



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

## **Optimización del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la boca mina del nivel 250 (EF 03) al río San José**

### **TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Gestión Integrada  
en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente

### **AUTOR**

Adán Edmundo PUENTE RODRÍGUEZ

### **ASESOR**

Dra. Julia Marilú CALDERÓN DE ALVARADO

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Puente, A. (2019). *Optimización del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la boca mina del nivel 250 (EF 03) al río San José*. Tesis para optar grado de Magíster en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código Orcid del autor (dato opcional): No tiene

Código Orcid del asesor o asesores (dato obligatorio):

Dra. Julia Marilu Calderon de Alvarado 0000-0002-1374-9307

DNI del autor: 21250699

Grupo de investigación: Trabajo Individual

Institución que financia parcial o totalmente la investigación: Autofinanciado

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación. Debe incluir localidades y coordenadas geográficas

Mina HUARON: Distrito Huayllay Dpto. Pasco

Coordenadas UTM : E 343994 N 8781078

Año o rango de años que la investigación abarcó:

Mayo 2004 – Agosto 2014



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos–Lima, a los trece días del mes de agosto del 2019, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 550/UPG-FIGMMG/2019 del 02 de agosto del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

### TITULO

«OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN SANITARIA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA VERTIMIENTO CLASE III, PROVENIENTES DE LA BOCA MINA DEL NIVEL 250 (EF 03) AL RÍO SAN JOSÉ»

Que, presenta el Bach. **ADÁN EDMUNDO PUENTE RODRÍGUEZ**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 05886-FIGMMG-2012 del 13 de agosto del 2012, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría y Doctorado».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

*BIENO (16)*


Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE** al Bach. **ADÁN EDMUNDO PUENTE RODRÍGUEZ**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico

  
MG. JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE  
Presidente

  
MG. WALTER JAVIER DÍAZ CARTAGENA  
Secretario

  
MG. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN  
Miembro

  
DRA. JULIA MARILÚ CALDERÓN DE ALVARADO  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda  
en los momentos difíciles y me han dado todo lo que soy como persona, mis  
valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia,  
mi coraje para conseguir mis objetivos.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS por darme la oportunidad de estudiar esta Maestría.

A mis apreciados asesores de tesis, catedráticos, por su tiempo y apoyo.

A mi querida familia por su tolerancia y comprensión.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias

## ÍNDICE

	Pág.
Índice	5
Lista de figuras	7
Lista de cuadros	7
Lista de gráficos	7
Lista de tablas	7
Glosario	8
Resumen	9
Abstract	10

### CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática.....	11
1.2 Formulación del Problema.....	13
1.3 Justificación teórica.....	13
1.4 Justificación práctica.....	14
1.5. Objetivos.....	16
1.5.1 Objetivo General.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	16
1.6. Hipótesis.....	16
1.6.1 Hipótesis General.....	16
1.6.2 Hipótesis Especificas .....	16
1.7. Identificación de Variables.....	17
1.8. Operacionalización de Variables.....	17

### CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación.....	22
2.2 Bases Teóricas.....	29



### **CAPITULO 3**

#### **METODOLOGIA**

3.1 Tipo y Diseño de Investigación .....	59
3.2 Unidad de análisis.....	59
3.3 Población de estudio .....	59
3.4 Tamaño de muestra .....	59
3.5 Selección de muestra .....	59
3.6. Técnicas de recolección de Datos.....	59
3.7. Análisis e interpretación de la información.....	60

### **CAPITULO 4**

#### **RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	65
4.2. Pruebas de hipótesis .....	70
4.3. Presentación de resultados .....	74
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1 Fuentes de generación de residuos y drenajes ácidos .....	50

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1 Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento previo o inicial	65
Cuadro N° 2 Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento Primario	67
Cuadro N° 3 Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento Secundario	69

## LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico N° 1 Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento previo o inicial	66
Grafico N° 2 Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento primario	68
Grafico N° 3 Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento secundario	70

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1 Dosificación de Cal vs pH:	15
Tabla N° 2 Dosificación de Cal vs Remoción de Zn	15
Tabla N° 3 pH vs. Remodelación de Zn.	15
Tabla N° 4 Evaluación de la densidad y granulometría de la lechada de cal preparada	24
Tabla N° 5 Dimensiones Pozas:	27
Tabla N° 6 Parámetros referenciales de solubilidad del hidróxido de calcio.	60
Tabla N° 7 Resumen Estadístico de Caudal del agua de mina en el Nv. 250 y Consumo de Cal (2006-2009)	71
Tabla N° 8 Balance Calculado de Consumo de Cal y Generación de Sólidos en función a características agua de mina.	72
Tabla N° 9 Monitoreo de variaciones de pH antes y después de la poza de sedimentación	73
Tabla N° 10 Caracterización física de lodos generados: Ge, Generación de sólidos densidad sedimentado.	74
Tabla N° 11 Análisis de los valores de operación de las pozas en base a sus parámetros de diseño.	75
Tabla N° 12 Balance del Sistema de Tratamiento por Sedimentación – Proyección de ciclos de Llenado / Limpieza / Bombeo	76

**GLOSARIO:**

CLASE III	Aguas de riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
EF 03	Punto de monitoreo (Estación de Fiscalización 03)
NV	Nivel
EF 06	Punto de monitoreo (Estación de Fiscalización 06)
LMP	Límite máximo permisible
ECA	Estándares de calidad ambiental
FAD	Flotación de aire disuelto
TSS	Total de sólidos en suspensión
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO.	Demanda Química de Oxígeno
N-T	Nitrógeno Total
Ppm	Partes por millón
COV's	Compuestos orgánicos volátiles
ANA	Autoridad Nacional del Agua
DAR	Derrame acido de roca
pH	Es un valor que representa la acidez o alcalinidad de una solución acuosa.
MINAM	Ministerio del Ambiente

## RESUMEN

El sistema de tratamiento y disposición sanitaria de las aguas residuales industriales en la Mina Huarón, encierra una especial caracterización que la diferencia de los procesos convencionales.

Esta diferenciación resalta cuando observamos que todas las aguas superficiales que comprenden las industriales, domésticas, de escorrentía, de precipitaciones pluviales, lagunas etc., convergen en el depósito de relaves que trabaja como un gran vaso receptor. Posteriormente las aguas que forman el espejo de agua, por rebose ingresa a los canales de drenaje para ser conducidos a través de tuberías a la zona de trapiche Nv.400, aguas abajo del depósito de relaves que recibe la descarga en unos canales provistos de unas perforaciones diamantinas DTH que comunican al Nv 250 del Túnel Paul Novejans, permitiendo el ingreso del líquido elemento al interior de mina.

A su vez el Túnel, que en sus más de 7.5 Km recibe los drenajes de la Mina Animon (Chungar) de 185 l/s, con un mayor caudal de las zonas de operación de la mina Huarón, resultado de afluentes como aguas de lluvia, de filtraciones de lagunas, aguas subterráneas antiguas y recientes de mina son drenados por la bocamina del túnel Paul Novejans del Nv 250 San José.

Todo el caudal, que en promedio oscila en 687 L/s, debe ser tratado para su vertimiento con calidad A III al río San José, que es un aportante del cuerpo receptor río Mantaro, El compromiso es muy sensible si consideramos que no debemos afectar las aguas de riego de los pastizales de las comunidades, la delimitación y conservación de las aguas para consumo humano, un estricto cumplimiento del marco legal emanado del Ministerio del Ambiente.

Desde el año 2004 se viene efectuado una serie de evaluaciones de los procesos que permitan mejorar el sistema de tratamiento y disposición sanitaria de las aguas industriales acorde a las exigencias de los entes reguladores, por esta razón iniciamos la investigación, evaluación, análisis de los procesos, actividades que permitan encontrar el margen óptimo.

## ABSTRACT

The system of treatment and sanitary disposal of industrial wastewater in the Huarón Mine, contains a special characterization that differentiates it from conventional processes.

This differentiation stands out when we observe that all the superficial waters that comprise industrial, domestic, runoff, rainfall, lagoons, etc., converge in the tailings deposit that works as a large receiving vessel. Subsequently, the water that forms the water mirror, overflow enters the drainage channels to be conducted through pipes to the trap zone Nv.400, which receives the discharge in channels provided with a diamond DTH perforations that communicate to the Nv 250 of the Paul Novejans tunnel, allowing the entry of the liquid element into the mine.

At the same time the Tunnel, which in its more than 7.5 km receives the drains of the Animon Mine of 185 l / s, with a greater proportion of the operating areas of the Huarón mine, resulting from tributaries such as rainwater, leaks of lagoons, old and recent underground mine waters are drained by the tunnel opening of the Paul Novejans tunnel of the Nv 250 San José.

All the flow that on average oscillates in 687 l / sec. It must be treated for discharge with quality A III to the San José River, which is a contributor to the Mantaro river receiving body. The commitment is greater if we consider that it should not affect the irrigation waters of the grasslands of the communities, the conservation of water for human consumption, strict compliance with the legal framework issued by the Ministry of the Environment.

Since 2004, a series of process evaluations have been carried out to improve the sanitary treatment and disposal system of industrial waters, in accordance with the requirements of the regulatory bodies, for this reason we initiate research, evaluation, analysis of the processes, activities that allow finding the optimal margin.

**Keywords:** Industrial waste water, treatment, sanitary disposal, dumping.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En el Distrito de Huayllay de la Provincia y Departamento de Pasco, se encuentra operando la Empresa Minera Huarón de propiedad de Pan American Silver, localizada en la sierra central al NE de la ciudad de Lima, flanco oriental de la cordillera occidental de los andes a 53° N y a 45 Km. de la ciudad de Cerro de Pasco a una altitud media de 4600 a 4800 m.s.n.m. (Brillo, Luz Vargas Niquin, donde existe el Túnel Paul Nevejans de la mina Huarón que cumple la función de evacuar las aguas de mina y de superficie en su punto de salida ubicado en el Nv 250 - San José (Geología de los Cuadrangulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, boletín N° 77).

Cuando Panamerican Silver adquiere la concesión de la mina Huarón, asume todos los pasivos ambientales ubicados aguas abajo de la zona industrial como relaveras antiguas, lechos del río San José contaminado por los arrastres de relaves, lagunas de Huayllay afectado por relaves de las operaciones anteriores, condiciones que impactaban las aguas y que tuvieron que ser remediadas ambientalmente.

Para mantener la continuidad de las operaciones de explotación minera, se estableció un plan que consistía en evitar los impactos que producían las aguas industriales, superficiales y de mina. Aclaramos que Huayllay y sus comunidades se dedican al pastoreo de camélidos, vacunos, ovejas mayormente y el otro aspecto significativo es evitar la contaminación de la napa freática que dota de agua para consumo humano (Estudio de impacto Ambiental Proyecto Eléctrico - S.E. Francoise). La sumatoria de estos aspectos ambientales significativos dio lugar a un proyecto que permita captar todas las aguas superficiales y ser drenados al túnel Paul Nevejans del Nivel 250 para que mezclados con las aguas provenientes de las operaciones mina, sean evacuados hasta la planta de tratamiento de San José.

Contando con los antecedentes se revisó la documentación de los estudios iniciales y se escogió la evaluación realizada los días 11 al 13 de abril del 2006, referida al tratamiento de las aguas evacuadas por el túnel Paul Nevejans del Nivel 250 San José mina Huarón, que tuvo como objetivo confirmar las pruebas preliminares del Departamento de Medio Ambiente de reducir el contenido metálico especialmente el Zn, a niveles por debajo de los valores máximo-permisibles, incrementando el pH de las aguas del Nivel 250 mediante la adición de Cal.

Una revisión de la data histórica de monitoreo del Nivel 250 en sus puntos de monitoreo, muestra que no ha ocurrido variaciones considerables del pH, ni contenido metálico que nos permita observar cambios en las características hidrológicas de la mina y en la calidad del EF 03 punto de descarga en el túnel del Nv 250. En un recorrido previo del Túnel en este nivel, se intercepto en la progresiva 3280 las aguas que bajan del Nv 400 Trapiche (Relavera superficie) que no ha generado reacción química alguna que permita suponer la presencia de H<sub>2</sub>S.

Los cambios en el contenido de Zn, monitoreado en la descarga del over de la poza de sedimentación, ocurre durante los días en que se realizaron pruebas in situ por el Dpto. de Medio Ambiente con la adición de Cal en el EF0<sub>6</sub>, lo cual es razonable puesto que alcanzaron el rango de precipitación del Zn(OH)<sub>2</sub>. Por lo tanto, los cambios en pH y contenido metálico de Zn no ocurren en la bocamina, sino más bien después de la poza de sedimentación atribuible a la adición de Cal.

Las principales variables evaluadas en las pruebas preliminares y aplicadas en el proceso fueron: caracterización hidrológica de las aguas de mina, dosificación de cal, pH, contenido de Zn, tiempo de residencia para una adecuada sedimentación.

Cada uno de estos elementos dispone de estándares, procedimientos específicos que a través de los años han sufrido cambios como parte del proceso de mejora continua, que estaremos describiendo como corresponde para sustentar que se requiere Optimizar el Sistema de Tratamiento para la Disposición Sanitaria de Aguas Residuales Industriales Clase III.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo mejorar los procesos del sistema de tratamiento de los efluentes industriales de la mina Huarón, para asegurar la calidad de los vertimientos comprendidos dentro de la clase III?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

1. ¿Cuáles son las características hidrológicas del caudal de agua de mina, que son evacuados por el túnel Paul Nevejans del Nv 250, para ser procesado en la planta de tratamiento de San José?
2. ¿Cómo optimizar la dosis de cal, de tal forma que permita el control efectivo del pH?
3. ¿Cómo mejorar el manejo de los sólidos generados en las pozas de sedimentación, producto del sistema de tratamiento de las aguas industriales de la bocamina del Nv 250?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.**

Es necesaria la evaluación del sistema de tratamiento existente en el Túnel Paul Nevejans Nv 250 de la mina Huarón, con el propósito de identificar las oportunidades de mejora en la operación, así como evaluar los cambios observados en la generación de sólidos y el consumo de cal en los últimos años y meses.

Los resultados obtenidos de los monitoreos del vertimiento de aguas residuales industriales y control del análisis de laboratorio químico nos refieren aspectos teóricos de información que indican las no conformidades de la optimización del sistema.

La adecuación a los LMP para los efluentes mineros supondría el cumplimiento de los objetivos de los ECA para agua en los cuerpos receptores. Son consideraciones que establecen también las normas de los nuevos LMP, hay un plazo de adecuación para tal fin, el cual se complementa con la actual descripción de adecuación a los ECA para agua.



La disposición de efluentes líquidos finales del proceso de concentración de minerales es tratada con floculantes (MT 6506) y cal y enviados posteriormente a la vertiente del Río San José, mientras que todos los restos de la mina, por ser considerados como posible drenaje ácido son enviados a la planta de tratamiento de aguas ubicada en el distrito de San José en donde son tratadas y re circuladas al río San José.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Esta investigación toma como base las diferentes evaluaciones, monitoreos, pruebas de laboratorio, de campo efectuados desde el año 2006, observándose una mayor incidencia a lo realizado entre los años 2009 al 2012; información que brindaría una alternativa de solución en cada proceso de las actividades, tareas del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la boca mina del nivel 250 (EF 03) al río San José en la Mina Huarón.

Se estableció en primera instancia un trabajo de campo, efectuado del 10 al 13 de abril 2006, que permitió evaluar los siguientes aspectos:

- 1) Características del agua.
- 2) Pruebas piloto, evaluando dosificación de cal versus pH y remoción de Zn.
- 3) Pruebas de campo, con el total del flujo de agua del túnel del Nv 250.

Desarrollo del análisis primario de los procesos direccionado a la optimización del sistema de tratamiento:

##### **1) Características del agua de mina evacuados por el túnel del Nv 250**

- a. A la fecha de inicio de las pruebas con adición de cal, el agua de mina presenta un contenido de Zn de aproximadamente 20 ppm, el caudal supera los 600 l/s, mientras que el contenido de sólidos ha aumentado producto de los trabajos de limpieza en el canal de drenaje del Nv 250 dentro de la mina con valores de TSS=160 ppm. Muestra la estadística de contenido de Zn monitoreado en los últimos 9 meses en los 03 Km finales del túnel.

## 2) Pruebas piloto - 11 de abril 2006

- a. Se prepararon tres pruebas piloto para evaluar la dosificación de Cal vs Remoción de Zn, de acuerdo con las siguientes variables:

	P1	P2	P3
Volumen (L)	10	10	10
Dosificación Cal (g)	1.4	1.4	1.4
Prueba Piloto			

### Dosificación de Cal vs pH:

g. Cal	P1	P2	P3
0.00	6.55	6.54	6.70
0.20	6.81	6.83	-
0.40	7.20	7.30	7.40
0.60	7.52	7.68	-
0.80	8.60	8.08	7.82
1.00	8.47	8.47	-
1.20	8.91	8.91	8.43
1.40	9.20	9.20	8.90

Tabla N° 1 . La dosificación de 0.9 g. de Cal equivale a una ratio de consumo de 90 g/m<sup>3</sup>.

### Dosificación de Cal vs Remoción de Zn

g. Cal	P1	P2	P3	LMP
0.00	20.28	18.60	19.08	3.00
0.20	18.76			
0.40	15.80	14.68		
0.60	10.52	8.95	8.18	
0.80	4.95	4.68		
1.00	1.61	1.42	1.33	
1.20	0.23	0.35		
1.40	0.05	0.07	0.32	3.00

Tabla N° 2 . La dosificación de 1 g. de Cal encontrada para precipitar el Zn a < 3ppm, equivale a una ratio de consumo de 100 g/m<sup>3</sup>

### pH vs. Remoción de Zn.

g. Cal	P1		P2		P3	
	ppm Zn	pH	Ppm	pH	ppm	pH
0.00	20.28	6.55	18.60	6.54	19.08	6.7
0.20	18.76	6.81		6.83		
0.40	15.80	7.2	14.68	7.3		7.4
0.60	10.52	7.52	8.95	7.68	8.18	
0.80	4.95	8.06	4.68	8.08		7.82
1.00	1.61	8.47	1.42	8.47	1.33	
1.20	0.23	8.9	0.35	8.91		8.43
1.40	0.05	9.22	0.07	9.2	0.32	8.9

Tabla N° 3. En esta prueba se confirma la necesidad de incrementar el pH del agua de mina para precipitar el Zn por debajo del límite permisible.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Gestionar la implementación de estándares, procedimientos, requerimientos legales que permita optimizar el sistema de tratamiento de los efluentes industriales de la mina Huarón para asegurar la calidad de los vertimientos comprendidos dentro de la clase III.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

1. Monitorear/Muestrear las características hidrológicas del caudal de agua de mina que son evacuados por el túnel Paul Nevejans del Nv 250, para ser procesado en la planta de tratamiento de San José.
2. Evaluar el proceso de suministro de cal con calidad requerida, preparación, dosificación, que permita que el control del pH sea efectivo.
3. Facilitar los recursos para el manejo de los sólidos generados en las pozas de sedimentación de San José.

## **1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.6.1 Hipótesis General**

Con la Optimización del sistema de tratamiento para la disposición sanitaria de aguas residuales industriales, provenientes de la Boca Mina Paul Nevejans Nivel 250 al cuerpo receptor Río San José, se cumple el requerimiento para el vertimiento clase III.

