Yanacocha dispone de tres plantas que tienen una capacidad de 450 m<sup>3</sup>/hr, fue diseñada para eliminar cianuro y los metales pesados contenidos en la solución para que cumpla con los límites permisibles.

El proceso tiene tres etapas definidas:

- a) Eliminación del cianuro
- b) Precipitación de metales
- c) Separación sólido líquido

Para la primera etapa se usa cloro gaseoso. Este genera pH ácido y es controlado mediante el uso de cal en forma de lechada. La siguiente etapa del proceso consiste en la precipitación de metales pesados mediante el método de sulfuro soluble (SSP) usando hidrosulfuro de sodio (NaSH). Luego en la etapa final, al precipitado formado se agrega cloruro férrico como coagulante y el floculante aniónico A-110. La solución con metales precipitados ingresa por la parte central del Reactor – Clarificador y necesariamente atraviesa la cama de sólidos, produciéndose la filtración. El rebose del clarificador es agua cristalina.

#### **4.2.- OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN.**

Seleccionar un producto menos tóxico y mucho más eficiente que el NASH para la remoción de metales pesados.

### 4.3.- PRUEBAS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LA SOLUCION BARREN PARA LA SELECCION DEL PRODUCTO

#### **4.3.1.- PRUEBA N°1: Remoción de Se, Hg, Mn, As, Pb, Zn de la Solución Barren**

##### **A. PROCEDIMIENTO**

Volumen de muestra: 1000 mL

Dosis empleadas de los reactivos (ppm): 1, 5, 10, 15, 20

Volumen de Cloruro Férrico usado: 0,133 mL

Tiempo de Reacción (min.): 10

Velocidad de agitación: 130 RPM

Elementos a analizar: Se, Hg, Mn, As, Pb, Zn

Floculante: A-110 2 mL (extraída de Planta EWTP)

Tiempo de agitación con el floculante (min.): 5

La solución a analizar fue decantada (no se filtro).

Nota 1: La muestra de solución Barren Clorada fue puntual de la planta EWTP del tanque de detoxificación N°02.

Nota 2: No se uso lechada de Cal, el pH medido después de agregar el reactivo y Cloruro Férrico fue de 9.

##### Resumen de la secuencia del procedimiento

- 1.- Tomar 1 L de Solución Barren
- 2.- Adicionar el  $\text{FeCl}_3$
- 3.- Dejar reaccionar por 10 minutos
- 4.- Controlar en pH en 9,0
- 5.- Agregar 2 mL del Floculante A-110
- 6.- Dejar reaccionar por 5 minutos
- 7.- Decantar.
- 8.- Realizar los análisis a la solución

##### **B. REACTIVOS USADOS**

- 1.- Removedor A (R-A)  
Contiene Ditiocarbamato.
- 2.- Removedor B (R-B)  
Polisulfuros orgánicos  
Toxicidad baja para organismos acuáticos (100 veces menor que el dimetil ditiocarbamato y 10 veces menor que el tritocarbamato).
- 3.- Removedor C (R-C)  
Polisulfanas.



- 4.- Removedor D (R-D)  
Tiosulfito.
- 5.- Removedor E (R-E)  
(Patentado).

Nota 3: Se prepararon los reactivos a una concentración de 1%.

### C. RESULTADOS

Tabla 4.1.- Leyes de Cabeza

	Se ppb	Hg ppb	Pb ppm	Mn ppm	As ppb	Zn ppm
Ley de Cabeza	86,70	104,75	0,08	0,215	215,30	17,54
Limite Permisible	10,00	2,0	0,05	0,050	50,00	1,00

Tablas 4.2.- Comportamientos de las Pruebas

#### Selenio

Selenio (ppb)					
Dosis (ppm)	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E
L. P.	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
0	86,0	86,70	86,70	86,70	86,70
1	76,60	71,05	65,20	70,60	77,20
5	70,95	73,10	66,80	61,60	78,00
10	71,20	74,60	68,30	78,40	79,60
15	69,10	73,20	63,10	70,70	71,10
20	65,90	67,90	73,15	74,30	74,90

### **Mercurio**

<b>Mercurio (ppb)</b>					
<b>Dosis (ppm)</b>	<b>R-A</b>	<b>R-B</b>	<b>R-C</b>	<b>R-D</b>	<b>R-E</b>
<b>L. P.</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>
0	104,75	104,75	104,75	104,75	104,75
1	91,91	65,50	76,43	80,46	110,10
5	84,38	10,60	26,49	15,82	41,47
10	94,69	3,24	7,82	87,55	29,11
15	89,22	5,00	5,33	10,82	17,81
20	79,10	5,66	4,79	14,86	23,79

### **Plomo**

<b>Plomo (ppm)</b>					
<b>Dosis (ppm)</b>	<b>R-A</b>	<b>R-B</b>	<b>R-C</b>	<b>R-D</b>	<b>R-E</b>
<b>L. P.</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
1	0,06	0,06	0,06	0,05	0,02
5	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02
10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,01
15	0,08	0,05	0,02	0,02	0,02
20	0,06	0,05	0,03	0,02	0,00

### **Manganeso**

<b>Manganeso (ppm)</b>					
<b>Dosis (ppm)</b>	<b>R-A</b>	<b>R-B</b>	<b>R-C</b>	<b>R-D</b>	<b>R-E</b>
<b>L. P.</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
0	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
1	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
15	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
20	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04

### Arsénico

Arsénico (ppb)					
Dosis (ppm)	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E
L. P.	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
0	215,30	215,30	215,30	215,30	215,30
1	75,10	<1	<1	<1	<1
5	<1	<1	<1	<1	<1
10	<1	<1	<1	<1	<1
15	<1	<1	<1	<1	<1
20	<1	<1	<1	<1	<1

### Zinc

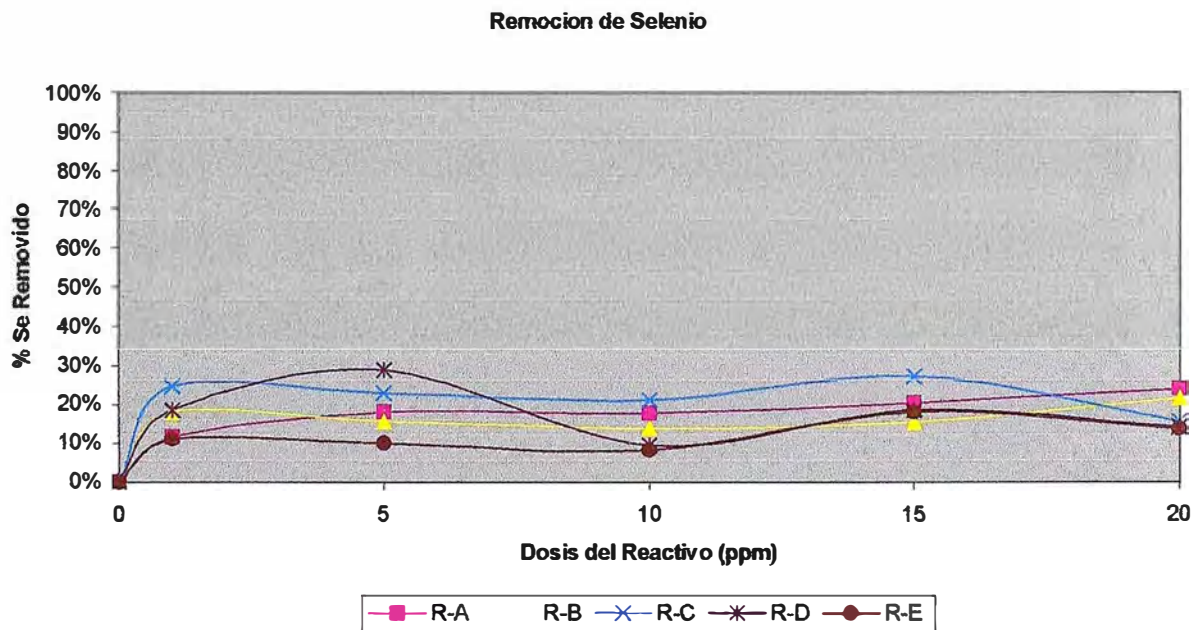
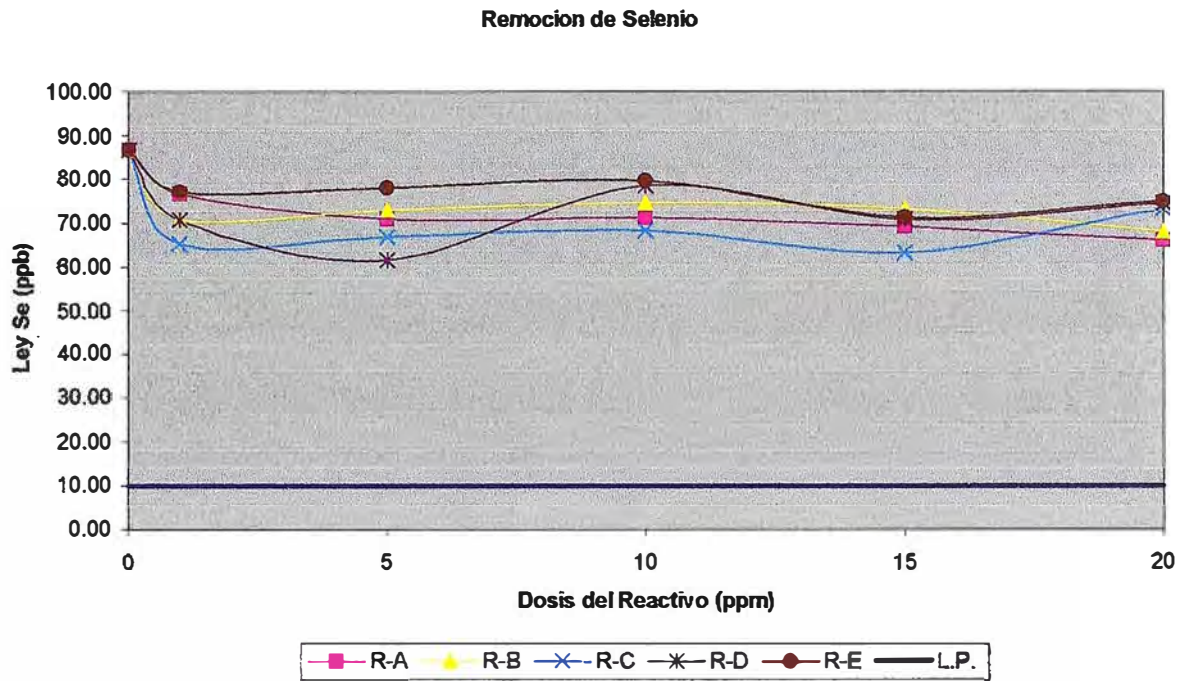
Zinc (ppm)					
Dosis (ppm)	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E
L. P.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54
1	8,11	8,29	7,08	7,70	9,79
5	8,16	8,24	7,88	7,30	8,10
10	8,53	8,55	7,30	10,88	10,89
15	8,27	7,72	7,49	7,75	9,44
20	7,79	7,80	7,47	9,65	11,43

Nota:

Para la lectura de Zinc se hicieron diluciones de 1/20

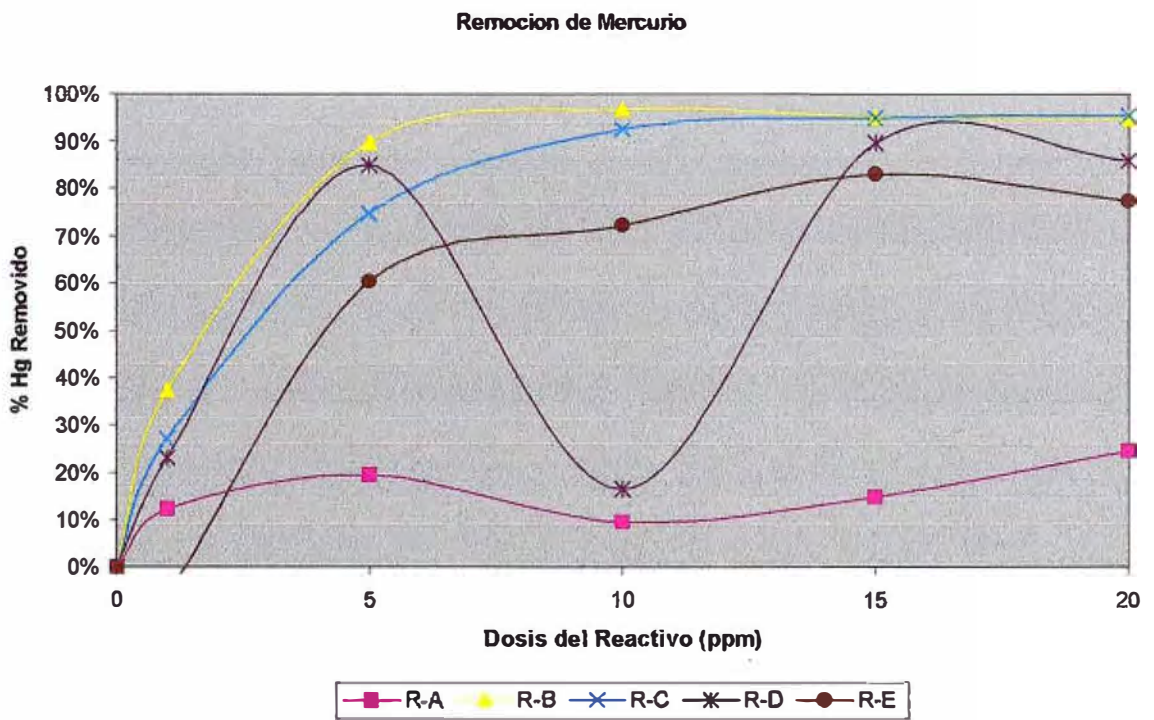
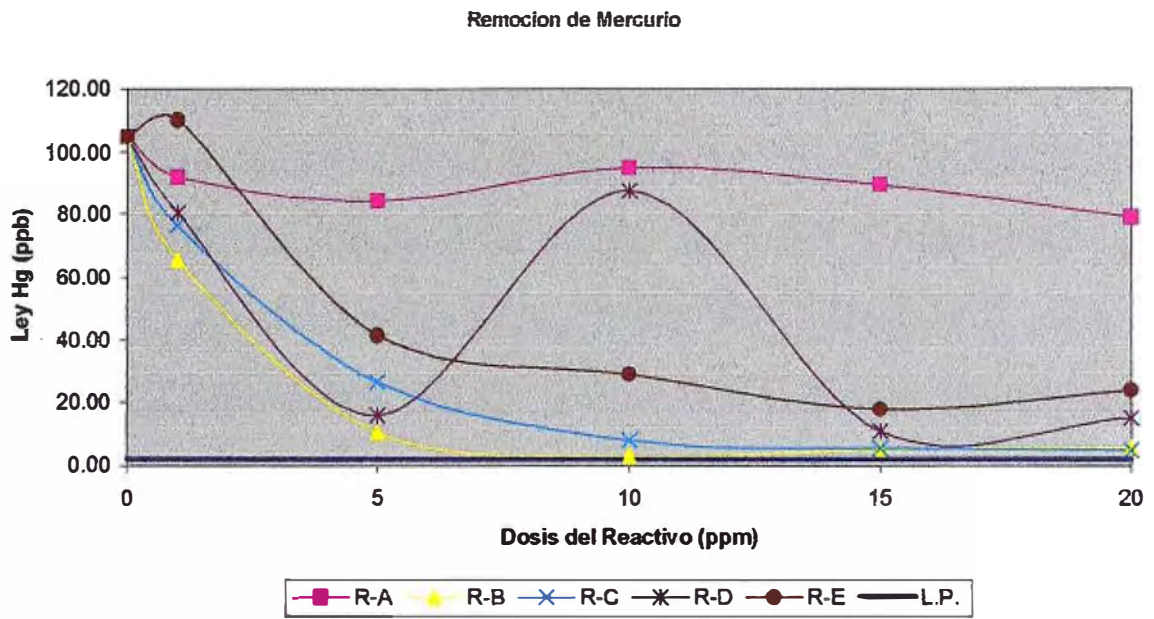
## D. GRAFICOS

