

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



## **"DESTRUCCION DE CIANURO POR EL METODO DE OXIDACION AVANZADA (OXIGENO SINGLET)"**

**INFORME POR COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALURGISTA**

**ELABORADO POR**

**CRISTINA PATRICIA GUTIERREZ JARAMILLO**

**ASESOR**

**MSc. Ing. Alberto Landauro Abanto**

**LIMA – PERU**

**2013**

**DEDICATORIA**

A MIS PADRES, POR TODO SU ESFUERZO Y  
EJEMPLO DE PERSEVERANCIA.

## RESUMEN

En el capítulo I, se menciona la historia de Cia de Minas Buenaventura, asimismo su política, misión, visión y valores con las cuales viene trabajando. El compromiso con sus trabajadores, con el medio ambiente y con sus comunidades de influencia son aspectos de importancia para su desarrollo.

En el capítulo II, se describe básicamente todos los procesos actuales que se tiene en la Planta de Procesos Orcopampa, desde la recepción del mineral de mina hasta la obtención de la barra Dore.

El capítulo III engloba el tema de investigación "Destrucción de cianuro mediante oxidación avanzada (Oxígeno Singlet)" , se muestran todos los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a flujo continuo en una Planta piloto.

En el capítulo IV se describe el proceso, así como los equipos instalados en la Planta de Nivel industrial para su puesta en operación.

El capítulo V y VI se basa en la operación de la Planta Industrial de Destrucción de cianuro mediante oxidación avanzada y recuperación de los valores de oro y plata contenidos en la solución sobrenadante de la relavera mediante las columnas de carbón.

## **ABSTRACT**

In chapter I mentioned the story of Cia de Minas Buenaventura also its policy, mission, vision and values which is working. The commitment to its workers, the environment and their communities of influence are of importance for their development.

Chapter II describes current processes basically all you have in the Process Plant Orcopampa, from receipt of ore mine to obtain Dore .

Chapter III covers the research topic "Destruction of cyanide by advanced oxidation (Singlet Oxygen)", shows all the results obtained in tests on a continuous flow pilot plant.

Chapter IV describes the process and the equipment installed in the plant industry level for operationalization.

Chapter V and VI is based on the operation of the industrial plant Cyanide Destruction by advanced oxidation and recovery of gold and silver values contained in the supernatant of the sludge by carbon columns.

## INDICE

	<b>Pag.</b>
Introducción	8
 <b>CAPITULO I: HISTORIA E INFORMACION DE LA CIA DE MINAS BUENAVENTURA</b>	
1.1 Compañía de Minas Buenaventura SAA	10
1.2 Política de seguridad y salud ocupacional, Medio Ambiente, Calidad y Relaciones Comunitaria	13
1.3 Misión, Visión y Valores de la empresa	15
1.4 Ubicación de la U.E.A Orcopampa	16
1.5 Geología distrital minero de Orcopampa	18
1.6 Recursos de la zona	20
1.7 Orcopampa en la Historia	21
 <b>CAPITULO II: TRATAMIENTO DE MINERAL EN LA PLANTA DE PROCESOS U.E.A. ORCOPAMPA</b>	
2.1 Operaciones de la Planta de Procesos Orcopampa	24

### **CAPITULO III: DESTRUCCION DE CIANURO POR EL METODO DE OXIDACION AVANZADA (OXIGENO SINGLET)**

3.1 Introducción	33
3.2 Degradación de cianuro con Peróxido de Hidrogeno + Hipoclorito de Sodio (Oxidación Avanzada)	34
3.3 Pruebas en Planta Piloto	35

### **CAPITULO IV: DESCRIPCION DE EQUIPOS Y PROCESOS DE LA PLANTA DE DESTRUCCION DE CIANURO MEDIANTE OXIDACION AVANZADA**

4.1 Sistema de tratamiento químico en etapas de la solución sobrenadante de la relavera	43
4.2 Sistema de almacenamiento y dosificación de reactivos	45
4.3 Tanques de reacción atmosférica	46
4.4 Filtros de carbón activado	47
4.5 Clarificador de discos	48
4.6 Pozas de almacenamiento de agua tratada	48

**5.- CAPITULO V: OPERACION DE LA PLANTA DE DESTRUCCION  
DE CIANURO MEDIANTE OXIDACION AVANZADA (OXIGENO  
SINGLET**

5.1 Operación de la Planta	50
5.2 Sistema de monitoreo	52
5.3 Resultados obtenidos	52
5.4 Costos de reactivos	55

**6.- CAPITULO VI : RECUPERACION DEL ORO CONTENIDO EN LA  
SOLUCION SOBRENADANTE DE LA RELAVERA**

6.1 Introducción	56
6.2 Sistema de operación	58
6.3 Inversión	59

<b>CONCLUSIONES</b>	61
---------------------	----

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	63
---------------------	----

<b>ANEXOS</b>	
---------------	--

## INTRODUCCION

Las plantas de lixiviación de minerales de oro con soluciones cianuradas, generan volúmenes importantes de residuos. Los efluentes líquidos de estos procesos, contienen elementos tales como cianuro de sodio, compuestos de cianuro de alta solubilidad, cianatos, tiocianatos y cianuro acomplejado con metales pesados, que son potencialmente tóxicos.

En la actualidad las Plantas de tratamiento de minerales vienen recirculando estos efluentes líquidos cianurados y así disminuir el consumo de agua fresca en sus operaciones.

Sin embargo para operaciones que necesitan evacuar estos efluentes líquidos cianurados al Medio Ambiente, existen varios métodos para la destrucción del cianuro:

- Degradación Natural
- Cloruración Alcalina



- Oxidación con peróxido de hidrogeno
- Destrucción Biológica
- Oxidación Avanzada (Oxigeno Singlet)

Se necesitan realizar muchas pruebas para determinar el mejor método que cumpla con destruir el cianuro hasta obtener valores que estén por debajo de los LMP.

En la implementación de cualquier proceso de destrucción o eliminación del cianuro y sus compuestos hay que tener en cuenta los siguientes parámetros fundamentales:

- Concentración de cianuro y metales en solución
- pH
- Consumo de agentes oxidantes
- Cinética de la reacción

Las compañías mineras están invirtiendo en mejorar su proceso de tratamiento de sus efluentes debido a que la evacuación de estos para las actividades minero - metalúrgicas esta normado según la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM (13.ene.1996).

## **CAPITULO I**

### **RESEÑA HISTORICA DE LA COMPANIA DE MINAS BUENAVENTURA**

#### **1.1 COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.**

Inició sus operaciones en Julio de 1953 cuando entró en operación la unidad minera Julcani. Los logros más importantes, desde 1953, han sido los siguientes:

- 1956. Incorporación de la mina recuperada en el distrito de Huachocolpa, Huancavelica.
- 1960. Inauguración de la Planta concentradora Corralpampa, en Huachocolpa, Huancavelica. Inicio de operaciones en Orcopampa, Arequipa.
- 1960. Inicio de exploraciones en Uchucchacua en la provincia de Oyón, Lima.
- 1967. Inauguración de la planta concentradora de Orcopampa
- 1969-73. Instalación de la Planta piloto en Uchucchacua.
- 1972. Constitución de subsidiaria, Compañía de Minas Colquirrumi S.A., en Hualgayoc, Cajamarca y Constitución de subsidiaria, Compañía Minera Condesa en Huachocolpa, Huancavelica.
- 1975. Instalación de la Planta industrial de Uchucchacua
- 1977. Constitución de subsidiaria Buenaventura Ingenieros S.A. (BISA)

- 1978-79. Ampliación de las operaciones de Uchucchacua y agresiva campaña de exploraciones en Julcani incluyendo el inicio de la construcción del túnel Gandolini de 4.5 km.
- 1979. Constitución de Inversiones Mineras del Sur (IMINSUR), Cia Minera Shila S.A, Empresa Minera Iscaycruz.
- 1979. Constitución de subsidiaria Compañía Minera Toachi S.A., Ecuador.
- 1979. Incorporación de Sociedad Minera El Brocal S.A., Colquijirca, Cerro de Pasco.
- 1979. Intervención de la Internacional Finance Corporation (IFC) como accionista e inversionista en el plan de expansión de Uchucchacua.
- 1980 Ampliación de las operaciones en Julcani.
- 1980 Construcción de la Central hidroeléctrica de Patón (1,500 Kw) en Ututo, Unidad de Producción de Uchucchacua.
- 1981 Instalación de la Planta de sulfuro de sodio, Uchucchacua.
- 1982 Beginning of explorations in Yanacocha area.
- 1983 Conclusión del túnel Gandolini, Julcani.
- 1983 Constitución de subsidiaria, Consorcio Energético de Huancavelica S.A.
- 1985 Construcción de la Línea de alta tensión desde Huancavelica hasta las minas de Castrovirreyna pasando por Julcani y Huachocolpa que distribuye energía de la hidroeléctrica del Mantaro
- 1985 Incorporación e Inversiones Mineras del Sur.
- 1988 Construcción de la Planta hidroeléctrica de Huancarama (2,600 Kw), Orcopampa.
- 1992 Se constituye Minera Yanacocha S.A. con participación de Buenaventura Newmont y BRGM.

- 1993 Primera barra de doré de Yanacocha.
- 1995 Venta de participación en Empresa Minera Iscaycruz S.A. a Glencore.
- 1996 Opción de compra de 9.17% de Minera Cerro Verde a Cyprus-Amax.
- 1996 Inscripción de Buenaventura en la Bolsa de valores de Nueva York y colocación del programa de ADR.
- 1996 Aumento de la participación de Buenaventura en Yanacocha (bajo medida cautelar).
- 1996 Adquisición del 100% de Cedimin (bajo medida cautelar).
- 1997 Construcción de Línea de alta tensión desde de 48 kms desde Chacua hasta Cerro de Pasco, conexión al sistema nacional.
- 1997 Nuevo molino en Chacua permite duplicar la producción.
- 1998 Inicio de exploraciones en la veta Nazareno, mina Chipmo, Orcopampa.
- 2000 INMINSUR inicia la construcción del proyecto Antapite.
- 2000 Acuerdo final y definitivo entre Buenaventura, Newmont y BRGM que ratifica el incremento de participación en minera Yanacocha y Cedimin.
- 2001 CONENHUA construye una línea de transmisión de 220Kv de 147 kms, entre Trujillo y Cajamarca, para atender a Yanacocha y que además permite la electrificación de Cajamarca y sus alrededores.
- 2001 INMINSUR inicia la operación de la mina Antapite, en Ica.
- 2002 Inicio de construcción del Túnel Patón en Uchucchacua.
- 2003 Inicio de construcción de planta de cianuración en Orcopampa.
- 2003 Culminación de la construcción del Túnel Patón en Uchucchacua.
- 2004 Inicio de operaciones de la planta de cianuración de Orcopampa.
- 2004 Inicio de proyecto de profundización de la mina Chipmo, Orcopampa.

- 2004 Inicio de operaciones de la planta de cianuración de Orcopampa.
- 2004 CONENHUA inicia la construcción de la Línea de Transmisión en 138Kv de 104Km entre Callalli y Ares.
- 2007 Inicio del nuevo circuito con molino SAG Orcopampa.
- 2007 Inicio de concentración de mineral de Poracota
- 2008 /04 de julio aprobación del proyecto minero La Zanja en la provincia de Santa Cruz - Cajamarca.

## **1.2 POLÍTICA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL, MEDIO AMBIENTE, CALIDAD Y RELACIONES COMUNITARIAS**

La seguridad, protección ambiental, responsabilidad social y calidad se han convertido en aspectos importantes para la actividad minera a lo largo de las diversas etapas de un proyecto.

Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. reconoce siempre a las personas como su principal recurso. Por ello, considera su obligación promover la existencia de condiciones seguras en sus diferentes áreas de trabajo para brindar una adecuada protección a todos sus trabajadores.

Buenaventura está convencido que la producción y el cuidado del medio ambiente, van de la mano, al igual que las buenas relaciones con las poblaciones ubicadas en el área de influencia de nuestras actividades. Esta convicción se sustenta en nuestra concepción del desarrollo sostenible, el cual tiene tres dimensiones: social, ambiental y económica.





**POLITICA DE SEGURIDAD Y SALUD  
OCUPACIONAL, MEDIO AMBIENTE, CALIDAD Y  
RELACIONES COMUNITARIAS**

Somos una empresa minero metalúrgica productora de minerales y metales.

La persona humana es el eje central de la empresa.

Nuestras actividades se rigen por la práctica de los siguientes valores: integridad, laboriosidad, honestidad, lealtad, respeto y transparencia.

Nuestros actos se fundamentan en los siguientes compromisos:

- Alcanzar nuestros objetivos y metas de seguridad y salud ocupacional, medio ambiente, calidad y relaciones comunitarias, en concordancia con la Visión y Misión de la empresa.
- Cumplir la legislación aplicable, requisitos y compromisos asumidos por la empresa relacionados con la seguridad y salud ocupacional, además de los aspectos de calidad, los ambientales y sociales.
- Prevenir las lesiones y enfermedades de nuestros colaboradores y visitantes, así como los impactos ambientales y sociales adversos que pudieran ser generados por nuestras actividades y productos.
- Desarrollar un proceso permanente de mejora continua del Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, medio ambiente, calidad y relaciones comunitarias.
- Trabajar respetando las costumbres locales, promoviendo la identidad y el desarrollo sostenible de nuestro entorno local.
- Utilizar las mejores prácticas y tecnologías económicamente factibles para asegurar la calidad de nuestras actividades, procesos y productos.

Lima 3 de Junio del 2008

v.2.



**Alberto Benavides de la Quintana**  
Presidente del Directorio

**Figura N° 1.1.- Política integrada de CMBSAA**

### **1.3 MISIÓN, VISIÓN Y VALORES DE LA EMPRESA.**

#### **• MISIÓN**

En la compañía de minas Buenaventura S.A.A. Unidad Económica Administrativa Orcopampa, la empresa pone especial énfasis en producir de una manera segura y en armonía con la naturaleza, preservando la integridad del medio ambiente.