### **1.6.2 Hipótesis Específicas**

1. La caracterización hidrológica del caudal de agua de mina evacuado por el túnel Paul Nevejans del Nv 250, puede ser procesado y mejorado en la planta de tratamiento, antes de la disposición sanitaria como aguas residuales industriales para el vertimiento clase III. al cuerpo receptor, río San José.
2. Monitoreando el suministro de la calidad de cal fina por encima de 70% CaO, preparación, dosificación, que permita el control del pH requerido en el sistema de tratamiento de las aguas de mina del Nv 250,

aseguraremos el cumplimiento de los estándares de calidad para vertimientos clase III.

3. Con la gestión efectiva para facilitar los recursos referidos al manejo de los sólidos generados en las pozas de sedimentación, como parte del proceso mejorado del sistema de tratamiento, consideramos que influirá positivamente en la disposición sanitaria de aguas residuales industriales para el vertimiento clase III.

## 1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

### Variable 1 (Dependiente)

- A. Optimización del sistema de tratamiento.
- B. Disposición sanitaria de aguas residuales industriales.

### Variable 2 (Independiente)

- A. Vertimiento agua clase III proveniente de boca mina Nv 250, Túnel Paul Nevejans de la Mina Huarón

## 1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	INDICADORES
V <sub>1</sub> : Optimización del Sistema de Tratamiento	1.1 Caracterización de los efluentes
	1.2 Proceso dosificación cal
	1.3 Manejo de solidos generados
V <sub>2</sub> : Disposición Sanitaria de Aguas Residuales para vertimiento Clase III, Provenientes de la Boca Mina del Nivel 250 (EF 03) al río San José	2.1 Cumplimiento de Normas
	2.2 Cuerpo receptor (río San José)

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**Verdugo, Rodríguez (2003)** Presentan una “Evaluación y Optimización de los Parámetros de Operación de un Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial en la Ciudad de Tijuana Baja California, México”.

Se presenta un diagnóstico de los parámetros de operación de un sistema de tratamiento agua residual industrial y se compara la calidad del efluente con los establecidos en la normatividad ambiental, Para este efecto se realizaron muestreos simples y compuestos en el influente y efluente del sistema de tratamiento de agua residual durante 6 meses. Las muestras fueron analizadas y se determinaron las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total (N-T), Grasas y Aceites, Turbidez y Iones metálicos (Cd, Pb, Cr, Zn, Ni). Los resultados exhibieron variaciones significativas entre las muestras simples y compuestas. Se realizó un análisis estadístico de cada uno de los parámetros evaluados para cada tipo de muestra, observándose una menor desviación estándar para las muestras compuestas, este comportamiento indica la necesidad de incorporar un tanque de igualación en el proceso de tratamiento (Evaluación y optimización de los parámetros de operaciones de un sistema de tratamiento de agua residual industrial en la ciudad de Tijuana Baja California, Mexico-Cristhabel V. et al). (Verdugo y Rodríguez, 2003)

Mediante prueba de jarras, la optimización de la clarificación se realizó a muestras compuestas del influente y la eficiencia de este proceso depende de la remoción de compuestos orgánicos volátiles (COV's) y de la decantación eficiente de aceites, así como de la concentración y tipo de coagulante-floculante (Evaluación y optimización de los parámetros de operaciones de un sistema de tratamiento de agua residual industrial en la ciudad de Tijuana Baja California,

Mexico-Cristhabel V. et al). La optimización de este proceso se realizó mediante la evaluación de la turbidez residual.

Se compararon los resultados obtenidos en muestras compuestas con los límites máximos permisibles por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996, obteniendo una calidad del efluente cuya composición está dentro de la norma. (Verdugo y Rodríguez, 2003).

**Cadorin and Carissimi (2007)**, Presentan Avances en el “Tratamiento de Aguas Ácidas de Minas. Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) ISSN 0122-1701”

En su resumen, muestran los efluentes mineros líquidos, generados en actividades mineras (sulfuros metálicos y carbón), especialmente drenaje ácido de minas (DAM), los cuales causan grandes problemas ambientales debido a su alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos. El DAM es caracterizado por sus bajos valores de pH y elevadas concentraciones de iones inorgánicos tóxicos (Cadorin y Carissimi, 2007). El análisis muestra alternativas para la eliminación de iones metálicos y sulfato vía neutralización, precipitación (o co-precipitación) y separación sólido-líquido, en escala de laboratorio y piloto. Los sólidos (precipitados coloidales) generados son removidos usando flotación por aire disuelto (FAD). El énfasis fue en la eliminación de los iones sulfato, uno de los procesos más difíciles y costosos y la mejor alternativa consistió en la eliminación de iones sulfato (>1000 ppm), iones Fe y Mn, simultáneamente, a pH 12. En estas condiciones y en la presencia de cal y sales de aluminio (policloruros-PAC), en tasas másicas de PAC:  $SO_4^{2-} = 2:1$ , los iones sulfato son precipitados como etringita y los iones Fe y Mn coprecipitados (hidróxidos). Los sólidos producidos fueron separados por flotación por aire disuelto (FAD) que presentó ventajas significativas sobre la sedimentación, en términos de calidad del agua tratada y una mayor cinética, alcanzando una tasa de operación (piloto-1m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) de 13 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> y turbidez residual del agua de 0,5 NTU. Se concluye que las técnicas presentadas en este trabajo presentan un gran potencial en el tratamiento del DAM con re-uso de las aguas (Verdugo y Rodríguez, 2003).

**Baquero** (2008), en Madrid España, publica un artículo referido a la “Prevención y Reducción de la Contaminación, en el proceso de Tratamiento de Aguas Ácidas”: A diferencia de otros artículos este está enfocado básicamente a la prevención y control de los contaminantes, a fin de minimizar la formación de aguas ácidas en la etapa de generación, sin recurrir a los tratamientos activos, pasivos o mixtos de dichas aguas.

En el planeamiento de minado se analiza los peligros y el riesgo de la generación de aguas ácidas, para establecer los criterios de diseño, control que facilite la gestión del riesgo inminente. Toda actividad Minera responsable trabaja en la prevención de la contaminación, con estrecha incidencia en base a los diferentes métodos de explotación, considerando el importante aporte de las aguas (superficiales y subterráneas) y el tratamiento de estas. Existen dos grandes campos de acción, una orientada a la reducción de la formación de contaminantes y otra que implica el manejo y tratamiento de las aguas contaminadas. Por lo general, el manejo de las aguas ácidas es producto de una combinación de varios procesos, algunos se acometen en función al problema específico a resolver con resultados y rangos de eficiencia diferentes, en unos casos comparados con otros. En la actualidad los métodos preventivos se basan en el control, mejor aún en la eliminación de alguno de los elementos generadores de las aguas ácidas (humedad o bacterias catalizadoras, oxígeno, sulfuros). Para poder seleccionar uno u otro método, debemos analizar las condiciones (grado de actividad, origen, desagüe), igualmente se analiza las características (químicas, físicas) y carácter del efluente (permanente, temporal), así como también el espacio disponible. Esta serie de tratamientos aquí detallados fueron realizados in situ, en espacios confinados, inundados o bajo capa de agua, en excavaciones mineras superficiales aisladas de agua, o carentes de humedad cuando son tratados por el proceso de evaporación y transpiración. (Baquero,2008).

### **Antecedentes nacionales**

**Benavides** (2002), Informa del “Tratamiento, Uso y Descarga del Agua Subterránea en Minera Yanacocha Departamento de Planeamiento, Minera Yanacocha Perú”. Presenta como resumen, que la Minera Yanacocha S.R.L. es propietaria de un conjunto de yacimientos de oro explotados a tajo abierto, algunos de los cuales se encuentran bajo el nivel freático, por lo tanto, la

extracción del agua subterránea se hace inminente, creando de esta manera condiciones secas antes de la explotación minera que permita un trabajo seguro en el interior del tajo. El presente trabajo detalla la secuencia seguida desde la extracción del agua, el tratamiento que recibe durante el proceso y las descargas al medio ambiente obedeciendo los estándares del reglamento ambiental. (Benavides,2002).

**Requena** (2008), En la capital del Perú, ciudad de Lima incorpora la tesis, referido al “Sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA Animon de la empresa administradora Chungar SAC (EACH)”. Las operaciones mineras se ejecutan en un yacimiento mineral del tipo de vetas ubicadas debajo y en dirección transversal de lagunas como Naticocha Centro y otras lagunas del entorno. Considerando la cercanía de estos cuerpos de agua es sumamente importante contar con vertimientos industriales de óptima calidad que permitan preservar estos recursos hídricos, dando cumplimiento así con la Ley General de Aguas D.L 17752. Para trabajar dentro del marco legal se elaboró un proyecto para el manejo técnico del Efluente Líquido de Actividades minero-metalúrgicas (Ordoñez, 1984), (MEM, 1991). Las actividades de mejoramiento global de las aguas residuales industriales, de lagunas, permitirá controlar y disminuir la presencia de Pb, Zn y otros metales pesados en estos efluentes, hasta alcanzar niveles contemplado en el marco de la Ley General de Aguas D.L. 17752, Clase VI. De acuerdo al proyecto para el manejo de los efluentes Líquido de Actividades minero – metalúrgicas, es preciso instalar un equipo sedimentador de Cono Profundo (DCT). El componente seleccionado está provisto de un sedimentador de 17mt de diámetro y 21mt de alto incluido una planta de dosificación de floculante, accionado por una bomba de recirculación y descarga (Requena, 2008).

**De la Cruz** (2014), Se describe en la tesis el impacto causado por el Efluente Líquido de las Actividades Mineras bajo el título “Los drenajes de la mina Pampamali S.A.” cuyo vertimiento podría contaminar el riachuelo Cochatay en el distrito de Seclla Huancavelica, los autores investigan y analizan los drenajes de mina, previniendo incidencias por posible contaminación de aguas en el riachuelo Ccochatay. El método utilizado es cuantitativo y descriptivo. Para mejorar dicha



tesis, se requiere mayor cuidado en la caracterización de las aguas, siendo un factor preponderante la caudal materia del estudio, así mismo deben informar si existe algún sistema de tratamiento de las aguas residuales y si se cuenta con personal calificado para el monitoreo.

El análisis fisicoquímico realizado en un laboratorio autorizado en Lima, con seis muestras extraídas de puntos de monitoreo de campo efectuadas a la Mina Pampamali S.A., detalla las siguientes características: el pH obtenido es correcto en las seis muestras y cumplen con los LMP; la Redox, la conductividad eléctrica, el TDS y el TSS; cumplen con los valores de calidad exigidos en la Ley General de aguas, Clase III (De la Cruz, 2014).

## **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN SANITARIA DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA VERTIMIENTO CLASE III.**

(La categoría III: está referido “Aguas de riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales).

En la mina Huarón fue construido el túnel Paul Novejans en el Nv 250, con el propósito de evacuar los drenajes de la mina. El túnel tiene una longitud de más de 7.5 Km y recibe los drenajes de la mina Animon con un aporte de 185 L/s y en mayor proporción de las zonas de operación de la mina Huarón.

En el 2005, el agua de mina en el Nv 250 fue identificado como resultado de afluentes como aguas de lluvia, agua de lagunas, agua subterránea antigua, agua subterránea reciente afectada por DAR. El agua resultante en el Nv 250 tiene un pH de 6.7, contenido de Zn alrededor de 30 ppm, y conductividad eléctrica entre 900 a 1100 us/cm. Las características de estos afluentes no han cambiado considerablemente a la fecha, sin embargo, nuevas fuentes de agua se han derivado hacia el Nv 250 como las aguas que ingresan por las perforaciones diamantinas ubicadas en trapiche superficie que conecta el agua del Nv 400, los drenajes y agua decantada de la cancha de relaves hacia el Nv 250 del túnel de mina.

En el año 2004 se construyeron dos pozas de sedimentación con el propósito de separar los sólidos suspendidos y adecuar el afluente a las condiciones de calidad

exigidos por las entidades reguladoras del estado peruano. Sin embargo, las derivaciones de flujos sumado a la evolución de las operaciones dentro de la mina han generado el incremento del contenido metálico en las características químicas del agua, especialmente en el Nv de Zn disuelto, lo que exigió a la Gerencia de la Empresa considerar un sistema de tratamiento que permita controlar el nivel de contenido de Zn en el efluente final en los límites permisibles.

Luego de una evaluación, se determinó realizar ajustes en el pH del agua de mina de 6.7 a 8.2 con el propósito de remover el Zn a los límites permisibles. La implementación posterior del tratamiento considero la adición de cal a través de una tubería que conduce lechada de cal preparada en la planta concentradora hacia el Nv 250 a unos 5.8 Km antes de su salida en la boca mina. Como consecuencia de la adición de cal, el pH se incrementó y con ello también la cantidad de sólidos precipitados originando los ciclos de evacuación de lodos desde las pozas de sedimentación se hagan con mayor frecuencia. La evacuación de lodos fue adecuada a través del bombeo hacia camiones cisterna que finalmente trasportan los lodos hacia la cancha de relaves a unos 7 Km aguas arriba, haciendo el proceso laborioso y costoso.

Se suma a esto la sedimentación de solidos a lo largo del canal que transcurre el Nv 250 hacia la bocamina que ha causado obstrucción del canal e inundaciones en algunos tramos. En este contexto se ha desarrollado la evaluación del sistema de tratamiento existente, analizando el proceso en cada actividad, tarea con la finalidad de identificar las oportunidades de mejora que lleve el tratamiento a una condición sostenible operativamente.

### **Diagnóstico y evaluación de la caracterización del caudal del agua de mina**

Los monitoreos, toma de muestras del caudal de agua de mina informan que se ha visto incrementado con valores en promedio de 187 L/s a 750 L/s, este último flujo pico se explica por la abundante precipitación de lluvias por la estación de invierno.

Esta fue una proyección anticipada en el estudio hidrogeológico que caracterizo la naturaleza y origen del agua que ingresa al Nv 250 determinando que las

infiltraciones de agua de lluvias son en mayoría los que contribuyen a los flujos de agua subterránea locales y regionales.

Estos volúmenes se irán incrementando a medida que avance la profundización de las operaciones de la mina. Las características del agua de mina resultante se han aproximado en base a la contribución de cada uno de los afluentes, considerando que un monitoreo en la bocamina es impracticable al estar el agua previamente mezclada con cal aguas arriba dentro del túnel.

**Preparación de cal.** Cuando iniciamos la evaluación de los informes referidos al proceso de dosificación de cal, encontramos que esta actividad de gran importancia se realizaba de alguna forma para cumplir los requerimientos de pH a valores alcalinos, aun sabiendo que se tenía la limitante de que el valor de 8.0 no era sostenible. Por las condiciones de posición de los puntos de adición, mezcla y monitoreo final que están alejados en kilómetros de distancia es que los tiempos de respuesta ante cambios es irregular y el control se dificulta.

La dosificación de cal ha sido habilitada en interior mina, a través de una tubería que baja por una chimenea y conduce la lechada de cal desde la planta concentradora hasta 5.8 Km del Túnel antes de la salida de la bocamina. Esto ha generado sedimentación de sólidos a lo largo de casi 06 Km de canal en el Nv 250, obstruyendo su cauce y provocando inundaciones de la vía férrea que dificulta su acceso.

La calidad de la cal que se usa en el proceso tiene en promedio 60% de CaO, lo que resulta en sólidos adicionales en la poza de sedimentación por el restante de sólidos insolubles (40%).

Día	Densidad (g/L)	% Sólidos	% - 38 micrones
16 Mayo	1080	12.7	69.9
17 Mayo	1075	12.0	60.8
18 Mayo	1060	9.8	53.6
19 Mayo	1060	9.8	55.5
20 Mayo	1075	12.0	58.9
21 Mayo	1065	10.5	45.8
Promedio	1069	11.1	57.4

Tabla N° 4 Evaluación de la densidad y granulometría de la lechada de cal preparada.

La granulometría de la lechada de cal preparada está en un promedio de 57% - 38 micrones (tabla 1). La cal es más reactiva y eficiente cuanto mayor sea el área superficial (94%-3 a 4 micrones se obtienen en apagadores “slakers” de cal que proporcionan entre 8000 a 58000 cm<sup>2</sup>/g).

### **Tratamiento – ajuste de pH**

El contenido de Zn en el agua de mina está por encima de los límites permisibles, por lo que se hace necesario la adición de cal para precipitarlo como Zn (OH)<sub>2</sub>. Las pruebas de campo para precipitar el Zn en el agua de mina del Nv 250, determinaron que se requiere ajustar el pH con cal hasta un pH final de 8.02, con una dosificación de cal de 0.1 g/L para alcanzar una reducción del contenido metálico de Zn por debajo de 2.5 ppm. Este procedimiento se viene realizando desde Julio del 2006.

La estadística de consumo de cal registra valores variables al calculado, estando por encima del estimado durante el 2007 y con una reducción significativa a partir del 2008. Estas variaciones podrían asumirse a factores como control en la dosificación para los valores altos y cambios en las características del agua de mina por los valores bajos. Este último podría deberse a la derivación de las aguas de la cancha de relaves cuyo pH está por encima de 9 y que estaría ayudando para la reducción en el consumo de cal. Sin embargo, debemos resaltar un aspecto importante identificado en el control del pH. Las variaciones de pH en la descarga final de las pozas de sedimentación, es el valor que se ha estado registrando como variable de control del proceso. Este valor es solamente referencial, pues el tiempo de respuesta ante variaciones de pH toma más de 03 horas aproximadamente (dos de recorrido en el canal, más una hora aproximada en la poza).

El volumen de agua en las pozas sirve de reguladores ante estas variaciones de pH y los cambios bruscos que no son registrados en la entrada de las pozas causan disturbios en el proceso precipitando, re-disolviendo y cambiando la carga electrostática de las partículas de lodos que finalmente se traducen en una deficiente floculación y sedimentación. Este tiene un efecto adverso principalmente en la sedimentación de partículas aumentando los sólidos en suspensión en el

efluente.

El control del pH es fundamental y el sustento está basado en el principio de las solubilidades de los hidróxidos metálicos. La solubilidad del Zn (OH)<sub>2</sub> es de 1.1 mg/L, lo que significa que el Zn (OH)<sub>2</sub> empezara a re-disolverse ante cambios fuera del rango de pH entre 7.3 – 8.2 aproximadamente. Inicialmente se tendrá que adicionar Ca (OH)<sub>2</sub> en cantidades necesarias para asegurar la precipitación de metales como hidróxidos. Luego de haber conseguido la precipitación del Zn (OH)<sub>2</sub> un cambio del pH fuera del rango conducirá a solubilizar estos hidróxidos incrementando nuevamente la concentración de Zn en el efluente final.

### **Dosificación de floculante**

El consumo de floculante a la fecha es de 0.61 mg/L que equivale a 1.5 kg/h. La adición de floculante hacia el canal se realiza en dos puntos, el primero a través de bombeo y dilución y el segundo punto solo por gravedad y sin dilución. El segundo es adicionado con un control aproximado de flujo, de acuerdo con las necesidades de sólidos en el agua de mina. En las pruebas realizadas en campo, se encontró que aumentando la dosificación a 0.75 mg/l se obtienen mejores resultados en el efluente final, aunque con casi el 71% del floculante adicionado sin dilución. Es probable que, con una apropiada dilución de esta fracción de floculante, se optimizara el consumo al obtener una mejor mezcla con los sólidos del agua de mina. Por otro lado, se evaluó la performance de dos tipos de floculante de alto peso molecular Magnafloc 351 (actualmente en uso) y MT 6506. El primero es un polímero catiónico y el segundo es un no-iónico. Ambos tienen similar performance de floculación en el rango de pH de 7 a 8.5. Por encima de este rango de pH se observó una disminución en la efectividad del Magnafloc 351 respecto al MT- 6506 que cubre un mayor rango. Mejores resultados aún en la calidad del efluente se obtuvieron cuando se usaron ambos floculantes en proporciones 1:1.