### D1.- Selenio





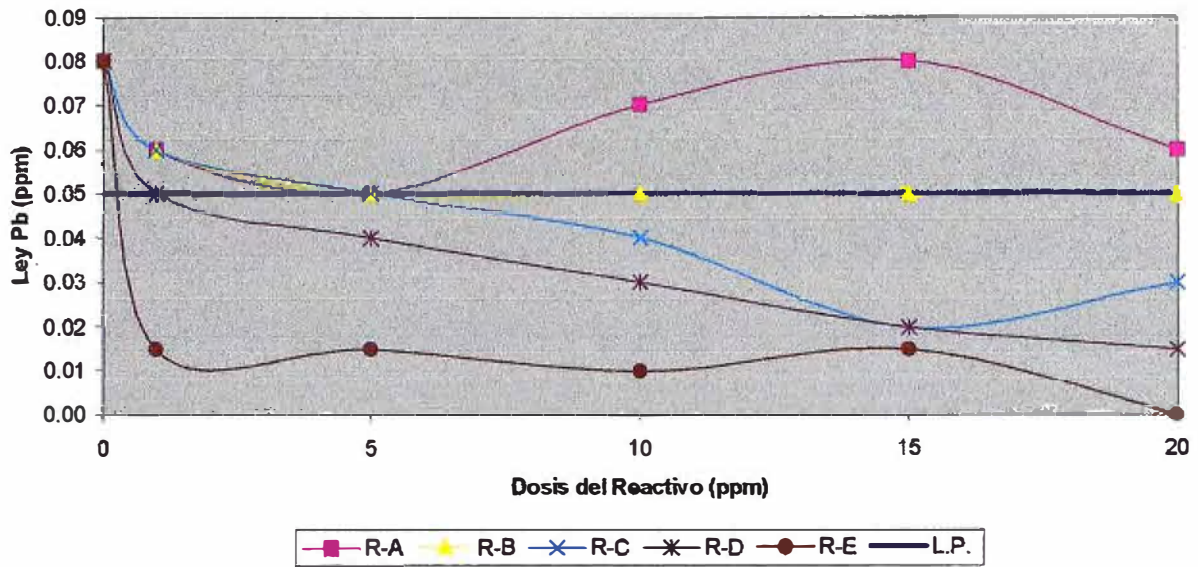
## D2.- Mercurio



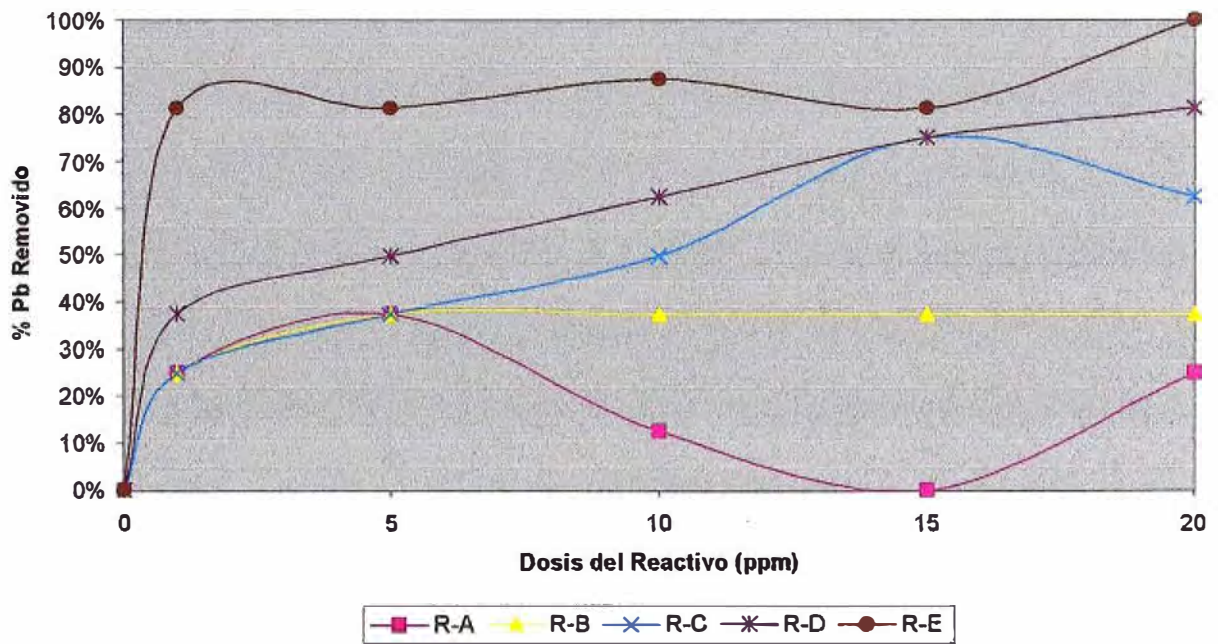


### D3.- Plomo

Remocion de Plomo

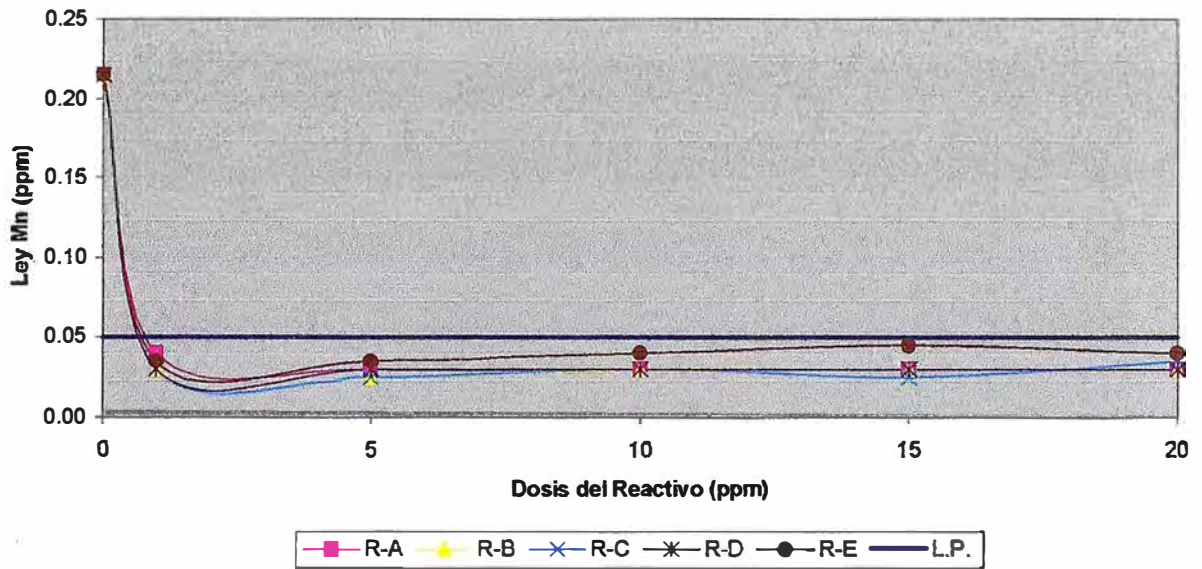


Remocion de Plomo

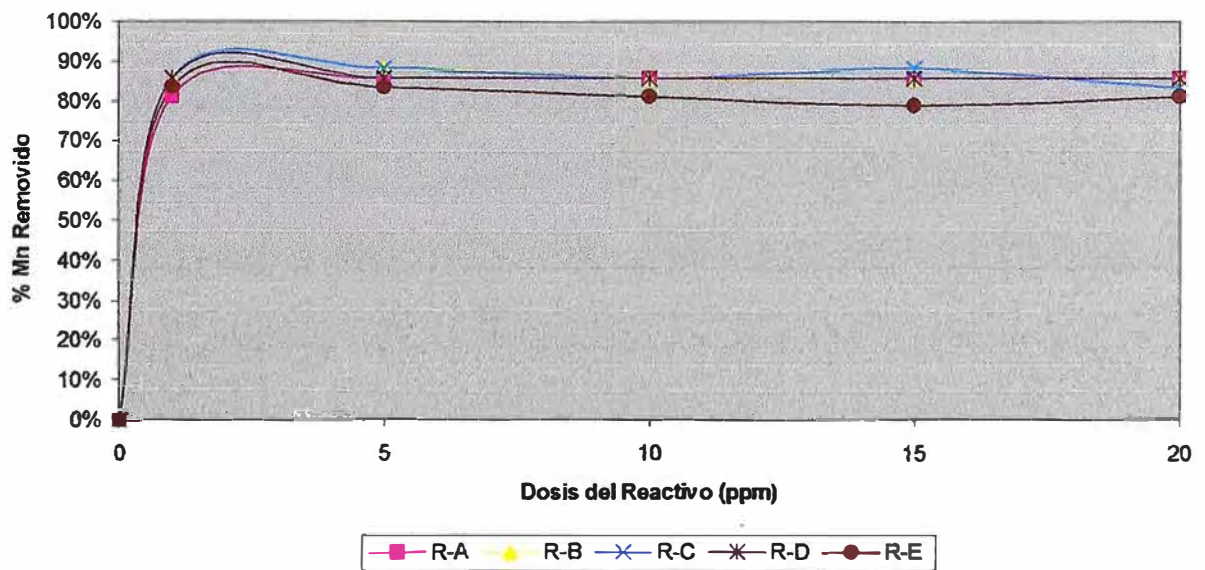


## D4.- Manganeso

Remocion de Manganeso

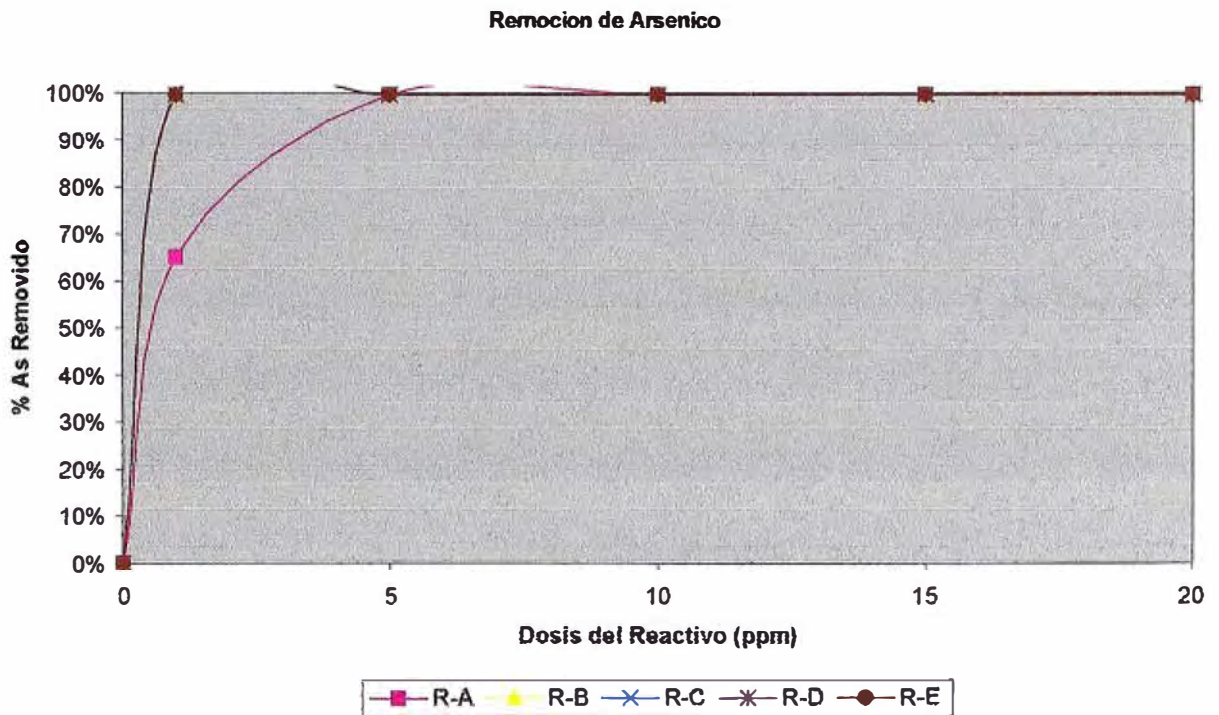
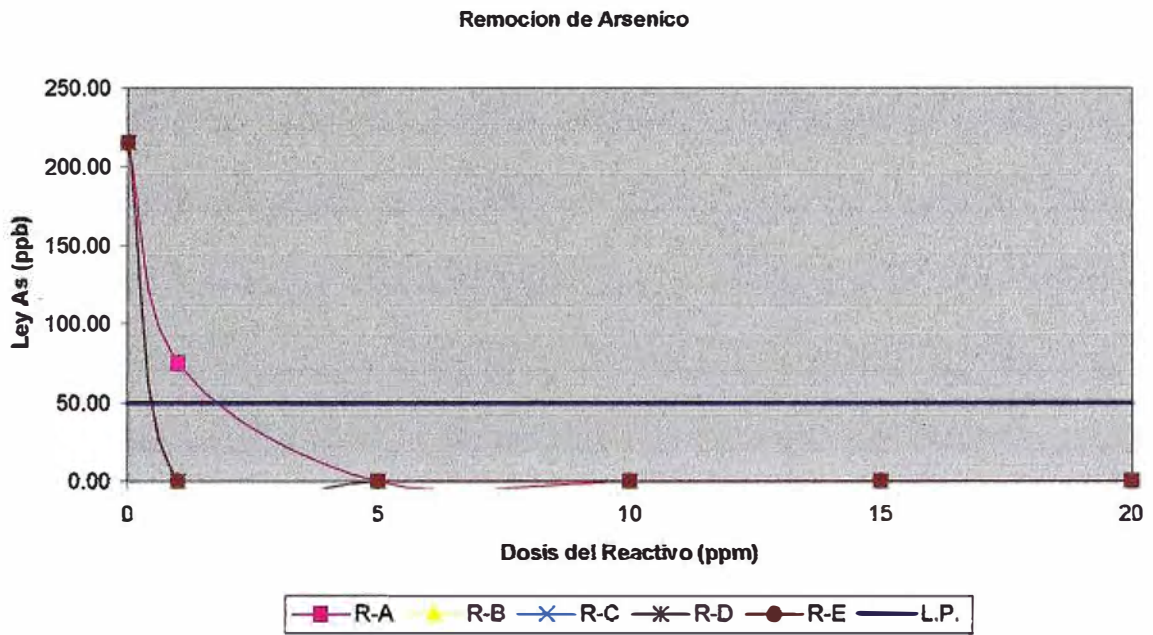