Buenaventura cree en el valor de la persona humana como eje central de la Empresa. Su desarrollo se sustenta en el respeto, confianza y consideración mutua para con todos los que trabajan en ella, para con sus accionistas, autoridades, socios, clientes y comunidad en general. Para lograrlo trabajan, permanentemente en busca de la excelencia, generando riqueza en el proceso, sin desmedro del bienestar y seguridad de sus trabajadores y cuidando el medio ambiente que los rodea, de acuerdo a la filosofía de la Empresa.

#### **• VISIÓN**

La visión de la Empresa de Minas Buenaventura para el 2014 es ser una empresa minero metalúrgica globalmente competitiva, ser líderes en términos de seguridad y oportunidades para el desarrollo de todos los trabajadores, así como generar valor y rentabilidad para los accionistas.

Estar comprometidos con nuestro medio ambiente aplicando los procedimientos correctos, y comprometidos con las comunidades.

• VALORES



**Figura N° 1.2.-** Los 6 valores con los que CMBSAA está comprometido a trabajar

#### 1.4 UBICACIÓN DE LA UEA ORCOPAMPA.

El distrito minero de Orcopampa se encuentra ubicado en la provincia de Castilla, departamento de Arequipa a una distancia de 1,350 Km de la ciudad de Lima, y 3,800 m.s.n.m.

La distancia de la mina a la capital del departamento es de 380 Km por vía terrestre y de 150 km por vía aérea.

Existen dos vías terrestres de acceso a la mina :

- Arequipa – Aplao – Viraco - Orcopampa (370 Km.)
- Arequipa - Sybayo - Caylloma - Orcopampa (320 Km.)



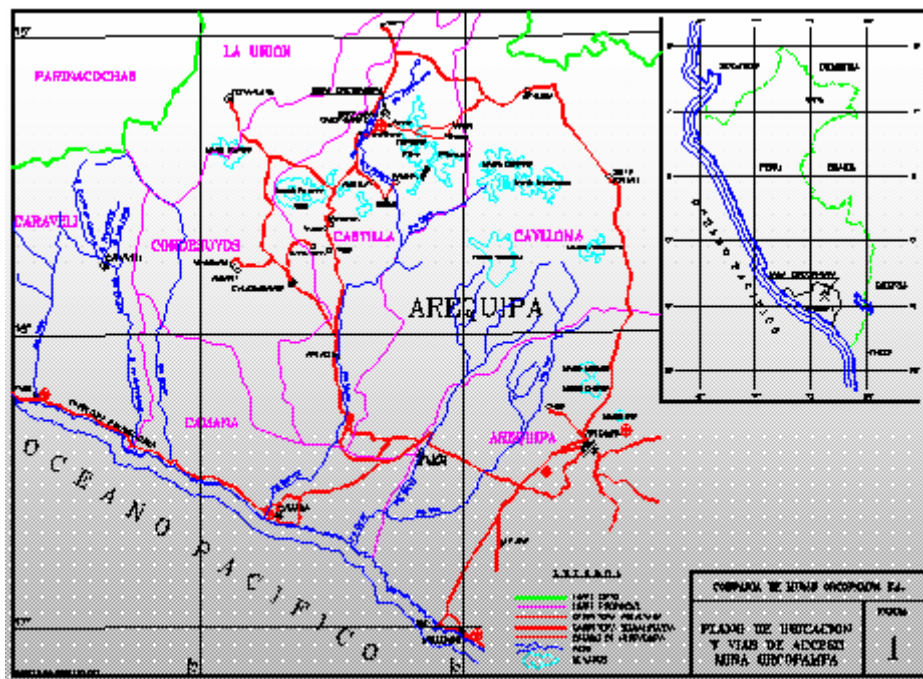


Figura N° 1.3.- Plano de ubicación y vías de acceso a Mina Orcopampa

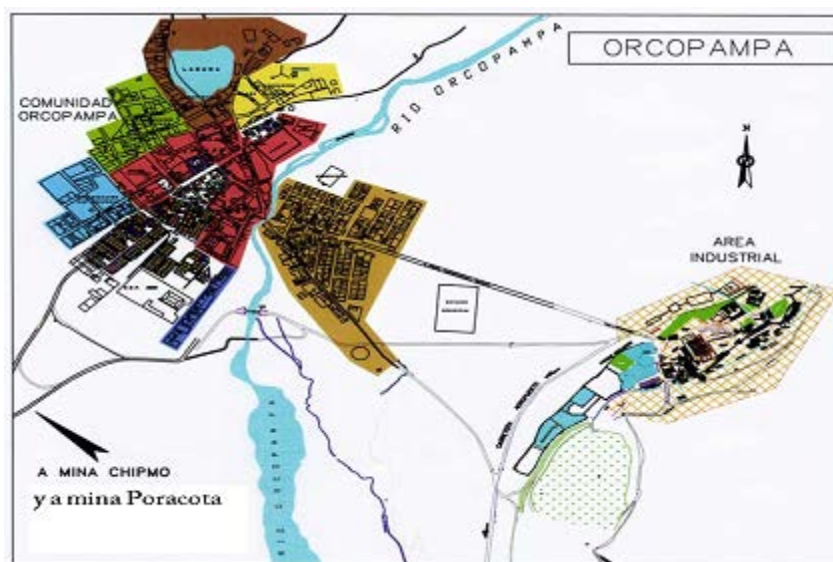


Figura N° 1.4.- Plano del Distrito de Orcopampa y Área Industrial

## **1.5 GEOLOGIA DISTRITAL MINERO DE ORCOPAMPA**

Se encuentra ubicado

- Longitud : 72°20'40''W
- Latitud : 15°15'30''S
- Altitud : 3,800 m.s.n.m.

### **GEOLOGIA REGIONAL**

Se da por 5 unidades bien diferenciadas

1. Rocas sedimentarias del mesozoico (Yura, Murco y Arcurquina).
2. Rocas volcánicas del terciario.
3. Rocas intrusitas del terciario.
4. Rocas volcánicas del cuaternario.
5. Depósitos aluviales.

### **LITOLOGIA**

- ORCOPAMPA: Complejos (domos de lava de composición dasítica y andesítica).
- CHIPMO: Consta de roca volcánica de Andahua, tufo chipmo.

### **GEOLOGIA LOCAL**

- Chipmo entre la quebrada Ocoruro y río Chilcaymarca a 5 Km.

- La roca hospedante de las vetas Nazareno, Prometida y Natividad, son flujos y domos de composición dacítica y andesítica y cuarzo perteneciente al complejo volcánico Sarpane.
- Así mismo, en la parte norte se presentan tufos riolíticos Manto.
- Paralelo a la veta Nazareno se reconocen diques hornablendicos.

### **GEOLOGIA ECONOMICA**

- La mineralización de Chipmo pertenece a un sistema epitermal del tipo relleno de fractura.
- La mineralización de vetas Nazareno, Prometida y Natividad en esta área consisten principalmente de oro nativo asociado a telurios, así como a cobres grises y piritas en cuarzos lechosos, venas de dickita-alumita y bandas de baritina.
- El principal mineral de oro es la calaverita (75%) y minoritariamente (15%) oro nativo, los cobres grises petzita y hessita son constituyentes menores, el tamaño de la mineralización es a promedio menor a 30 micras para la calaverita y 50 micras para oro nativo, aunque hay partes donde se observa microscópicamente.

### **CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS SOBRE EL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO AURÍFERO CHIPMO**

Las vetas de oro epitermales de alta sulfuración de la mina Chipmo (Orcopampa) se encuentran emplazadas en el arco volcánico continental calco-alcalino del Sur

del Perú, del Oligoceno superior a reciente; en unidades pertenecientes al Grupo Tacaza.

La roca hospedante en el área de Chipmo consiste de flujos y domos de composición dacítica, andesítica riodacítica y cuarzo latita perteneciente al complejo volcánico Sarpane (18 – 19 Ma). Tres unidades litológicas predominan en la zona de operaciones de la mina: una unidad andesítica la cual se encuentran mayormente argilizada, una unidad de composición dacítica que tiene diferentes grados de silicificación y una tercera unidad de composición riodacítica la cual está preferentemente silicificada acompañada por impregnaciones de dickita-caolín en las fracturas.

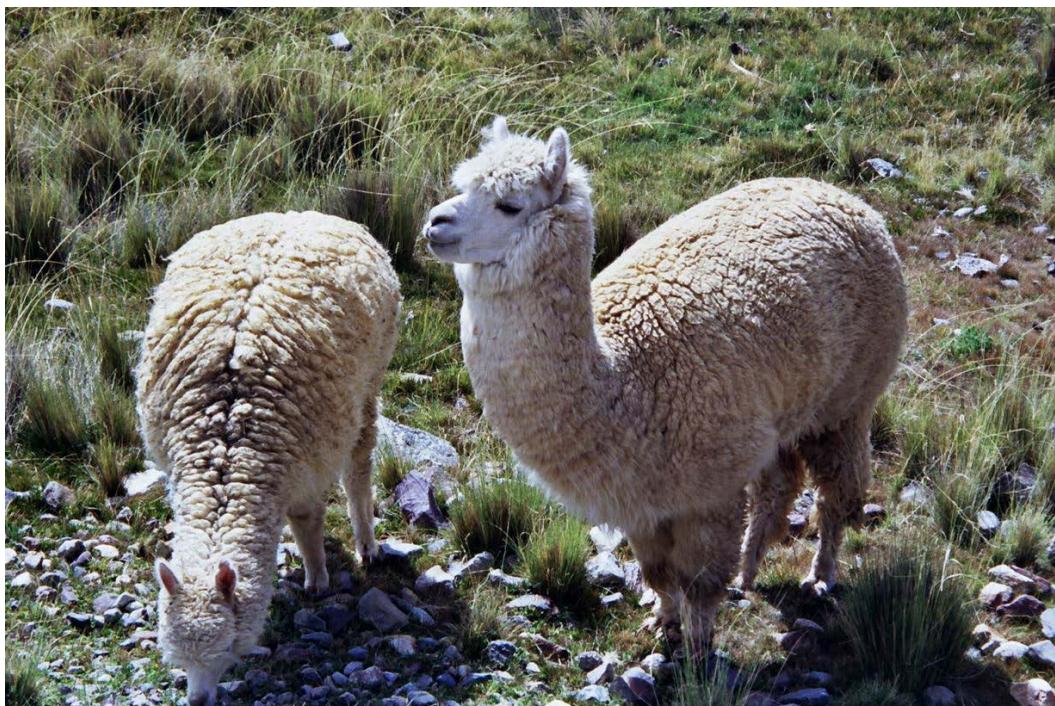
Las vetas están compuestas principalmente por cuarzo de diferentes tipos (blanco, lechoso, gris y sacaroide) y minerales secundarios como pirita, baritina, estibina, dickita, caolín. Las texturas típicas presentadas son como resultado de múltiples episodios de brechamiento (V. Nazareno) y relleno de espacios abiertos (V. Prometida). El principal mineral de oro presente es la calaverita y minoritariamente el oro nativo; cobre grises, petzita y hessita son constituyentes menores.

## **1.6 RECURSOS DE LA ZONA**

Los recursos locales son escasos en los alrededores de la mina tienen una incipiente agricultura, la ganadería generalmente en la zona es de alpacas, llamas, en su mayoría.

Constituye su fauna por pastos de puna, ichu, musgos y líquenes.

La ganadería en el lugar también es limitada a pequeñas cantidades de auquénidos como llamas, alpacas, vicuñas, venados, vizcachas, etc.



**Figura N° 1.5.-** Alpacas de la zona

## **1.7 ORCOPAMPA EN LA HISTORIA**

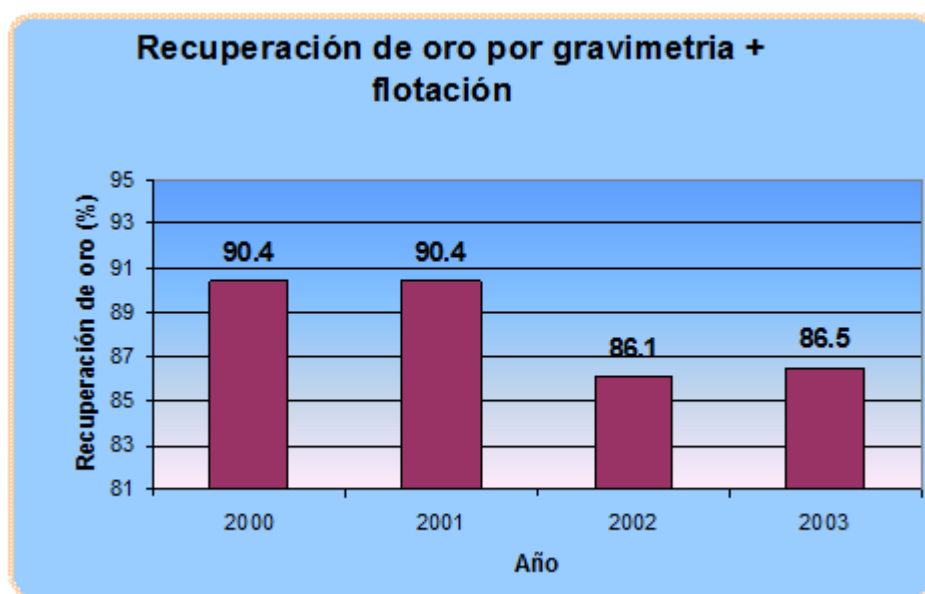
Desde 1,967 Compañía de Minas Buenaventura, en su Unidad de producción Orcopampa, opero con minerales de Plata, mediante el proceso de flotación.