### **Características de solidos generados**

Se encontró que el agua de mina genera aproximadamente 0.34g de solidos/l. De esta misma evaluación, se estimó las características físicas de estos lodos.

Generación de sólidos : 0.34 g/L

G.e. sólidos : 2.7

Densidad y % solidos después de sedimentado:

Después de 1 hora : 1057 g/L / 8.6% sólido

Después de 72 horas : 1102 g/L / 14.7% sólidos

Se tomaron muestras puntuales durante el bombeo hacia las cisternas y de una profundidad de cama de 0.5 m con los siguientes datos:

Densidad y % de sólidos en poza de sedimentación N°1:

Durante el bombeo de lodos (sin presión de agua): 1100 g/L / 14.5 % sólidos

Muestra profundidad de cama 0.5 m : 1120 g/L / 17% sólidos.

La diferencia respecto a los datos obtenidos de la prueba de probeta y las muestras de poza, radicarían en que los lodos en la poza han tenido mayor tiempo de sedimentación. Bajo condiciones de bombeo continuo con la poza en funcionamiento, es probable que la densidad se encuentre entre 1057 a 1100 g/L (8.6% a 14.5% de sólidos).

### Pozas de sedimentación

Las dimensiones de las pozas se compararon con parámetros de diseño recomendados para sedimentadores en plantas de tratamiento de aguas. Con el incremento de caudal en la mina, estos parámetros han variado desde su puesta en operación.

### Análisis de los valores de operación de las pozas en base a sus parámetros de diseño

	Parámetros de Diseño			
	Poza # 1	Poza # 2	Recomendado	Descripción
Q (m <sup>3</sup> /h)	2473	2473		Caudal
	687	687		
L (m)	68.1	63.2		Largo poza
W (m)	16.72	17.87		Ancho poza
H (m)	2.47	1.92	1.5- 2	Profundidad
So (m/h)	2.2	2,2	0.2 - 1	Carga superficial
T (h)	1.1	0.9	1 - 3	Tiempo de residencia
Q (l/s m)	41.1	38.4	£ 2 - 3	Carga del rebose
L / W	4.1	3.5	3 - 8	

Tabla N° 5 . Dimensiones Pozas:

La carga de ingreso por área superficial ( $S_o$ ) está por encima de los valores recomendados y más aún la carga de salida en el rebose ( $q$ ) y esto está ocurriendo en ambas pozas. Lo observado en las pozas de sedimentación confirman esto; en los 2/4 del recorrido desde su ingreso la turbulencia es alta manteniendo los flóculos en constante suspensión y en algunos casos el rompimiento de éstos. También se observa que el agua ha alcanzado una buena clarificación en los 3/4 de su recorrido, sin embargo, a un metro del rebose, la velocidad con la que esta sale arrastra sólidos de los niveles inferiores de la poza. El caudal ( $Q$ ) y ancho de poza ( $W$ ) podrían manipularse para ajustar los valores de  $S_o$  y  $q$  a los valores recomendados.

### **Disposición de lodos**

Basado en la generación de sólidos y la característica de sedimentación de lodos, se estima que el flujo de bombeo de lodos en el escenario de baja densidad (8.6% sólidos) tendría que ser mayor de 9.1 m<sup>3</sup>/h. Considerando las pruebas realizadas previamente por el área de proyectos, la disposición de bombeo se realizaría con la poza en funcionamiento a través de una bomba sumergible. Asumiendo una bomba similar de mayor capacidad (12m<sup>3</sup>/h), esta trabajaría aproximadamente 18 horas al día bombeando lodos de baja densidad, mientras que le tomaría unas 10 horas al día bombear un lodo más densificado (mayor 14%de sólidos). Por supuesto se podría considerar dos equipos de bombeo para reducir estos ciclos de bombeo a la mitad del tiempo.

### **Conclusión**

La evaluación del Sistema de Tratamiento del Agua de Mina Nv 250 evacuado por el Túnel Paul Novejans, requiere establecer mejoras en los procesos de las diferentes actividades, tareas que permitan cumplir con los estándares de calidad de agua exigidos por la normativa nacional. La gerencia de la Mina Huarón debe proveer los recursos como personal calificado, logística y disponibilidad financiera.

### **Acciones inmediatas**

- Reubicar el potenciómetro de pH hacia el canal antes de las pozas de sedimentación. Control de proceso en pH= 8.0 (0.2).
- Dosificación de floculante en 0.75 mg/L. Uso de mezcla 1:1 de Magnafloc 351

y MT-6506.

- Colocación de mallas en el canal que eviten el ingreso de partículas gruesas como pedazos de maderas y tubos a las pozas.
- Evaluación del circuito molienda-clasificación en la preparación de lechada de cal. Llevar granulometría de lechada de cal a aprox. 90% menos 38 micrones.
- Gestionar mejora en la calidad de cal abastecida.

### **Acciones a mediano plazo**

- Implementación del sistema de bombeo de floculante a 620 l/h que incluya línea de dilución de agua y rotámetro para controlar dilución.
- Implementar el sistema de bombeo de lodos previsto a través de bombas sumergibles. Evaluar velocidad de succión versus velocidad de sedimentación de partículas para no disturbar la cama de lodos.
- Aumentarla longitud del rebose habilitando canaletas de rebose para reducir la velocidad de arrastre de sólidos.
- Habilitación de una o dos pozas adicionales de sedimentación como stand by. Considerando que a flujos superiores a 400 l/h se operara con dos pozas en paralelo.
- Implementar la preparación y/o almacenamiento de lechada de cal en un área adyacente a la bocamina del Nv 250 para optimizar el control de pH, consumo de cal y evitar sedimentación de solidos a lo largo del canal del Nv 250.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Las aguas residuales: Composición**

#### **Concepto.**

Basados en nuestra investigación, podemos aseverar que las aguas residuales son cualquier tipo de agua que pierde su calidad al verse afectada negativamente por influencia antropogénica. En estas condiciones representa un peligro para el ser humano, porque contiene gran cantidad de sustancias nocivas y/o micro organismos. Debemos resaltar que las aguas residuales provienen de la mezcla de aguas domesticas e industriales.



De acuerdo con este concepto se incluyen aguas de diversos orígenes:

- **Las aguas negras o aguas residuales domésticas:** Este tipo de agua es el que estamos en contacto todos los días en nuestras viviendas, centros de trabajo que se encuentran contaminados con orina y sustancias fecales, las mismas que proceden de los desechos orgánicos de los humanos y de los animales.

Es importante aclarar que la denominación de aguas negras, se debe precisamente a la coloración que presenta, debido a la alta presencia de agentes tóxicos, contaminantes, sumamente nocivos para la salud pública.

- **Las aguas residuales blancas:** Toma esta denominación por ser principalmente de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo), o también aquellas aguas que se emplea para la limpieza de lugares públicos como calles, parques o riego. Cuando las precipitaciones atmosféricas son abundantes en algunos lugares, las aguas se separan y son evacuadas por separado para no saturar los sistemas de tratamiento o depuración.

- **Las aguas residuales industriales:** Estas aguas tienen su origen en los establecimientos industriales, también como procesamientos realizados en diversas fábricas, diferenciándose por su alto contenido de grasas, aceites, ácidos, detergentes, antibióticos, productos y subproductos de origen químico, mineral vegetal o animal. Con relación a su composición es extremadamente variable y depende principalmente de las diferentes actividades industriales.

- **Las aguas residuales agrícolas:** Se caracteriza por tener como procedencia las actividades agrícolas en las zonas rurales. Con referencia a su origen en las zonas urbanas, podemos indicar que estas aguas empleadas para riego agrícola pueden ser con o sin un tratamiento previo.

### **Detalle de la importancia ecológica y sanitaria**

La categoría de las aguas residuales, considerado como tal por su grado de acumulación de sustancias (muchas de ellas tóxicas) y también por la polución de micro organismos que portan, definitivamente son la causa y medio de contaminación, en algunos lugares donde son evacuados sin ningún manejo de tratamiento previo. Actualmente se puede aseverar que la contaminación, polución del agua, generalmente es provocada por el ser humano, que altera la calidad del líquido elemento, convirtiéndola en

peligrosa e impropia para el consumo del hombre, las actividades recreativas, la agricultura, la pesca, la industria, afectando también lo destinado para los animales domésticos, la vida y fauna natural.

De acuerdo a nuestros estudios podríamos asegurar que la polución sería una consecuencia ineludible del crecimiento poblacional y el desarrollo tecnológico.

Respaldando nuestro enfoque, podemos afirmar que esto es explicable, luego conforme aumenta el desarrollo de las poblaciones, se observa un incremento diverso de los agentes contaminantes que tienen como procedencia las actividades urbanas, industriales, agrícolas, que el hombre descuida por su poca cultura o capacitación en segregación, reciclado o destrucción en la magnitud suficiente. Entonces de esta forma, se satura o elimina el poder auto depurador del medio ambiente. La falta de control permite que estas sustancias adopten un comportamiento desconocido en los organismos vivos. Información de estudios de otros casos, evidencian que la contaminación ambiental por diversas sustancias, que aparentemente no estén en alta concentración en el medio, pero a las que el ser humano está expuesto durante largos períodos de tiempo, podemos mencionar que serían el origen de algunas enfermedades crónicas, siendo el cáncer el más temido.

**En la siguiente exposición, se relacionan los principales inconvenientes de las aguas residuales.**

El problema más antiguo de contaminación del agua son los compuestos orgánicos provenientes de los efluentes domésticos e industriales. Cuando se iniciaba el manejo técnico de las aguas residuales en un principio, se prestó mayor atención a los efectos de los residuos domésticos sobre los industriales, por el alto potencial de efectos dañinos que poseían los residuos humanos sobre la salud, comparados con la equivocada información de que los residuos industriales solo producían efectos indirectos. Con el avance de la tecnología fueron surgiendo nuevos compuestos químicos procedentes de las industrias, que obligo a prestar una mayor atención a los graves efectos de los residuos industriales sobre la salud y su creciente impacto en el medio ambiente. Clasificado en esta nueva gama de contaminantes podemos citar a los hidrocarburos, inmerso en ellos podemos mencionar los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos, clasificado dentro de los cancerígenos. Dentro de esta clasificación otro elemento importante son los

fenoles, que durante los procesos de cloración del agua estos reaccionan provocando acentuados problemas de olor y sabor del agua.

También se debe tener en cuenta los compuestos organometálicos cuyas sustancias derivadas del plomo, cadmio, estaño y mercurio, aun en pequeñas concentraciones en el medio ambiente, pueden afectar la cadena alimentaria, alcanzando concentraciones mucho mayores en los organismos

En el rubro de las industrias mineras podemos citar los compuestos inorgánicos y minerales como amonio, nitritos, sulfitos, sulfuros, fluoruros, cianuros. Así mismo están los metales pesados concentrados en la cadena alimenticia captados por peces y organismos filtradores, el fitoplancton que pueden afectar al hombre.

En la clasificación de los residuos industriales, particularmente el drenaje ácido de las minas alcanza el record de mayor daño ecológico, perjuicios para las fuentes de agua, corrosiones e incrementa los costos de tratamiento y distribución. (Arce, 2018).

### **Creciente impacto, acción sobre el entorno**

El incremento poblacional, también ha provocado un aumento en el vertido de aguas residuales en los cuerpos receptores como los ríos, lagos, mares que sumados a los problemas ecológicos y sanitarios antes mencionados produce otro tipo de contaminación denominado psicosocial, ya que afecta al entorno natural del hombre, alterando la estética paisajística y convirtiéndolo cada vez más inhóspito.

En determinados lugares donde se han vertido sustancias coloreadas al agua, por la actividad de algunas industrias, se ha observado un cambio del color de ésta, y que puede afectar a la penetración de la luz.

Existen en el planeta hermosas zonas turísticas, donde esta condición especial demanda mayor relevancia, considerando que su medio de vida es la afluencia y visita de personas, y deben de atender, prioritariamente, los criterios estéticos y sanitarios.

### **Proceso de recogida y conducción de las aguas residuales**

Considerado como elemento principal de los fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales para las grandes ciudades modernas, describiremos un tanto resumido el proceso de recogida y conducción de las

aguas residuales, observando que desde su origen hasta llegar a la planta de tratamiento se realiza la recogida y conducción a través de un sistema de alcantarillado y colectores.

Estos sistemas de recogida pueden ser de dos tipos:

- a) Sistemas de recogida y conducción separativa: asume el trabajo de dos canalizaciones distintas, una la sanitaria, para la captación de aguas residuales domésticas e industriales, y otra que captura y conduce las aguas superficiales y atmosféricas y que puede descargar directamente en los cursos de aguas naturales.
- b) Sistema de recogida y conducción unitario: Este es el sistema que mayormente se emplea, recogen y conducen a través de un mismo sistema de canalización los dos tipos de aguas residuales señalados. En el periodo de precipitaciones pluviales, surgen cambios significativos por el incremento de caudal, para lo cual las instalaciones deben contar con aliviaderos y bypass es. Como es razonable, cada sistema tiene ventajas como el caso del sistema unitario, que resulta más económico, pero tiene desventajas cuando se presenta un mayor caudal de agua como en las épocas de precipitación pluvial.

### **Estándar de calidad ambiental (ECA)**

En concordancia con los dispositivos del marco legal, es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. (OEFA, 2015).

### **2.2.2 Concepto de aguas acidas.**

Se originan mediante la oxidación química y biológica de sulfuros metálicos, principalmente de la pirrotita o pirita, que pueden encontrarse formando parte de basureros municipales, relaveras, desmonteras. En las zonas mineras se producen cuando las rocas conteniendo sulfuros están expuestas al medio ambiente, en la que se nota presencia de agua, aire, factores climatológicos.

#### **CARACTERISTICAS QUE PRESENTAN LAS AGUAS ACIDAS**

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5
- Acides creciente y alcalinidad decreciente

- Elevadas concentraciones de sulfato
- Elevadas concentraciones de metales (totales o disueltos)
- Elevadas concentraciones de sólidos totales disueltos.

### **Análisis de las fuentes principales en los procesos de Generación de aguas ácidas.**

Generalmente las aguas ácidas pueden presentarse de forma natural o como un fenómeno en cualquier yacimiento mineral, principalmente si es pórfido cuprífero donde se puede ubicar fácilmente la pirita, gravitante presencia de oxígeno, aporte de humedad en la atmósfera, flujo suficiente de agua para transportar los productos de oxidación. Bajo estas condiciones la velocidad de reacción para la formación de las aguas ácidas depende de otras variables, como: pH y temperatura del agua y ambiente, el tipo de mineral sulfuroso y extensión superficial expuesta, el grado de concentración de oxígeno, intervención de agentes catalíticos y la considerable actividad química del hierro férrico, suficiente energía para la actividad química requerida que propicie la reacción, importante presencia de *Thiobacillus ferrooxidans* u otras bacterias, que también actúan como catalizadoras.

Las condiciones climatológicas juegan un papel determinante en la generación de aguas ácidas, que muestra fluctuaciones estrechamente ligadas a los ciclos de lluvias. Nuestros estudios sobre el comportamiento de las aguas ácidas permite aseverar que un descenso del pH del agua origina las siguientes consecuencias: el agua se hace fuertemente corrosiva, peligrosamente aumenta la solubilidad de muchos metales pesados, consecuentemente las aguas llegan a ser tóxicas, transformando el ecosistema fluvial que se degrada, restando la posibilidad de mantener muchas formas de vida acuática, y todos los sistemas acuíferos del entorno se contaminan. Por otro lado cuando, por causas naturales o provocadas, se eleva el pH del agua se inicia la precipitación de metales pesados.

### **Estableciendo la gestión preventiva en la formación de aguas ácidas**

Toda actividad productiva, en la etapa de planeamiento analiza y establece controles preventivos que eviten los riesgos de impacto ambiental a las aguas, suelos, aire. Concretamente para el caso de la formación de aguas ácidas, se plantean métodos preventivos que permitan la minimización, eliminación de

los principales elementos generadores como sulfuros, oxígeno, humedad, contando con los siguientes recursos:

- Construcción de canales de coronación perimetrales, túneles de desagüe.
- Segregación y depósito de materiales potencialmente acidificadores.
- Impermeabilización de cauces, canalización.
- Soporte de asesores expertos en estas materias.

Adicionaremos otro grupo de importantes medidas preventivas

Habiendo analizado el riesgo de generación de aguas ácidas, primeramente, pensamos en eliminar, caso contrario minimizamos su aparición, sin embargo, también deberíamos considerar los siguientes criterios para el diseño y gestión del riesgo:

- Planificación técnica de todas las actividades, priorizando la prevención y minimización de los generadores de aguas ácidas
- Encontrar posibles efluentes tanto sistemáticos como accidentales, para evitar que causen efectos en el medio.
- Señalizar los posibles focos generadores de contaminación, los puntos de vertido, caudales y concentraciones.
- Priorizar la construcción de diques, barreras.
- Todo efluente aislar del entorno en el menor tiempo posible.
- Establecer un permanente control de la red hidráulica del entorno.
- Producido las aguas ácidas, aplicar los métodos de tratamiento.
- Si el medio fue impactado, regenerar inmediatamente.

Por lo general la prevención de la contaminación, como consecuencia de las actividades mineras, guarda estrecha relación con los métodos de explotación, el aporte de aguas (subterráneas, superficiales) y el tratamiento de estas.

### **Posibilidad del tratamiento in situ**

En prevención de la contaminación, de toda actividad minera aperturada, lo ideal podría ser proceder en el menor tiempo posible a la estabilización, impermeabilización y rehabilitación in situ, de los depósitos en riesgo inminente de causar estos efluentes, de esta forma se evitaría su manipulación; transporte; punto

importante es que no se afectaría ambientalmente a otras áreas; y se recuperarían áreas degradadas.

### **2.2.3. Enfoque de la disponibilidad del agua**

A nivel mundial el agua es reconocida como uno de los recursos más importantes para el avance y desarrollo de la sociedad, por lo que requiere de una gestión con tecnología avanzada para administrar su uso racional, condición sumamente importante para lograr un pleno bienestar. Por esta razón, es básicamente importante cuantificar la disponibilidad del recurso hídrico para establecer estrategias y políticas públicas de este bien preciado. A nivel nacional es primordial fomentar el uso eficiente del agua, esto permitirá su acceso de manera sostenible, evitando así la generación no deseada de aguas residuales que actualmente se disponen a los cuerpos naturales de agua o se reúsan para fines agrícolas sin el previo tratamiento. (Fernández, 2008).