Remocion de Manganeso

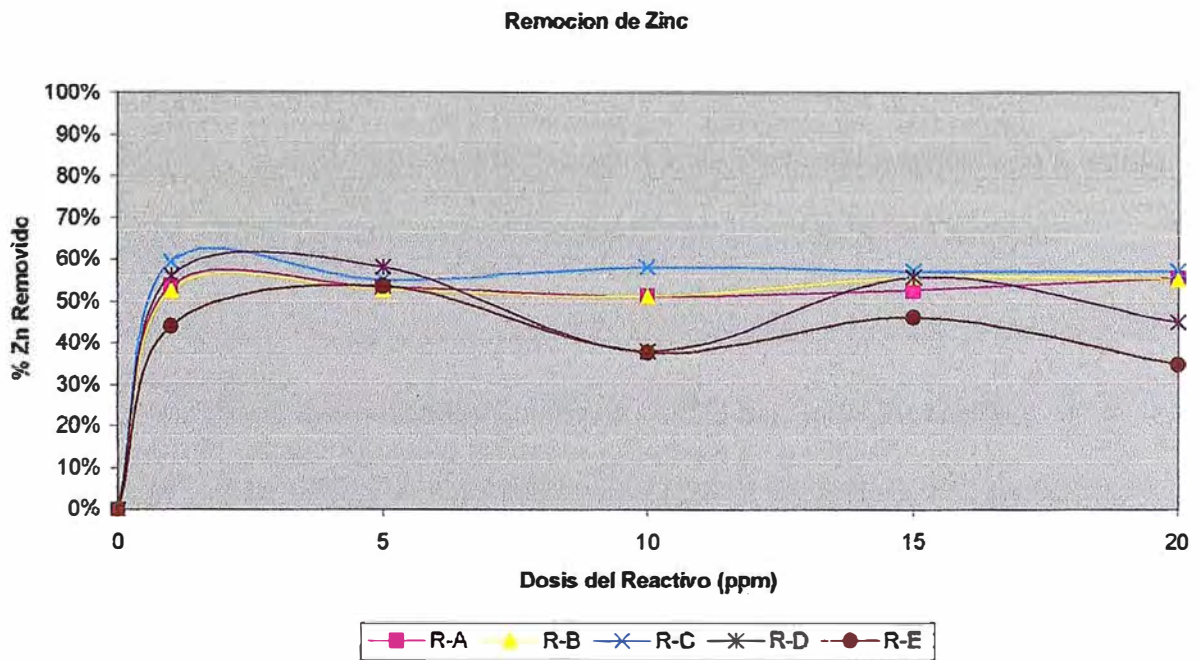
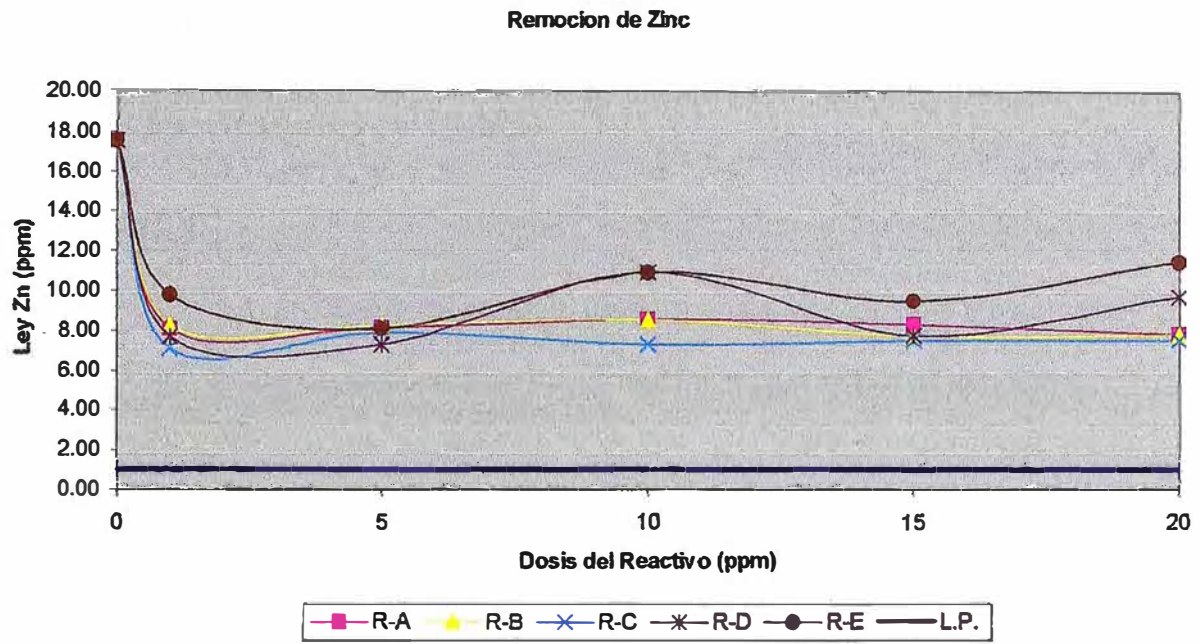




## D5.- Arsénico



## D6.- Zinc



## E. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para el Plomo: El reactivo R-E es el más efectivo para precipitarlo, a dosis de 1,0 ppm.
  - Para el Manganeso y Arsénico: Si bien el Manganeso es posible controlarlo con el pH, el R-E puede ayudar a mantener estos elementos bajo sus respectivos límites permisibles.
- Selenio:
- a) Ninguno de los reactivos remueve considerablemente Selenio.
  - b) Los productos obtenidos (aún a dosis de 20 ppm) están muy por encima del límite permisible (6 veces > que el límite permisible).
  - c) Orden descendente de los productos según el % de Remoción:  
R-C > R-A > R-B > R-D > R-E
- Mercurio:
- a) Ninguno de los reactivos remueve Mercurio a leyes menores que el límite permisible.
  - b) Con excepción del R-A, los % de Remoción son considerables (mas de 70% a 5 ppm, incrementándose la remoción con la dosis)
  - c) Orden descendente de los productos según el % de Remoción:  
R-B > R-C > R-D > R-E > R-A
- Plomo:
- a) Remoción a límites menores del permisible:
    - R-E: Lo reduce a 0,02 ppm con una dosis de 1,0 ppm.
    - R-D: Lo reduce a 0,04 ppm con una dosis de 5,0 ppm.
    - R-C: Lo reduce a 0,04 ppm con una dosis de 10,0 ppm.
    - R-B: Lo reduce a 0,05 ppm (Límite Permisible) a dosis de 5,0 ppm.
    - R-A: Por encima del límite permisible.
  - b) Orden descendente de los productos según el % de Remoción:  
R-E > R-D > R-C > R-B > R-A
- Manganeso:
- a) Todos los resultados están por debajo del límite permisible.
  - b) El comportamiento de los reactivos es muy similar.
  - c) La ley obtenida en general es: 0,03 ppm (no menos de este valor).
  - d) No se observa correlación entre dosis y % de Remoción.
  - e) Esta remoción, se debe principalmente al pH de trabajo (pH~9,0).



- **Arsénico:**
  - a) Todos los resultados están por debajo del límite permisible.
  - b) El comportamiento de los reactivos es muy similar.
  - c) La ley obtenida en general es: <1,0 ppb.
  - d) No se observa correlación entre dosis y % de Remoción.
  - e) En la información de los reactivos utilizados, no se menciona al arsénico como elemento a remover.
  
- **Zinc:**
  - a) Ninguno de los reactivos remueve Zinc a leyes menores que el límite permisible (Mayor a 7 veces del límite permisible).
  - b) El comportamiento de los reactivos es similar. Casi todos los resultados varían entre 7 ppm y 8 ppm. (50% a 60% de remoción).

#### 4.3.2.- PRUEBA #2: Remoción de Se, Hg, As, Cu, Fe con el Removedor F (R-F).

**A RESULTADOS:** Esta prueba se realizó de forma similar que la prueba anterior

Tabla 4.3.- Leyes de Cabeza

	Hg ppb	As ppm	Se ppm	Cu ppm	Fe ppm
Ley de Cabeza	64,0	0,126	0,063	1,46	0,114
Límite Permisible	2,0	0,05	0,01	0,3	0,6

Tabla 4.4.- Comportamientos de las Pruebas

Dosis (R-F) ppm	Ratios ppm (R-F) / ppm metal					Leyes				
	Hg	As	Se	Cu	Fe	Hg (ppb)	As (ppm)	Se (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
1,2	18,8	9,5	19,0	0,8	10,5	8,0	0,005	0,016	0,231	0,040
2,4	37,5	19,0	38,1	1,6	21,1	4,0	0,005	0,016	0,161	0,033
3,2	50,0	25,4	50,8	2,2	28,1	<b>2,0</b>	<b>0,005</b>	<b>0,013</b>	<b>0,137</b>	<b>0,040</b>
4,1	64,1	32,5	65,1	2,8	36,0	5,0	0,007	0,017	0,120	0,007

Dosis (R-F) ppm	Remoción de metales					% de Remoción				
	Hg (ppb)	As (ppm)	Se (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg	As	Se	Cu	Fe
1.2	56	0,121	0,047	1,229	0,074	87,7	96,1	74	84,2	64,8
2.4	60	0,121	0,047	1,229	0,081	93,3	96,3	74,2	89,0	70,7
3.2	62	0,121	0,050	1,323	0,074	<b>96,2</b>	<b>96,4</b>	<b>79,3</b>	<b>90,6</b>	<b>64,8</b>
4.1	59	0,119	0,046	1,340	0,107	92,3	94,6	73,4	91,8	94,1

**B. CONCLUSIÓN.-** Los resultados indican que el producto (R-F), remueve Mercurio, Arsénico, Selenio, Cobre y Hierro a valores por debajo del límite máximo permisible indicado en la Tabla 4.3.

#### 4.3.3.- PRUEBA N°3: Remoción del Removedor F vs NaSH

**A. OBJETIVO.-** Determinar la eficiencia de remoción de metales pesados del producto Removedor F en la solución Barren comparado con el Hidrosulfuro de Sodio (NaSH).

#### **B. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

##### **Materiales**

Equipo de Agitación.

Baldes.

Vasos de vidrio de 1 litro.

Fiolas de 250 mL.

Micropipeta.

Equipo de Filtración: matraz kitasato, bomba a vacío, embudo de filtración y papeles filtros.

Frascos de plásticos para envío de muestras

pH - metro.

##### **Reactivos**

Solución Barren.

Removedor F

Hidrosulfuro de Sodio.

Lechada de cal.

Cloruro Férrico al 40%.

Floculante A 110 al 1% (obtenido de planta).

Agua.

## Procedimiento

- Tomar 10 litros de muestra de solución clorinada de Barren del primer tanque de la Planta de Excesos de Aguas (EWTP), para las pruebas.
- Preparar los reactivos (R-F) y NASH al 1% (2,5 gr en 250 ml de agua).
- Agregar 800 ml de Solución Barren clorinada a cada vaso (6) y colocarlos en el equipo de agitación con sus respectivos agitadores.
- Dosificar el producto NaSH y (R-F) a diferentes dosificaciones con la micropipeta. Agitar durante 20 minutos.
- Agregar Cloruro Férrico para la coagulación hasta alcanzar un pH de 8,5 y agitar durante 20 minutos.
- Agregar 2 mL del Floculante A 110 al 1% hasta la formación de flóculos. Agitar durante 5 minutos. Se debe mantener una agitación de 180 a 200 rpm.
- Dejar en reposo y filtrar con papel filtro de tamaño de poro de 0.47 micras.
- Presentar la solución filtrada.
- Analizar en laboratorios externos.

**C RESULTADOS:** Estos análisis fueron realizados por laboratorios externos. Se probaron dosis de 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0; 40,0 y 60,0 ppm

Tabla 4.5: Leyes Analíticas de una muestra de la solución Barren.

Leyes	Ag (ppm)	Al (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)
Cabeza	0,04	0,952	0,166	<0,01	0,130	<0,01
LMP	0,05	0,2	0,05	0,01	-	0,05

Leyes	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)
Cabeza	0,129	0,57	27,8	0,116	0,101	0,032
LMP	0,3	0,6	2	0,05	-	

Leyes	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
Cabeza	<0,01	0,093	0,04	<0,02	0,391	11,9
LMP	0,05	-	0,01	-	-	1,0

Como se puede observar en la tabla 4.5, sólo se debe remover Al, As, Hg, Mn, Se y Zn, porque los demás metales tienen concentraciones menores del Límite Máximo Permisible de MYSRL (L.M.P)



Tabla 4.6: Leyes de metales Al, As, Hg, Mn, Se, y Zn a diferentes dosis de Removedor F y NaSH.