A partir de 1,987 Orcopampa comienza a explotar zonas mineralizadas con altos contenidos de oro.

En el año 2,000, con el inicio de la explotación del nuevo yacimiento en el distrito de Chipmo, los valores de plata en el mineral prácticamente

desaparecieron, quedando el concentrado de Flotación con leyes de oro que fluctúan entre 2 y 5 oz de Au / TCS y un promedio de 1 oz de Ag / TCS.

En el año 2,002, la recuperación del oro decrece debido al cambio en la mineralización (ausencia de sulfuros e incremento de óxidos)



**Figura 1.6.** Resultados anuales de la recuperación por Gravimetría + Flotación

Debido a esta caída en la recuperación del oro, se realizaron pruebas de cianuración, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 1.1** Resultados de las pruebas de laboratorio - Gravimetría + Cianuración

<i>Molienda % -200 M.</i>	<i>Recuperación Total %</i>	
	<i>Ag</i>	<i>Au</i>
<b>58</b>	<b>78.4</b>	<b>96.0</b>
<b>66</b>	<b>79.1</b>	<b>96.3</b>
<b>75</b>	<b>79.9</b>	<b>96.7</b>
<b>82</b>	<b>77.6</b>	<b>97.1</b>

En el mes de Febrero del año 2004, se inicia el tratamiento del mineral en el circuito de cianuración, desde ese momento la recuperación de oro en la Planta de Procesos Orcopampa se ha mantenido en valores superiores a 95%.

## CAPITULO II

### TRATAMIENTO DE MINERAL EN LA PLANTA DE PROCESOS U.E.A. ORCOPAMPA

#### 2.1 OPERACIONES DE LA PLANTA DE PROCESOS ORCOPAMPA

La Planta de Procesos Orcopampa trata un mineral aurífero (Mina Chipmo) de ley de cabeza promedio 18.0 g/TM. y su producto final son barras doré.

La Planta cuenta con las operaciones de chancado, molienda, gravimetría, espesado, cianuración con carbón (CIL), cianuración de concentrados gravimetricos, desorción - electro deposición, merrill crowe, fundición , lavado acido de carbón , regeneración de carbón, destrucción de cianuro y disposición de relaves.

La recuperación mediante el proceso de gravimetria + cianuracion son en promedio: Au=95.5% y Ag=52.8%.

**La sección de chancado** se inicia con la recepción de mineral de la mina Chipmo de un tamaño promedio de 10” en un tolván de 70 TM de capacidad que alimenta a la chancadora Nordberg C100 de 30” x 40”. El producto de la chancadora es conducido hacia la tolva pulmón de 1000 TCS mediante la faja transportadora N° 1.



**La Sección molienda.** La Faja Transportadora N°02 alimenta mineral hacia el Molino SAG 15.5'x11' el cual descarga a una Zaranda de alta frecuencia Sisetec 6'x12', el oversize pasa al Faja Transportadora N°03 retornando como carga circulante hacia la Faja Transportadora N°02. La Bomba Warman 6"x8" bombea la pulpa del undersize hacia el cajón de la bomba Mill Max 8" x 6", la cual bombea la pulpa hacia el ciclón gmax de 15", el producto fino de la clasificación con una granulometría mayor de 90% -m200 alimenta al espesador 70' x16'. El producto grueso de la clasificación retorna al Molino de bolas Dominionium 12' x16'. El pH se mantiene en valores mayor a 10.5. La lechada de cal a una concentración de 1.3% se adiciona al cajón de la bomba Mill Max y la solución de cianuro de sodio a una concentración del 10% es adicionado al ingreso del molino de bolas Dominionium 12' x 16'.

La descarga del Molino de Bola Dominionium 12x16 es bombeado hacia la Zaranda Sisetec de gravimetría para alimentar al Falcon SB 5200.

**Sección de espesamiento.** La pulpa que proviene del overflow de los ciclones a una densidad promedio de 1.20 Kg/lt, es tamizado en una zaranda 4' x 12' para separar los desechos que vienen acompañando al mineral (madera molida, plásticos, etc.). Antes de ingresar al espesador Door Oliver 70' x 16', en un cajón se mezcla con floculante aniónico en solución 0.13 % con la finalidad de aumentar la velocidad de sedimentación.

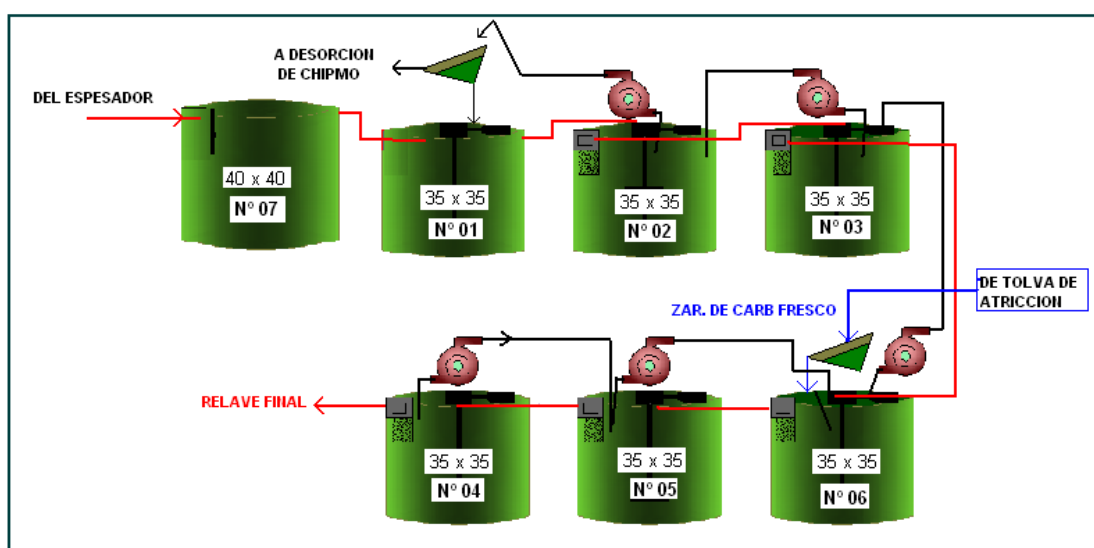
El Overflow o rebose del espesador cargado de valores se envía por gravedad a las pozas de solución rica y de ahí hacia Merrill Crowe, el underflow del espesador que tiene una densidad promedio de 1.40 Kg/lt que corresponde a 45% sólidos, es bombeado al tanque N°01 de carbón in leach.

**Sección Carbón in leach.** Aquí se completa el proceso de disolución de oro con cianuro.

La cianuración se lleva a cabo a una fuerza de cianuro inicial que varía de 800 a 1200 ppm en 7 tanques (seis tanques de 35' x 35' y uno de 40 x 40'), con un tiempo de residencia total de 72 horas, la oxigenación de la pulpa se lleva a cabo mediante la insuflación de oxígeno de 90% de pureza en los 7 tanques.

Los tanques están en gradiente por lo que el flujo de pulpa se trasvasa por gravedad de tanque a tanque, para evitar el paso del carbón junto con la pulpa se cuenta con los tamices autolimpiantes Kemix a la salida de cada tanque.

La Nivelación de Carbón cuando se realiza la cosecha de tres toneladas de carbón del tanque N°02 ese tanque queda con tres toneladas menos, por lo tanto tenemos que reponer ese carbón. Las tres toneladas para reponer ingresa al tanque N°06 procedente de la sección desorción o de regeneración de carbón. El trasvase de carbón de tanque a tanque, de atrás hacia delante en sentido contrario al de la pulpa se realiza con las bombas Bredel SPX 100.



**Figura N° 2.1.-** Esquema de los Tanques de Cianuración (CIL)

**Sección Cianuración de concentrados gravimétricos.** En esta etapa se procesa el concentrado obtenido por gravimetría mediante cianuración intensiva en tanques de cianuración Pachuca y Chapacocos.

El concentrado gravimétrico es recepcionado en la planta de cianuración, donde es muestreado, pesado y acumulado en una tolva de 6 TM luego es alimentado mediante una faja a un Molino de Bolas DENVER 3'x 8' donde se realiza una molienda en circuito cerrado con un ciclón D-6. La pulpa es depositada en un tanque de cianuración Pachuca 6"x 24" o Chapacoco 8"x 24" donde las condiciones de cianuración son de 1.0- 1.5% NaCN, 30% de sólidos y pH promedio de 11. La cianuración en el tanque se realiza por 24 horas y luego la pulpa es alimentada hacia el filtro prensa SPERRY de 36", mediante el cual se obtiene la solución rica que es depositada en un tanque de 50 m<sup>3</sup>, de aquí es bombeada hacia un filtro prensa y finalmente la solución clarificada obtenida es enviada hacia el tanque de 100 m<sup>3</sup> del proceso Merrill Crowe.

Los sólidos filtrados son recirculados hacia el mismo tanque de cianuración para continuar la extracción de oro y plata. Este ciclo (cianuración-filtrado-recirculado) se realiza 03 veces luego del cual los sólidos cianurados son enviados al proceso CIL.

**Sección Desorción y electro deposición.** Mediante el proceso de desorción se extrae el oro y la plata adsorbido en el carbón, resultando una solución cargada en oro y plata que son recuperados por electro deposición.

El carbón cargado del tanque CIL Nro. 02 es bombeado hacia la Zaranda de Cosecha, la pulpa regresa al tanque 02 y el carbón es transferido por gravedad a la Tolva de Recepción de Carbón Cargado de 7.3 m<sup>3</sup> hasta acumular 3000 kg de carbón. Este carbón es transferido hacia la torre de desorción (stripper). La

solución barren que se utiliza para desorber el carbón se calienta a 125 °C. La solución es bombeada del Tanque de Solución Barren, atraviesa el Intercambiador Nro. 2 elevando su temperatura de 85 a 110 °C y pasa al Intercambiador Nro. 01 donde la temperatura llega a 125 °C, ingresa por la parte inferior del Stripper, pasa a través de la columna de carbón dentro del stripper y sale por la parte superior cargada en valores de oro y plata, pasa por el Intercambiador Nro. 2 disminuyendo su temperatura a 105 °C, ingresa al tanque rompe presión y llega con una temperatura de 95 °C a las celdas electrolíticas.

La solución enriquecida que sale del stripper, pasa a las celdas electrolíticas, donde el oro precipita y la solución empobrecida retorna al stripper para nuevamente enriquecerse, esta operación se repite por un periodo de 20 horas.

El carbón desorbido es bombeado al Tanque CIL Nro. 06.

**Sección Merrill Crowe.** En esta etapa se recuperan el oro y la plata de la solución rica clarificada mediante la precipitación con polvo de zinc.

La solución rica del over flow del espesador 70'x16' pasa a través de 02 pozas de 350 m<sup>3</sup> cada una y es alimentada a un tanque de 100 m<sup>3</sup> donde se junta con la solución rica clarificada de la cianuración de concentrados gravimétricos, de este tanque se bombea hacia el proceso Merrill Crowe.

Esta solución rica con una turbidez promedio de 20 NTU pasa a través de un clarificador HERCULES donde se retiene los sólidos presentes en la solución mediante la ayuda filtrante (tierra celite), la solución resultante tiene una turbidez inferior a 10 NTU y va hacia una torre de vacío para la desoxigenación. A la solución clarificada y desoxigenada se le agrega zinc en polvo, ocurriendo la precipitación del oro, plata e impurezas; este precipitado en solución es

bombeado mediante una Bomba GOULDS vertical de 40 HP hacia un filtro Prensa (SHRIVER 36" ó SPERRY 36") para separar el precipitado.

La solución resultante es una solución barren (pobre en oro y plata) que es bombeada hacia la poza de 1000 m<sup>3</sup> de donde recircula al proceso. El precipitado es secado y calcinado en la retorta.

**Sección Fundición.** En esta etapa se recupera el oro y plata de los precipitados obtenidos por electro deposición y precipitación con polvo de zinc.

Se cuenta con un sistema de recuperación del mercurio compuesto por una retorta, donde se seca y se calcina el precipitado a una temperatura de 500 -700 °C. Los gases y vapores generados son inducidos a pasar a través de dos condensadores y un filtro de carbón mediante una ligera presión de vacío. Los vapores de mercurio son condensados y recuperados en un tanque receptor donde se almacena el mercurio hasta su cosecha.

El precipitado calcinado se mezcla con fundentes

**Fundentes usados:**

- **Bórax:** ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) funde a 743°C disminuye punto de fusión de toda la carga
- **Sílice :** ( $\text{SiO}_2$ ) funde a 1750 °C, fundente ácido

Escorias con alto contenido de Sílice son viscosas

mezclados con Bórax forma cadenas borosilicatadas estas escorias tiene alta solubilidad (fluidez).

- **Nitrato de Sodio:** ( $\text{Na}_2\text{NO}_3$ ) oxida metales básicos, punto de fusión 338 °C

A 500°C se descompone produciendo  $O_2$  y oxida a los sulfuros y algunos metales como el Fe, Cu, Zn.

- **Carbonato de Sodio:** ( $Na_2CO_3$ ) fundente básico, funde a 852 °C

proporciona transparencia a la escoria

La fundición se realiza mediante un horno basculante usando un crisol de carburo de silicio, por cada colada se obtiene una barra de 30 +- 4 kg.

El contenido metálico de las barras son superiores al 90% (entre oro y plata).



**Figura N° 2.2.-.** Barras DORE (Contenido de Au + Ag > 90%)

**Sección Regeneración del carbon,** aquí se realiza el lavado ácido y la reactivación térmica del carbón que tienen la finalidad de recuperar las propiedades de adsorción del carbón.