Bajo ese contexto, por razones estrictamente de salud pública y también por consideraciones de carácter ambiental, económicas y sociales, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales, no se debería eliminar de forma directa a las fuentes naturales o reusarlas con fines agrícolas. El marco legal indica que es una obligación de quien lo genera, asumir los costos que representa su tratamiento previo. Lamentablemente la falta de una cultura para el manejo de las aguas residuales generadas a nivel nacional no son tratadas, vertiéndose directamente a los cauces naturales continentales, al mar o a falta de agua superficial se toman para usarlas con fines agrícolas. Resulta penoso reconocer que sólo una pequeña fracción de estas aguas recibe algún tratamiento previo, antes de su evacuación.

La FAO ubica al Perú entre los 17 países más ricos del mundo privilegiado por su cuantiosa oferta hídrica, indicando que dispone de un volumen anual promedio de 2 046 287 MMC de agua, con 72,510 metros cúbicos/habitante/año; no obstante, su orografía define tres vertientes hidrográficas que desequilibran su distribución espacial, concentrando el 97,7% del volumen en la vertiente del Atlántico, en donde se asienta el 26% de la población que produce el 17,6% del PBI; el 0,5% se encuentra en la vertiente del Titicaca, en donde se asienta el 4% de la población y produce el 2% del PBI y; el 1,8% restante se encuentra en la vertiente del Pacífico,

en donde paradójicamente se concentra el 65% de la población que produce el 80,4% del PBI.

En la gestión del agua a través de sus correspondientes Ministerios los sectores que intervienen a nivel nacional, son: Salud (calidad del agua para la salud); Vivienda Construcción y Saneamiento (aprovechamiento domestico); Agricultura (aprovechamiento y protección); Comercio Exterior y Turismo (aguas termales); Energía y Minas (aprovechamiento energético y operaciones minero-metalúrgicos); Producción (aprovechamiento industrial y acuícola); Ambiente (política ambiental, regulación e información hidrometeorológica).

#### **2.2.4 Empleo del agua en las actividades productivas y poblacionales**

Se puede concebir que se tiene la percepción de la magnitud y distribución espacial del uso del agua que permite ordenar, planificar y mejorar los recursos hídricos del país. Las entidades gubernamentales han elaborado inventarios y estudios básicos, como aquellos realizados por la ex ONERN en 1984 y la Dirección General de Aguas y Suelos en 1992, en estos estudios se establece que el consumo nacional de agua está constituido por el aprovechamiento consuntivo que alcanza los 20.072MMC/año, comprendido por un alto margen del sector agrícola con el 80%, industrial y poblacional con el 18% y el sector minero con el 2% restante; mientras que el aprovechamiento no consuntivo alcanza los 11.139MMC/año, constituido por el sector energético. (ANA, 2011).

#### **Consumo de agua poblacional:**

Como consecuencia del consumo de agua poblacional, los servicios de saneamiento en el ámbito urbano son proporcionados por cincuenta y cuatro (54) EPS que cubren ciento catorce (114) de las ciento noventa y cuatro (194) provincias del país, destacando SEDAPAL que provee el servicio en Lima Metropolitana y el Callao donde el 89% de la población urbana tiene acceso al servicio de agua potable y el 84% al servicio de desagüe. Una condición diferente se presenta en el ámbito rural, representado por poblaciones menores a 2 000 habitantes, donde los servicios son proporcionados por las Juntas Administradoras quienes cubren parcialmente los



costos del servicio mediante una contribución mensual. Reciente información indica que la cobertura de los servicios de agua potable a nivel nacional es del 76 % y en alcantarillado de 57%. Los últimos estudios permiten dar a conocer que, en el uso poblacional, las bajas eficiencias se dan a nivel de las redes de agua potable y a nivel del usuario individual. Las inspecciones realizadas a nivel industrial, empresarial, han detectado que las pérdidas de agua potable son del 43%, indicador que reduce la disponibilidad del recurso para atender a un mayor número de pobladores; contrariamente a nivel individual muy por encima respecto a consumos similares en la región, el consumo per cápita promedio nacional se sitúa en 291 litros/hab-día (incluye consumo humano, jardines, industrias y pérdidas). También se pudo observar otras causas como el bajo porcentaje de micro medición que llega al 54% y la poca cultura sobre el valor económico del agua a nivel nacional. Por otro lado, la gestión empresarial ineficiente de las EPS municipales se refleja en los resultados operativos y la baja calidad del servicio. El gobierno central, regional y local deberían preocuparse por mejorar las coberturas de agua potable y alcantarillado en el ámbito rural que aún son bajas, alrededor del 62% y 30% respectivamente y el tratamiento de las aguas residuales alcanza solo a un 22% a nivel nacional, indicadores de alto riesgo que inciden directamente en las altas tasas de mortalidad infantil y acentúan las enfermedades estomacales en particular de la población rural.

### **Empleo del agua en el sector Minero:**

Perú como país inminentemente minero, refiere que a partir de la década de los 80 esta actividad ha retomado un nuevo impulso, propiciado por las mejoras en la demanda y precio de los minerales, constituyendo el agua un recurso que se usa en el orden de los 206,7 MMC anuales, de los cuales el 73% son usados en la vertiente del Pacífico, el 26% en la vertiente del Atlántico y solo el 1% en la vertiente del Titicaca. Esta distribución generada por acción de la naturaleza, se ha constituido en un factor preocupante de la gestión del agua en las cuencas, no por el volumen de demanda, que es relativamente pequeño 2%, sino por el alto riesgo de contaminación de los cuerpos receptores por el vertimiento de aguas resultantes del procesamiento de los minerales. El riesgo se incrementa por la proliferación de la minería artesanal e informal, sumado a las malas prácticas de antiguas minas, hoy convertidas en pasivos ambientales.

### **Disponibilidad del agua en la actividad industrial:**

De acuerdo a nuestras investigaciones, la demanda de agua es un factor cada vez más crítico, llegando a ser decisivo para aquellas actividades que consumen grandes volúmenes de este recurso. Existe una información que data de 1988, que describe la disponibilidad hídrica generada por acción de la naturaleza en la vertiente del Titicaca al 1% con 3 MMC, la vertiente del Pacífico abastecía al 92% de la industria nacional con 1103 MMC anuales y la vertiente del Atlántico al 7% con 49 MMC. Precisamente en la vertiente del pacifico están instaladas las industrias generadoras de efluentes industriales que elaboran: bebidas, alimentos, textil, papel, curtiembres y refinerías de petróleo. Estas industrias son las que requieren más agua, son las que más contaminan, pero no cuentan con autorizaciones de vertimiento vigentes del sector industrial. Generalmente los vertidos industriales se realizan sin tratamiento directamente a las fuentes de agua o al alcantarillado de uso poblacional.

### **2.2.5 Panorama actual de las aguas residuales generadas de las actividades productivas y poblacionales**

Como consecuencia del crecimiento acelerado de la población, la peligrosa e irresponsable contaminación de las fuentes naturales de agua superficial y subterránea, la desmedida extracción de la capa freática para fines agrícolas en la costa, la desproporcionada distribución espacial del recurso hídrico y los prolongados períodos de estiaje, vienen forzando la necesidad de propuestas innovadoras como fuentes alternativas para el abastecimiento de agua. Ante esta imperiosa necesidad surge como posible alternativa de solución, el tratamiento y empleo de las aguas residuales para atender la demanda del recurso hídrico. (Fernández, 2008).

Las aguas tratadas servirían para proveer el abastecimiento de agua con un amplio rango de propósitos poblacionales, industriales, agrícolas y recreativos; el soporte de tecnología actualizada para el tratamiento planificado y controlado de grandes volúmenes de agua residual, se constituye en fuente alternativa. En un futuro cercano el efluente de las plantas de tratamiento, puede generar ingresos para el municipio que trata el agua y también conservar los escasos recursos hídricos, principalmente de las zonas áridas de la vertiente del Pacífico.

Reciente información alerta que actualmente alrededor de 40 m<sup>3</sup>/s de agua residual sin tratamiento, es vertido a fuentes superficiales y cerca de 4 000 hectáreas de tierras agrícolas son regadas con dichas aguas.

Basados en los estándares de calidad del agua (ECA), el agua residual tratada puede reutilizarse en actividades que no requieren de la calidad de agua potable, constituyendo un valioso recurso que podría reemplazar un importante volumen de agua de primer uso. Entonces el impacto positivo de dicho tratamiento incidirá principalmente en la reducción de los riesgos para la salud pública, la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación; la conservación original de la calidad de las aguas en las fuentes naturales superficiales y subterráneas y un mejor aprovechamiento por su disponibilidad continua. A nivel de los gobiernos municipales es evidente la ausencia de una gestión con soporte técnico actualizado que permita el manejo de las aguas residuales que en la condición actual generan volúmenes considerables de infiltración, con el peligro de contaminar los acuíferos que se utilicen para el abastecimiento de agua potable en las ciudades, constituyéndose en una fuente difusa de contaminación continua. De acuerdo a los informes revisados en el Perú, a fines de 2007, existe una estadística que detalla que el 63,6% de la población urbana total tuvo servicio de alcantarillado administrado por empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS); el componente poblacional restante fue administrado directamente por las municipalidades o a través de operadores especializados (OES) en pequeñas ciudades, comités de agua o simplemente carecen de dicho servicio.

La información que se disponía indica que durante ese año los sistemas de alcantarillado recolectaron aproximadamente 747,3 millones de metros cúbicos de aguas residuales, como producto de las descargas de los usuarios conectados al servicio<sup>1</sup>. Consecuentemente de todo ese volumen, sólo 29,1% ingresaron a un sistema de tratamiento de aguas residuales, observándose procesos muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento, y el resto se descargó directamente a un cuerpo receptor de agua (mar, ríos o lagos), otro porcentaje de agua residual se infiltró en el suelo o se usó clandestinamente para fines agrícolas. De todo este componente, al menos 530,0 millones de metros cúbicos de aguas

residuales pasaron a contaminar los cuerpos de agua superficial que se utiliza para la agricultura, pesca, recreación e incluso para el abastecimiento de agua potable.

Como parte de nuestro análisis podemos mencionar que, en el país, de un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), rescatables de este proceso, pocos son los proyectos que puedan llamarse exitosos. Encontramos varias causales de las cuales solo trataremos los más sobresalientes, primeramente, surge la visión sesgada de las EPS que no llega a descubrir el potencial socio económico de las aguas residuales tratadas, en segunda instancia adolece de un buen soporte técnico, sumado a ello una ausencia cultural de protección al medio ambiente como parte de la misión de las EPS. La misma información que disponemos menciona que las inversiones en construcción de PTAR en las EPS del Perú se estiman en US\$369 millones de dólares americanos, inversión que fue colocado por diversos gobiernos para prevenir o minimizar los efectos de los contaminantes de las aguas residuales crudas y conservar el ambiente humano y natural. La falta de una calificada administración de las inversiones, deficiente operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, la falta de personal técnico calificado no permitió detectar fallas de diseño, finalmente la sumatoria de todas estas anomalías impide lograr estos objetivos en 67 ecosistemas de igual número de cuerpos receptores, poniendo en riesgo la salud pública por el riego sin control de 61 áreas de cultivo y 12 áreas verdes recreativas.

Sabemos por definición que las aguas residuales, tienen en su composición materias orgánicas e inorgánicas que sin tratamiento previo constituyen un elevado riesgo para la salud pública y para el ambiente.

En la población poco precavida la ingesta de agua proveniente de fuentes contaminadas, así mismo por el consumo crudo de alimentos de tallo bajo o de tallo alto regados con aguas residuales insuficientemente tratadas, obviando las debidas restricciones, constituyen un elevado riesgo de infección parasítica (giardiasis, amebiasis, teniasis, ascariasis), vírica (hepatitis, diarreas por rotavirus) y bacteriana (cólera, tifoidea, EDAS en general) (Informe de País Perú, 2011).

### **2.2.6. Empleo de métodos o tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica.**

Los siguientes enfoques plantean soluciones al problema de las aguas residuales:

- Prevenir mediante un plan de gestión, la formación de aguas residuales
- Minimizar o disminuir la producción de aguas residuales: Podemos citar un caso concreto cuando se construyen los canales/ cunetas de coronación y de escorrentías para proteger las desmonteras, las laderas y los taludes que conforman el relieve topográfico, precisamente para captar las aguas de escorrentía en las épocas de lluvia y direccionarlas a los canales de drenaje, construidos en la base de las desmonteras.
- Las concentraciones de aguas residuales producidas deben ser tratadas para disminuir o eliminar su grado de contaminación.

Tratamiento que requiere las aguas residuales:

- Cuando las concentraciones de sólidos suspendidos rebasan la norma.
- Cuando el indicador pH está por debajo o por encima de los LMP norma.
- Si observamos altas concentraciones de metales disueltos como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros.
- Presencia de reactivos químicos del proceso como cianuro, cromo y otros.
- Posible carga bacteriológica de los efluentes domésticos (coliformes termotolerantes)
- Por defecto, demanda bioquímica de oxígeno-DBO, demanda química de oxígeno-DQO, etc.

Para el tratamiento de aguas residuales provenientes de las actividades minero metalúrgicas se aplican tecnologías disponibles basadas en eliminar los contaminantes, en función al estado en que se encuentran los contaminantes en las aguas residuales. La presencia de los contaminantes puede estar como: sólidos suspendidos, sólidos disueltos, como coloides. Debemos mencionar que muchas de las tecnologías conocidas no son exclusivas, sino que se combinan para obtener un mejor tratamiento; por ejemplo, para eliminar los sólidos disueltos y los coloides, primero se les precipita como sólidos suspendidos y luego se aplica tecnologías de eliminación de sólidos suspendidos (Rubio, 2007 Brasil).

**Para elegir un determinado proceso técnico económico que permita tratar las aguas residuales, se debe tener en cuenta lo siguiente:**

- Considerar el volumen a tratar de las aguas residuales
- Analizar la concentración de los elementos contaminantes
- Determinar la calidad del efluente deseado
- Marco legal que garantice la disponibilidad de las técnicas de tratamiento y los costos asociados a dichas técnicas.

Indudablemente tomar una decisión que sea favorable es complicada, por nuestra poca experiencia en la gestión para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo a fin de contar con una visión amplia de estos procesos, seguidamente veremos una descripción de los procedimientos disponibles para el tratamiento de aguas residuales, considerando los más empleados hasta algunos que están en etapa de experimentación.

**En la industria minero-metalúrgica, para el caso de tratamiento de las aguas residuales se cuenta con los siguientes procesos:**

- a) Proceso de separación sólida –líquido
- b) Proceso de sedimentación o decantación

**El proceso de sedimentación o decantación** consiste en la eliminación de los sólidos suspendidos en un líquido, por asentamiento gravitacional, lográndose la deposición de los sólidos en el fondo del recipiente. En este proceso para que haga efecto la sedimentación, la velocidad del agua debe ser igual a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad, entonces el tiempo de retención debe ser mayor en el depósito de sedimentación.

Es importante mencionar que la velocidad de asentamiento de las partículas es determinada por: su tamaño, su forma y su densidad, además por la naturaleza del líquido en el cual se encuentran las partículas.

Los equipos donde se efectúa la sedimentación se denominan sedimentadores o clarificadores, existiendo variedades como: los sedimentadores simples, las unidades de contacto de sólidos y los sedimentadores de placas inclinadas.

**Proceso de coagulación/floculación:**

Es un procedimiento en el que, para precipitar los sólidos, se emplean los procesos de coagulación y de floculación que se encuentran suspendidos en el líquido. Es necesario indicar que en este caso se trata de partículas muy pequeñas que no se asientan por la gravedad y que tienen cargas eléctricas del mismo signo, que las mantienen repelidas eléctricamente y se denominan coloides.

**Descripción de Coloides:** Son materia de tamaño de partículas muy finas, por lo general por debajo de 10 micras (0.01 cm de diámetro). La característica principal es que los coloides están dotados de carga eléctrica del mismo signo, por lo mismo los mantiene separados. Debemos considerar que la magnitud de la carga de los coloides se mide en mili voltios y se expresa como potencial zeta. La lectura de la medida del potencial zeta es un importante parámetro para controlar la dosis de coagulantes en las plantas de tratamiento de aguas.

**Durante la coagulación** se realiza el proceso de desestabilización (neutralización) de las cargas de los coloides permitiendo neutralizar las cargas eléctricas que las mantienen repelidas (separadas). Este propósito se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado por corto tiempo (menos de un minuto), para destruir la estabilidad del sistema coloidal y provocar la colisión (choque) de las partículas entre sí, buscando que se aglomeren formando pequeños flóculos.

Es importante considerar que los cambios de temperatura durante las estaciones, o aún durante el día, altera el proceso de coagulación, debiendo tomar precauciones durante las etapas de baja temperatura.

**El proceso de la floculación** se aplica a partir de los flóculos iniciales de menor tamaño, tendientes a precipitarse/asentarse, durante la etapa de formación de flóculos de mayor tamaño. Para lograr este objetivo se añade productos químicos denominados floculantes, proceso que tiene como finalidad reunir a las partículas floculadas en una red, estableciendo puentes de una superficie a otra, procurando enlazar las partículas floculadas en aglomerados. Este nuevo componente de aglomerados tiene el peso y el tamaño suficiente para ser separados por precipitación/asentamiento en sedimentadores. El proceso de floculación es favorecido por una velocidad de mezclado lento; contrariamente un mezclado demasiado intenso rompe los flóculos, los mismos que después de romperse raramente llegan a juntarse nuevamente.

**Los productos químicos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico** son de uso más común, mayormente actúan ambos como coagulantes y floculantes a la vez. En el mercado existen una gran variedad de productos sintéticos, que tienen la función de coagulantes, floculantes o ambas. Ante la presencia de aguas con gran cantidad de coloides, es posible usar productos químicos conocidos como polielectrolitos.

### **Método de espesamiento**

Se describe como un método de separación sólido/líquido utilizado para incrementar el contenido de sólidos en un lodo, previo al desecamiento o disposición final. Generalmente el espesamiento es una etapa posterior a la sedimentación y se puede lograr por dos métodos:

**Método de espesamiento por gravedad:** se logra cuando la gravedad específica de los sólidos es mayor que la de los líquidos. El proceso se lleva a cabo en tanques con rastrillos mecánicos, diseñados para la descarga de lodos por la parte inferior. El trabajo de los floculantes (por lo general polielectrolitos) ayudan al espesamiento por gravedad, propiciando que se formen flósculos más pesados que se precipitan/asientan rápidamente formando lodos densos.

**Método de espesamiento por flotación:** se lleva a cabo cuando la gravedad específica de los lodos que se desean espesar es cercana o menor a la del líquido, elemento del cual deben ser separados, y resulta efectivo. El proceso de flotación utiliza aire en forma de burbujas, a fin de incrementar la flotabilidad de las partículas sólidas, permitiendo que se eleven a la superficie y se concentren. Como otras alternativas también utilizan otros productos químicos como auxiliares de la flotación, citando dentro de ellos el cloruro férrico, cal y polielectrolitos. Durante el proceso un espesador por flotación, ocupa por lo general, casi un tercio o menos del espacio que requiere un espesador por gravedad.

### **Proceso de filtración**

Este proceso consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa, condición que se logra al pasar a través de un medio poroso. Se realiza este trabajo cuando se quiere obtener un efluente con baja cantidad



de sólidos suspendidos o baja turbidez (menor a 1 NTU), que no es posible conseguir con sólo la sedimentación.