PRODUCTO	Dosis	Al	As	Hg	Mn	Se	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm
NaSH	0,5	0,056	<0,05	12,5	0,01	0,056	0,161
NaSH	1,0	0,022	<0,05	5,0	0,032	0,026	0,365
NaSH	3,0	<0,01	<0,05	3,8	0,031	0,03	0,175
NaSH	5,0	0,02	<0,05	4,5	0,026	<0,02	0,114
NaSH	10,0	0,028	<0,05	3,3	0,035	0,024	0,196
NaSH	20,0	0,024	<0,05	2,2	0,034	0,021	0,187
NaSH	40,0	<0,01	<0,05	1,4	0,028	0,034	0,024
NaSH	60,0	0,048	<0,05	1,4	0,033	0,026	0,013
(R-F)	0,5	0,024	<0,05	11,1	<0,01	0,04	0,17
(R-F)	1,0	0,030	<0,05	17,7	<0,01	0,05	0,128
(R-F)	3,0	0,031	<0,05	4,6	<0,01	0,039	0,236
(R-F)	5,0	0,071	<0,05	2,9	<0,01	0,043	0,115
(R-F)	10,0	0,077	<0,05	4,1	<0,01	<0,02	0,108
(R-F)	20,0	0,031	<0,05	3,6	0,012	0,026	0,23
(R-F)	40,0	0,025	<0,05	1,6	0,011	0,026	0,203
(R-F)	60,0	0,044	<0,05	2,7	0,013	0,022	0,387
<b>L.M.P.</b>		<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>

Se ha resaltado con rojo las concentraciones por debajo del Límite Máximo Permissible.

**D CONCLUSION:** El comportamiento del NaSH con el producto (R-F) fue similar, se requiere 40 ppm de producto para remover completamente el Mercurio a 2 ppb. Ambos productos son selectivos para el As, Al y Mn. La lectura mínima para Se fue de 0,02.

#### 4.3.4.- PRUEBA N°4: Determinación de pH óptimo.

A. **OBJETIVO:** Determinar el pH óptimo para la remoción de metales pesados y su influencia en la precipitación de metales como hidruros.

Estos análisis fueron realizados por laboratorios externos. Se probó dosis de 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0; 40,0 y 60 ppm.

B. **PROCEDIMIENTO:** El procedimiento experimental fue muy similar a la prueba anterior pero con corridas a diferentes pH (7,5 ; 9,0 ; 10,0 ; 11,0)

C. **RESULTADOS:**

Tabla 4.7: Leyes Analíticas de una muestra de la solución Barren.

Leyes	Ag (ppm)	Al (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)
Cabeza	0,02	1,2	0,1	0,01	0,11	0,05
LMP	0,05	0,2	0,05	0,01	-	0,05

Leyes	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)
Cabeza	0,42	0,6	111,5	0,13	0,1	0,04
LMP	0,3	0,6	2	0,05	-	

Leyes	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
Cabeza	0,05	0,2	0,033	0,5	0,4	15
LMP	0,05	-	0,01	-	-	1,0

Los elementos Al, As, Cu, Hg, Mn, Se y Zn están por encima de los límites permisibles en la solución Barren, por lo tanto sólo se requiere precipitar estos metales.

Tabla 4.8: Leyes Analíticas de los elementos removidos a diferentes pH (7,5; 9,0; 10,0 y 11,0) y diferentes dosis de NaSH y (R-F)

Nota: Datos con NaSH (color blanco), datos con (R-F) (color plomo) y datos de blanco sin producto (color celeste).



PH	PRODUCTO	Dosis	Al	As	Cu	Hg	Mn	Se	Zn
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm
7,5	NaSH	0,5	0,2	0,05	0,06	67,5	0,05	0,005	4,0
7,5	NaSH	1,0	0,2	0,05	0,04	57,0	0,04	0,009	2,6
7,5	NaSH	3,0	0,2	0,05	0,22	13,0	0,04	0,009	1,8
7,5	NaSH	5,0	0,2	0,05	0,17	2,5	0,04	0,011	2,0
7,5	NaSH	10,0	0,2	0,05	0,17	1,5	0,04	0,009	2,5
7,5	NaSH	20,0	0,2	0,05	0,06	3,0	0,06	0,009	1,4
7,5	NaSH	40,0	0,2	0,05	0,19	1,0	0,05	0,007	0,3
7,5	NaSH	60,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,001	0,4
7,5	NaSH	100,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,002	0,5
7,5	R-F	0,5	0,2	0,05	0,04	80,5	0,03	0,013	1,7
7,5	R-F	1,0	0,2	0,05	0,04	63,0	0,03	0,009	1,7
7,5	R-F	3,0	0,2	0,05	0,04	61,5	0,03	0,011	2,2
7,5	R-F	5,0	0,2	0,05	0,07	25,5	0,03	0,009	2,2
7,5	R-F	10,0	0,2	0,05	0,07	7,0	0,03	0,011	2,1
7,5	R-F	20,0	0,2	0,05	0,07	2,0	0,03	0,011	1,8
7,5	R-F	40,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,012	1,8
7,5	R-F	60,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,012	2,0
7,5	R-F	100,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,011	1,9
9,0	Blanco	0,0	0,2	0,05	0,06	106,5	0,03	0,016	1,3
9,0	NaSH	0,5	0,2	0,05	0,04	47,5	0,03	0,014	2,4
9,0	NaSH	1,0	0,45	0,05	0,07	12,5	0,03	0,014	2,6
9,0	NaSH	3,0	0,2	0,05	0,10	3,0	0,03	0,017	1,6
9,0	NaSH	5,0	0,2	0,05	0,13	5,0	0,03	0,018	1,4

9,0	NaSH	10,0	0,2	0,05	0,11	4,5	0,04	0,018	1,1
9,0	NaSH	20,0	0,2	0,05	0,04	2,5	0,05	0,016	0,7
9,0	NaSH	40,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,07	0,001	0,4
9,0	NaSH	60,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,001	0,4
9,0	NaSH	100,0	0,35	0,05	0,04	1,0	0,04	0,002	0,1
9,0	R-F	0,5	0,2	0,05	0,04	75,5	0,03	0,016	0,8
9,0	R-F	1,0	0,65	0,05	0,04	61,0	0,03	0,018	0,6
9,0	R-F	3,0	0,2	0,05	0,05	23,0	0,03	0,020	0,9
9,0	R-F	5,0	0,2	0,05	0,09	9,0	0,04	0,024	1,4
9,0	R-F	10,0	0,2	0,05	0,07	6,0	0,03	0,024	0,4
9,0	R-F	20,0	0,2	0,05	0,09	1,5	0,03	0,020	0,5
9,0	R-F	40,0	0,2	0,05	0,07	1,0	0,03	0,018	0,7
9,0	R-F	60,0	0,2	0,05	0,05	1,0	0,03	0,012	0,8
9,0	R-F	100,0	0,2	0,05	0,05	41,0	0,03	0,009	1,1
10,0	Blanco	0,0	0,2	0,05	0,04	41,5	0,03	0,009	0,7
10,0	NaSH	0,5	0,2	0,05	0,05	7,5	0,03	0,012	0,8
10,0	NaSH	1,0	0,2	0,05	0,07	2,0	0,03	0,013	0,7
10,0	NaSH	3,0	0,2	0,05	0,10	1,5	0,03	0,012	0,5
10,0	NaSH	5,0	0,2	0,05	0,12	1,0	0,03	0,013	0,9
10,0	NaSH	10,0	0,2	0,05	0,09	1,0	0,03	0,008	0,7
10,0	NaSH	20,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,05	0,002	0,1
10,0	NaSH	40,0	0,2	0,05	0,04	1,5	0,05	0,001	0,2
10,0	NaSH	60,0	0,2	0,05	0,04	2,0	0,05	0,002	0,2
10,0	NaSH	100,0	0,7	0,05	0,04	36,5	0,06	0,008	0,2
10,0	R-F	0,5	0,2	0,05	0,04	63,5	0,03	0,013	0,6



10,0	R-F	1,0	0,2	0,05	0,04	41,0	0,03	0,012	0,5
10,0	R-F	3,0	0,2	0,05	0,04	12,5	0,03	0,013	0,9
10,0	R-F	5,0	0,2	0,05	0,06	2,5	0,03	0,011	1,1
10,0	R-F	10,0	0,2	0,05	0,06	2,0	0,03	0,009	1,1
10,0	R-F	20,0	0,2	0,05	0,09	2,5	0,03	0,010	1,2
10,0	R-F	40,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,008	1,1
10,0	R-F	60,0	0,2	0,05	0,04	1,5	0,03	0,006	1,0
10,0	R-F	100,0	0,2	0,05	0,04	39,0	0,03	0,005	1,2
11,0	Blanco	0,0	0,2	0,05	0,04	55,0	0,03	0,009	1,1
11,0	NaSH	0,5	0,2	0,05	0,05	3,5	0,03	0,007	0,7
11,0	NaSH	1,0	0,2	0,05	0,06	2,5	0,03	0,007	1,1
11,0	NaSH	3,0	0,2	0,05	0,06	2,1	0,03	0,008	0,5
11,0	NaSH	5,0	0,2	0,05	0,04	2,0	0,03	0,010	0,3
11,0	NaSH	10,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,008	0,1
11,0	NaSH	20,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,001	0,1
11,0	NaSH	40,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,001	0,1
11,0	NaSH	60,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,04	0,001	0,2
11,0	NaSH	100,0	0,2	0,05	0,04	36,5	0,04	0,003	0,2
11,0	R-F	0,5	0,2	0,05	0,04	55,0	0,03	0,006	0,5
11,0	R-F	1,0	0,2	0,05	0,04	40,5	0,03	0,006	0,5
11,0	R-F	3,0	0,2	0,05	0,04	5,5	0,03	0,006	0,5
11,0	R-F	5,0	0,2	0,05	0,07	2,5	0,03	0,006	1,3
11,0	R-F	10,0	0,2	0,05	0,10	2,0	0,03	0,006	0,6
11,0	R-F	20,0	0,2	0,05	0,10	1,0	0,03	0,007	0,4
11,0	R-F	40,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,005	0,6

11,0	R-F	60,0	0,2	0,05	0,04	1,0	0,03	0,001	0,8
11,0	R-F	100,0	0,2	0,05	0,04	2,0	0,04	0,006	1,2

Tabla 4.9: Cuadro de resumen de resultados

PH	Metales presentes de concentraciones mayores al L.M.P.	Dosis óptima de remoción (ppm)	
		NaSH	R-F
7,5	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn	40	100
9,0	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn	40	100
10,0	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn	10	10
11,0	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn	5	10

**D. CONCLUSIONES:** La mejor condición para remover todos los metales contaminantes por debajo del límite permisible para ambos reactivos NaSH y R-F es a un pH mayor a 10,0

#### 4.3.5.- PRUEBA N°5: Prueba de Remoción con varias cabezas

Esta prueba se realizó a un pH de 11,0 (óptimo de las pruebas anteriores) y con los productos: NaSH y R-F con dosis de 3,0; 5,0; 10,0; 20,0 y 40,0 ppm. Los análisis químicos se realizaron en laboratorios externos.

Tabla 4.10: Leyes Analíticas de 3 cabezas.

Los metales a remover con concentraciones por encima de los límites permisibles están resaltados con color rojo.

Leyes	Ag (ppm)	Al (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg (ppb)
Cabeza 1	0,013	0,99	0,214	0,003	0,127	0,003	0,322	0,670	75,9
Cabeza 2	0,010	0,64	0,203	0,003	0,122	0,003	0,357	0,425	69,6
Cabeza 3	0,009	0,71	0,168	0,003	0,119	0,003	0,252	0,489	61,2
LMP	0,05	0,2	0,05	0,01	-	0,05	0,3	0,6	2



Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Sb (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
0,111	0,123	0,035	0,014	0,039	0,025	0,455	13,6
0,120	0,123	0,031	0,018	0,032	0,025	0,384	13,1
0,135	0,117	0,030	0,013	0,038	0,025	0,392	11,4
0,1	-	-		0,01			1

Tabla 4.11: Cuadro de resumen metales a ser removidos en las 3 cabezas de la Solución Barren.

Cabezas de Barren	Metales
Cabeza 1	Al, As, Cu, Fe, Hg, Mn, Se, Zn
Cabeza 2	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn
Cabeza 3	Al, As, Hg, Mn, Se, Zn

Tabla 4.12: Resultados de leyes analíticas en la primera cabeza. (Datos promedio de Laboratorios externos)

#### CABEZA 1

Productos	Dosis ppm	Al ppm	As ppm	Cu ppm	Fe ppm	Hg ppb	Mn ppm	Se ppm	Zn ppm
Cabeza 1	---	0,99	0,214	0,322	0,670	75,9	0,111	0,039	13,55
NaSH	3	0,62	0,021	0,332	9,530	13,2	0,137	0,004	14,00
	5	0,20	0,008	0,160	0,248	1,6	0,059	0,002	4,27
	10	0,20	0,008	0,066	0,189	1,3	0,065	0,002	3,11
	20	0,20	0,008	0,020	0,205	1,0	0,069	0,002	1,72
	40	0,20	0,008	0,008	0,191	1,0	0,065	0,002	0,12
R-F	3	0,20	0,008	0,062	0,163	3,7	0,021	0,005	0,26
	5	0,20	0,008	0,072	0,153	2,3	0,020	0,005	0,23
	10	0,20	0,008	0,097	0,158	2,1	0,023	0,005	0,28
	20	0,20	0,008	0,104	0,188	1,0	0,028	0,005	0,25
	40	0,20	0,008	0,015	0,130	1,0	0,041	0,003	0,68
<b>Límites Permisibles</b>		<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>

**Comentarios:** Para remover todos los metales por debajo del límite máximo permisible se tendría que dosificar 40 ppm de NaSH y 20 ppm de R-F, considerando los elementos presentes en la cabeza 1.

El NaSH no es muy selectivo para el Zn en esta prueba, también se ha incrementado la dosis del R-F debido a la mayor concentración de Cu y Fe. El producto R-F es muy selectivo para el Zn, Cu, Fe, Se antes del Hg



Tabla 4.13: Resultados de leyes analíticas en la segunda cabeza. (Datos promedio de Laboratorios externos)

CABEZA 2								
Productos	Dosis ppm	Al ppm	As ppm	Cu ppm	Hg ppb	Mn ppm	Se ppm	Zn ppm
Cabeza 2	-----	0,64	0,203	0,357	69,6	0,120	0,032	13,10
NaSH	3	0,20	0,008	0,045	1,3	0,060	0,001	2,92
	5	0,20	0,008	0,045	1,1	0,061	0,001	1,88
	10	0,20	0,008	0,035	1,0	0,051	0,001	0,46
	20	0,20	0,008	0,018	1,0	0,047	0,001	0,11
	40	0,20	0,008	0,005	1,0	0,026	0,001	0,06
R-F	3	0,20	0,008	0,037	1,9	0,007	0,005	0,05
	5	0,20	0,008	0,036	1,6	0,029	0,002	0,21
	10	0,20	0,008	0,044	1,2	0,045	0,001	0,92
	20	0,20	0,008	0,044	1,2	0,053	0,001	1,08
	40	0,20	0,008	0,005	1,2	0,074	0,001	1,37
<b>Límites Permisibles</b>		<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,3</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>

**Comentarios:** En esta prueba los resultados fueron favorables para el producto R-F, porque a la dosis de 3 ppm removi6 todos los metales por debajo del límite máximo permisible, a diferencia del NaSH que se utiliz6 una dosis de 10 ppm.