Con el lavado ácido se trata de eliminar los carbonatos de calcio y otros componentes inorgánicos adsorbidos en el carbón. Después de la desorción el carbón es transferido mediante una bomba hacia el tanque de Lavado Ácido de donde se utiliza una solución al 6.3% de ácido clorhídrico y luego de algunas

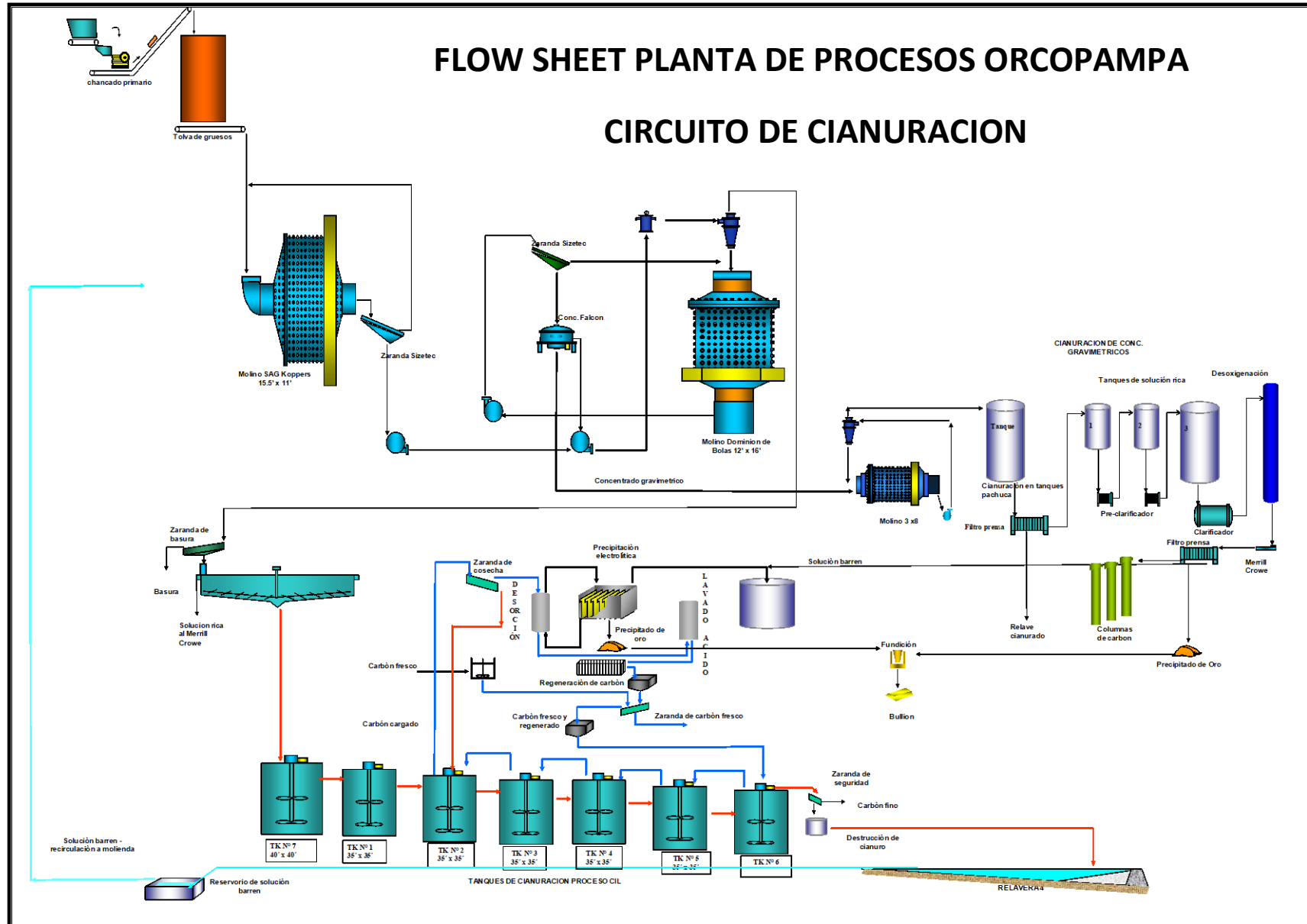
horas de lavado se enjuaga con una solución de hidróxido de sodio y antiincrustante, el carbón lavado es bombeado hacia la Tolva de Regeneración de 8.6 m<sup>3</sup>.

La reactivación térmica tiene la finalidad de remover los componente orgánicos adsorbidos en el carbón, se realiza mediante un horno rotatorio (que utiliza gas licuado de petróleo) a una temperatura de 700 °C, el carbón es enfriado con agua inmediatamente y transferido hacia el tanque CIL Nro. 6

**Sección Destrucción de cianuro**, como su nombre lo indica se destruye los cianuros remanente del relave de la cianuración en carbón (Carbón in leach), para ello se utiliza el acido caro's ( $H_2SO_5$ ) que es un acido formado de la mezcla del peróxido de hidrógeno y el ácido sulfúrico. En una reacción rápida y exotérmica.

#### **Sección Disposición de relave**

La presa de relave está recubierta con membrana plástica de polietileno de alta densidad que evita las filtraciones. La pulpa se decanta retornando el excedente de agua para ser reutilizado en la planta.





## **CAPITULO III**

### **DESTRUCCION DE CIANURO POR EL METODO DE OXIDACION AVANZADA (OXIGENO SINGLET)**

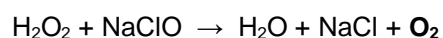
#### **3.1 INTRODUCCION**

La relavera N°4 de la UEA Orcopampa viene operando desde el año 2004 hasta la actualidad, el espejo de agua sobrenadante tiene valores de cianuro total y cianuro wad que es de 50 ppm y 30 ppm en promedio, respectivamente. El espacio ocupado por esta agua sobrenadante resta capacidad a esta relavera, Por ello es necesario evacuar esta agua, permitiendo el uso óptimo de la capacidad de almacenamiento, y, a la vez, ampliando la vida útil de esta relavera. A la fecha se cuenta con la autorización de vertimiento por parte de la autoridad nacional del agua.

Para ello, el agua será tratada por oxidación avanzada, mediante un proceso de oxidación avanzada que mezcla el peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio para la generación de un oxidante fuerte conocido como oxígeno singlet. Esto permite reducir sustantivamente las concentraciones de cianuro, posibilitando su descarga al ambiente por cumplir con la legislación ambiental vigente y las normas ambientales internas de la Unidad para la descarga de efluentes metalúrgicos. Cabe mencionar, antes de ser sometida a este tratamiento, el agua sobrenadante pasará a través de una Planta de adsorción (Circuito CIC) con carbón para recuperar los contenidos residuales de oro, presentes en la solución.

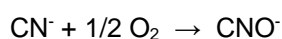
### **3.2 Degradación de cianuro con Peróxido de Hidrogeno + Hipoclorito de Sodio (Oxidación Avanzada)**

Este método consiste en la utilización conjunta de los agentes hipoclorito de sodio y peróxido de hidrogeno, la reacción dentro de las condiciones definidas de pH, da origen a un oxígeno particularmente muy reactivo:

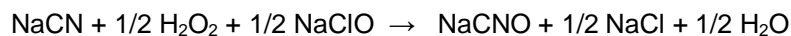


Esta generación a partir de  $\text{H}_2\text{O}_2$  -  $\text{NaClO}$  es más interesante en el tratamiento de aguas residuales, porque emplea dos productos químicos clásicos de fácil manipulación y poseen ellos mismos una función de oxidantes.

La reacción de este oxígeno reactivo (oxígeno Singlet) sobre los cianuros proporciona una formación de cianatos según la reacción:



Con el par  $\text{H}_2\text{O}_2$  -  $\text{NaClO}$ , la reacción global es la siguiente:



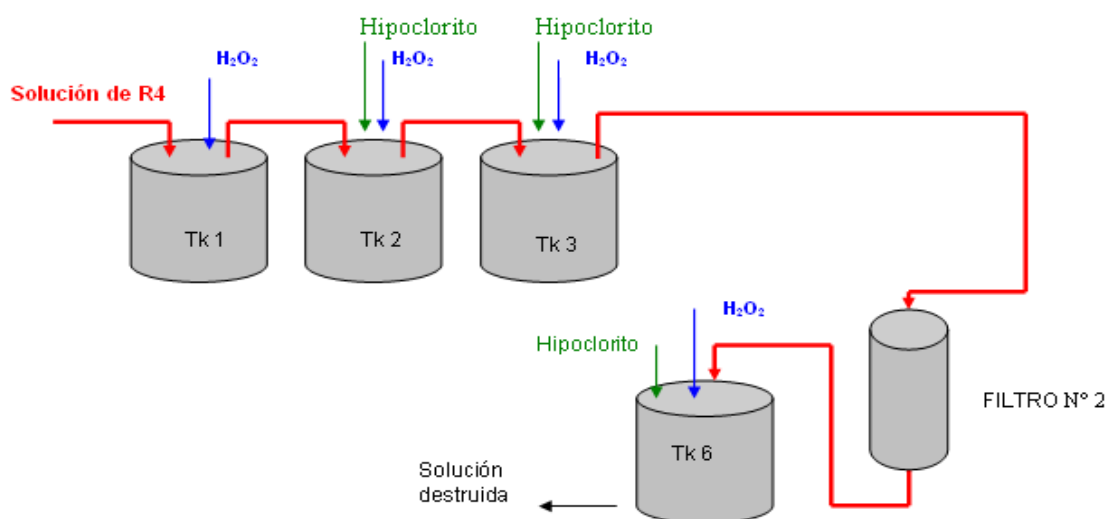
Para generar el oxígeno Singlet, la adición de los agentes puede ser hecha en cualquier orden. No obstante, en el tratamiento de soluciones cianhídricas, es necesario introducir en primer lugar el peróxido de hidrógeno. La adición de hipoclorito de sodio antes del peróxido en un pH inferior a 11 acarrea la formación de cloruro cianógeno, compuesto muy tóxico.

### 3.3 Pruebas en Planta Piloto

#### 3.3.1 Esquema del proceso

Tk1: Oxidación con peróxido de Hidrógeno.

Tk2, Tk3 y Tk6: Oxidación avanzada (Peróxido de Hidrógeno + Hipoclorito de Sodio)



**Figura N° 3.1.-** Esquema circuito Destrucción de cianuro mediante oxidación avanzada



**Figura N° 3.2.-** Planta piloto para pruebas de destrucción de cianuro mediante la oxidación avanzada



**Figura N° 3.3.-** Planta piloto para pruebas de destrucción de cianuro mediante la oxidación avanzada, se observa la coloración de la reacción

### 3.3.2 Parámetros de operación

Después de realizar 20 pruebas con flujo continuo, la prueba N°6 obtuvo los mejores resultados bajo los siguientes parámetros:

- Flujo: 6- 8 L/min.
- Volumen de Tanques: 200 L
- Reactivos:

Peróxido de Hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 50%,

Hipoclorito de Sodio ( $NaClO$ ) al 10%

- pH: 8.5

Dosificación de reactivos de la Prueba N°6

Tanque 1 : Oxidación con peróxido (3.6 cc/min)

Tanque 2 : Oxidación avanzada

Peróxido de hidrogeno (1.0 cc/min)

Hipoclorito de sodio (0.5 cc/min)

Tanque 3 : Oxidación avanzada

Peróxido de hidrogeno (1.0 cc/min)

Hipoclorito de sodio (0.5 cc/min)

Tanque 6 : Oxidación avanzada

Peróxido de hidrogeno (1.5 cc/min)

Hipoclorito de sodio (1.0 cc/min)

### 3.3.3 Cuadro de Resultados:

Se repitieron 08 pruebas con los mismos parámetros, para verificar los resultados obtenidos:

**Tabla 3.1.** Resultados obtenidos de las pruebas realizadas con los mismos parámetros de la Prueba N° 6

Nro Prueba		CN Total ppm	%CN Total Destruido	CN Wad ppm	%CN Wad Destruido	SCN ppm	%SCN Destruido
P-06	Cabeza	48.66	99.6	39	99.7	61.36	96.2
	Relave	0.20		0.1		2.32	
P-21	Cabeza	45.00	99.8	29	99.9	67.27	98.8
	Relave	0.08		<0.02		0.8	
P-22	Cabeza	54.00	99.9	30.66	99.9	64.68	94.7
	Relave	0.06		<0.02		3.45	
P-23	Cabeza	35.00	99.9	24	99.9	54.33	96.8
	Relave	0.04		<0.02		1.72	
P-24	Cabeza	43.00	99.9	35	99.9	69.85	97.4
	Relave	0.05		<0.02		1.8	
P-25	Cabeza	56.00	99.9	38	99.9	62.09	96.9
	Relave	0.08		0.02		1.94	
P-26	Cabeza	40.00	99.9	37	99.9	62.09	99.3
	Relave	0.03		<0.02		<0.43	
P-27	Cabeza	45.00	99.9	22	99.9	62.74	99.3
	Relave	0.02		<0.02		<0.43	
P-28*	Cabeza	43.00	98.8	28	99.2	62.95	95.9
	Relave	0.53		0.23		2.56	
Promedio	Cabeza	45.83	99.8	31.83	99.9	63.05	97.4
	Relave	0.07		0.03		1.61	
LMP**		1.00		0.2		--	

\*Hubo problemas en la dosificación de peróxido de hidrogeno (no estuvo controlada), estos resultados no se consideran para el promedio de los resultados

\*\*LMP de emisiones para las unidades minero - metalurgicos (Anexo 1)