### **El proceso de filtración se puede realizar:**

**En medio granular:** Este proceso es aplicable en la eliminación de sólidos suspendidos en aguas con contenidos entre 5 y 50 mg/l, sobre todo cuando se requiere un efluente con baja turbidez o baja cantidad de sólidos suspendidos (menor a 1 NTU). Se emplea arena como medio filtrante, usándose también la antracita triturada. Cuando queremos mejorar el proceso de filtración, muchas veces se usan lechos de filtración de dos capas: una de arena y otra de antracita, que permiten jornadas de filtración más prolongadas a mayores velocidades de filtración.

### **Los procesos de filtración a través de membranas: se puede realizar:**

**Proceso de filtración por vacío:** En esta etapa los filtros al vacío son normalmente tambores cilíndricos perforados, que giran en una tina que contiene la solución que quiere filtrarse. Durante el proceso el principio de vacío se aplica al interior y la separación sólido líquido se efectúa extrayendo precisamente el líquido a través del medio filtrante, de esta forma se va acumulando los sólidos sobre la membrana (filtro) para que sean colectados por separado.

**Proceso a través de filtros prensa:** En este proceso los filtros de prensa operan a presiones entre 100 a 250 lb/pulg<sup>2</sup> y están provistos de placas verticales, suspendidas por marcos. Se conduce el agua a través del medio filtrante y los sólidos se impregnan o colectan en la superficie del filtro. Esta operación se maneja de forma discontinua, condicionando para permitir la descarga de los sólidos en el momento que la velocidad de filtración disminuye.

### **Método de neutralización**

El proceso de la acidez puede ser neutralizada por la adición de agentes alcalinos, precisamente cuando las aguas de la industria minero-metalúrgica son ácidas.

Para lograr tal efecto los agentes alcalinos más empleados son: cal hidratada, cal viva, caliza en polvo, piedra caliza, hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de

amonio, etc. La elección de alguno de estos materiales estará primeramente condicionada por su poder neutralizante y en segundo lugar por su costo.

La revisión de los informes advierte que cuando se usa caliza en polvo o piedra caliza, se debe considerar que sólo se puede elevar el pH hasta 5.5, elemento que al combinarse con el agua forma ácido carbónico, precisamente debido a que la caliza libera anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Por esta razón, sólo se emplea como una primera etapa de neutralización, que debe continuar de una separación de lodos que permitirá usar otro agente alcalino, si se requiere de un pH más alto.

### **Método de Oxidación bioquímica**

Este proceso se emplea para tratar la oxidación de impurezas inorgánicas como hierro o manganeso, como también para la remoción de gases disueltos (anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico, etc.). Ejerce una gran ayuda en las reacciones de precipitación y/o neutralización.

La tecnología de la aireación se efectúa en tanques con una profundidad de 3.0 a 4.5 metros, donde la transferencia de aire se realiza mediante difusores o por agitadores mecánicos.

### **Método de precipitación química**

Esta técnica se emplea cuando los elementos o compuestos químicos que pueden contaminar las aguas se encuentran disueltos, la opción de poder separarlos o removerlos del agua, es a través de la precipitación química, que permite convertir a los elementos o compuestos solubles en compuestos insolubles, para finalmente quedar como sólidos suspendidos. Consecuentemente después de la precipitación los sólidos suspendidos tienden a ser removidos directamente por sedimentación o por coagulación -floculación y posterior sedimentación, o mediante el empleo de clarificadores/espesadores, permitiendo la separación de los lodos.

Continuando con el proceso de precipitación química, en el caso de los elementos metálicos, los compuestos que se trata de formar son hidróxidos o sulfuros, caracterizados por ser compuestos que presentan bajas solubilidades.

**Método de precipitación como hidróxidos:** La condición de este método es que, para remover los iones metálicos solubles en el agua, se debe precipitar el ion

metálico como hidróxido metálico. Al elevar el nivel de pH de la solución los iones de metales pesados solubles precipitan fácilmente, formando el compuesto requerido de hidróxido de metal, condición que permite que los compuestos metálicos en solución se transformen en compuestos insolubles y permitan ser precipitados en la solución. Durante este proceso, para facilitar la formación de hidróxidos de los metales disueltos se requiere un agente alcalino que permita alcanzar un pH alto, precisamente como el caso del hidróxido de calcio (lechada de cal), hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de potasio y los demás hidróxidos de metales alcalinos o alcalino-térreos.

**Técnicamente la cal se usa en forma de lechada para permitir un buen control del pH final requerido**, alcanzándose niveles de pH mayores a 10, condición en el cual precipitan todos los metales pesados. Un análisis puntual del pH de precipitación teórico es diferente para cada metal, durante el desarrollo del proceso para asegurar la precipitación de todos los metales pesados, necesitamos en la práctica pHs entre 9.0 y 10.5, obteniéndose concentraciones de dichos metales, por debajo de los Límites Máximo Permisibles.

**Tecnología para los casos del hierro ferroso y el cromo hexavalente**, basados en nuestra investigación podemos recomendar que muchas veces es necesario previamente convertirlos a hierro férrico y cromo trivalente, antes de precipitarlos, ya que en estos últimos estados son mucho menos solubles. Para la conversión a hierro férrico se puede emplear cloro, aireación o permanganato de potasio, y para la conversión a cromo trivalente se puede usar anhídrido sulfuroso o bisulfito de sodio. En el proceso de precipitación química, una de las desventajas del uso de la cal es el alto volumen de lodos formados y la baja densidad de estos, sin embargo, su mayor ventaja comparativa es su menor costo.

**Comparativamente en el caso de los hidróxidos de sodio** o amonio, la ventaja sería la poca formación de sólidos, pero su mayor costo es una gran desventaja. En todo proceso de tratamiento, indudablemente la elección del agente alcalino a usar estará en función del costo de operación, uso de cada uno de ellos y las facilidades de adquisición.

## **Tecnologías de concentración de minerales**

En toda planta de beneficio (concentradoras) las menas de los metales no ferrosos son sometidas a diversos procesos, condición que permite eliminar la mayor parte del material no valioso, con el objetivo de producir un concentrado con valor comercial.

### **2.2.7. Detalle de las aguas de minas**

Dentro de la caracterización de las aguas de minas debemos considerar que sólo son fuentes potenciales de generación de aguas residuales, (GMI; Perú 2005) [6] sí están acompañadas de:

- Si en el análisis indica concentraciones de sólidos suspendidos por encima de los Límites Máximo Permisibles.
- Cuando el indicador pH está por debajo o por encima de las normas.
- Cuando en el muestreo analizado se observa altas concentraciones de metales disueltos: plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros.
- Igualmente, cuando las muestras analizadas indican altas concentraciones de metales totales: cobre, plomo, hierro, zinc, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros.

Con la lectura de las muestras analizadas, tomando cualquiera de estos casos, todas las aguas de minas necesitarán un proceso de tratamiento, mucho antes de ser vertidas al ambiente.

### **2.2.8 Importante caracterización de aguas de mina.**

El estudio de la caracterización del fenómeno de formación de las aguas acidas lo realiza la geoquímica, que analiza los diversos procesos biológicos, físicos y químicos que juegan un papel importante en la producción, liberación, movilidad y atenuación de los contaminantes, además comprende una serie de procesos, como: la oxidación de la pirita y otros sulfuros; la oxidación e hidrólisis del hierro disuelto y otros metales; este estudio también analiza la capacidad neutralizadora de la ganga, mineral y roca encajonante; se mide igualmente la capacidad neutralizadora de las aguas bicarbonatadas; el análisis enfatiza la disponibilidad de oxígeno; ubica la disponibilidad de agua líquida o en forma vapor; observa

también la influencia de las variaciones climáticas (diarias, estacionales); permite la localización de zonas permeables en relación con las vías de flujo; detecta la formación de eflorescencias y su redisolución; efectúa un análisis puntual del calentamiento por conducción y radiación del calor generado en diversas reacciones exotérmicas (oxidación de la pirita, disolución de sales solubles y la dilución de un ácido concentrado); mide la temperatura; por otro lado analiza la acción de catálisis de las bacterias; el fenómeno la adsorción microbiana de metales; la capacidad de precipitación y disolución de minerales durante el transporte; el potencial de adsorción y desorción de metales durante el transporte; el proceso de foto reducción del hierro; analiza el proceso de formación de complejos orgánicos y los procesos micro ambientales sobre superficies o entorno a organismos.

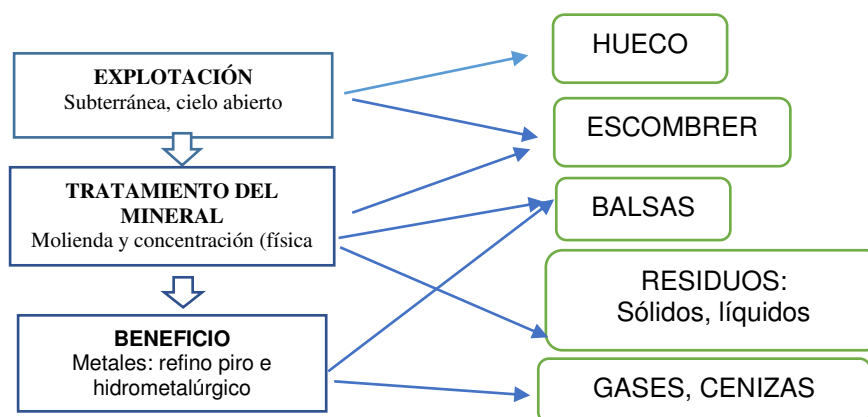


Figura. 1. Fuentes de generación de residuos y drenajes ácidos.

Concretamente la actividad minera genera enormes volúmenes de materiales y residuos que se depositan en presas y escombreras y, excavaciones que dejaron grandes huecos que albergaron los minerales extraídos o que sirvieron de accesos y servicios como ventilación y desagüe. En estos lugares se generan residuos con alto potencial de lixiviación que en contacto con el aire y agua pueden generar aguas ácidas. (Aduvire, 2006).

### 2.2.9 Breve diagnóstico situacional del tratamiento de aguas residuales en las EPS

#### NORMA OS. 090 Plantas de tratamiento de aguas residuales

Objetivos: La finalidad de este dispositivo es Normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles que lo componen.

Alcance: El alcance de la presente norma guarda relación con las instalaciones que requieren una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los diferentes procesos que deben cumplir antes de su descarga al cuerpo receptor o su posible reutilización. (Norma OS. 090, 2008)

### **Principales disposiciones generales**

**Objeto del tratamiento:** Los procesos de tratamiento de las aguas residuales tiene por objetivo mejorar la calidad de las aguas residuales a fin de cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o en otro caso para su reutilización o su disposición final.

### **Orientación básica para el diseño:**

La norma recomienda como requisito fundamental el estudio del cuerpo receptor, antes de elaborar el diseño preliminar. El grado de tratamiento se determinará de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor, considerando las condiciones más favorables. Establecido el grado de tratamiento requerido, el diseño puede proceder de acuerdo a las siguientes etapas:

El estudio de factibilidad: que tiene los siguientes componentes:

- . Caracterización de las aguas domésticas, residuales, industriales.
- . Información básica (Geología, Geotecnia, Hidrología, Topografía).
- . Determinación de los caudales actuales y futuros.
- . Aportes per cápita actual y futura.
- . Selección de los procesos de tratamiento.
- . Pre dimensionamiento de alternativas de tratamiento.
- . Evaluación de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres.
- . Factibilidad técnico-económica de las alternativas y selección de la más favorable.

De acuerdo al tamaño e importancia del sistema de tratamiento, deberá considerarse infraestructura complementaria. Toda planta de tratamiento debe contar con un cerco perimétrico y medidas de seguridad. , igualmente se debe implementar estructuras complementarias como: casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, vivienda del operador. Las infraestructuras mencionadas serán obligatorias para aquellos sistemas de tratamiento diseñados para una población igual o mayor de 25000 habitantes y

otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia. (Norma OS 090,2009).

### **Importantes Normas para los estudios de factibilidad**

De acuerdo a las normas vigentes se dictaminó para todas las ciudades con sistema de alcantarillado, los estudios de factibilidad técnico-económica como obligatorios.

La norma refiere que para obtener la caracterización de aguas residuales domésticas se realizara para cada descarga importante, cinco campañas de medición y muestreo horario de 24 horas de duración y se determinara el caudal y temperatura en el campo

En las muestras compuestas se determinará como mínimo los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20°C; demanda química de oxígeno (DQO); coliformes fecales y totales; también parásitos (principalmente nematodos intestinales); sólidos totales y en suspensión incluidos el componente volátil; nitrógeno amoniacal y orgánico; y sólidos sedimentables. Estos datos son de vital importancia para el diseño de la planta, así como la determinación del caudal tomando en consideración las características que presenta la norma. Con toda la información se determinará el diseño de la PTAR, tomando en cuenta condiciones actuales, intermedias y futuras. La norma refiere que en ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento. Bajo esta premisa el tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga, sin duda deberá ser el tratamiento primario. Igual se dará especial consideración a la remoción de parásitos intestinales, en caso de requerirse.

### **Fundamentales Normas para los estudios de ingeniería básica**

Uno de los principales propósitos de los estudios de ingeniería básica, es desarrollar información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se puedan realizar en este nivel se encuentran, estudios adicionales de caracterización de aguas residuales, estudios geotécnicos y geológicos para diseños de cimentación de plantas, mecánica de suelos para diseño de lagunas de estabilización.

### **Proceso de tratamiento de lodos**

Mediante los estudios de ingeniería básica, en la etapa de concepción del proyecto se procederá al diseño de instalaciones que permita el tratamiento de lodos, se realizará un primer cálculo de la producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, considerando el caudal y las concentraciones medias, así como las temperaturas correspondientes al mes más frío. Paralelamente la digestión anaerobia es un proceso complementario de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, notable reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. Por otro lado, las lagunas de lodos pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos digeridos. Durante el proceso veremos que los lodos estabilizados contienen nutrientes que pueden ser aprovechados como abono/acondicionador de suelos, y pueden ser aplicados en estado líquido directamente sobre el terreno, con la condición que se haya removido por lo menos 55% de los sólidos volátiles suspendidos.

En el caso particular de las lagunas primarias, para la remoción de lodos se procederá al drenaje mediante el uso de sifones u otro dispositivo. En este proceso las lagunas deberán drenarse hasta alcanzar un nivel que permita la exposición del lodo al ambiente. Complementando la operación de secado es un procedimiento que debe efectuarse en la estación seca. En este proceso el agua residual debe idealmente tratarse sobrecargando otras unidades en paralelo. Podemos concluir que los lechos de secado son mayormente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados.

Como aporte a los estudios de tratamiento de aguas residuales, recurrimos a la información que maneja la Superintendencia Nacional de Servicio y Saneamiento SUNASS-2008, cuyo portal solo dispone de un Diagnostico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS, que describimos:

A nivel Nacional sabemos que los servicios de tratamiento de aguas residuales son pobres, con una clamorosa ausencia de gestión de los gobiernos de turno, que han derivado la responsabilidad a las EPS, que es una empresa prestadora de servicios de saneamiento, a través del manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales PETAR. Precisamente sobre esa base se ha identificado que en las EPS los principales problemas que afronta en la gestión de las aguas residuales son:

a) Primeramente el déficit de cobertura de tratamiento y



b) En segunda instancia la ineficiencia operativa de la PTAR.

Nuestra investigación permite hallar causas directas e indirectas de este problema, así como las consecuencias que acarrea y se describen a continuación:

**Principales causas:**

- Una insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
- La acción parcial y desarticulada de las organizaciones del sector.
- Los insuficientes recursos destinados a la operación y mantenimiento de las PTAR.
- El déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.

**Principales consecuencias:**

- Alto porcentaje de incumplimiento de objetivos de calidad de las PTAR.
- Incremento del bajo volumen de aguas residuales tratadas.

**Clamorosa e insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú**

Esta información fue extraída del portal de la SUNASS, la misma que menciona el inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en las EPS de SUNASS de 2007 donde muestra que de las 143 PTAR, 92% se compone de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o aireadas), constituyendo las lagunas facultativas como las más empleadas, 78% en 112 PTAR. También observamos en cuanto al resto de tecnologías, solo existen cinco PTAR que operan con filtros percoladores, de ellos tres con lodos activados y una con un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Podemos mencionar que la única planta de lodos activados de tipo secuencial (SBR) es la de Puente Piedra, que es administrada por SEDAPAL.

Podemos deducir que probablemente la principal causa de que en el Perú las empresas prestadoras de servicios de saneamiento EPS hayan invertido en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR con lagunas de estabilización del tipo facultativo se deba a su bajo costo de inversión, operación y mantenimiento y a la elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica en comparación con otras tecnologías. Es más, solo las lagunas de estabilización debido a sus largos periodos de retención (8 días como mínimo), permite la remoción de huevos o quistes de parásitos (helminths), que podría considerarse una gran ventaja si de reúso de aguas residuales sin restricción se trata. De todas formas, solo es

comparable con procesos de precipitación química que tienen otros costos adicionales de operación y mantenimiento.

### **Informalidad en la construcción y operación de las PTAR**

Si bien la normatividad nacional exige que toda planta de tratamiento de aguas residuales cuente con autorización sanitaria de funcionamiento, solo nueve de ellas la tienen y 12 cuentan con un plan de adecuación y manejo ambiental (PAMA) aprobado por el MVCS; es decir, solo 14,7 % de las 143 PTAR tienen tal documentación.

Esta situación se ha generado debido a que la Autoridad Sanitaria (DIGESA) se encuentra limitada para ejercer su facultad fiscalizadora y sancionadora sobre las EPS, y no exige que las EPS tramiten la autorización sanitaria y regularicen su situación. Dicha limitación se refiere a la débil capacidad de respuesta técnica y económica por parte de las EPS para sufragar las mejoras en las PTAR, garantizar la calidad de sus efluentes de fuentes industriales y controlar la eficiencia operativa de sus PTAR. De esta forma se crea un círculo vicioso entre el administrador y el administrado.

### **Informalidad en el reúso de aguas residuales**

La normatividad exige que previamente al uso de las aguas residuales para fines agrícolas se deba contar con una autorización sanitaria. De las 143 PTAR de las EPS, los efluentes de 61 PTAR (150,6 millones de m<sup>3</sup>/año) se emplean para el riego agrícola mientras que los efluentes de 12 PTAR (20,1 millones de m<sup>3</sup>/año) se emplean para el riego de áreas verdes recreativas

Por un lado, solo tres de las 61 PTAR cuyos efluentes se emplean para fines agrícolas tienen autorización sanitaria o PAMA para el reúso. Por otro lado, todas las plantas cuyos efluentes se emplean para el riego de áreas verdes cuentan con un PAMA y esas plantas son administradas por SEDAPAL. Si nos atenemos a los ECA establecidos en el Reglamento de la Ley General de Aguas según el tipo de uso, observamos que en el caso de aguas de uso III (aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales) se obtiene que solo una de las 73 PTAR cuyo

efluente se emplea en agricultura o riego de áreas verdes cumple con los ECA de DBO5 y CF.

Por su parte, en el caso de aguas de uso VI (aguas de zonas de preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial) se obtiene que ninguna de las 67 PTAR cuyo efluente se vierte a ríos, quebradas, lagos o al mar, cumplir con los ECA de DBO5 y CF.

Las PTAR restantes infiltran en el suelo, completando las 143 plantas bajo administración de las EPS. Como se aprecia, también han sido contabilizadas las unidades que actualmente se encuentran inoperativas mediante el uso de resultados históricos de la calidad de sus efluentes.