Tabla 4.14: Resultados de leyes analíticas en la tercera cabeza. (Datos promedio de Laboratorios externos)

CABEZA 3							
Productos	□ once ppm	Al ppm	As ppm	Hg ppb	Mn ppm	Se ppm	Zn ppm
Cabeza 3	-----	0,71	0,168	61,2	0,135	0,038	11,35
NaSH	3	0,20	0,008	1,1	0,067	0,001	2,33
	5	0,20	0,008	1,0	0,067	0,001	2,79
	10	0,20	0,008	1,1	0,064	0,001	0,59
	20	0,20	0,008	1,1	0,096	0,001	0,22
	40	0,20	0,008	1,0	0,006	0,001	0,05
R-F	3	0,20	0,009	2,0	0,031	0,003	0,28
	5	0,20	0,008	1,9	0,029	0,003	0,19
	10	0,20	0,008	2,1	0,034	0,002	0,42
	20	0,20	0,008	1,2	0,046	0,002	0,62
	40	0,20	0,012	1,0	0,071	0,002	0,73
<b>Límites Permisibles</b>		<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>1,0</b>

**Comentarios:** En esta cabeza de Barren la concentración de Cobre esta por debajo del L.M.P., por lo tanto la remoción de Mercurio con el R-F es mayor. Queda comprobada la baja selectividad del NaSH para el Zinc.

**Tabla 4.15: Cuadro resumen de pruebas de remoción de metales con tres cabezas.**

Cabezas	Metales presentes de concentraciones mayores al L.M.P	DOSIS OPTIMA DE REMOCIÓN (ppm)	
		NaSH	R-F
Cabeza 1	Al, As Cu, Fe, Hg, Mn, Se, Zn	40	20
Cabeza 2	Al, As, Cu, Hg, Mn, Se, Zn	10	3
Cabeza 3	Al, As, Hg, Mn, Se, Zn	10	3
<b>Promedio de dosis</b>		<b>20</b>	<b>8</b>

#### **4.4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- En la prueba N°1, no se encontró un Removedor adecuado para la remoción de todos los metales pesados en la solución.
- Los resultados de la prueba N°2, determinaron que el Removedor F era mucho mas eficiente y selectivo para la mayoría de metales que no fueron removidos totalmente en la prueba N°1.
- En la prueba N°3, los resultados fueron similares para ambos reactivos NaSH y R-F, la dosis adecuada para remover todos los metales era de 40 ppm, principalmente para remover el Hg.
- En la prueba N°4, el objetivo fue determinar el pH óptimo para los productos R-F y NaSH y también la influencia de la precipitación de metales con lechada de cal bajo el método de precipitación por hidróxidos. Los resultados nos indican que ambos productos deben trabajar a un pH por encima de 10,0, donde la remoción fue eficiente con sólo 10 ppm de producto, ya que a ese pH el punto de solubilidad del Zn, Cu y Se se hacen mínimos favoreciendo su precipitación. En cambio el Hg no precipita con cal y requiere la adición de un precipitante.
- El objetivo de la prueba N°5 fue comparar eficiencias de remoción entre el NaSH y el R-F y también determinar la influencia de los metales en la dosificación de los productos. Los resultados nos indican que el R-F es mucho mas eficiente comparado con el NaSH y también su alta selectividad en la remoción de metales como el Al, As, Cu, Fe, Hg, Mn, Se, Zn (Ver tabla 4.15 de resumen de resultados)

- Concluimos que el R-F debe trabajar a un rango de dosis de 3 a 20 ppm dependiendo de la concentración de Cu, Fe en la solución Barren. Cuando se incrementa las concentraciones de estos metales se incrementa el consumo del producto.

#### **4.5.- EVALUACIÓN ECONOMICA**

- Al promediar la dosis obtenida en la prueba N°5 los resultados se muestran en la tabla N°5:

<b>Tabla N°5 Evaluación Económica</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>NaSH</b>	<b>R-F</b>
Dosis promedio (ppm)	20	8
Precio unitario US\$/Kg	2,5	4,0
Costo por flujo US\$/m3 de agua	0,05	0,032
Toxicidad LD50 (mg/kg)	30	395

- En el cuadro anterior se muestra claramente la ventaja económica existente, considerando una operación continua, un flujo de 450 m3/hr se tendría un ahorro de 194,4 US\$/día y 70956 US\$ anuales.
- De lo anterior, con la inclusión de las eficiencias de remoción conseguidas con esta tecnologías se obtienen aún mucho más beneficios.
- Los resultados de planta de efluente EWTP deben basarse también en calidades de agua. Es por eso que se recomienda que las evaluaciones tanto a nivel laboratorio como de planta deben analizar todos los metales en el efluente para conocer cuales son los elementos contaminantes que deben ser removidos y no basarse solamente en remociones de uno o dos metales como son Hg y Se.
- El término calidad de agua no solamente se refiere a la remoción de metales pesados, sino también a los parámetros físicos de calidad del agua como: turbidez, sólidos totales suspendidos, cloruros y sobre todo la toxicidad del agua. Es por eso que es más recomendable el uso del Removedor F, por tener una toxicidad 12 veces menor a la del NaSH. 395 vs. 30 mg/Kg, valores indicados en la tabla 4.5

**Observe aquí lo que las nuevas tecnologías pueden hacer:**

- Usando un precipitante polimérico de metal, se consigue atender de forma consistente el límite de la descarga.
- Producir floculos denso, que sedimenta rápidamente y que necesita ser acompañado de muy poco o de ningún coagulante.
- Retornar el efluente reciclable para los procesos de la planta, si es esto lo que se desea.
- Precipitar metales en un amplio rango de pH, de 2 a 14, un espectro mucho mas amplio que cualquier otro precipitante es capaz de conseguir.
- Son efectivos para iones metálicos que forman y que no forman complejos.
- Son precipitantes menos agresivos al medio ambiente que existen en el mercado actual, presentando baja toxicidad para los organismos acuáticos.
- Buena solubilidad en el agua y no forman incrustaciones.
- Un factor también muy importante es que no producen lodo reduciendo considerablemente el volumen de lodo producido.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Seidel, D.F., and Denton, N., (1993) Hybrid process for precipitating heavy metals from wastewater. Proc. 66<sup>th</sup> Water Environ. Fed. Conf., 2, 157-165.
- 2.- Seidel, D.F., and Denton, N., (1994) Metals removal, plan and simple. Industria Wastewater, July/August, 27-33.
- 3.- Scott, M.C., (1979) Metals removal by sulfide precipitations. Proc. Annu. WWEMA Ind. Pollut. Conf., 7, 101-121.
- 4.- Schlauch, R. M., (1979) Operatig results for sulfide treatment of heavy metal wastewater using in-process generated ferrous sulfide. Proc.11<sup>th</sup> Mid-Atlantic Indust. Wastes Conference, 38-51.
- 5.- Waste and Wastewater - Reference Manual (1994) Betz Water Management Group. General Technology – Sección 2, 2-6.



## ANEXOS

### Sección 6

#### COMO TRATAR LOS CONTAMINANTES MAS IMPORTANTES

**Aluminio** – Similar a algunos otros metales, aluminio es anfótero lo cual significa que la mínima solubilidad lo alcanza en pH =6.9, pero se vuelve soluble a valores por encima de este.

Neutralización / clarificación es el costo mas efectivo.

**Antimonio** – Antimonio es altamente soluble. Tiene una afinidad por la arcilla. La precipitación con sulfato de aluminio o sulfato férrico es otro de los mecanismo para Remover el antimonio.

**Arsénico** - Es removido por precipitación con sulfato de aluminio o sulfato férrico como arseniato de aluminio o hierro. El pH óptimo es aproximadamente entre 7.0 – 8.0. Otras reacciones de la precipitación incluyen sulfuro de sodio en un pH de 7.0; cal en un pH de 12.0; y cáustico en un pH de 10.0.

**Bario** - Bario es removido precipitándolo como Sulfato de Bario agregando sulfato de sodio, sulfato de aluminio o sulfato férrico. El pH óptimo es de 8.0 – 9.0. El carbonato de bario es también insoluble encima de un pH de 9,3.

**Cadmio** – Precipita como hidróxido levantando el pH a un mínimo de 8.0 y muy efectivo en un pH encima de 10.0. La precipitación del sulfuro como  $CdS_2$  ocurre en un pH de 7.0. La precipitación del carbonato es el mas efectivo.

La precipitación con sulfato férrico ha sido también útil. Si el cadmio se completa con cianuro, la precipitación llega a ser difícil. El cianuro se tendrá que destruir primero.

**Cromo** - Si el cromo está en la forma de cromato,  $Cr^{+6}$  se reduce en pH  $< 3$ ; añadiendo un agente reductor (como bisulfito o tiosulfato) tres partes por parte de cromo para una adecuada oxidación - reducción. Cuando todo el cromo esta en el estado III ( frecuentemente se ha visto como el color cambia de amarillo a verde), elevar el pH a 8.5 y precipitará como hidróxido ( $CrOH_3$ ).

**Cobre** – La solubilidad mínima para el cobre es 9 a 10. En ese pH, hidróxido de cobre precipitará. El sulfuro del cobre es también muy insoluble. Si el cobre se completa con cianuro o amoniaco, sólo el ajuste de pH no removerá cobre efectivamente. Las interferencias iónicas deben ser removidas o destruidas primero.

**Hierro** – Si el hierro es insoluble y se encuentra en el estado ( $Fe^{+3}$ ), precipitará en el rango de pH de 5,5- 8,9. Si está como ión soluble ferroso ( $Fe^{+2}$ ), se tiene que hacer insoluble volviéndolo a ( $Fe^{+3}$ ) por oxidación o elevando el pH a 12,0. La oxidación, la neutralización y la precipitación son las técnicas más rentables

**Manganeso** – La eliminación del Manganeso sigue generalmente el mismo procedimiento como eliminación de hierro. La oxidación se requiere generalmente. El tratamiento de la cal-sosa da la eliminación en un pH de 9,5. A mayor incremento de pH, el manganeso más insoluble llega a ser.

**Mercurio** – Entre el más común de tipo tratamiento son la precipitación de sulfuro, el cambio de ion, adsorption y coagulación, y la filtración. La precipitación del hidróxido es ineficaz. La co-precipitación con alumbre o hierro ha trabajado.

**Molibdeno** – Típicamente existe como anión, Es necesario procesos de Osmosis Inversa o Intercambio iónico para su depuración

**Selenio** – Se utilizan técnicas de precipitación con coagulantes inorgánicos como el Sulfato de Aluminio ó Férrico en un rango de pH menor a 7,0. Adsorción con Carbón Activado o intercambio iónico son procesos también utilizados.



## LÍMITES Y ESTÁNDARES



### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES:

INDUSTRIA DE CEMENTO, CERVEZA,  
PAPEL Y CURTIEMBRE

**D.S. No. 003-2002-PRODUCE**

**APRUEBAN LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y VALORES REFERENCIALES PARA LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES DE CEMENTO, CERVEZA, CURTIEMBRE Y PAPEL.**

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

**CONSIDERANDO :**

Que, el Artículo 2º inciso 22) de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, establece en el Artículo I de su Título Preliminar, que es obligación de todos la conservación del ambiente y, en particular del Estado, la prevención y control de la contaminación ambiental;

Que, de acuerdo con el artículo 50º del Decreto Legislativo N° 757, "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada", las Autoridades Sectoriales Competentes para conocer sobre los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, son los Ministerios de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas;

Que, de conformidad con los artículos 4º y 5º de la Ley N° 27789, corresponde al Ministerio de la Producción proponer políticas y normas de protección del medio ambiente y recursos naturales aplicables a las actividades industriales manufactureras, supervisando su cumplimiento;

Que, mediante Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, se aprobó el Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de las Actividades de la Industria Manufacturera, el cual establece las obligaciones que deben cumplir las empresas industriales manufactureras para prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental, para lo cual sin embargo se requiere determinar los límites máximos permisibles de contaminación ambiental;

Que, por Decreto Supremo N° 044-98-PCM se aprobó el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, el mismo que establece que el estudio para definir la propuesta de LMP será desarrollado por el Sector asignado en el Programa Anual de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, y sometido a consulta pública para su posterior aprobación mediante Decreto Supremo con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros;

Que, la Resolución Presidencial N° 08-99-CONAM/PCD que aprobó el Programa Anual 2000, autorizó la formulación de la propuesta de Límites Máximos Permisibles aplicables a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel;

Que, se ha cumplido con los trámites y requisitos establecidos en la normatividad vigente, contándose con la recomendación de la Comisión Ambiental Transectorial para su aprobación;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del Artículo 118º de la Constitución Política del Perú y el inciso 2) del Artículo 3º del Decreto Legislativo N° 560, Ley del Poder Ejecutivo; y,

Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros;

**DECRETA:**

**Artículo 1º.- Alcance.**

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las empresas nacionales o extranjeras, públicas o privadas con instalaciones existentes o por implementar, que se dediquen en el país a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

**Artículo 2º.- Glosario de Términos.**

Para los efectos de la presente norma se considera:



- a. **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.
- Dependiendo del parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos.
- Límite Máximo Permisible de Efluentes para alcantarillado:** Nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos o sustancias en los efluentes que se descargan al alcantarillado, que al ser excedido puede ocasionar daños a la a la Infraestructura del Sistema de Alcantarillado y procesos de tratamiento de las aguas servidas, y consecuentemente afectación a los ecosistemas acuáticos y salud de las personas.
- Límite Máximo Permisible de Efluentes para aguas superficiales:** Nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos o sustancias en los efluentes que se descargan a las aguas superficiales, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, los ecosistemas acuáticos y la infraestructura de saneamiento, que es fijado por la Autoridad Competente y es legalmente exigible.
- Límite Máximo Permisible para emisiones de los hornos:** Nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos o compuestos de los hornos que se descargan al ambiente, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Es fijado por la Autoridad Competente y es legalmente exigible.
- b. **Diagnóstico Ambiental Preliminar (DAP):** Es el estudio que se realiza antes de la elaboración del PAMA que contiene los resultados derivados del programa de monitoreo en función a los Protocolos de Monitoreo, con el objeto de evaluar los impactos e identificar los problemas que se estén generando en el ambiente por la actividad de la industria manufacturera.
- c. **Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA):** Programa que contiene las acciones, políticas e inversiones necesarias para reducir prioritariamente la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que ingresan al sistema o infraestructura de disposición de residuos o que se viertan o emitan al ambiente; realizar acciones de reciclaje y reutilización de bienes como medio para reducir los niveles de acumulación de desechos y prevenir la contaminación ambiental; y reducir o eliminar las emisiones y vertimientos para poder cumplir con los patrones ambientales establecidos por la Autoridad Competente.
- d. **Guía de Manejo Ambiental:** Documento de orientación expedido por la Autoridad Competente sobre lineamientos aceptables para los distintos subsectores o actividades de la industria manufacturera con la finalidad de propiciar un desarrollo sostenible.
- En consideración a las características distintivas de cada subsector o actividad de la industria manufacturera, la Autoridad Competente podrá preparar Guías de Manejo Ambiental aplicables solamente a uno o más de éstos.
- e. **Guía de Buenas Prácticas:** Documento que permite identificar oportunidades de mejoras asociadas a la industria manufacturera y describir métodos de operación y prácticas industriales que pueden ser implementadas con el fin de utilizar más eficientemente los recursos, gestionar adecuadamente los residuos y en general reducir los impactos ambientales ocasionados por la industria manufacturera.
- f. **Valor Referencial:** Nivel de concentración de contaminantes o valor de parámetro físico y/o químico que debe ser monitoreado obligatoriamente para el establecimiento de los límites máximos permisibles.