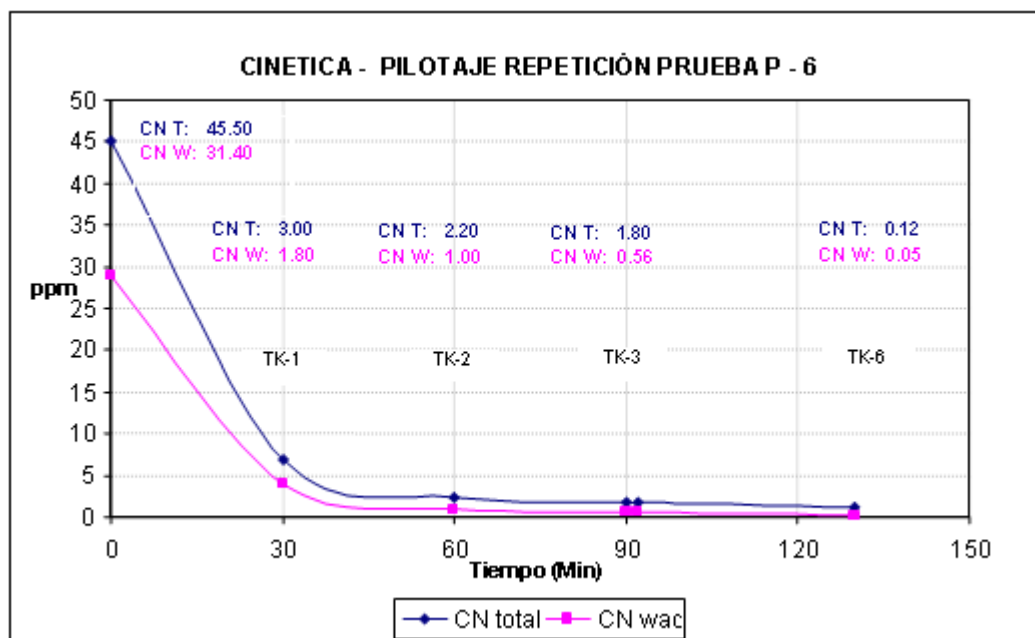
A la solución tratada se realizó el análisis de metales:

**Tabla 3.2.** Resultado del análisis de la solución tratada

	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cl libre ppm	Pb ppm	Zn ppm
Promedio	<0.10	0.065	<0.10	ND	<0.10	<0.03
LMP *	2	1	---	---	0.4	3

\* LMP de emisiones para las unidades minero- metalúrgicos (Anexo 1)

### 3.3.4 Cinética de la destrucción en tanques



**Figura 3.2.** Curva con valores de la cinética de destrucción del cianuro

### 3.3.5 Disociación de Thiocianatos

Se envió a analizar la solución destruida después de las 0, 24 y 48 horas, para ver el efecto de disociación de thiocianatos, asimismo se analizó la solución destruida variando el pH a 7, los resultados se mantuvieron constantes, no habiendo disociación.

**Tabla 3.3.** Análisis de Thiocianatos después de 24 horas

PRUEBA P-21	CN total (ppm)	CN wad (ppm)	SCN (ppm)	PH	OBSERVACIONES
TK6 ( 0 Hr)	0.08	<0,02	0.80	9	No se alteró el pH
TK6 (24 Hr)	0.03	<0,02	<b>0.64</b>	9	No se alteró el pH

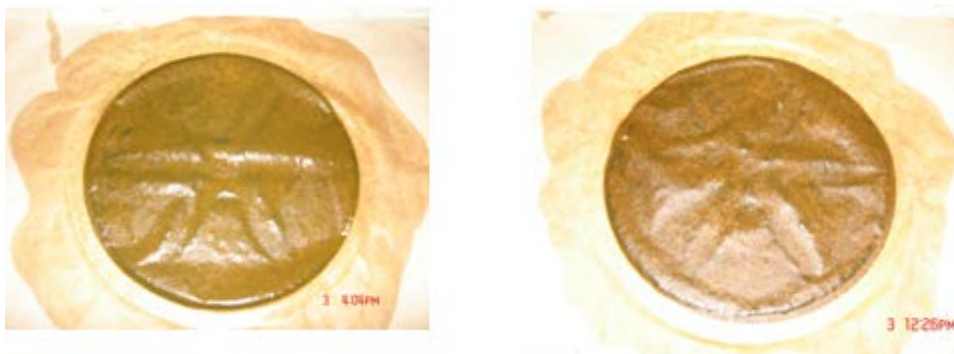
**Tabla 3.4.** Análisis de Thiocianatos después de 48 horas

PRUEBA P-26	CN total (ppm)	CN wad (ppm)	SCN (ppm)	PH	OBSERVACIONES
TK6 ( 0 Hr)	0.03	<0,02	<0.43	9.1	No se alteró el pH
TK6 (48 Hr)	---	---	<b>&lt;0.43</b>	9.1	No se alteró el pH

**Tabla 3.5.** Análisis de Thiocianatos variando el pH

PRUEBA P-21	CN total (ppm)	CN wad (ppm)	SCN (ppm)	PH	OBSERVACIONES
TK6 ( 0 Hr)	0.08	<0,02	0.80	9	No se alteró el pH
TK6 ( 0 Hr)	0.07	-	<b>0.64</b>	7	Se bajó el pH a 7

### 3.3.6 Seguimiento de los sólidos generados



**Figura 3.3 .-** Vista de los sólidos generados al filtrar 80 l de solución tratada

**Tabla 3.6.** Resultados de los sólidos generados, filtrados en cada prueba



N° PRUEBA	Kg/m <sup>3</sup>
PRUEBA N° 1	0.09
PRUEBA N° 2	0.15
PRUEBA N° 3	0.10
PRUEBA N° 4	0.10
PRUEBA N° 5	0.12

### 3.3.7 Costos de reactivos

**Tabla 3.7.** Costos promedio por consumo de reactivos

Reactivo	Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Costos		
		Consumo (kg/h)	Costo (US\$/kg)	Costo (US\$/m <sup>3</sup> )
Peroxido de hidrogeno al 50%	100	180.56	0.864	1.56
Hipoclorito de sodio al 10%	100	41.67	0.35	0.15
<b>Costo tratamiento</b>				<b>1.71</b>

### 3.3.8 Conclusiones de las pruebas realizadas

1. El proceso de oxidación avanzada (Peróxido de hidrogeno + Hipoclorito de Sodio) logra bajar el contenido de cianuro de la solución de relavera 4, por debajo de los límites máximos permisibles, según anexo I de emisiones para las unidades minero metalúrgico: CN total < 1.0 ppm y CN Wad < 0.2 ppm

La eficiencia promedio lograda en CN total es de 99.8%

Cianuro total antes de la destrucción : 45.83 ppm

Cianuro total después de la destrucción : 0.07 ppm

La eficiencia promedio lograda en CN wad es de 99.9%

Cianuro Wad antes de la destrucción : 31.83 ppm

Cianuro Wad después de la destrucción : 0.03 ppm

2. Los thiocianatos no se disocian en el tiempo, ni aun bajándole el pH a niveles de 7.
3. Los sólidos en suspensión obtenidos de filtrar 80 lt de solución destruida, da como promedio de 5 pruebas analizadas 0.11 Kg/m<sup>3</sup>.
4. A la solución destruida se le realizó el análisis químico de metales, cuyos valores están por debajo de los Límites Máximos Permisibles de Emisiones para las Unidades Minero-Metalúrgicos.

## **CAPITULO IV**

### **PROCESOS DE LA DESTRUCCION DE CIANURO MEDIANTE OXIDACION AVANZADA**

#### **4.1 Sistema de tratamiento químico en etapas de la solución sobrenadante de la relavera.**

El sistema de tratamiento químico de la solución sobrenadante de la relavera se realizará en cuatro etapas, donde se adicionarán peróxido de hidrógeno al 50% con hipoclorito de sodio al 10%, para la oxidación avanzada del cianuro contenido en el agua.

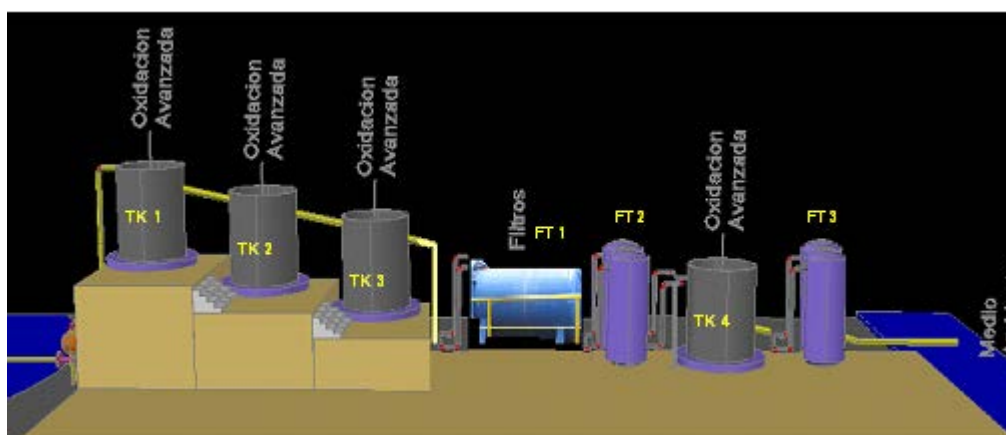
Se descargan 100m<sup>3</sup>/hr de solución con control de flujo hacia el primer tanque atmosférico Tk-1 de 35m<sup>3</sup>; donde sucede la primera etapa del proceso químico con peróxido de hidrógeno al 50% e hipoclorito de sodio al 10% y con 21 minutos de tiempo de residencia, según una dosificación recomendada; la salida de dicho tanque es por gravedad y en serie hacia los tanques de la segunda (Tk-2) y tercera (Tk-3) etapa, los cuales son de 35m<sup>3</sup> cada uno para un tiempo de residencia similar de 21 minutos.

Posterior a las tres etapas, se succionan con una bomba de 100m<sup>3</sup>/hr (75 HP) hacia un clarificador (US FILTER), donde el clarificador separará los sólidos

producidos durante la reacción. El líquido clarificado se transfiere con las bombas de 35 HP, para su filtración con carbón activado al filtro (F-2); los cuales tiene un tiempo de residencia de 6 minutos.

Finalmente, el agua semitratada ingresará a la cuarta etapa del proceso, al tanque atmosférico Tk-4 de 35m<sup>3</sup> (21 minutos de residencia), donde se dosifica peróxido de hidrógeno (50%) con hipoclorito de sodio (10%) para concluir y controlar el tratamiento químico del agua de relaves, y posteriormente mediante bombas de 25 HP, se realizará una última filtración con carbón activado afín al proceso (F-3), (cilíndrico vertical de 6m<sup>3</sup> aproximadamente); dejando el agua tratada final.

Esta agua tratada se almacenara en 2 pozas de 800 m<sup>3</sup> de capacidad revestidas con geomenbrana, para realizar el muestreo respectivo. La muestra que arroje valores por encima de los límites permisibles será bombeada nuevamente a la relavera (el total del contenido de dicha poza), caso contrario será bombeada al Medio Ambiente.



**Figura. 4.1.** Esquema de la Planta de tratamiento para la destrucción de cianuro

## 4.2 Sistema de almacenamiento y dosificación de reactivos

### 4.2.1 Sistema de almacenamiento de Peróxido de Hidrogeno líquido al 50%.

El sistema de almacenamiento de peróxido de hidrógeno al 50% se realizará en tres (03) isotanques de acero inoxidable de 17.5 m<sup>3</sup> cada uno de ellos, interconectados con sistema de carga por su parte superior y a través de dos bombas eléctricas de trasvase (bombas autocebantes) de peróxido de hidrógeno al 50%, desde la cisterna a los isotanques fijos en Planta de Tratamiento.

Estos isotanques estarán interconectados por su parte inferior hacia su sistema de dosificación de químicos (succión de bombas dosificadoras eléctricas instaladas en dicho sistema).

El Sistema de control de nivel de los isotanques está incluido en el sistema de almacenamiento de peróxido de hidrógeno compuesto por sensores de nivel tipo radar.



**Figura. 4.2.** Isotankes para almacenamiento de peróxido de hidrogeno

#### **4.2.2 Sistema de almacenamiento de Hipoclorito de Sodio al 10%.**

El sistema de almacenamiento de NaOCl al 10% se realizará en dos tanques cilíndricos verticales de polietileno de 20 m<sup>3</sup>, interconectado con su sistema de carga por la parte superior y a través de dos bombas eléctricas de trasvase (autocebantes) de NaOCl al 10%, de la cisterna al tanque fijo en la Planta.

Este tanque estará interconectado por su parte inferior hacia su sistema de dosificación de químicos (succión de bombas dosificadoras eléctricas a instalar en dicho sistema).

El sistema de control de nivel del tanque está incluido en el sistema de almacenamiento de NaOCl, compuesto por boyas de nivel.

#### **4.2.3 Sistema de dosificación de productos químicos**

El sistema de dosificación de productos químicos estará compuesto de once bombas dosificadoras eléctricas, de los cuales seis son para peróxido de hidrógeno y cinco para hipoclorito de sodio, cada bomba cuenta con su válvula contrapresión y demás accesorios. (uno por cada producto dosificado a cada uno de los tanques de tratamiento, y su bomba en stand by, las válvulas de control de productos químicos serán nueve (09) en total, cinco para peróxido de hidrógeno y cuatro para hipoclorito de sodio.

#### **4.3 Tanques de reacción atmosférica (Tk-1, Tk-2, Tk-3 y Tk-4)**

Los tanques atmosféricos de reacción son (Tk-1, Tk-2, Tk-3 y Tk-4). Los tanques están contruidos de planchas de acero A-36 de 9.5 mm. con un recubrimiento interno de pintura epóxica de 2 capas de 5 mils/capa, el cual debe ser

inspeccionado cada 2 años para evitar una contaminación del sistema de reacción.

Cada tanque de reacción atmosférico cuenta con un agitador de acero inoxidable de marca Kemix. El agitador consiste en dos impulsores de 1.2 y 1.2 m de diámetro ubicados a 1.1 m y 2.2 m con respecto al fondo del tanque. Cada impulsor cuenta con tres alabes que están soldados al eje. El agitador tiene una velocidad angular de 68 RPM y cuenta con un motor de 4 Kw.