### **Déficit de financiamiento en tratamiento de aguas residuales**

Tal como se ha señalado, existe un déficit de inversiones de US\$ 978 millones para alcanzar la meta de 2015 en tratamiento de aguas residuales domésticas. El Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015 considera un esquema de financiamiento para el periodo 2009- 2015 que incluye las inversiones en agua y alcantarillado, pero no cuenta con recursos concertados.

### **Marco legal**

- Refiere en primera instancia a la Constitución Política del Perú, año 1993.
- La citada Ley N° 26842, contempla la Ley General de Salud.
- La siguiente Ley N° 28611, trata la Ley General del Ambiente, del 15.10.2005
- Consecuentemente la Ley N° 29338, se ocupa de la Ley de Recursos Hídricos.
- Establece el D. S. N° 001-2010-AG, el Reglamento de Recursos Hídricos.
- La presente Ley N° 757, refiere la Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, del 13.11.1991.
- Esta Ley N° 28245, direcciona la Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, del 08.06.2004.
- También la Ley N° 27446, trata sobre la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, del 23.04.2001.

- Dispositivo que aprueba los Estándares de Calidad Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM del 31-07-2008.
- Mediante Decreto Legislativo N° 1013- Aprueba la ley de creación, organización y funciones del ministerio del ambiente.
- A través del D.S. N° 016-2009-MINAM, se establece el Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, del 25.09.2009.
- Con el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, se establece la Política Nacional del Ambiente (23 de mayo de 2009)
- Por D. L. N° 997- se Crea la Autoridad Nacional del Agua, como organismo público adscrito al Ministerio de Agricultura.
- Mediante Ley N° 29325, se establece la Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

#### **2.2.10. Características de cal viva utilizada**

El uso de cal fina para la preparación de lechada de cal asegura un buen apagado y garantiza una eficiente reacción de neutralización. El tamaño de partícula de la cal viva antes de su apagado, está en el rango de 85-90% por debajo de la malla #100. En una prueba puntual de tamizado en húmedo por malla 100 de la lechada de cal preparada, evidencia que el 100% está por debajo de 75 micrones. (Cadorín L.M., 2007)

#### **Reactividad de Cal**

Las pruebas de reactividad indican una respuesta lenta al incremento de temperatura, principalmente porque es probable que la cal presente cierto grado de humedad. Esto no debería ser perjudicial siempre en cuando el tiempo de almacenamiento no sea prolongado y las condiciones de hermeticidad en los big-bags se aseguren. Una exposición prolongada de cal hidratada al aire del ambiente conduce a la generación de  $\text{CaCO}_3$  en la superficie de las partículas de cal originando su baja eficiencia neutralizante, mayor consumo, baja solubilidad y por consiguiente mayor generación de sólidos en los lodos. El Gráfico siguiente muestra resultados de reactividad en dos muestras de cal a distintos intervalos de almacenamiento y se puede observar que

desde un punto de partida equivalente en 20°C el incremento de temperatura no supera 8°C.

### **Cinética de Reacción**

Se determinó el tiempo de reacción necesario para reaccionar la cal con el agua de mina en condiciones de agitación moderadas, hasta un punto donde no hay cambios sustanciales en la variación del pH. Esta prueba con el propósito de establecer el tiempo conveniente de mezcla de la lechada de cal en el canal antes de su ingreso a las pozas de sedimentación. El tiempo necesario está en 2 minutos, y considerando la velocidad lineal del agua en el canal equivalente @1 m/s, el punto de adición de cal puede ubicarse unos 120 metros antes del punto de control de pH existente antes del ingreso a las pozas. @1m/s = metro por segundo al cuadrado (SIU para la aceleración de un cuerpo).

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de investigación fue aplicada, descriptiva y analítica.

#### 3.2. Unidad de análisis.

Refiere El Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la Boca Mina Nv 250 al río San José, Mina Huarón.

#### 3.3. Población de estudio

Las aguas residuales industriales provenientes de Minera Huarón cuenta con un caudal en la época de invierno 750 L/s y en la de estío 687 L/s evacuada por el Tunel Paul Novejans de Pan American Silver S.A. – Departamento Pasco.

#### 3.4. Tamaño de la muestra

La muestra fue representada por el vertimiento del único canal que evacua las aguas por la Boca Mina del Tunel Paul Novejans, de la Minera Huarón Pan American Silver S.A. – Departamento de Pasco.

#### 3.5. Selección de muestra.

La selección de la muestra fue aleatoria intencional

#### 3.6. Técnicas de recolección de Datos

##### TECNICAS

- Cumplimiento del protocolo para toma de muestras de agua.
- Informe de ensayo:
  - Asunto : Análisis Físicoquímico
  - Tipo de muestra: Agua Industrial
  - Laboratorios: Planta concentradora Mina Huarón.
  - Laboratorios Minlab SRL – Callao

**INSTRUMENTOS:**

- Kit para muestreo de aguas
- Ficha de registro de datos.
- Ficha de monitoreo.

**3.7 Análisis del proceso y operación**

- Evaluación del Proceso de Neutralización / Sedimentación

**3.7.1 Preparación de Lechada de Cal**

El hidróxido de calcio que reacciona con el agua de mina es poco soluble en el agua y generalmente tiende a formar suspensiones de partículas que cuando la lechada de cal es preparada en exceso, contribuyen al aumento de los sólidos en los lodos.

En la Tabla siguiente indica parámetros referenciales de solubilidad del hidróxido de calcio:

Temperatura (°C)	Solubilidad Ca (OH) <sub>2</sub> (g/L)
0	1.89
20	1.73
30	1.50
100	0.77

Tabla N° 6 Parámetros referenciales de solubilidad del hidróxido de calcio

La solubilidad es inversamente proporcional al incremento de temperatura y es bastante sensible a estos cambios. Una lechada de cal preparada por debajo de 0.2% de sólidos asegura la solubilidad de todo el Ca (OH)<sub>2</sub> aprovechable. Por encima de este porcentaje, el exceso sumará a la generación de sólidos. Para el caso de las aguas del Nv 250, considerando que los lodos serán depositados en una cancha de relaves de un proceso polimetálico que generalmente tiene un potencial de generación de acidez alto, es conveniente este exceso para proporcionar la alcalinidad protectora que requieren los lodos y evitar la redisolución de los metales precipitados.

Actualmente, esta preparación produce una lechada de cal < 1.6% sólidos (1 saco de cal x 650kg para 2 tanques x 20 m<sup>3</sup>) y podría evaluarse una dilución mayor versus capacidad de dosificación versus respuesta de control de pH.

**De acuerdo a las pruebas de laboratorio la cal se usa en forma de lechada** para permitir un buen control del pH final requerido, lográndose niveles de pH mayores a 10, pH en el cual se logra precipitar todos los metales pesados.

El indicador pH de precipitación teórico es diferente para cada metal, requiriéndose en la operación pH entre 9.0 y 10.5 para asegurar la precipitación de todos los metales pesados, obteniendo concentraciones de dichos metales por debajo de los LMP.

### **3.7.2 Proceso de Neutralización – Precipitación metales**

En el análisis de la información se observa un mejor control a partir de junio del 2010 y una buena correlación entre el pH de ingreso y el pH de salida de las pozas de sedimentación.

El cambio brusco de niveles de contenido metálico se da a partir de agosto-Setiembre del 2011, básicamente a la metodología de monitoreo. Los resultados a partir de esa fecha se dan en valores de Metales Totales; que incluye tantos metales disueltos y metales en suspensión. Los valores anteriores a esas fechas se reportaban en metales disueltos solamente.

Este indicador es importante para determinar, que el proceso como tratamiento de neutralización y precipitación está cumpliendo con el objetivo, la deficiencia viene por el lado de la sedimentación de los sólidos, el incremento de los valores metálicos en el efluente final es producto de las suspensiones de flóculos que son arrastrados por la corriente de agua.

Entonces las variables a considerar para la evaluación de las pozas de sedimentación son las ratios de carga hidráulica, y de carga de sólidos.

### **3.7.3 Proceso de Sedimentación**

El análisis de las condiciones operacionales de las pozas de sedimentación confirma lo señalado anteriormente en el análisis del contenido metálico de los sólidos en suspensión que son arrastrados en el rebose.



Los indicadores que resaltan son:

- Cuando trabajan individualmente el ratio de carga hidráulica en cada una de las pozas, indica que el área disponible no es suficiente para el flujo de agua que ingresa. Se tiene un aproximado de 1129-1139 m<sup>2</sup> en cada poza y se requiere para las condiciones actuales de flujo un 50% más de área, es decir aproximadamente 1720 m<sup>2</sup>. La relación del área actual corresponde para un flujo de aproximado 450 l/s (So=1.4) que es lo que tenía el 2004 cuando se diseñó las pozas.
- El parámetro de mayor significancia producto de este análisis, es el ratio de carga en el rebose. El valor supera lo que se recomienda en sedimentadores hasta en 10 veces, y es el mayor responsable para que exista una fuerte corriente de arrastre en el rebose, llevando consigo los floculos superficiales que no han tenido tiempo suficiente para su sedimentación. Estos floculos son los que contienen la fracción de elementos metálicos que son detectados en los análisis químicos por metales. (Mollehuara, 2006).

#### **3.7.4 Disposición de lodos**

En la figura 10 se muestra un balance estacionario de los volúmenes de agua y sólidos en una poza de sedimentación. La variable que deriva los cálculos es la suposición que la densidad de lodos durante la limpieza / bombeo estará cercano a 1200 g/L que es el valor registrado en las operaciones de bombeo hacia los camiones cisterna.

Se ha calculado que los ciclos de trabajo y mantenimiento de cada poza de sedimentación será de 5 días, y con una capacidad de evacuación de lodos de 15 – 20 m<sup>3</sup>/h. Considerar dos bombas (una en operación y otra en Stand by) para las operaciones de limpieza de las pozas. Una capacidad de diseño razonable para cada bomba sería de 25 m<sup>3</sup>/h considerando un factor de 25% adicional.

#### **3.7.5 Sistema de floculación**

La evaluación de los floculantes y las ratios de dosificación se efectuó con el cambio del MT 6506 (Floculante). El equipo de operaciones ha realizado las pruebas correspondientes con este nuevo floculante y ha conseguido una cama de lodos más

compacta y de mayor densidad. En general, con el cambio a este floculante se debería obtener mejoras para el manejo de lodos. Existe referencia comprobada del uso de este floculante en otras aplicaciones similares con resultados satisfactorios.

### **3.7.6 Enfoque del resultado del análisis de la variable: optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales.**

De acuerdo a las investigaciones efectuadas observamos que los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, mayormente consisten en una secuencia de procesos que trabajan en función a las características del agua residual, sumado al grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitidos por la legislación y en relación con los parámetros y estándares de calidad respectivos. La secuencia de los procesos es una serie de tratamientos denominados: tratamiento previo, primario, secundario y eventualmente terciario y cuaternario.

Ya en el detalle, los tratamientos previo y primario permiten acondicionar el efluente para los tratamientos posteriores. El procedimiento consiste en eliminar por medio de métodos físicos, elementos que puedan dañar a los equipos o procesos subsiguientes en la planta, permitiendo estabilizar el caudal o ajustar el pH. Todos estos equipos tienen como componentes, decantadores, sedimentadores primarios, tamices, desgrasadores y tanques de estabilización, que logran eliminar sólidos inorgánicos de las aguas residuales y gran parte de la materia orgánica presente. Dentro de esta clasificación también se pueden incluir procesos químicos de coagulación y floculación.

Continuando con la secuencia de las actividades, podemos indicar que los tratamientos secundarios incluyen procesos biológicos y químicos. Dentro de esta actividad los procesos biológicos comprenden tratamiento por barros activados, sistemas de lecho fluidizado, lagunas aireadas, tratamientos anaerobios, tratamientos de percolación como los filtros biológicos, humedales, entre otros. También podemos indicar que el más habitual y en él está focalizado el estudio de esta tesis, es el proceso biológico por barros activados. Todo el caudal de las aguas residuales provenientes del tratamiento primario, entran en contacto con microorganismos que utilizan la materia orgánica y nutrientes contenidos en el agua residual para llevar a

cabo sus funciones vitales; logrando degradar la materia orgánica para la obtención de energía que utilizan para respiración, crecimiento y reproducción.

Considerando las características del agua residual en estudio, se realizó tres tratamientos: Tratamiento previo, primario y secundario y se aplicó la escala valorativa de estándares, los resultados fueron los siguientes:

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. Análisis, Interpretación y discusión de Resultados.

**Cuadro 1.**

#### Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento previo o inicial

N°	Parámetro	Estándar	Valoración			
			1	2	3	
01	Olor	No perceptible		X		
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes		X		
03	Color no natural	Ausente	X			
04	Turbiedad	Max 50 UNT	X			
05	pH	Entre 6.5 y 8.5		X		
06	OD	Min 5 mg/L	X			
07	DB05	Max 10 mg/L	X			
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes		X		
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS	X			
10	Sustancias Fenólicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH	X			
11	Amoniaco libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-	
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-	
13	Fósforo Total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-	
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL				
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L	X			
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L	X			
17	Cadmio	Max 0.001 mg/L	-	-	-	
18	Cobre	Max 0.2 mg/L	X			
19	Cromo Total	Max 0.05 mg/L	-	-	-	
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L	X			
21	Niquel	Max 0.02 mg/L	-	-	-	
22	Plomo	Max 0.03 mg/L	X			
23	Zinc	Max 0.03 mg/L	X			
			<b>X</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
			<b>%</b>	<b>52.2</b>	<b>17.4</b>	<b>00</b>

FUENTE: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP) mayo 2013(formato disponible en [www.dinama.gub.uy](http://www.dinama.gub.uy))

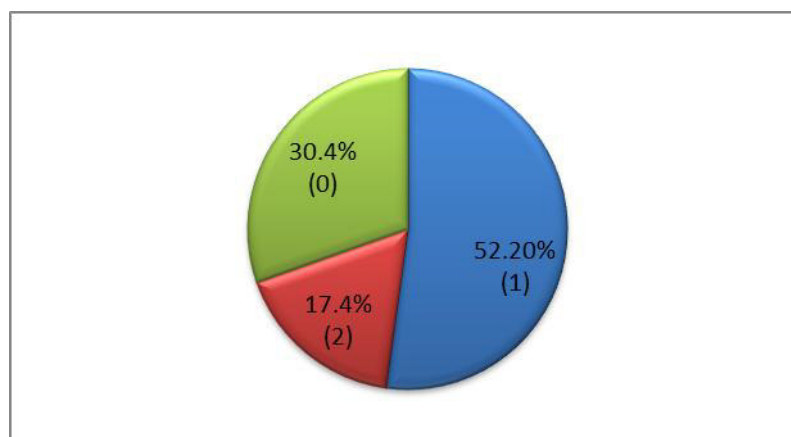
Los valores previstos por el artículo 5 para la clase III, indican que las concentraciones de los tóxicos orgánicos no podrán exceder en más de 100 (cien) veces.

**Cuadro1.1. Escala valorativa de aproximación**

Puntaje	Rango (ESTANDAR)
3	Cumple Total
2	Cumple Medianamente
1	No cumple

**Gráfico 1.**

**Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento previo o inicial**



FUENTE: Tabla 1

(2) Cumple medianamente (17.4 %)

(1) No cumple (52.2 %)

(0) No analizada (30.4%)

**Interpretación:**

La tabla 1 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio previo, el 52.2 % no cumple (1), el 17.4 % cumple medianamente y el 30.4% no fue analizada, como lo muestra la figura 1 respectivamente.

## Cuadro 2.

### Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento primario

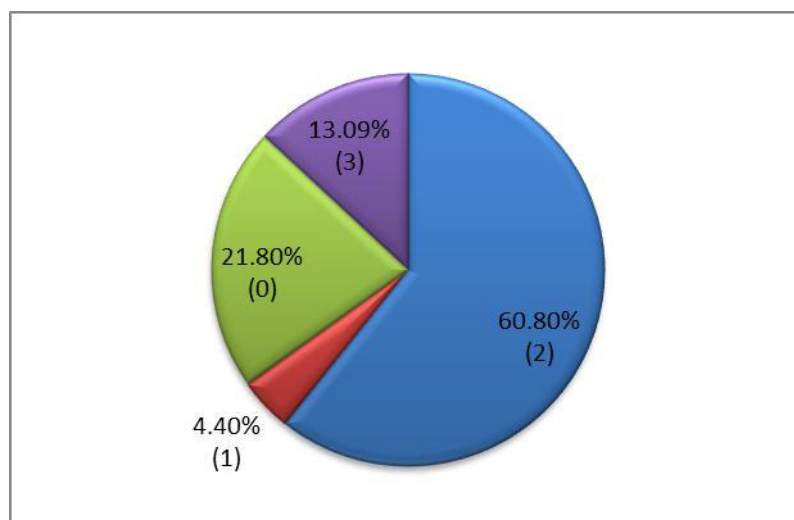
N°	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible		X	
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes		X	
03	Color no natural	Ausente		X	
04	Turbiedad	Max 50 UNT		X	
05	pH	Entre 6.5 y 8.5			X
06	OD	Min 5 mg/L			X
07	DB05	Max 10 mg/L			X
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes		X	
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS	-	-	-
10	Sustancias Fenólicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH		X	
11	Amoniaco libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-
13	Fósforo Total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L		X	
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L		X	
17	Cadmio	Max 0.001 mg/L	X		
18	Cobre	Max 0.2 mg/L		X	
19	Cromo Total	Max 0.05 mg/L		X	
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L		X	
21	Niquel	Max 0.02 mg/L		X	
22	Plomo	Max 0.03 mg/L		X	
23	Zinc	Max 0.03 mg/L		X	
<b>X</b>			<b>1</b>	<b>14</b>	<b>3</b>
<b>%</b>			<b>4.4</b>	<b>60.8</b>	<b>13.04</b>

FUENTE: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP) mayo 2013(formato disponible en [www.dinama.gub.uy](http://www.dinama.gub.uy))

Los valores previstos por el artículo 5 para la clase III, indican que las concentraciones de los tóxicos orgánicos no podrán exceder en más de 100 (cien) veces.

### Cuadro 2.1. Escala valorativa de aproximación

Puntaje	Rango (ESTANDAR)
3	Cumple Total
2	Cumple Medianamente
1	No cumple

**Gráfico 2.****Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento primario**

FUENTE: TABLA 3

(3) Cumple Total (13.09 %)

(2) Cumple medianamente (60.8 %)

(0) No cumple (4.4 %)

(0) No fue analizada (21.8%)

**Interpretación:**

La tabla 03 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio en el tratamiento primario. El 60.8 % cumple medianamente (2), el 13.09 % cumple totalmente con (3) el 4.4% no cumple. El 21.8 % no fue analizada, como lo muestra la figura 02 respectivamente.