### **Artículo 3°.- Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales.**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Referenciales aplicables por la Autoridad Competente, a las actividades industriales manufactureras de cemento, cerveza, curtiembre y papel, en los términos y condiciones que se indican en el Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3, que forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

### **Artículo 4°.- Límites Máximos Permisibles para Actividades en Curso o que se inician.**

Los Límites Máximos Permisibles aprobados son de cumplimiento obligatorio e inmediato para el caso de las actividades o instalaciones industriales manufactureras de cemento, cerveza, curtiembre y papel que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo.

Tratándose de actividades en curso a la fecha de vigencia de la presente norma, los Límites Máximos Permisibles deberán ser cumplidos en un plazo no mayor de cinco (05) años, que excepcionalmente podrá ser extendido por un plazo adicional no mayor de dos (02) años, en los casos en los cuales los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental prioricen acciones destinadas a promover métodos de prevención de la contaminación y respondan a los objetivos de protección ambiental contenidos en las Guías de Manejo Ambiental.

El Ministerio de la Producción determinará en forma particular, los plazos que corresponde a cada titular de la actividad manufacturera, al momento de la aprobación del respectivo Diagnóstico Ambiental Preliminar o Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, según corresponda.

#### **Artículo 5°.- Valores Referenciales para curtiembre y papel**

Los Valores Referenciales establecidos para el caso de las actividades industriales manufactureras de curtiembre y papel, serán evaluados con la información generada a través de informes de monitoreo, a fin de determinar su idoneidad o necesidad de efectuar ajustes y darles posteriormente el carácter de Límites Máximos Permisibles.

En la revisión de los Valores Referenciales se tomará en cuenta la información proveniente de los estudios ambientales presentados ante el Ministerio de la Producción y de las correspondientes acciones de fiscalización realizadas.

#### **Artículo 6°.- Programas de Monitoreo para los subsectores cemento y papel.**

Las empresas del Subsector Cemento deberán desarrollar un Programa de Monitoreo de dos años para el parámetro SO<sub>2</sub>, con una frecuencia semestral, según lo establecido en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones Atmosféricas aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026 –2000-ITINCI-DM; a fin de contar con la línea base correspondiente que permita establecer el Límite Máximo Permissible para este parámetro.

Las empresas del Subsector Papel, según corresponda de acuerdo a su proceso, deberán desarrollar un Programa de Monitoreo de dos años para los parámetros H<sub>2</sub>S, Cloro y Amoníaco, con una frecuencia semestral, según lo establecido en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones Atmosféricas aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026 –2000-ITINCI-DM; a fin de contar con la línea base correspondiente que permita determinar los Límites Máximos Permisibles para estos parámetros.

El Ministerio de la Producción en casos justificados podrá determinar una frecuencia trimestral para la realización de los monitoreos.

#### **Artículo 7°.- Diagnóstico Ambiental Preliminar**

Las empresas industriales manufactureras en actividad de los Subsectores cemento, cerveza y papel, deberán presentar un Diagnóstico Ambiental Preliminar al Ministerio de la Producción, para lo cual dentro del plazo de treinta (30) días útiles de publicado el presente Decreto Supremo, comunicarán a la autoridad competente el nombre de la empresa de consultoría ambiental debidamente registrada, a la que el titular de la actividad manufacturera hubiese contratado para cumplir con lo dispuesto en la presente norma.

La referida comunicación deberá precisar la fecha de inicio del monitoreo necesario para la formulación del correspondiente DAP, documento este último que deberá ser presentado en un plazo no mayor de treinta (30) días útiles de concluido el monitoreo.

La fecha de inicio del monitoreo a que se refiere el párrafo precedente deberá concretarse dentro del plazo máximo de noventa (90) días calendario de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo. Para el caso de las empresas pertenecientes al sub sector curtiembre, el Ministerio de la Producción propondrá posteriormente las medidas preventivas, de mitigación y/o correctivas a ser implementadas a corto plazo.

#### **Artículo 8°.- Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).**

Las empresas que en cumplimiento de lo dispuesto en el presente Decreto Supremo y que como resultado de la evaluación de su DAP deban ejecutar un PAMA u otras medidas de adecuación ambiental, están obligadas a presentar informes semestrales al Ministerio de la Producción, dando

cuenta de los monitoreos efectuados y del cumplimiento de sus obligaciones de adecuación ambiental.

El Ministerio de la Producción en función a la complejidad de los distintos casos, determinará el plazo para la formulación y presentación de los respectivos PAMA.

**Artículo 9°.- Micro y Pequeña Empresa Industrial.**

De conformidad con lo establecido en el Artículo 8° del Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, la micro y pequeña empresa industrial está obligada a cumplir lo dispuesto en la presente norma, pudiendo hacerlo en forma colectiva por grupo de actividad industrial, por concentración geográfica u otros criterios similares, previa conformidad expresa del Ministerio de la Producción.

**Artículo 10°.- Empresas con PAMA aprobados.**

Las empresas comprendidas en el presente Decreto Supremo que a la fecha tengan aprobado o se encuentren ejecutando un PAMA u otros estudios de adecuación ambiental similares, adecuarán sus LMP a los establecidos en la presente norma, sin perjuicio de las condiciones y plazos en ellos establecidos. En casos debidamente acreditados, se podrá obtener plazos especiales de adecuación.

**Artículo 11°.- Plazo de adecuación.**

El plazo de adecuación no excederá de 5 años contados a partir de la aprobación del PAMA respectivo; pudiendo ser extendido por un plazo no mayor de 2 años, en los casos en que los PAMAs contengan acciones destinadas a promover métodos de prevención de la contaminación y respondan a los objetivos de protección ambiental contenidos en las guías de manejo ambiental.

El PAMA contará con un Cronograma detallado de cumplimiento para su respectivo seguimiento.

**Artículo 12°.- Del incumplimiento de las disposiciones.**

Los casos de incumplimiento serán tratados conforme al Régimen de Sanciones e Incentivos del Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades en la Industria Manufacturera, aprobado mediante Decreto Supremo N° 025-2001-ITINCI.

**Artículo 13°.- Refrendo.**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros y por el Ministro de la Producción y entrará en vigencia al día siguiente de su publicación.

**DISPOSICION COMPLEMENTARIA:**

**PRIMERA.-** Los Valores Referenciales establecidos en el Anexo N° 2 para los Subsectores de Curtiembre y Papel, tendrán un periodo de vigencia de 2 años a partir de la fecha publicación de la presente norma, debiendo los titulares de dichas empresas realizar un programa de monitoreo de 2 años, con una frecuencia semestral. Posteriormente, entrarán en vigencia los Límites Máximos Permisibles que durante este periodo el Ministerio de la Producción establezca en base a los monitoreos y estudios realizados. Para tal efecto, los titulares de las empresas deberán presentar reportes de medición de los parámetros establecidos, de acuerdo a lo dispuesto en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones de Efluentes Líquidos aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM.

**SEGUNDA.-** Los LMP para el subsector papel, en cuanto a los parámetros de partículas, NOx, SO<sub>2</sub> y VOC, serán propuestos en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas y demás sectores involucrados, a partir, entre otros, de la información resultante de la implementación del Proyecto "Eficiencia Energética de los Calderos Industriales", el cual comprende a todos los Sectores que utilizan calderos en sus procesos productivos.

**TERCERA.-** El Decreto Supremo No. 028-60 del 29.11.60 "Reglamento de Desagues Industriales" se mantiene vigente en todo lo que no se oponga a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los

**APRUEBA LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES PARA  
EFLUENTES LIQUIDOS PARA LAS ACTIVIDADES MINERO –  
METALURGICAS**

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

**CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 226° del Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, establece que la autoridad competente para la aplicación de las disposiciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 613 Código del Medio Ambiente referidas a la actividad minera y energética, es el Sector Energía y Minas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a la actividad minero-metalúrgica deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de la actividad minero-metalúrgica logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero-metalúrgica con la finalidad de controlar los vertimientos producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental;

De conformidad con la Disposición Complementaria del Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 016-93-EM, sustituida por el artículo 4° del Decreto Supremo N° 059-93-EM;

Con la opinión favorable del Director General de Asuntos Ambientales, Director General de Minería y el Viceministro de Minas;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Aprueba los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos**

Aprobar los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

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

Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las Unidades Minero-Metalúrgicas están señalados en el Anexo 1. Las Unidades Mineras en Operación y aquéllas que reinician sus operaciones podrán sujetarse a lo señalado en el Anexo 2, siguiendo lo establecido en el Decreto Supremo N° 016-93-EM. Estos Anexos forman parte de la presente Resolución Ministerial.



### **Artículo 3°.- Ajuste gradual de los valores contemplados en el Anexo 2 hasta igualar los del Anexo 1**

Los valores establecidos en el Anexo 2, se ajustarán gradualmente hasta igualar a los Niveles Máximos Permisibles (Anexo 1), en un período no mayor de 10 años a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución Ministerial.

### **Artículo 4°.- Resultados analíticos no excederán los niveles contemplados en el Anexo 1 ó 2, según sea el caso**

Los resultados analíticos obtenidos para cada parámetro regulado a partir de la muestra recogida del efluente minero-metalúrgico, no excederán en ninguna oportunidad los niveles establecidos en la columna "Valor en cualquier Momento" del Anexo 1 ó 2 según corresponda.

### **Artículo 5°.- Concentraciones promedio anuales no excederán los niveles contemplados en el Anexo 1 ó 2, según sea el caso**

Las concentraciones promedio anuales, para cada parámetro regulado no excederán los niveles establecidos en la columna "Valor Promedio Anual" en el Anexo 1 ó 2 según corresponda.

### **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.

### **Artículo 7°.- Establecimiento de un punto de control para cada efluente minero-metalúrgico**

Los titulares mineros están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA o Declaración Jurada de PAMA, un punto de control en cada efluente líquido minero-metalúrgico, a fin de determinar la concentración de cada uno de los parámetros regulados y el volumen de descarga en metros cúbicos por día, que será medido al momento de efectuar la toma de la muestra. Dicho punto de control deberá ser identificado de acuerdo a la ficha del Anexo 3 que forma parte de la presente Resolución Ministerial.

### **Artículo 8°.- Eliminación o cambio de ubicación de los puntos de control**

Los titulares mineros podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control, previa aprobación de la Dirección General de Minería, con la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

### **Artículo 9°.- Determinación de la frecuencia de muestreo**

Para efectos de determinar la frecuencia de muestreo, de análisis químicos y de presentación de reportes, los titulares mineros serán clasificados de acuerdo al volumen de descarga total de efluentes minero-metalúrgicos al cuerpo receptor, según la siguiente escala:

- a) Mayor de 300 metros cúbicos por día
- b) Entre 50 y 300 metros cúbicos por día
- c) Menor de 50 metros cúbicos por día

#### **Artículo 10°.- Resultado del Muestreo**

El resultado del muestreo será puesto en conocimiento de la Dirección General de Minería, a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución Ministerial, de acuerdo a la frecuencia de presentación de reportes que se indica en el Anexo 4 que forma parte de la presente Resolución.

#### **Artículo 11°.- Frecuencia de Análisis Químicos**

La frecuencia de análisis químicos de los efluentes minero - metalúrgicos se registrará por lo establecido en el Anexo 5 que forma parte de la presente Resolución.

#### **Artículo 12°.- Registro a ser llevado por los Titulares Mineros**

Los titulares mineros llevarán un registro según el formato especificado en el Anexo 6, de la presente Resolución Ministerial, el mismo que deberá ser presentado al Auditor Ambiental, cuando éste lo requiera.

#### **Artículo 13°.- Definiciones**

Para efectos de la presente Resolución Ministerial se tomará en consideración las siguientes definiciones:

**Efluentes Líquidos Minero-Metalúrgicos.-** Son los flujos descargados al ambiente, que provienen:

- a) De cualquier labor, excavación o trabajo efectuado en el terreno, o de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales asociadas con labores, excavaciones o trabajos efectuados dentro de los linderos de la Unidad Minera.
- b) De depósitos de relaves u otras instalaciones de tratamiento que produzcan aguas residuales.
- c) De concentradoras, plantas de tostación, fundición y refinerías, siempre que las instalaciones sean usadas para el lavado, trituración, molienda, flotación, reducción, lixiviación, tostación, sinterización, fundición, refinación, o tratamiento de cualquier mineral, concentrado, metal, o subproducto.
- d) De campamentos propios.
- e) De cualquier combinación de los antes mencionados.

**Muestra Puntual.-** Es el tipo de muestra, en un punto de control definido en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua para el Subsector Minería.

**Parámetro Regulado.-** Son aquellos parámetros que se encuentran definidos en los Anexos 1 y 2 de la presente Resolución Ministerial.

**Punto de Control.-** Ubicación aprobada por la autoridad competente, establecida de acuerdo a los criterios del Protocolo de Monitoreo de Aguas; descrita de acuerdo a la ficha del Anexo 3.

**Unidad Minera en Operación.-** Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que se encontraba en operación antes de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

**Unidad Minera que reinicia Operaciones.-** Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que vuelve a operar tras haber estado paralizada antes de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

**Unidad Minera Nueva.-** Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que comienza a operar con posterioridad a la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

**Concentración Promedio Anual.-** Es la media aritmética de los resultados analíticos obtenidos durante un año calendario.

Regístrese, comuníquese y publíquese

AMADO YATACO MEDINA  
Ministro de Energía y Minas

## ANEXO 1

### NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA LAS UNIDADES MINERO-METALURGICAS

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Fierro (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro total (mg/l) *	1.0	1.0

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

## ANEXO 2

### VALORES MAXIMOS DE EMISION PARA LAS UNIDADES MINERAS EN OPERACION O QUE REINICIAN OPERACIONES

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5
Sólidos suspendidos (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 total (mg/l)	2	1



### ANEXO 3

#### FICHA DE IDENTIFICACION PUNTO DE CONTROL

Nombre :
Coordenadas U.T.M. ( $\pm 100$ m):
Descripción (Ubicación):

**Nota :** La descripción deberá realizarse tomando como referencia accidentes topográficos y/o instalaciones que permitan determinar la ubicación del punto de control.