**Figura. 4.3.** Tanques de Reacción

#### **4.4 Filtros de carbón activado**

Filtro a presión, cilíndrico vertical para filtrado de agua con carbón activado. Fabricado de Planchas de A/C - ASTM A36 ó ASTM A285GrC (2 de 5'x24'x5/16" y 2 de 4'x20'x5/16") y con accesorios: dos manholes de 18"Ø con bridas ciega, dos boquillas de 6"Ø con válvulas, tres boquillas de 2"Ø con válvulas; facilidades externas (una escalera gato con guarda de seguridad, una

plataforma circular en el tope con barandas de seguridad, un soporte de maniobras, un saca muestras, una tolva); internos de A/C (distribuidor, colector y soportes)

#### 4.5 Clarificador de disco

Se instalaron dos clarificadores de discos (US FILTER) de 100 m<sup>3</sup> de capacidad que trabajaran intermitentemente, estos clarificadores separarán los sólidos producidos durante la reacción.



**Figura. 4.4.** Clarificadores de discos de 100 m<sup>3</sup> de capacidad

#### 4.6 Pozas de almacenamiento de agua tratada

Se construyeron 2 pozas de 800 m<sup>3</sup> de capacidad, totalmente revestidas con geomenbrana, para el almacenamiento momentáneo del agua tratada. La evacuación del agua se realizara después de obtener los resultados del muestreo respectivo.



Mediante una bomba 75 HP el agua tratada será bombeada al Medio Ambiente, si los valores están por debajo de los LMP, caso contrario será bombeada nuevamente a la relavera.



**Figura. 4.5.** Pozas de almacenamiento de agua tratada (800 m<sup>3</sup>)

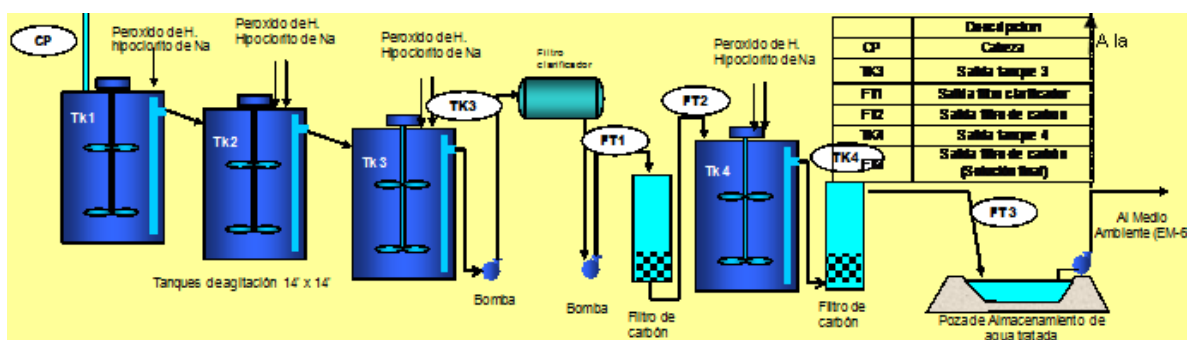
## CAPITULO V

### DESTRUCCION DE CIANURO MEDIANTE OXIDACION AVANZADA (OXIGENO SINGLET) - PLANTA INDUSTRIAL

#### 5.1 Operación de la planta

La Planta de tratamiento de la solución sobrenadante de la relavera llamada también Planta de Destoxificación de agua, entro en operación el 17 de Octubre del 2010 a razón de 30 m<sup>3</sup>/h después de 3 días se estabilizaron los parámetros de dosificación y se trabajo a un flujo de 70 m<sup>3</sup>/h.

Las 2 columnas de carbón (filtros de carbón) se llenaron con 1.5 toneladas de carbón por cada una.



**Figura 5.1.** Esquema del tratamiento de la solución sobrenadante de la Relavera



**Figura. 5.2.** Construcción civil - Planta Industrial de Destrucción de cianuro mediante oxidación avanzada



**Figura. 5.3.** Instalación de equipos - Planta Industrial de Destrucción de cianuro mediante oxidación avanzada

## 5.2 Sistema de Monitoreo

Esta Planta trabajo en turnos de 12 horas cada uno, con personal capacitado para esta tarea. Se realizaban cortes de muestreo cada 4 horas para su análisis respectivo. Solo después de conocer dicho resultado, el ingeniero encargado daba la orden para su evacuación al Medio Ambiente o retorno a la Relavera.

## 5.3 Resultados obtenidos

**Tabla 5.1** Resultados obtenidos en la tratamiento de destrucción de cianuro de la solución sobrenadante de la relavera mediante la oxidación avanzada

MES	Descripcion	m3	%	Monitoreo (ppm)		Ph
				CN Wad	CN Total	
Octubre-2010	Solucion Cabeza	10,506.61	100.00	58.34	68.34	7.50
	Solucion tratada retornada a R4	4,099.24	39.02	0.21	0.99	8.09
	Solucion tratada enviada al EM6	6,407.37	60.98	<b>0.10</b>	<b>0.60</b>	<b>8.03</b>
Noviembre-2010	Solucion Cabeza	33,250.50	100.00	57.55	65.37	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	5,110.60	15.37	0.37	1.05	8.03
	Solucion tratada enviada al EM6	28,139.90	84.63	<b>0.11</b>	<b>0.54</b>	<b>8.07</b>
Diciembre-2010	Solucion Cabeza	30,080.98	100.00	59.52	69.61	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	8,148.94	27.09	0.25	1.1	8.08
	Solucion tratada enviada al EM6	21,932.04	72.91	<b>0.13</b>	<b>0.68</b>	<b>8.09</b>
Enero-2011	Solucion Cabeza	28,122.24	100.00	60.93	70.83	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	5,666.63	20.15	0.49	1.28	8.05
	Solucion tratada enviada al EM6	22,455.61	79.85	<b>0.18</b>	<b>0.67</b>	<b>8.06</b>
Febrero-2011	Solucion Cabeza	28,008.25	100.00	51.55	64.67	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	2,943.67	10.51	0.29	1.21	8.06
	Solucion tratada enviada al EM6	25,064.58	89.49	<b>0.13</b>	<b>0.68</b>	<b>8.01</b>
Marzo-2011	Solucion Cabeza	28,891.73	100.00	59.48	69.42	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	3,868.60	13.39	0.19	1.84	8.07
	Solucion tratada enviada al EM6	25,023.13	86.61	<b>0.13</b>	<b>0.77</b>	<b>8.01</b>
Abril-2011	Solucion Cabeza	23,094.40	100.00	63.72	79.79	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	2,570.41	11.13	0.25	1.44	8.13
	Solucion tratada enviada al EM6	20,523.99	88.87	<b>0.15</b>	<b>0.81</b>	<b>8.11</b>
Mayo-2011	Solucion Cabeza	27,660.67	100.00	62.48	76.99	7.5
	Solucion tratada retornada a R4	4,754.87	17.19	0.20	1.36	8.09
	Solucion tratada enviada al EM6	22,905.80	82.81	<b>0.13</b>	<b>0.75</b>	<b>8.14</b>
<b>TOTAL</b>	<b>Solucion Cabeza</b>	<b>209,615.38</b>	<b>100.00</b>	<b>59.20</b>	<b>70.63</b>	<b>7.50</b>
	<b>Solucion tratada retornada a R4</b>	<b>37,162.96</b>	<b>17.73</b>	<b>0.28</b>	<b>1.28</b>	<b>8.08</b>
	<b>Solucion tratada enviada al EM6</b>	<b>172,452.42</b>	<b>82.27</b>	<b>0.13</b>	<b>0.69</b>	<b>8.07</b>

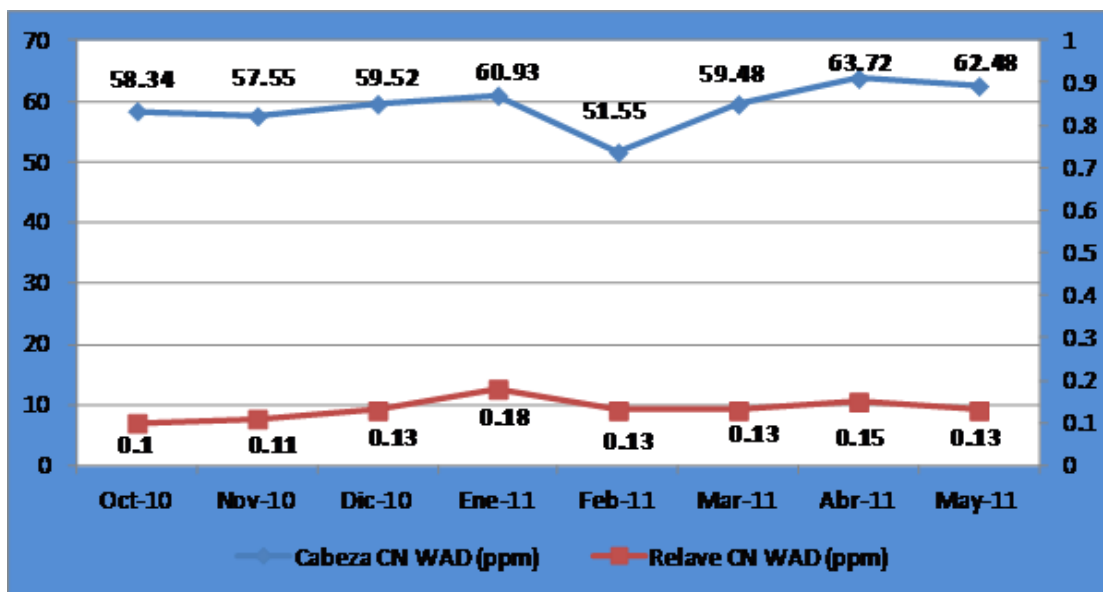


Figura 5.4. Resultados del cianuro Wad (valores debajo de los LMP) evacuados al Medio Ambiente

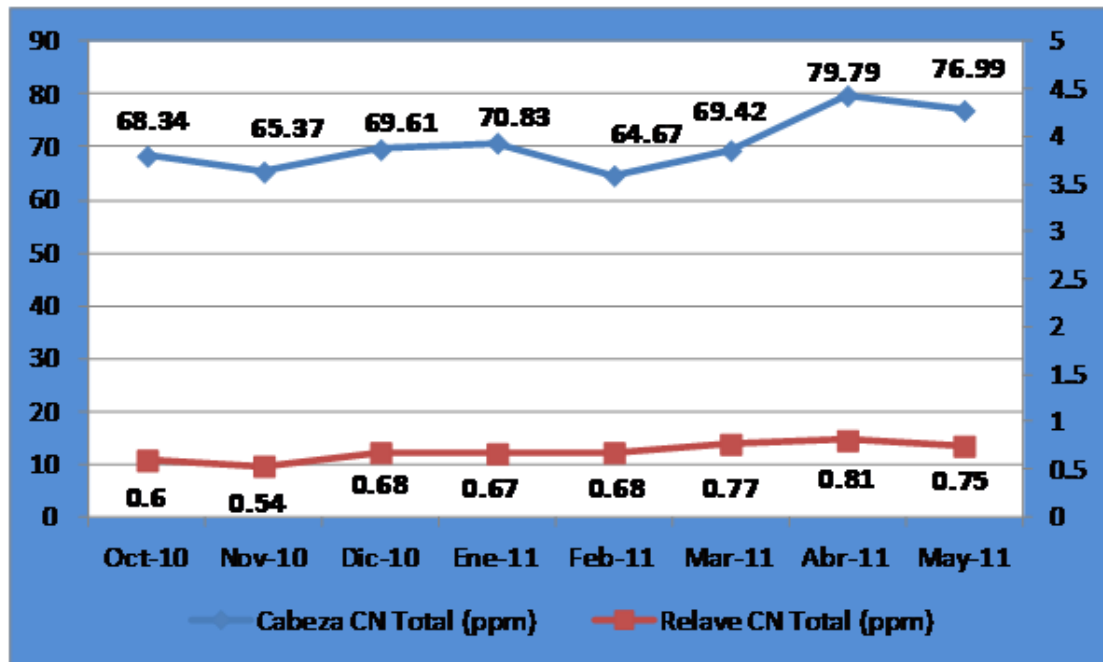


Figura 5.5. Resultados del cianuro Total (valores debajo de los LMP) evacuados al Medio Ambiente



**Figura 5.6.** Almacenamiento de agua tratada para su monitoreo



**Figura 5.7.** Descarga de de agua tratada (Resultados del monitoreo bajo los LMP)

#### 5.4 Costos de reactivos:

**Tabla 5.2** Costos promedio por consumo de reactivos

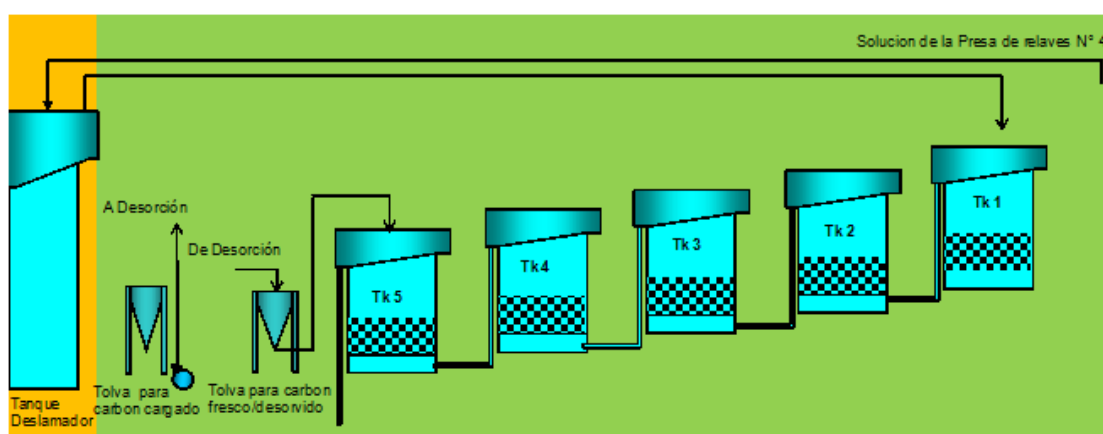
Reactivo	Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Costos		
		Consumo (kg/h)	Costo (US\$/kg)	Costo (US\$/m <sup>3</sup> )
Peroxido de hidrogeno al 50%	70	180.56	0.864	2.23
Hipoclorito de sodio al 10%	70	41.67	0.35	0.21
<b>Costo tratamiento</b>				<b>2.44</b>

## CAPITULO VI

### RECUPERACION DEL ORO CONTENIDO EN LA SOLUCION SOBRENADANTE DE LA RELAVERA

#### 6.1 Introducción

La solución sobrenadante de la Relavera a tratar por el método de oxidación avanzada (Peróxido de Hidrogeno e Hipoclorito de Sodio), contenía valores de Au y Ag, por tal se decidió construir unas columnas de carbón para la recuperación de estos metales antes de su tratamiento en la Planta de tratamiento de la solución sobrenadante de la relavera.