**Cuadro 3.****Apreciación del cumplimiento de los estándares: Tratamiento Secundario**

N°	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible			X
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes			X
03	Color no natural	Ausente			X
04	Turbiedad	Max 50 UNT			X
05	pH	Entre 6.5 y 8.5			X
06	OD	Min 5 mg/L			X
07	DB05	Max 10 mg/L			X
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes			X
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS			X
10	Sustancias Fenólicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH			X
11	Amoníaco libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-
13	Fósforo Total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L			X
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L			X
17	Cadmio	Max 0.001 mg/L			X
18	Cobre	Max 0.2 mg/L			X
19	Cromo Total	Max 0.05 mg/L			X
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L			X
21	Níquel	Max 0.02 mg/L			X
22	Plomo	Max 0.03 mg/L			X
23	Zinc	Max 0.03 mg/L			X
			<b>X</b>		<b>18</b>
			<b>%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
					<b>78.3</b>

FUENTE: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP) mayo 2013.(formato disponible en [www.dinama.gub.uy](http://www.dinama.gub.uy))

Los valores previstos por el artículo 5 para la clase III, indican que las concentraciones de los tóxicos orgánicos no podrán exceder en más de 100 (cien) veces.

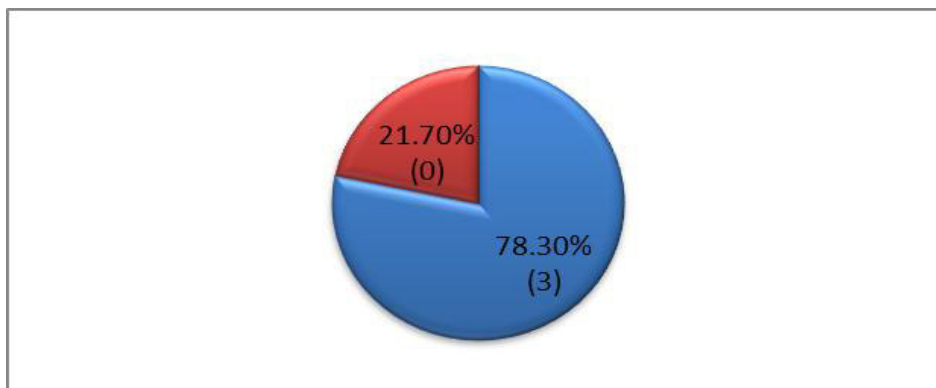
**Cuadro 3.1 Escala valorativa de aproximación**

Puntaje	Rango (ESTANDAR)
3	Cumple Total
2	Cumple Medianamente
1	No cumple



### Gráfico 3.

#### Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento secundario



FUENTE: TABLA 5

(3) Cumple total (78.30 %)

(0) No presentaron características (21.7%)

#### Interpretación:

La tabla 5 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio en el tratamiento secundario, el 78.30 % cumple totalmente con los estándares (3), el 21.70 % no presentaron características, como lo muestra la figura 3. Estas características de la muestra nos permiten disponer sanitariamente el agua hacia la regularización para el consumo humano.

#### 4.2. Prueba de Hipótesis.

En concordancia con los resultados de las tablas 01, 03 y 05, se nos permitió realizar el análisis de las variables  $V_1$  y  $V_2$  y la respectiva contrastación.

La optimización del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de las aguas residuales industriales ha generado una dinámica de un proceso continuo y articulado de tres etapas de tratamiento: control de pH a los ratios de contenido metálico, caracterización del agua de mina, crecimiento del tiempo de reposo de sólidos en suspensión logrando un mayor porcentaje de sedimentación mejora el afluente a las condiciones de calidad aceptables para clase III al medio ambiente determinando un escenario que muestra altos niveles de relación de las variables, corroborando significativamente la veracidad de la hipótesis propuesta en la investigación: La

optimización del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales industriales se logra el vertimiento de agua clase III al medio ambiente.

#### 4.2.1 Resultados de la evaluación del Sistema de Tratamiento del agua de mina Nv 250 Tunel Paul Novejans – Mina Huarón

Se realizaron pruebas de campo con el total del caudal de agua del Nv 250.

Variando la dosificación dentro del rango encontrado en las pruebas preliminares, obteniendo resultados satisfactorios al alcanzar un pH final de 8.02, con una dosificación de 100 g/m<sup>3</sup> y una reducción del contenido metálico de Zn por debajo de 2.5 ppm. Esto representa finalmente un consumo de 160 TMS de Cal diaria, que equivale a un costo de US\$ 8035 mensuales por el uso de este reactivo (Costo Cal: US\$ 50/TM CaO: 50%, ref. Dpto. Medio Ambiente).

**Tabla N° 7 Resumen Estadístico de Caudal del agua de mina en el Nv. 250 y Consumo de Cal (2006-2009)**

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul .	Ago .	Set.	Otc.	Nov.	Dic.	Total
<b>2006</b>													
Caudal (l/s)										615	684	634	644
Cal a Nv. 250 (ton/mes)							89	103	119	117	269	348	1045
ratio g/l										0.07	0.15	0.20	0.14
<b>2007</b>													
Caudal (l/s)	564	616	648	685	710	737	617	616	616	549	533	484	619
Cal a Nv. 250 (ton/mes)	245	285	303	300	303	303	332	330	324	289	215	134	3362
% Ca O	50	53	53	53	56	52	61	62	60	63	61	60	
ratio g/l	0.16	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.18	0.20	0.20	0.20	0.16	0.10	0.17
<b>2008</b>													
Caudal (l/s)	505	500	559	546	534	577	601	599	582	582	621	630	570
Cal a Nv. 250 (ton/mes)	108	59	111	99	110	96	90	91	92	78	87	84	1103
% Ca O	63	63	63	68	66	65	67	63	62	65	64	65	
ratio g/l	0.08	0.05	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
<b>2009</b>													
Caudal (l/s)	634	640	646	691									653
Cal a Nv. 250 (ton/mes)	42	61	78	105									286
% Ca O	65	64	64	62									
ratio g/l	0.02	0.04	0.05	0.06									0.04

Fuente: Caudales (Rep. M. Ambiente- Control- Monitoreo- Diario. xls)  
Consumo Cal (Rep. Planta – CAL-Estadística- 2006 – 2009. xls)

**Tabla N° 8. Balance Calculado de Consumo de Cal y Generación de Sólidos en función a características agua de mina.**

	Características Agua		Generación sólidos
	mg/L	mol/L	t/h
Caudal Agua Mina Nv.250* (l/s)	687		
TSS	110		0.27205
[Fe]	7.5	1.3E-04	0.01855
[Al]	0.05	1.9E-06	0.00012
[Cu]	1	1.6E-05	0.00247
[Zn]	16	2.4E-04	0.03957
[Cd]	0.02	1.8E-07	0.00005
[Mn]	23	4.2E-04	0.05688
[Ni]	0.06	1.0E-06	0.00015
[Pb]	0.4	1.9E-06	0.00099
pH	6.7	6.7	
pH	8	8	
Acidity= 3[Fe]+3[Al]+2[Zn]+2[Cd]+2[Mn]+2[Ni]+[Pb]+10 <sup>-pH</sup> -10 <sup>ph trat*</sup>			
Acidity (mol/L)		0.002	
Ca <sup>2+</sup> necesario (mol/L)		0.001	
Ca as caO (g/L)	0.055		
Cal 60% CaO (g/L)	0.08		0.20
<b>TOTAL GENERACION SOLIDOS (t/h)</b>			
<b>Teórico</b>			0.60
<b>Monitoreado ***</b>			0.83

Fuente:

Valores Al, Cd, Mn y Ni tomados referencialmente del monitoreo de Medio Ambiente, Jun 2003

Concentraciones de Zn, Fe tomados del promedio para el año 2006, antes de adición de Cal pH trat\* : ph requerido para precipitación de metales.

Caudal Agua de Mina Nv. 250\* : Promedio últimos 3 meses del 2009 . Monitoreo M. Ambiente \*\*\* Monitoreo sólidos en agua: días 18-19 May 09

**Tabla N° 9 . Monitoreo de variaciones de pH antes y después de la poza de sedimentación.**

<b>Dia 18-Mayo</b>			
<b>Hora</b>	<b>pH antes de Poza</b>	<b>pH después de poza</b>	<b>pH set Poit</b>
8:00	9.10	7.89	8
8:50	11.20	7.90	8
9:00	12.10	7.84	8
9:50	11.80	8.32	8
10:00	10.50	8.64	8
10:50	9.70	8.53	8
11:00	9.05	8.31	8
11:50	8.70	8.22	8
12:00	7.60	8.08	8
12:50	7.40	8.05	8
13:00	7.50	8:00	8
13:50	10.90	7.96	8
14:00	12.50	7.92	8
14:50	11.00	9.20	8
15:00	10.40	9.47	8

**Efluente después de Pozas**

<b>Hora</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>Zn (LPM)</b>	<b>TSS (ppm)</b>	<b>TSS (LMP)</b>
8:00	0.612	3	114.67	25
9:00	1.976	3	39.33	25
10:00	0.302	3	214.67	25
11:00	0.378	3	105.33	25
12:00	0.37	3	102.67	25
13:00	0.522	3	102.00	25
14:00	0.57	3	40.00	25
15:00	0.058	3	39.33	25

### Caracterización física de lodos generados: Ge, Generación de solidos densidad sedimentado.

Volumen Agua Mina*	20	lt
Solidos precipitados	6.8	G
Generación Solidos	0.34	g/l
G.e. sólidos:		2.7

	Proceso de Sedimentación después de:			
	1 hora	24 horas	48 horas	72 horas
Vol. Lodos (cm <sup>3</sup> )	75	45	43	42
Vol. Solidos (cm <sup>3</sup> )	2.5	2.5	2.5	2.5
Vol. Agua (cm <sup>3</sup> )	72	42	40	39
Peso agua (gr)	72	42	40	39
Peso lodo (gr)	79	49	47	46
% sólidos en lodo	8.6 %	13.8 %	14.4 %	14.7 %
Densidad lodo (g/L)	1057	1095	1100	1102

Tabla N° 10 Volumen Agua Mina\* : Monitoreo del 18 al 1 Mayo

### 4.3. Presentación de Resultados.

**Resultados de la variable:** Disposición sanitaria de aguas residuales para vertimiento clase III.

Teniendo como referencia los resultados de los cuadros anteriores, sobre el nivel de disposición sanitaria de las aguas residuales, se continúa con el tratamiento evaluativo integral hacia el logro del nivel máximo aceptable, prioritariamente relacionado con la protección de la vida humana y el grado de su efecto contaminante se puede considerar en el nivel realístico en el tiempo presente.

Consecuentemente los resultados de los informes de ensayo mensual deben ser estrictamente controlados por la titular, a fin de garantizar la calidad CLASE III.

## PROCESO DE SEDIMENTACION

**Tabla N° 11. Análisis de los valores de operación de las pozas en base a sus parámetros de diseño.**

	Parámetros de Operación / Diseño			
	Poza # 1	Poza # 2	Recomendado	Descripción
<b>Dimensiones Pozas</b>				
L(w)	68.1	63.2		Largo poza
W (w)	16.72	17.87		Ancho poza
H (m)	2.47	1.92	1.5 - 2	Profundidad
Área superficial (m <sup>2</sup> )	1139	1129	1721	Área de pozas requiere aumentar en un 50%
<b>Caudales y generación de solidos</b>				
Q prom (m <sup>3</sup> /h)	2340	2340		Caudal promedio – últimos 12 meses
(l/s)	650	650		
Q max (m <sup>3</sup> /h)	2520	2520		Caudal pico – ultimo 12 meses
(l/s)	700	700		
Generac. Solidos (kg/m <sup>3</sup> )	1.4	1.4		Hay correlación aceptable entre la ratio de generación de sólidos y el área superficial de las pozas.
Flujo másico (Kg/h)	3528	3528		
<b>Ratio de Carga Hidráulica</b>				
S <sub>o</sub> (m/h) Q prom	2.1	2.1	0.68 – 1.36 (Qprom)	La carga hidráulica está por encima del recomendado. El área de las pozas de sedimentación tendría que aumentar en un 50% más.
S <sub>o</sub> (m/h) Qmax	2.2	2.2	1.7–2.04 (Qmax)	
<b>Ratio de carga de solidos</b>				
F <sub>sol</sub> (Kg/m <sup>2</sup> h)	3.1	3.1	4.08 – 6.08	Es aceptable. El radio de carga de solidos se venía afectada si la generación de solidos aumentara en 100%
<b>Ratio de carga en el rebose</b>				
q(l/s m)	150.7	141.0	15.52	La velocidad de arrastre es 10 veces más alta a lo que se recomienda
<b>Otros parámetros</b>				
T (h)	1.2	0.9	1 - 3	Tiempo de residencia
L/W	4.1	3.5	3 - 8	Relacion largo / ancho pozas
Ref. Aguilar, 2009/USEPA, 1975				

Balance del Sistema de Tratamiento por Sedimentación – Proyección de ciclos de Llenado / Limpieza / Bombeo

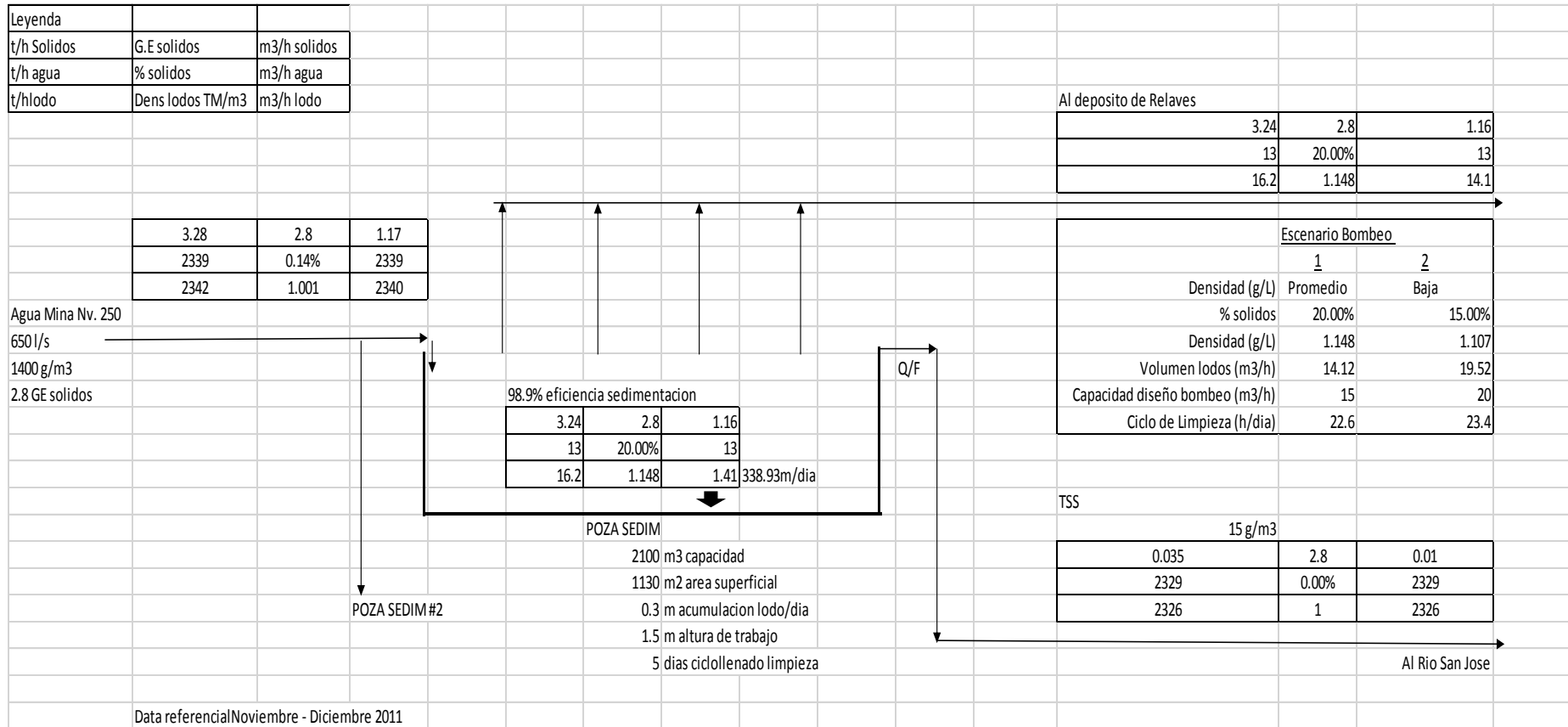


Tabla N° 12. Esquema del Balance para el proceso de Llenado / Bombeo en la Poza de Sedimentación 1 & 2 Ciclos de 5 días

## CONCLUSIONES

- 1) En el contexto de la problemática del mejoramiento de las aguas contaminantes que provienen de la Boca mina del Nivel 250 (EF 03) al río San José se evidenció que con la optimación del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de las aguas residuales industriales en un proceso continuo y con articulación de las etapas de tratamiento se logra el vertimiento clase III al medio ambiente en condiciones de calidad requeridos.
- 2) Con la dosificación y la adición de la lechada de cal en la salida del túnel se controló el ajuste del pH de manera sostenible en el rango 8.2. control continuo de pH y las ratios de contenido metálico mejoro la caracterización del agua de mina permitiendo el vertimiento del agua clase III.
- 3) Contando con una tercera poza de sedimentación con capacidad de 600 l/s se incrementó el tiempo de reposo de los sólidos en suspensión logrando un mayor porcentaje de sedimentación y disposición sanitaria garantizando de esta manera el vertimiento de agua clase III al cuerpo receptor.
- 4) En nuestra tesis podemos observar una reducción en el consumo de cal atribuido a una mejor eficiencia de uso de cal disponible. La preparación diluida solubiliza la mayor fracción de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que finalmente reacciona con el agua de mina con mejor eficiencia.
- 5) Se confirma que los objetivos de control del proceso están bien, el pH de trabajo de 8.2-8.6 es el adecuado, para precipitar todos los metales auditables.