#### ANEXO 4

##### FRECUENCIA DE MUESTREO Y PRESENTACION DE REPORTE

VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTE	FRECUENCIA DE MUESTREO	FRECUENCIA DE PRESENTACIÓN DE REPORTE
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 50 m <sup>3</sup> /día	Semestral	Anual (3)

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

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

(3) Ultimo día hábil del mes de junio

Los reportes del mes de junio estarán contenidos en el Anexo 1 del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

#### ANEXO 5

##### FRECUENCIA DE ANALISIS QUIMICO

PARAMETRO	EFLUENTE MAYOR QUE 300 m <sup>3</sup> /día	EFLUENTE DE 50 A 300 m <sup>3</sup> /día	EFLUENTE MENOR QUE 50 m <sup>3</sup> /día
PH	Semanal	Trimestral	Semestral
Sólidos suspendidos	Semanal	Trimestral	Semestral
Pb, Cu, Zn, Fe, As	Mensual	Trimestral	Semestral
CN total	Semestral	Quincenal	Trimestral

## ANEXO 6

### RESULTADOS ANALITICOS

Nombre Compañía/Unidad :  
Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
Punto de muestreo :  
Cuerpo de agua Receptor : (nombre)

Fecha y hora de Muestreo	:	
Código de la muestra	:	
Nombre del laboratorio	:	
Flujo en el punto de muestreo	:	(m <sup>3</sup> / día)
PARAMETROS		RESULTADOS ANALITICOS
pH (unidades estándar)		
Sólidos suspendidos (mg/l)		
Plomo(disuelto) (mg/l)		
Cobre (disuelto) (mg/l)		
Zinc (disuelto) (mg/l)		
Fierro (disuelto) (mg/l)		
Arsénico (disuelto) (mg/l)		
Cianuro Total (mg/l)		

Firma del Titular o Representante Legal :

## **EXPOSICIÓN DE MOTIVOS**

El Ministerio de Energía y Minas ha desarrollado la Política de Protección Ambiental para las actividades minero-metalúrgicas, cuya implementación se orienta a asegurar que la contaminación generada por dichas actividades se reduzca a niveles que no afecten a los cuerpos receptores.

Para definir un objetivo claro a los Estudios de Impacto Ambiental y a los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental, que vienen desarrollando las empresas del Sector, la Dirección General de Asuntos Ambientales ha formulado los Niveles Máximos Permisibles de Emisión para los efluentes líquidos de la industria minero- metalúrgica, en atención al mandato conferido por las normas legales vigentes.

Estos niveles han sido definidos en base a los resultados de las evaluaciones ambientales preliminares elaborados por las empresas del Sector, y a la revisión de los niveles permisibles utilizados en otros países; habiéndose fijado valores para los elementos contaminantes más representativos de la actividad y los factores de calidad más importantes para el control de efluentes líquidos. Asimismo, se precisan las obligaciones que los titulares mineros deben cumplir y los procesos que deben observar para el cumplimiento de los parámetros establecidos.

Siguiendo la política de reducción gradual de la contaminación, se ha establecido para las unidades mineras en operación que deben desarrollar programas de adecuación y manejo ambiental, así como para las unidades mineras que reinician operaciones, un juego de niveles permisibles de carácter temporal, equivalentes de 1 a 3 veces el valor de los Niveles Máximos Permisibles de Emisión. Estos niveles temporales se ajustarán hasta igualarse en un plazo máximo de diez años, con los Niveles Máximos Permisibles de Emisión, que tienen carácter de definitivos.

En la presente Resolución Ministerial se indica que en el caso de los elementos no regulados por ésta, las empresas deben cumplir con lo establecido por las normas legales vigentes en el país, o demostrar técnicamente que la concentración en el efluente no ocasionará daños a la salud humana y al ambiente.

La presente Resolución Ministerial ha sido elaborada tomando en cuenta las sugerencias realizadas por el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), el Ministerio de Agricultura a través del Instituto de Recursos Naturales (INRENA) y el Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).



**2.7 APRUEBA NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE ELEMENTOS Y COMPUESTOS PRESENTES EN EMISIONES GASEOSAS PROVENIENTES DE LAS UNIDADES MINERO-METALURGICAS:**  
**Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM (19.jul.96)**

**CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 226° del Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, establece que la autoridad competente para la aplicación de las disposiciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 613 - Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales referidos a la actividad minera y energética, es el Sector Energía y Minas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a la actividad minero - metalúrgica deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de la actividad minero - metalúrgica logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles correspondientes a los elementos y compuestos presentes en las emisiones gaseosas, así como a las partículas y elementos metálicos arrastrados por éstas provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas con la finalidad de controlar las emisiones producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental;

De conformidad con la Disposición Complementaria del Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 016-93-EM, sustituida por el artículo 4° del Decreto Supremo N° 059-93-EM;

Con la opinión favorable del Director General de Asuntos Ambientales, el Director General de Minería y el Viceministro de Minas;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Aprueba los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes Emisiones Gaseosas**

Aprobar los Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso, Partículas, Plomo y Arsénico presentes en las emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas.

**Artículo 2°.- Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso**

Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Anhídrido Sulfuroso a los cuales se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas están señalados en el Anexo 1, el cual forma parte de la presente Resolución Ministerial. La cantidad de anhídrido sulfuroso emitido será determinada en el punto o puntos de control y el ingreso de azufre al proceso será el de la carga del día.

**Artículo 3º.- Nivel Máximo de Emisión de Partículas**

El Nivel Máximo Permissible de Emisión de Partículas al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 100 mg/m<sup>3</sup> medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

**Artículo 4º.- Nivel Máximo Permissible de Emisión de Plomo**

El Nivel Máximo Permissible de Emisión de Plomo al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 25 mg/m<sup>3</sup> medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

**Artículo 5º.- Nivel Máximo Permissible de Emisión de Arsénico**

El Nivel Máximo Permissible de Emisión de Arsénico al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 25 mg/m<sup>3</sup> medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

**Artículo 6º.- Concentraciones de gases y partículas en zonas habitadas**

Las concentraciones de Gases y Partículas presentes en el ambiente de zonas habitadas ubicadas dentro del área de influencia de la Unidad Minero - Metalúrgica, no deberán superar los Niveles de Calidad de Aire vigentes en el país, por efecto de las emisiones de dicha Unidad.

**Artículo 7º.- Caso de parámetros no regulados**

Los titulares mineros deberán asegurar que los parámetros no regulados por la presente Resolución Ministerial, no excedan los niveles máximos permisibles establecidos por las disposiciones legales vigentes sobre calidad de aire.

**Artículo 8º.- Establecimiento de un Punto de Control para cada Fuente Emisora**

Los titulares mineros están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA, un punto de control por cada fuente emisora así como un número apropiado de estaciones de monitoreo a fin de determinar la cantidad y concentración de cada uno de los parámetros regulados, además del flujo de descarga. Dichos puntos de control y estaciones de monitoreo deberán ser identificados empleando la ficha del Anexo 2, la cual forma parte de la presente Resolución Ministerial. Además deberá de indicarse el número y tipo de los equipos de detección a emplear.

**Artículo 9º.- Mediciones realizadas conforme a lo establecido en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para el Subsector Minería**

Para efectos del monitoreo de las emisiones y la calidad del aire, se considerarán como válidas las mediciones efectuadas de acuerdo a lo establecido en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para el Sub-Sector Minería, publicado por la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 10º.- Eliminación o cambio de uno o más Puntos de Control**

Los titulares mineros podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control o estaciones de monitoreo, previa aprobación de la Dirección

General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

**Artículo 11°.- Frecuencia de presentación de los reportes**

La frecuencia de presentación de los reportes será trimestral y deberá de coincidir con el último día hábil de los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre. El reporte del mes de junio y el consolidado anual estarán contenidos en el Anexo 1 del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

**Artículo 12°.- Registro a ser llevado conforme a los formatos del protocolo**

Los titulares mineros llevarán un registro según los formatos que se especifican en el Protocolo mencionado en el artículo 9°, el mismo que deberá ser presentado al Auditor Ambiental, cuando éste lo requiera.

**Artículo 13°.- Definiciones**

Para efectos de la presente Resolución Ministerial se tomará en consideración las siguientes definiciones:

**Concentración media aritmética diaria.-** Es la concentración obtenida al dividir la suma de las concentraciones medidas durante 24 horas entre el número de mediciones efectuadas. Para éste efecto las muestras se tomarán en 16 horas como mínimo.

**Concentración media aritmética anual .-** Es la concentración obtenida al dividir la suma de los valores calculados para la concentración media aritmética diaria entre el número de días en que efectivamente se realizaron estas mediciones. Para tal efecto se tendrá en consideración la duración del año calendario.

**Concentración media geométrica anual.-** Es la concentración obtenida de extraer la raíz enésima ( $n$  es el número de valores calculados para la concentración media aritmética diaria) del producto de las concentraciones medias aritméticas.

**Emisión.-** Descarga de anhídrido sulfuroso, partículas, plomo y arsénico a la atmósfera medida en el o los puntos de control.

**Partículas.-** Son los sólidos sedimentables y en suspensión emitidos desde un punto de control.

**Partículas en Suspensión.-** Son las partículas con diámetro aerodinámico inferior a 10 micras.

**Parámetro Regulado.-** Aquél parámetro que se encuentra definido en la presente Resolución Ministerial.

**Punto de Control.-** Ubicación definida en el EIA o PAMA y aprobada por la Autoridad Competente, establecida para la medición de las emisiones, de acuerdo a los criterios establecidos en el Protocolo de Calidad de Aire y Emisiones, para el Sub-Sector Minería.

**Estación de Monitoreo.-** Area en el que se ubican los equipos de monitoreo, definida en el EIA o PAMA y aprobada por la Autoridad Competente, establecida para la medición de la calidad del aire, de acuerdo a los criterios establecidos en el Protocolo de Calidad de Aire y Emisiones, para el Sub-Sector Minería.

### **DISPOSICION COMPLEMENTARIA**

Durante la ejecución del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental a los Niveles Máximos Permisibles y en tanto la Dirección General de Minería compruebe el avance efectivo de dicho Programa, las Unidades Minero - Metalúrgicas podrán solicitar a dicha Dirección General, emitir Anhídrido Sulfuroso en niveles diferentes a los indicados en el Anexo 1 de la presente Resolución Ministerial, si es que han demostrado mediante un modelaje de dispersión, u otro sistema de mayor confiabilidad, que los Niveles de Calidad de Aire vigentes en el país no serán superados por efecto de las emisiones respectivas; debiendo corroborar dicha demostración mediante el monitoreo de las áreas de influencia de las Unidades. La sustentación de dicha emisión deberá ser aprobada con la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas.

### **DISPOSICION TRANSITORIA**

En tanto no se fijen los Estándares Nacionales de Calidad de Aire a que hace referencia el artículo 6º, regirán los Niveles establecidos en el Anexo 3, el cual forma parte de la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

**DANIEL HOKAMA**  
Ministro de Energía y Minas



## ANEXO 1

**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE ANHIDRIDO  
SULFUROSO  
PARA LAS UNIDADES MINERO - METALURGICAS**

<b>AZUFRE QUE INGRESA AL PROCESO (t/d)</b>	<b>EMISION MAXIMA PERMITIDA DE ANHIDRIDO SULFUROSO (t/d)</b>
< 10	20
11 – 15	25
16 – 20	30
21 – 30	40
31 – 40	50
41 – 50	60
51 – 70	66
71 – 90	72
91 – 120	81
121 – 150	90
151 – 180	99
181 – 210	108
211 – 240	117
241 – 270	126
271 – 300	135
301 – 400	155
401 – 500	175
501 – 600	195
601 – 900	201
901 – 1200	207
1201 – 1500	213
> 1500	0.142 (S)*

\* (S) = Total de Azufre que ingresa al proceso.

**ANEXO 2****FICHA DE IDENTIFICACION  
PUNTO DE CONTROL Y ESTACION DE MONITOREO**

Unidad :

<b>Nombre:</b>
<b>Coordenadas U.T.M. ( ± 100 m ):</b>
<b>Descripción (Ubicación):</b>
<b>Equipo(s) utilizado(s):</b>

**ANEXO 3****NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE CALIDAD DE AIRE**

<b>PARAMETRO</b>	<b>CONCENTRACION MEDIA ARITMETICA DIARIA <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (ppm)</b>	<b>CONCENTRACION MEDIA ARITMETICA ANUAL <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (ppm)</b>	<b>CONCENTRACION MEDIA GEOMETRICA ANUAL <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>ANHIDRIDO SULFUROSO</b>	572 ( 0.2 )*	172 ( 0.06 )	-
<b>PARTICULAS EN SUSPENSION</b>	350*	-	150
<b>PLOMO</b>	-	0.5	-
<b>ARSENICO</b>	6	-	-

(\*) No debe ser excedido mas de una vez al año

Además deberá considerarse:

- Concentración Mensual de Plomo =  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Concentración de Arsénico en 30 minutos =  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (no debe ser excedido más de una vez al año).

---

**3.3. APRUEBAN NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES LIQUIDOS PRODUCTO DE ACTIVIDADES DE EXPLOTACION Y COMERCIALIZACION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS Y SUS PRODUCTOS DERIVADOS: Resolución Directoral N° 030-96-EM/DGAA (07.nov.1996)**

**CONSIDERANDO:**

Que, el Artículo 87° de la Ley N° 26221, Ley Orgánica de Hidrocarburos, establece que el Ministerio de Energía y Minas dictará el Reglamento de Medio Ambiente para las actividades de hidrocarburos;

Que, en tal virtud, mediante Decreto Supremo N° 046-93-EM, se aprobó el Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Hidrocarburos, el mismo que fuera modificado por Decreto Supremo N° 09-95-EM.

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a las actividades de hidrocarburos deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de las actividades de hidrocarburos logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles correspondientes a los elementos y compuestos presentes en los efluentes líquidos provenientes de las actividades de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos líquidos y de sus productos derivados, en dicha industria y contribuir efectivamente a la protección ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 6° del Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 046-93-EM;

Con la opinión favorable de la Directora General de Hidrocarburos,

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Niveles Máximos Permisibles**

Aprobar los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos producto de las actividades de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos líquidos y de sus productos derivados.

**Artículo 2°.- Los Niveles Máximos Permisibles están señalados en el Anexo 1**

Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las actividades mencionadas en el artículo anterior, están señalados en el Anexo 1 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.