**Figura. 6.1.** Esquema de las Columnas de carbón para recuperación del oro de la solución sobrenadante de la relavera





**Figura. 6.2.** Instalación de las Columnas de carbón para recuperación de Au y Ag de del agua de la Relavera



**Figura. 6.3.** Llenado de carbón para recuperación de Au y Ag de del agua de la Relavera

## 6.2 Sistema de Operación

Esta Planta trabajo en el mismo horario que la Planta de tratamiento de la solución sobrenadante de la relavera, debido a que la descarga de la solución de esta Planta ingresaba a la destrucción. Cada semana se cosechaba la columna N°1 y el carbón de las columnas siguientes eran trasvasadas, de tal manera que siempre se cosechaba de la columna N°1.

Luego de la cosecha de las 2.0 tn de carbón contenido en la columna N°1, esta era bombeada a la Planta de desorcion y electrodeposición, el precipitado obtenido era fundido para la obtención de la barra Dore.



**Figura. 6.4.** Columnas de carbón en operación para recuperación de Au y Ag de del agua de la Relavera

**Tabla 6.1** Onzas de oro y plata recuperados en las columnas de carbón

		<b>OzAu</b>	<b>OzAg</b>
2010	Noviembre	452.034	193.59
	Diciembre	388.530	144.30
2011	Enero	125.224	227.39
	Febrero	302.959	762.52
	Marzo	204.589	626.61
	Abril	205.851	928.92
	Mayo	225.757	794.56
<b>TOTAL</b>		<b>1,904.944</b>	<b>3,677.89</b>
<b>\$</b>		<b>3,047,910.400</b>	<b>91,947.25</b>
<i>Promedio</i>	<i>\$/OzAu</i>	<i>1,600</i>	
	<i>\$/OzAg</i>	<i>25</i>	

### 6.3 Inversión

#### Planta de tratamiento de la solución sobrenadante de la Relavera N°4

La ejecución de la obra fue a "Suma Alzada" y "Llave en Mano" ascendiendo a la suma de \$900,000 (Novecientos mil y 00/100 dólares de los Estados Unidos de América) mas el Impuesto General a las Ventas (IGV).

#### Columnas de Carbón

La ejecución de la obra fue a "Suma Alzada" y "Llave en Mano" ascendiendo a la suma de \$60,000 (Sesenta mil y 00/100 dólares de los Estados Unidos de América) mas el Impuesto General a las Ventas (IGV)

**Tabla 6.2** Inversión de la Planta de destrucción de cianuro por oxidación avanzada y columnas de carbón

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Estudios de ingeniería.	1	20,000	20,000
Circuito de tratamiento de la solución sobrenadante de la Relavera	1	900,000	900,000
Circuito de recuperación del oro (Columnas de carbón activado).	1	60,000	60,000
Filtro clarificador.	1	150,000	150,000
Bombas de agua de R <sup>4</sup> a circuito de destrucción de cianuro.	2	40,000	80,000
Obras Civiles.	1	200,000	200,000
Instalaciones eléctricas.	1	65,000	65,000
Instalaciones mecánicas.	1	100,000	100,000
Reparación de las pozas de almacenamiento de solución tratada.	1	25,000	25,000
			1,600,000
Contingencias	10%		160,000
			<b>1,760,000</b>

**Tabla 6.3.** Ganancia en dólares (\$), debido a la recuperación del oro y la plata del agua sobrenadante de la relavera

	\$
Gastos	1,760,000
Ingreso	3,139,858
Saldo (ganancia)	1,379,858

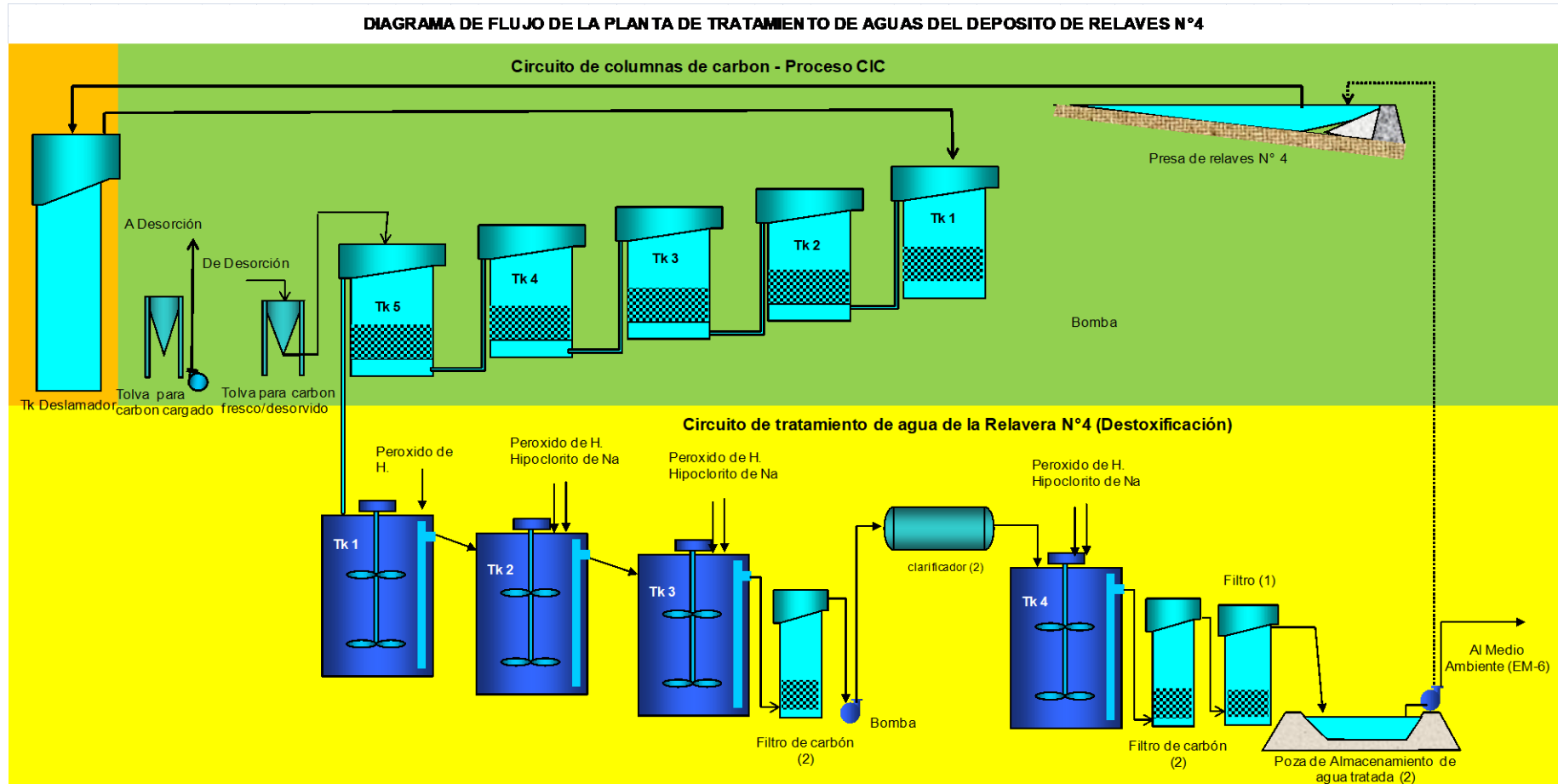


Figura 6.5. Flow Sheet de la Planta de columnas de carbon y Destruccion de cianuro mediante el Oxigeno Singlet

## CONCLUSIONES

- La Planta de destrucción mediante oxidación avanzada, en 8 meses de tratamiento logro evacuar al Medio Ambiente 172,452 m<sup>3</sup> del agua sobrenadante de la relavera, con valores promedios de 0.13 ppm de CN Wad y 0.69 ppm de CN Total (valores que están por debajo de los LMP).
- La oxidación avanzada genera costos elevados pero es un método rápido y efectivo para el tratamiento de soluciones con contenidos de cianuro.
- Se incremento el costo de tratamiento en cuanto a reactivos de 1.71 US\$/m<sup>3</sup> a 2.44 US\$/m<sup>3</sup> debido a que los valores de cabeza fueron mayores a los considerados en la prueba piloto.
- La inversión se recupero en el periodo de operación de la Planta, debido a la recuperación del oro y la plata en las columnas de carbón.

- Se recomienda mejorar el sistema de filtrado, debido a que estos se saturan rápidamente.
- Se recomienda una evaluación al sistema de destrucción de cianuro en pulpa del relave de la Planta, con una mejor eficiencia en este punto (relaves con menores contenidos de cianuro) los costos del tratamiento de destrucción de cianuro de la solución sobrenadante serian menores debido a que los contenidos de cianuro en la solución deberían ser menores también.

## BIBLIOGRAFIA

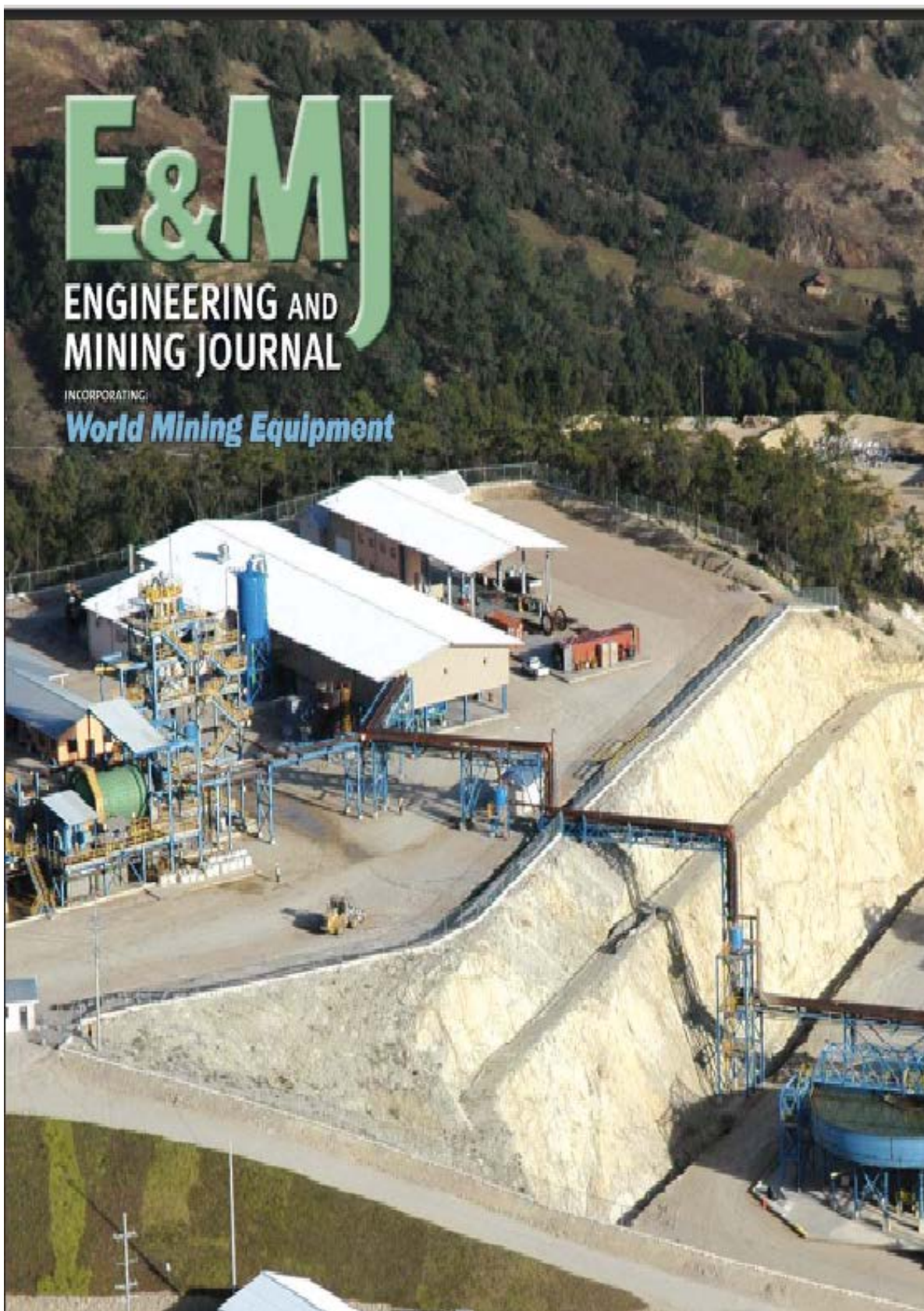
1. Caro's Acid detoxification of cyanide in a gold mine tailings pond a plant demonstration. PDF, Philadelphia. FMC corporation. 2004-04-10.  
Disponible en internet.
2. Hydrogen peroxide and Caro's Acid Powerful Oxidants for Cyanide Destruction , PDF, Philadelphia. FMC corporation. 2004-04-10.  
Disponible en internet.
3. three-Phase Mining effluent treatment Plant to Meet Stringent Standards  
David oLIPHANT, Dave CHRISToPHeRseN  
*Veolia Water Solutions & Technologies CANADA*
4. Asesoría permanente de la empresa Innova Andina - Ing. Christian Marquez (División de Especialidades Químicas)



## **ANEXOS**

**Anexo N°1** : Articulo de la mina Marlin (Guatemala) que emplea este método de destrucción

**Anexo N°2** NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES LIQUIDOS PARA LAS ACTIVIDADES MINERO – METALURGICAS. Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM (13.ene.1996)



## LIQUID-SOLID SEPARATION

## Three-Phase Mining Effluent Treatment Plant to Meet Stringent Standards

*High-rate ballasted flocculation technology, cyanide oxidation and carbon adsorption comprise an advanced, three-phase cyanide and metals removal system for a Central American gold project*

By Chris Howell and Dave Christophersen



The Marlin gold mine, located in the western highlands of Guatemala, is a combination of open-pit and underground mining with a conventional milling operation that began commercial production in the fourth quarter of 2005. The mine is owned by Montana Exploradora de Guatemala, S.A., a wholly-owned subsidiary of Goldcorp Inc. The mill is designed to treat a minimal 1.82 million metric tons of ore per year.