## RECOMENDACIONES

- 1) Establecer una gestión profesional para la administración del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la mina Huarón y, garantizar por medio de un control permanente, la optimización del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales que permitan la disposición sanitaria de agua clase III.
- 2) Considerando que la minería es una actividad muy dinámica, el suministro de los recursos justo a tiempo, permitirá contar con los requerimientos que estandaricen la optimización a niveles de excelencia, promoviendo las oportunidades de mejora continua del Sistema de Tratamiento de Aguas de Mina, que permitan el vertimiento de calidad exigido.
- 3) Contemplar dentro de las políticas ambientales, el cumplimiento de los procesos y estándares de calidad requeridos por la entidad reguladora.
- 4) Uno de los objetivos a mediano plazo será reducir el ratio de carga en el rebose, a fin de reducir el arrastre de sólidos aumentando la sección efectiva de rebose.
- 5) Considerando lo analizado en nuestra hipótesis, la carga hidráulica superficial es alta, por lo que se recomienda evaluar la estrategia de trabajo con dos pozas en paralelo con la futura poza a construir en stand by.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abadie, J. y Carpentier, J. (2008). "Generalization of the Wolfe Reduced Gradient Method to the Case of Nonlinear Constraints", in Optimization, R. Fletcher, 1969, pp 37-47.
2. Aduvire, O. (2006). "Drenaje ácido de mina generación y tratamiento", Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, Madrid España.
3. Aguilar, J. (2009). "Pruebas de bombeo-Pozas de sedimentación San José" Departamento de Proyectos. Pan American Silver S.A. Mina Huarón, pp. 7
4. Argota, G. y Argota, H. 2012. "Evaluación ambiental del río San Juan de Santiago de Cuba por exposición bioacumulativa a metales pesados". Cuba. Medisan, 16(8): pp1208-1215.
5. Baquero, J. (2008). "Tratamiento de Aguas Ácidas. Prevención y Reducción de la Contaminación" en Madrid, España. (Documento en línea, disponible [http://www.ehu.es/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_44.pdf?iframe=true&width=95%&height=95%](http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_44.pdf?iframe=true&width=95%&height=95%)). depósito legal: M-38920-2004 • ISSN: 1885-7264
6. Bartone, C. y Salas, H. (1985). "Nuevos Enfoques Para La Disposición Final De Aguas Residuales en América Latina y El Caribe". Bol Of Santt Panam.
7. Benavides, J. (2002), Departamento De Planeamiento, Minera Yanacocha SRL. Perú. "Tratamiento, Uso Y Descarga Del Agua Subteranea En Minera Yanacocha – Perú". Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) 2002 - ISBN 987-544,
8. Cadorin, L., Carissimi, E., Rubio, J. (2007), "Avances en el Tratamiento de Aguas Ácidas de Minas". Universidad Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

- Laboratorio de Tecnología Mineral e Ambiental (LTM) Scientia et Technica Año XIII, No 36. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-170. Colombia.
9. Cadorin, L., Tabosa, E., Paiva, M., Rubio, J. (2006) “Tratamiento de riles mineros ácidos por precipitación química y flotación por aire disuelto”, in IX Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, 8 a 13 de octubre La Habana – Cuba, pp 12
  10. Campos, N. (1990).” La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María”, Caribe Colombiano. Caldasia, 16:231–144.
  11. Castillo, J.; Montenegro, A. (2006) “Manejo de la calidad de los efluentes de la minería del cobre por operación de los tranques de relaves Américo”, Chile.
  12. De La Cruz, O., (2014) presenta la tesis “Los drenajes de la mina Pampamali s.a. en la contaminación del riachuelo Cochatay”, en el distrito de Secclla Huancavelica.
  13. Dorr, O., EIMCO (2006) “Reporte de Tratamiento de Efluentes de Agua de Mina y Relaves de Concentradora”, Minera Chungar,
  14. Espigares, M., y Pérez, J. (1985) “Aspectos sanitarios del estudio de las aguas”. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada.
  15. Gaete, H.; Aránguiz, F.; Cienfuegos, G. y Tejos, M. (2007). “Metales pesados y toxicidad de aguas del Río Aconcagua” en Chile. Quim Nova (30)4: 885-891.
  16. Liu, D. y Lipták, B. (1999) “Sedimentation, in Environmental Engineers” Handbook, CRC, Editor. CRC Press LLC: Princeton, New Jersey.
  17. Mancilla, O.; Villa, H.; Ortega, C; Ramírez, E.; Uscanga, R.; Ramos, B. y Reyes, A. (2012). “Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz”, México. Rev. Inter. Contaminación Ambiental, 28(1):pp 39- 48.

18. Mara, (1976): Anexo IX. “Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen”.
19. Metcalf, Eddy, (1977) “Tratamiento y depuración de aguas residuales”. Ed. Labor, S.A. Barcelona.
20. Mollehuara, R. (2006), “Evaluación Tratamiento Aguas Nv.250 Mina Huarón”, Departamento de Proyectos, Pan American Silver SA Mina Huarón
21. Ordoñez, A., (1984), “Canchas de relaves de concentradoras mineras: análisis de estabilidad de presas”. Informe Final. Lima.
22. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015). Fiscalización ambiental para el cambio. Glosario.
23. Paredes, A., y Williams, Keith. (1995.) “Predicción de Drenaje Ácido de Mina” (Acid Drainage Prediction in Mines). Minería, Edición 240, pp 22-33.
24. “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Agua”. Ministerio de Energía y Minas Lima (1991).
25. Requena, M., (2008) presenta la tesis, “Sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales” en UEA Animon de empresa administradora Chungar sac, Lima.
26. Rivas, G., (1978) “Tratamiento de aguas residuales”. 2ª ed. Ediciones Vega. Caracas.
27. Rodriguez, T., Rubio, J., (2007) “DAF - Dissolved Air Flotation: Potential Applications in the mining and mineral processing industry,” International Journal of Mineral Processing, vol. 82, pp. 1-13

28. Rubio, J., Carissimi, E., Rosa, J., (2007), “Flotation in water and wastewater treatment and reuse”: Recent trends in Brazil. *International Journal of Environment and Pollution*, 30, pp. 193-208.
29. Rubio J, (1998), “Aspectos ambientais no setor minerometalúrgico” en *Tratamento de Minérios*, Capítulo 13, A.B. da Luz, M.V. Possa e S. L. de Almeida, Ed. CETEM-CNPq-MCT, pp.537-570.
30. Salvador, M., (2003) *¿Cómo hacer una Tesis?* 3.<sup>a</sup> Ed. Limusa Noriega Editores México.
31. Sánchez, H., y Reyes, C., (2009). “Metodología y diseños en la investigación científica”. Lima: Editorial Visión Universitaria.
32. Sánchez, H. (1998). “Metodología y Diseño de la investigación Científica”. Editorial Mantaro-Perú.
33. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2008). *Primeros controles hídricos: diagnóstico situacional de los sistemas de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*, Perú.
34. Tapara, A., (2010), CIP 88432 Guerreros, M., CIP 1603 Consorcio Geosurvey Shesa Consulting - Clean Technology S.A.C. - EMAIMEHSUR S.R.L. - PROING & SERTEC S.A. Lima.
35. Espigares, M. y Pérez J. (1985). “Aguas residuales, Composición”. Universidad de Salamanca, España. (Documento en línea, disponible [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)).
36. Valdez, E.; Vaizquez, G., (2016). “Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales”. México.

37. Verdugo, C., Rodríguez G., (2003). Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. “Evaluación y Optimización de los Parámetros de Operación de un Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial” en la Ciudad de Tijuana Baja California, México.

## ANEXOS

### ANEXO 01

#### Tabla de valoración

#### COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE (EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010- 2010-MINAM)

N°	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible			
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes			
03	Color no natural	Ausente			
04	Turbiedad	Max 50 UNT			
05	pH	Entre 6.5 y 8.5			
06	OD	Min 5 mg/L			
07	DB05	Max 10 mg/L			
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes			
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS			
10	Sustancias Fenólicas	Max 0.2 mg/L en C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH			
11	Amoniaco libre	Max 0.002 mg/L			
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N			
13	Fósforo Total	Max 0.05 mg/L en P			
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L			
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L			
17	Cadmio	Max 0.001 mg/L			
18	Cobre	Max 0.2 mg/L			
19	Cromo Total	Max 0.05 mg/L			
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L			
21	Niquel	Max 0.02 mg/L			
22	Plomo	Max 0.03 mg/L			
23	Zinc	Max 0.03 mg/L			

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)

Las concentraciones de los tóxicos orgánicos no podrían exceder en más de 100 (cien) veces los valores previstos por el artículo 5 para la clase III.

### Escala valorativa de aproximación

Puntaje	Rango (ESTANDAR)
3	Cumple Total
2	Cumple Medianamente
1	No cumple

**Tabla de Limites de Calidad de Agua, ley General de Aguas. 2004 Huarón**

Parámetros	Unidad	Uso de Cursos de Agua					
		I	II	III	IV	V	VI
<b>LIMITES BACTERIOLOGICOS</b>							
Coliformes totales	NMP/100mL	8 8	20000	5 000	5 000	1000	20 000
Coliformes fecales	NMP/100mL	0	4000	1 000	1 000	200	4 000
<b>LIMITES DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO Y DE OXIGENO DISUELTO</b>							
D B O <sup>(2)</sup>	mg/L	3	3	3	3	5	4
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	15	10	10	10
<b>LIMITES DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE PELIGROSAS</b>							
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05	--	0.005	0.01
Mercurio	mg/L	0.002	0.002	0.02	--	0.0001	0.0002
P C B	mg/L	0.001	0.001	<sup>(3)</sup>	--	0.002	0.002
Esteres estalatos	mg/L	0.0003	0.0003	0.0003	--	0.0003	0.0003
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05	--	0.0002	0.004
Cromo	mg/L	0.05	0.05	1.0	--	0.05	0.05
Níquel	mg/L	0.002	0.002	<sup>(3)</sup>	--	0.002	<sup>(4)</sup>
Cobre	mg/L	1.0	1.0	0.5	--	0.01	<sup>859</sup>
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.1	--	0.01	0.03
Zinc	mg/L	5.0	5.0	25.0	--	0.02	<sup>(4)</sup>
Cianuros (CN) <sup>(6)</sup>	mg/L	0.08	0.08	0.10	--	0.022	0.022
Fenoles	mg/L	0.0005	0.001	<sup>(3)</sup>	--	0.001	0.1
Sulfuros	mg/L	0.001	0.002	<sup>(3)</sup>	--	0.002	0.002
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.1	--	0.01	0.05
Nitratos (N)	mg/L	0.01	0.01	0.1	--	N.A.	NA.
Pesticidas	mg/L	<sup>(7)</sup>	<sup>(7)</sup>	<sup>(7)</sup>	--	<sup>(7)</sup>	<sup>(7)</sup>
<b>LIMITES DE SUSTANCIAS O PARAMETROS POTENCIALMENTE PERJUDICIALES</b>							
M E H <sup>(8)</sup>	mg/L	1.5	1.5	0.5	0.2	--	--
S A A M <sup>(9)</sup>	mg/L	0.5	0.5	1.0	0.5	--	--
C A E <sup>(10)</sup>	mg/L	1.5	1.5	5.0	5.0	--	--
C C E <sup>(11)</sup>	mg/L	0.3	0.3	1.0	1.0	--	--

Notas: Usos de Agua

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



- (1) Entendidos como valor máximo en 80% de 5 ó más muestras mensuales.
- (2) Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, 20° C.
- (3) Valores a ser determinados. En caso de sospechar su presencia se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.
- (4) Pruebas de 96 horas multiplicadas por 0.02.
- (5) Pruebas de 96 horas LC50 multiplicadas por 0.1.
- (6) Los análisis a considerarse serán: Clase I, II y III CN WAD y las Clases V y VI CN Libre.
- (7) Para cada uso se aplicará como límite de criterios de calidad de aguas establecidas por el Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de Norteamérica.
- (8) Material Extractable en Hexano (grasa principalmente).
- (9) Sustancias activas de azul de Metileno (detergente principalmente)
- (10) Extracto de columna de carbón activo por alcohol (según método de flujo lento)
- (11) Extracto de columna de carbón activo por cloroformo (según método de flujo lento).

Fuente: Ley General de Aguas D.L. N° 17752, incluyendo las modificaciones de los Arts. 81 y 82 del Reglamento de los Títulos I, II y III, Según el D. S. N° 007-83-SA (11.03.83) y el D. S. 003 \_2003-SA (29-01-03)

### Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Descargados por Nuevas Unidades Minero – Metalúrgicas.

Parámetro	Valor en Cualquier Momento	Valor Promedio Anual
PH	6-9	6.9
Solidos 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

\*Concentraciones de metales disueltos

\*\*Cianuro total es equivalente a 0.1 mg/L CN<sub>Libre</sub> y 0.2 mg/L CN<sub>WAD</sub>

### Frecuencia de Muestreo y Presentación de Reportes

Volumen Total de Efluente	Frecuencia de Muestreo	Frecuencia de Presentación de Reporte
Mayor que 300m <sup>3</sup> al día	Semanal	Trimestral (1)
50 a 300 m <sup>3</sup> al día	Trimestral	Semestral (2)
Menor que 50 m <sup>3</sup> al día	Semestral	Anual (3)

Nota:

- (1) Ultimo día hábil de los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- (2) Ultimo día hábil de los meses de junio y diciembre
- (3) Ultimo día hábil del mes de junio.

### Frecuencia de Análisis Químico.

PARAMETRO	Efluente		
	Mayor que 300m <sup>3</sup> /día	De 50 a 300m <sup>3</sup> /día	Menor que 50m <sup>3</sup> /día
PH	Semanal	Trimestral	Semestral
Solidos suspendidos	Semanal	Trimestral	Semestral
Pb, Cu, Zn, Fe, As	Mensual	Trimestral	Semestral
CN Total	Quincenal	Trimestral	Semestral

**Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.**

**DECRETO SUPREMO**

**N° 004-2017- MINAM**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**  
**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>		<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b>	
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> -) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 6$	$\geq 5$	$\geq 4$
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b>		
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrín	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos)	Nº Organismo/L	0	<5x106	<5x106

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>--N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>-).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO<sub>2</sub>--N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO<sub>2</sub>-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CABromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CABromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

## Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	
<b>Agua para riego no restringido (c)</b>	<b>Agua para riego restringido</b>	<b>Bebida de animales</b>		
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5	10	
Bicarbonatos	mg/L	518	**	
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1	
Cloruros	mg/L	500	**	
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500	5 000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40	
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5	
Fenoles	mg/L	0,002	0,01	
Fluoruros	mg/L	1	**	
Nitratos (NO3--N) + Nitritos (NO2--N)	mg/L	100	100	
Nitritos (NO2--N)	mg/L	10	10	
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 4$	$\geq 5$	
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000	
Temperatura	$^{\circ}$ C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5	5	
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	
Bario	mg/L	0,7	**	
Berilio	mg/L	0,1	0,1	
Boro	mg/L	1	5	
Cadmio	mg/L	0,01	0,05	
Cobre	mg/L	0,2	0,5	
Cobalto	mg/L	0,05	1	
Cromo Total	mg/L	0,1	1	
Hierro	mg/L	5	**	
Litio	mg/L	2,5	2,5	
Magnesio	mg/L	**	250	
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	
Níquel	mg/L	0,2	1	
Plomo	mg/L	0,05	0,05	
Selenio	mg/L	0,02	0,05	
Zinc	mg/L	2	24	
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	$\mu$ g/L	0,04	0,045	
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	$\mu$ g/L	35	35	
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín	$\mu$ g/L	0,004	0,7	
Clordano	$\mu$ g/L	0,006	7	
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	$\mu$ g/L	0,001	30	
Dieldrín	$\mu$ g/L	0,5	0,5	
Endosulfán	$\mu$ g/L	0,01	0,01	
Endrin	$\mu$ g/L	0,004	0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	$\mu$ g/L	0,01	0,03	
Lindano	$\mu$ g/L	4	4	
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	$\mu$ g/L	1	11	
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

$\Delta 3$ : significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**INSTRUMENTOS****CUADROS DE RECOLECCION DE DATOS**

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE  
(EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-  
2010-MINAM)**

**ANEXO N° 02**

FECHA	HORA	PN1 - Agua Mina Antes de dosificación de CAL								
		Temp.	pH PN1 Antes de Cal	TSS Antes de Cal	Q	uS	Cu	Pb PN1 Antes de cal	Zn PN-1 Antes de Cal	(*) Fe
01-abr	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									
	10									
	11									
	12									
	13									
	14									
	15									
	16									
	17									
	18									
	19									
	20									
	21									
	22									
	23									
	24									

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)

## ANEXO N° 03

## AFLUENTE A POZAS DE SEDIMENTACIÓN SAN JOSÉ

(Con lechada de cal)

## COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE (EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-2010-MINAM)

NOTA: Todos los valores están en Metales Totales												
DÍA / HORA	FECHA	HORA	PARAMETROS FÍSICOS						PARAMETROS QUÍMICOS METALES TOTALES			
			Temp.	pH Manual	pH Eléctronico	TSS	Q	uS	Cu	Pb	Zn	Fe
01 / 01	01-abr	1										
01 / 02		2										
01 / 03		3										
01 / 04		4										
01 / 05		5										
01 / 06		6										
01 / 07		7										
01 / 08		8										
01 / 09		9										
01 / 10		10										
01 / 11		11										
01 / 12		12										
01 / 13		13										
01 / 14		14										
01 / 15		15										
01 / 16		16										
01 / 17		17										
01 / 18		18										
01 / 19		19										
01 / 20		20										
01 / 21		21										
01 / 22		22										
01 / 23		23										
01 / 24		24										

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)

## ANEXO N° 04

**PN-1 - Túnel Paul Nevejans 125 mts aguas arriba de la dosificación de lechada de cal  
AFLUENTE A POZAS DE SEDIMENTACIÓN SAN JOSÉ  
(Con lechada de cal)  
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE  
(EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-2010-  
MINAM)**

NOTA: Todos los valores están en Metales Totales											
DÍA / HORA	FECHA	HORA	PARAMETROS FÍSICOS					PARAMETROS QUÍMICOS METALES TOTALES			
			Temp.	pH Manual	TSS	Q	uS	Cu	Pb	Zn	Fe
01 / 01	01-abr	1									
01 / 02		2									
01 / 03		3									
01 / 04		4									
01 / 05		5									
01 / 06		6									
01 / 07		7									
01 / 08		8									
01 / 09		9									
01 / 10		10									
01 / 11		11									
01 / 12		12									
01 / 13		13									
01 / 14		14									
01 / 15		15									
01 / 16		16									
01 / 17		17									
01 / 18		18									
01 / 19		19									
01 / 20		20									
01 / 21		21									
01 / 22		22									
01 / 23		23									
01 / 24		24									

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)

## ANEXO N° 05

**PN-1 - Túnel Paul Nevejans 125 mts aguas arriba de la dosificación de lechada de cal  
AFLUENTE A POZAS DE SEDIMENTACIÓN SAN JOSÉ**

**(Con lechada de cal)**

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE (EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-2010-MINAM)**

FECHA	HORA	EF-03 ANTES							
		Temp.	pH EF03 ANTES	TSS	uS	Cu	Pb EF03 Antes	Zn ANTES	Fe
01 DE ABRIL	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
	11								
	12								
	13								
	14								
	15								
	16								
	17								
	18								
	19								
	20								
	21								
	22								
	23								
	24								

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)



## ANEXO N° 06

**PN-1 - Túnel Paul Nevejans 125 mts aguas arriba de la dosificación de lechada de cal**

**AFLUENTE A POZAS DE SEDIMENTACIÓN SAN JOSÉ**

**(Con lechada de cal)**

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE (EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-2010-MINAM)**

FECHA	HORA	EF03-DESPUES							
		Temp.	pH EF03 DESPUES	TSS EF-03 D	uS	Cu	Pb Después	Zn DESPUES	Fe Total
01 DE MAYO	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
	11								
	12								
	13								
	14								
	15								
	16								
	17								
	18								
	19								
	20								
	21								
	22								
	23								
	24								

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)

## ANEXO N° 07

**PN-1 - Túnel Paul Nevejans 125 mts aguas arriba de la dosificación de lechada de cal**

**AFLUENTE A POZAS DE SEDIMENTACIÓN SAN JOSÉ**

**(Con lechada de cal)**

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EFLUENTE (EF-03D) CON NUEVOS L.M.P. PARA EFLUENTES MINEROS (D.S. N°010-2010-MINAM)**

FECHA	HORA	Límites Máximos Permisibles (LMP)						
		LMP Cu	LMP Pb	LMP Zn	(*) LMP Fe	LMP TSS	pH Min	pH Max
01 DE ABRIL	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							
	21							
	22							
	23							
	24							

Pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles (LMP)



PLANTA CONCENTRADORA FRANCOIS HUARON



PLANTA DE TRATAMIENTO DE VERTIMIENTO DE AGUA DE MINA – SAN JOSE – NV 250 – MINA HUARON



PLANTA DE ELABORACION DELECHADA DE CAL – SAN JOSE-HUARON



POZAS DE SEDIMENTACION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA  
DE MINA – SAN JOSE - HUARON



MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