---

### **Artículo 3º.- Resultados analíticos**

Los resultados analíticos obtenidos para cada parámetro regulado, según sea el caso, a partir de la muestra escogida del efluente respectivo, no excederán en ninguna oportunidad los niveles establecidos en la columna "Valor en cualquier momento".

### **Artículo 4º.- Concentraciones. Promedio Anual**

Las concentraciones promedio anuales para cada parámetro regulado no excederán los niveles establecidos en la columna "Valor promedio anual".

### **Artículo 5º.- Descarga de efluente**

La descarga del efluente no deberá incrementar en más de 3º C la temperatura del Cuerpo Receptor, considerándose este valor a partir de un radio de 500 metros en torno al punto de emisión.

### **Artículo 6º.- Concentración promedio anual de cloruros en el Punto de Control del Cuerpo Receptor**

La concentración promedio anual de cloruros en el Punto de Control del Cuerpo Receptor, no deberá ser mayor a 250 mg/l de presentar el Cuerpo Receptor concentraciones naturales superiores a 250 mg/l antes del Punto de Emisión, el o los efluentes podrán incrementar la concentración de cloruros hasta en 10 mg/l medido en el punto establecido conforme al Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua del Subsector Hidrocarburos, aprobado por Resolución Directoral N° 026-94-EM/DGAA y sus modificatorias. En caso de existir más de una operación de hidrocarburos que descargue su(s) efluente(s) sobre un mismo Cuerpo Receptor, cada una de ellas deberá solicitar a la Dirección General de Hidrocarburos que le determine un límite de aportación de cloruros. Tal determinación contará con la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas.

### **Artículo 7º.- Deber de los Responsables de las Actividades de Hidrocarburos**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos, deberán asegurarse que las concentraciones de los parámetros no regulados en la presente Resolución Directoral, cumplan con las disposiciones legales vigentes en el país o demostrar técnicamente ante el requerimiento de la Dirección General de Hidrocarburos que su vertimiento al Cuerpo Receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

### **Artículo 8º.- Obligaciones de los Responsables de las Actividades de Hidrocarburos**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA un Punto de Control en cada efluente líquido, a fin de determinar la concentración de cada uno de los parámetros regulados y el volumen de descarga en metros cúbicos por día, que será medido al momento de efectuar la toma de la muestra. Dicho Punto de Control deberá ser identificado de acuerdo a la ficha del Anexo 2 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.



---

### **Artículo 9º.- Eliminación o cambio de ubicación de uno o más puntos de control**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control, con aprobación de la Dirección General de Hidrocarburos y la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

### **Artículo 10º.- Muestreo. Reportes**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos están obligados a efectuar el muestreo de los efluentes y sus análisis químicos con una frecuencia mensual. Los reportes corresponderán a los trimestres que concluyen en los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre y serán presentados el último día hábil del mes siguiente al trimestre vencido a la Dirección General de Hidrocarburos. Los reportes se presentarán por duplicado en forma impresa y en medio magnético.

### **Artículo 11º.- Registro**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos llevarán un registro según el formato especificado en el Anexo 3 de la presente Resolución Directoral, el mismo que deberá ser presentado al Auditor Ambiental, cuando éste lo requiera.

### **Artículo 12º.- Definiciones**

Para efectos de la presente Resolución Directoral, además de las definiciones contenidas en el Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 046-93-EM, se tomará en consideración las siguientes definiciones:

**Concentración Promedio Anual.-** Es la media Aritmética de por lo menos ocho (08) resultados analíticos mensuales obtenidos durante un año calendario.

**Cuerpo Receptor.-** Cualquier corriente natural o cuerpo de agua receptor de efluentes líquidos, proveniente de actividades de hidrocarburos, a ser controlado mediante el establecimiento de Puntos de Control.

**Efluentes Líquidos de la Actividad de Hidrocarburos.-** Son los flujos descargados al ambiente, que provienen de las operaciones de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, almacenamiento y comercialización de la industria de hidrocarburos.

**Parámetro Regulado.-** Son aquellos parámetros que se encuentran definidos en los artículos 5º y 6º y en el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral.

**Punto de Control.-** Ubicación aprobada por la Dirección General de Hidrocarburos, establecida de acuerdo a los criterios del Protocolo de Monitoreo de Agua; descrita de acuerdo a la ficha del Anexo 2.

**Punto de Emisión.-** Lugar de descarga de los efluentes líquidos de las actividades de Hidrocarburos, en el Cuerpo Receptor.

---

## **DISPOSICION TRANSITORIA UNICA**

Los responsables de las actividades de hidrocarburos cuyos niveles de emisión de efluentes líquidos se encuentren por encima de los establecidos para cumplir con el Artículo 6° y el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral y cuyos PAMAs no sean suficientes para alcanzar dicho cumplimiento, deberán presentar a la Dirección General de Hidrocarburos un programa complementario de acciones e inversiones a fin de adecuar sus instalaciones para cumplir con los niveles señalados en los citados Artículo 6° y Anexo 1; dicho programa complementario no deberá exceder del plazo de siete (7) años contados a partir del 01 de marzo de 1995.

El plazo de presentación del programa complementario de acciones e inversiones a que se refiere el párrafo anterior no deberá exceder de seis (06) meses contados a partir de la expedición de la presente Resolución Directoral.

Con la opinión previa de la Dirección General de Asuntos Ambientales, la Dirección General de Hidrocarburos mediante Resolución aceptará, rechazará o aceptará condicionadamente el referido programa complementario.

Regístrese, comuníquese y publíquese

JOSE MOGROVEJO CASTILLO  
Director General de Asuntos Ambientales

## ANEXO 1

### NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE EFLUENTES LIQUIDOS PARA LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 5.5 y Menor que 9	Mayor que 5.5 y Menor que 9
Aceites y Grasas (mg/l) para vertimientos en el mar	50	30
Aceites y Grasas (mg/l) para vertimientos en aguas continentales	30	20
Bario (mg/l)	5.0	0.3
Plomo (mg/l)	0.4	0.2

## ANEXO 2

### FICHA DE IDENTIFICACION PUNTO DE CONTROL

Nombre de la Empresa/Unidad:

Nombre:
Coordenadas UTM ( $\pm$ 100 m):
Descripción (Ubicación):
Equipo(s) utilizado(s):

### ANEXO 3

#### A. RESULTADOS ANALITICOS EN PUNTO DE EMISION

Nombre de la Empresa / Unidad :  
Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
Punto de muestreo :  
Cuerpo de agua receptor : (nombre)

Fecha y hora de muestreo	:	
Código de la muestra	:	
Nombre del Laboratorio	:	
Flujo en el punto de muestreo	:	(m <sup>3</sup> /día)
PARAMETROS		RESULTADOS ANALITICOS
pH (unidades estándar)		
Temperatura (°C)		
Aceites y Grasas (mg/l)		
Cloruros (mg/l)		
Bario (mg/l)		
Plomo (mg/l)		

.....

---

## B. RESULTADOS ANALITICOS EN CUERPO RECEPTOR

Nombre de la Empresa/Unidad :  
Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
Punto de muestreo :  
Cuerpo de agua receptor : (nombre)

Fecha y hora de muestreo	:	
Código de la muestra	:	
Nombre del Laboratorio	:	
Flujo en el punto de muestreo	:	(m <sup>3</sup> /día)
PARAMETROS		RESULTADOS ANALITICOS
pH (unidades estándar)		
Temperatura (°C)		
Aceites y Grasas (mg/l)		
Cloruros (mg/l)		
Bario (mg/l)		
Plomo (mg/l)		



**4.3 APRUEBA NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES LIQUIDOS PRODUCTO DE LAS ACTIVIDADES DE GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA: Resolución Directoral N° 008-97-EM/DGAA (17.mar.1997)**

Lima, 13 de marzo de 1997

**CONSIDERANDO:**

Que, el Artículo 9° del Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, señala que el Estado previene la conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación, así como el uso racional de los recursos naturales en el desarrollo de las actividades relacionadas con la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica;

Que, en tal virtud, mediante Decreto Supremo N° 029-94-EM, se aprobó el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a las actividades eléctricas deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de las actividades eléctricas logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles correspondientes a los elementos y compuestos presentes en los efluentes líquidos provenientes de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y contribuir efectivamente a la protección ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 12° del Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, aprobado por Decreto Supremo N° 029-94-EM;

Con la opinión favorable del Director General de Electricidad;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Aprobación de Niveles Máximos Permisibles**

Aprobar los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

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

Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las actividades mencionadas en el artículo anterior, están señalados en el Anexo 1 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.

### **Artículo 3º.- Resultados analíticos no deben exceder los niveles máximos permisibles**

Los resultados analíticos obtenidos para cada parámetro regulado, según sea el caso, a partir de la muestra escogida del efluente respectivo, no excederán en ninguna oportunidad los niveles establecidos en la columna "Valor en cualquier momento" del Anexo 1.

### **Artículo 4º.- Concentraciones Promedio Anuales**

Las concentraciones promedio anuales para cada parámetro regulado no excederán los niveles establecidos en la columna "Valor promedio anual" del Anexo 1.

### **Artículo 5º.- Descarga de efluentes**

La descarga del efluente a ríos no deberá incrementar en más de 3°C la temperatura del Cuerpo Receptor, considerándose este valor a partir de un radio igual a 5 (cinco) veces el ancho de su cause en torno al punto de descarga. En el caso de descargas al mar o lagos, la temperatura del efluente no deberá superar en ningún momento 50 °C en su punto de descarga. El punto de medición será establecido conforme a lo indicado en los Protocolos de Monitoreo de Calidad de Agua del Sector Minero-Energético publicados por la Dirección General de Asuntos Ambientales.

### **Artículo 6º.- Demostración que el vertimiento no ocasiona efectos negativos a la salud humana y el ambiente**

Los responsables de las actividades de electricidad, deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros no regulados en la presente Resolución Directoral, 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.

### **Artículo 7º.- Punto de Control en el efluente líquido**

Los responsables de las actividades de electricidad están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA un Punto de Control en cada efluente líquido, a fin de determinar la concentración de cada uno de los parámetros regulados y el volumen de descarga en metros cúbicos por día, que será medido al momento de efectuar la toma de la muestra. Dicho Punto de Control deberá ser identificado de acuerdo a la ficha del Anexo 2 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.

### **Artículo 8º.- Cambio de Punto de Control**

Los responsables de las actividades de electricidad podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control, con la aprobación de la Dirección General de Electricidad y la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

### **Artículo 9º.- Presentación de reportes**

Los responsables de las actividades de electricidad están obligados a efectuar el muestreo de los efluentes y sus análisis químicos con una frecuencia

mensual. Los reportes corresponderán a los trimestres que concluyen en los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre y serán presentados el último día hábil del mes siguiente al trimestre vencido a la Dirección General de Electricidad. Los reportes se presentarán por duplicado en forma impresa y en medio magnético.

#### **Artículo 10°.- Registro**

Los responsables de las actividades de electricidad llevarán un registro según el formato especificado en el Anexo 3 de la presente Resolución Directoral, el mismo que deberá ser presentado al Auditor Ambiental, cuando éste lo requiera.

#### **Artículo 11°.- Definiciones**

Para efectos de la presente Resolución Directoral, además de las definiciones contenidas en el Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Electricidad, aprobado por Decreto Supremo N° 029-94-EM, se tomará en consideración las siguientes definiciones:

**Concentración Promedio Anual.-** Es la media Aritmética de por lo menos ocho (08) resultados analíticos mensuales obtenidos durante un año calendario.

**Cuerpo Receptor.-** Cualquier corriente o cuerpo de agua receptor de efluentes líquidos, provenientes de actividades de electricidad, a ser controlado mediante el establecimiento de Puntos de Control.

**Efluentes Líquidos de la Actividad de Electricidad.-** Son los flujos descargados al ambiente, que provienen de las operaciones de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Parámetro Regulado.-** Son aquellos parámetros que se encuentran definidos en el Artículo 5° y en el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral.

**Punto de Control.-** Ubicación aprobada por la Dirección General de Electricidad, descrita de acuerdo a la ficha del Anexo 2.

**Punto de Emisión.-** Lugar de descarga de los efluentes líquidos de las actividades de electricidad, en el Cuerpo Receptor.

### **DISPOSICION TRANSITORIA UNICA**

Los responsables de las Actividades de Electricidad cuyos niveles de emisión de efluentes líquidos se encuentren por encima de los establecidos para cumplir con el Artículo 5° y el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral y cuyo PAMA no sea suficiente para alcanzar dicho cumplimiento, deberán presentar a la Dirección General de Electricidad un programa complementario de acciones e inversiones a fin de adecuar sus instalaciones para cumplir con los niveles señalados en el citado Artículo 5° y Anexo 1, dicho programa complementario no podrá exceder del plazo de ejecución del PAMA correspondiente.

Con la opinión previa de la Dirección General de Asuntos Ambientales, la Dirección General de Electricidad mediante Resolución aceptará, rechazará o aceptará condicionadamente el referido cronograma.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JOSE MOGROVEJO CASTILLO  
Director General de Asuntos Ambientales

**ANEXO 1****NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE EFLUENTES LIQUIDOS PARA LAS ACTIVIDADES DE ELECTRICIDAD**

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
PH	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Aceites y Grasas (mg/l)	20	10
Sólidos Suspendedos (mg/l)	50	25

**ANEXO 2****FICHA DE IDENTIFICACION  
PUNTO DE CONTROL**

Nombre de la Empresa / Unidad :

Nombre:
Coordenadas U.T.M. ( ± 100 m ):
Descripción (Ubicación):
Equipo(s) utilizado(s):



**ANEXO 3**

**A. RESULTADOS ANALITICOS EN PUNTO DE EMISION**

Nombre de la Empresa/Unidad :  
 Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
 Punto de muestreo :  
 Cuerpo de agua receptor : (nombre)

Fecha y hora de muestreo	:	
Código de la muestra	:	
Nombre del Laboratorio	:	
Flujo en el punto de muestreo	:	(m <sup>3</sup> /día)
PARAMETROS		RESULTADOS ANALITICOS
pH (unidades estándar)		
Aceites y Grasas (mg/l)		
Sólidos Suspendedos (mg/l)		

**B. RESULTADOS ANALITICOS EN CUERPO RECEPTOR**

Nombre de la Empresa/Unidad :  
 Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
 Punto de muestreo :  
 Cuerpo de agua receptor : (nombre)

Fecha y hora de muestreo	:	
Código de la muestra	:	
Nombre del Laboratorio	:	
Flujo en el punto de muestreo	:	(m <sup>3</sup> /día)
PARAMETROS		RESULTADOS ANALITICOS
pH (unidades estándar)		
Temperatura (°C)		
Aceites y Grasas (mg/l)		
Sólidos Suspendedos (mg/l)		