An advanced cyanide and metals removal system is currently nearing completion at the Marlin gold mine, located in the western highlands of Guatemala. Marlin is a combination of open-pit and underground mining with a conventional milling operation that began commercial production in the fourth quarter of 2005. The mine is owned by Montana Exploradora de Guatemala, S.A., a wholly-owned subsidiary of Goldcorp Inc.

The mill, which utilizes the Merrill-Crowe process, is designed to process more than 1.8 million dry metric tons (mt) of ore per year. Marlin produced 227,200 oz of gold and more than 2.8 million oz of silver in 2007, its second full year of production. The tailings and water generated from this facility are treated with an SO<sub>2</sub> air cyanide removal technology prior to discharge to the mine's tailings impoundment. The

impoundment currently contains 4 million m<sup>3</sup> of tailings and is expected to expand to nearly 20 million m<sup>3</sup> by the end of the mine's life.

Because the mine will likely need to discharge water from its tailings impoundment at some point in the future, Marlin is building a new water treatment plant exclusively for that purpose.

"We must be able to treat the water so it complies with both Guatemalan and World Bank discharge standards, in addition to a number of other stringent standards required by Goldcorp," said Lisa Wade, environmental director for Goldcorp. In fact, Goldcorp has taken extra precautions beyond that which is legally required, by self-imposing additional stringent standards at the Marlin project.

To ensure this greater level of protection, Goldcorp complies with the

International Cyanide Code and other more stringent requirements, including World Bank standards. For example, final effluent limits for the new water treatment plant include: 0.5 ppm WAD (weak acid dissociable) cyanide, 0.1 ppm free cyanide and 1 ppm total cyanide. There are also extremely low-level discharge limits for metals including mercury.

Crown Solutions, a business unit of Veolia Water Solutions & Technologies (VWS), was awarded the engineering, procurement and construction management contract for the cyanide oxidation and metals removal plant. The new system will be capable of treating water from Marlin's tailings impoundment at a rate of 2,200 gal/min.

The treatment plant will have three specific phases of treatment: cyanide oxidation, clarification and carbon adsorption. These additional treatment steps will reduce the cyanide levels to meet the higher discharge standards adhered to by Goldcorp.

### Cyanide Oxidation Phase

The first phase, cyanide oxidation, will reduce the cyanide to acceptable levels and remove mercury. A treatment regime was developed for cyanide using peroxide oxidation with a copper catalyst, then precipitation. A Hydrex chelating polymer will also be used to help reduce mercury down to very low levels. In testing, mercury was reduced to below detectable levels (0.0002 mg/L for this test).

In order to meet final effluent limits for total, WAD and free cyanide, Crown Solutions determined, through lab treatability studies and on-site testing, that pH control and iron sludge adsorption, along with peroxide oxidation, copper sulphate catalysis and precipi-

## LIQUID-SOLID SEPARATION



The tailings water generated from the milling operation is treated with an air cyanide removal technology prior to discharge to the mine's tailings impoundment. The impoundment currently has a capacity of 4 million m<sup>3</sup> and is expected to expand to nearly 20 million m<sup>3</sup> by the end of the mine's life.

tation, would be the most effective treatment. Iron sludge adsorption and the addition of the heavy metal chelating agent was selected to remove primary Hg.

"We had different options for achieving an oxidation reaction to destroy the cyanide," Wade said. "We looked at both sodium hypochlorite and hydrogen peroxide but were concerned with potential chloride buildup over time as well as other concerns with using sodium hypochlorite. We ran tests with both reagents and were very successful using hydrogen peroxide."

### Clarification Phase

The second treatment phase, clarification to remove the metals and sediments, will be carried out by Actiflo high-rate, sand-ballasted flocculation and settling technology.

In the sand-ballasted flocculation process, raw water is first mixed with a coagulant in a high-shear environment where it is retained for two minutes. In the next tank, the water is injected with a polymer along with microsand and mixed aggressively for roughly another two minutes. The water then enters a "maturation zone," where gentle shear is applied for an additional six minutes.

The microsand-ballasted flocs increase in size, trapping smaller flocs before the water enters the sedimenta-

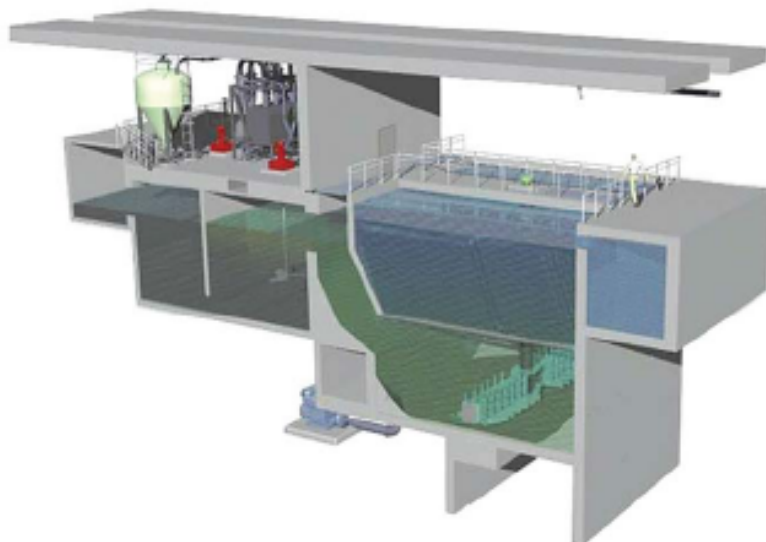
tion tank, where the large flocs immediately begin to settle. The clarified water at this stage then counterflows upward through settling tubes to collection troughs where it can be diverted to various applications. The microsand and other solids in the ballasted flocs that settle in the bottom of the tank are then pumped to a hydrocyclone cen-

trifuge. The microsand is cleaned and reinjected for reuse and the waste solids are removed.

The technology has proven both flexible and versatile. The coagulation phase works on the total suspended solids (TSS) and chemically active contaminants. The Hydrex flocculent ensures that the sand bonds strongly to the flocculated solids. The solids by themselves are typically at or near the density of water, so they cannot settle rapidly without the added weight of the microsand (2.65 specific gravity). Once weighted with the tiny sand particles, the flocs sink immediately in the settling tank.

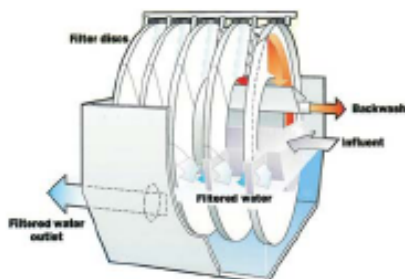
The Actiflo process serves not only as an effective high-rate clarifier but also as a highly versatile chemical reaction vessel. Depending on pH conditions, colloidal and dissolved metals in the influent can be precipitated using classic and familiar chemical methods for efficient sand-ballasted removal in the settling step. Because retention times in the system are very rapid (minutes instead of hours), the technology is extremely compact, providing increased capacity without the large surface area requirements of traditional flocculation/sedimentation systems.

"The Actiflo system definitely caught our eye," Wade said. "Clarifica-



An advanced three-phase cyanide and metals removal plant was recently completed at the Marlin project, to treat the water from the tailings dam. The plant's second treatment phase, which will provide clarification to remove metals and sediments, will be carried out by Actiflo high-rate, sand-ballasted flocculation and settling technology. The process serves not only as an effective high-rate clarifier but also as a highly versatile chemical reaction vessel. And because retention times in the system are very rapid (minutes instead of hours), the technology is extremely compact.

## LIQUID-SOLID SEPARATION



Following clarification, a Hydratech disc filter will be used to polish the effluent of suspended solids. The unit uses a portion of the filtered effluent to spray over the filters and backwash them as they are in the process of filtering effluent, thereby allowing for continuous operation as well as continuous cleaning.

tion tanks are typically huge and you have this issue of where you're going to put them. The Actiflo clarifier is a much smaller size tank, yet provides the same amount of clarification." Actiflo systems are typically five to 20 times smaller than conventional clarification systems offering similar capacity.

### Solids Polishing

Following clarification, a Hydratech disc filter is used to polish the effluent of suspended solids. The disc filter is a mechanical, self-cleaning filter that works without pressure to force water from a center drum through partially submerged vertical disc segments attached to the drum. Each disc consists of eight filter segments. Solids are separated from the water by micro-screen cloth mounted on the two sides of each segment. Once separated, the solids are rinsed off into a collection trough from where they are discharged.

The unit uses a portion of the filtered effluent to spray over the filters and backwash them as they are in the process of filtering effluent, thereby allowing for continuous operation as well as continuous cleaning. The compact design of the disc filter configuration provides two to three times more filter area compared with drum filters of the same external dimensions.

### Carbon Adsorption Phase

The third and final treatment phase is carbon adsorption. Here, water is pumped through columns containing activated carbon, accumulating substances in the filter. The activated carbon is supplied by PICA.

Through adsorption, the contaminant material physically attaches on the surface of active carbon in the mesopores and micro-pores of the active carbon. Depending on the mercury level and chemistry removal efficiencies, it may not be necessary to rely on carbon filters for secondary mercury treatment. But because Goldcorp wants to be absolutely certain that discharge at the mine meets its own stringent standards, it decided to include it as a contingency measure.

"We've added this third step just to be ultra conservative," Wade said. "Since we want to avoid any upset conditions—ever—we decided to include the carbon adsorption treatment step as a precaution, in case there's ever any issue with either of the first two steps."

The new treatment plant was successfully commissioned during early 2009. Wade said the mine plans to remain flexible regarding its operation following start-up and commissioning.

"The most important aspect to this project is to have the treatment plant available. How much or how little we use it is something that will be decided based on multiple factors. We could decide to let the water stay in the tailing dam and continue to reuse it in the process plant," Wade said. "Or, we may operate the new plant periodically, or seasonally. But to be conservative, the

new plant is designed to run continuously for the life of the mine, if needed."

### Environmental Protection

The western highlands of Guatemala are home to picturesque mountains, narrow river ravines and pastoral plains. It is also home to the country's highest concentration of indigenous people. With the safety and well being of the land, waters, and population in mind, Marlin is committed to operating a safe and environmentally sound mining operation.

"All of our mining operations obviously have to meet the standards of the country we're operating in, but we also want our mines to meet the more strict international standards—especially if the country's standards are not as stringent as we think they need to be," Wade said. "We believe that simply complying with the legal requirements at Marlin wasn't protective enough of the environment, and the new treatment plant will help ensure that we are."

*Chris Howell (chris.howell@veolia-water.com) is sales manager and Dave Christophersen (dave.christophersen@veoliawater.com) is technical director for Veolia Water Solutions & Technologies (VWS). VWS offers a complete range of water and wastewater solutions including feasibility and compliance studies, advanced water and wastewater treatment technologies and turnkey installations.*



An aerial view of Marlin mine's tailings impoundment. With the safety and well being of the land, waters, and population in mind, Marlin mine is highly committed to operating an ultra-safe and environmentally sound mining operation. The new multi-phase cyanide and metals removal plant will help ensure that it continues to do so.

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

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

### **CONSIDERANDO:**

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

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

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

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero-metalúrgica con la finalidad de controlar los vertimientos producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental; De conformidad con la Disposición Complementaria del Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 016 -93-EM, sustituida por el artículo 4° del Decreto Supremo N° 059 -93-EM; Con la opinión favorable del Director General de Asuntos Ambientales, Director General de Minería y el Viceministro de Minas;

### **SE RESUELVE:**

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

Aprobar los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos minerometalúrgicos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Los titulares mineros deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros no regulados por la presente Resolución Ministerial, tales como cadmio, mercurio, cromo y otros, cumplan con las disposiciones legales vigentes en el país o demostrar técnicamente ante la autoridad competente, que su vertimiento al cuerpo receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Artículo 13°.- Definiciones**

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

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

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

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

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

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

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

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

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



**Concentración Promedio Anual.-** Es la media aritmética de los resultados analíticos obtenidos durante un año calendario.  
Regístrese, comuníquese y publíquese

AMADO YATACO MEDINA  
Ministro de Energía y Minas

### ANEXO 1

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

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

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

### ANEXO 2

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

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinc (mg/l)	6	3
Fierro (mg/l)	5	2
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l)	2	1