



## Red DESIR

# MASTER INTERNACIONAL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES Línea: Medio Ambiente y Minería

## TESIS DE MAESTRÍA

### *“CICLO DE VIDA Y ANÁLISIS DE RIESGO DEL CIANURO EN LA PLANTA DE PROCESOS DE ORCOPAMPA”*

Carlos del Valle Jurado

Febrero de 2006



CURSO 2005-2006

**MÁSTER INTERNACIONAL  
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS  
MINERALES**

*Dr. José Antonio Espí Rodríguez*  
Como director del Trabajo,

Autorizo la presentación de la tesis de Maestría  
*“Ciclo de vida y análisis de riesgo del cianuro en la planta de procesos de  
Orcopampa*

Realizado por  
*Carlos del Valle Jurado*

Bajo mi dirección

Y

  
**Carlos Rodríguez Vigo**  
Buenaventura S.A.A.

  
**Atilio Mendoza Apolaya**  
Universidad Nacional de Ingeniería

  
Firmado: **Prof. José Antonio Espí Rodríguez**  
Fecha: **Lima, 28 Febrero de 2006**



## Red DESIR

### DEDICATORIA

Constituido el tribunal nombrado por el Coordinador Internacional del Programa de Master Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2006

Presidente : Felix Hrushka  
Vocal : Daniel Córdoba  
:  
Secretario : José Manuel Abraham del Santal Baptista

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis de Maestría el día 31 de marzo de 2006

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO



## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de esta tesis de maestría no habría sido posible sin el apoyo y confianza depositados en mí por el profesor José Antonio Espí, mi director a quien quiero agradecer el excelente apoyo brindado en todo este tiempo y su preocupación por los aspectos personales y humanos que trae aparejado la realización de este tipo de tesis en el tiempo que fue realizada.

A la Universidad Politécnica de Madrid, al Profesor Ricardo Castroviejo por haber hecho posible el desarrollo de esta maestría en el marco del programa ALFA de la Red Desir, donde con los conocimientos adquiridos pude llevar a cabo la presente tesis.

Mi más profundo agradecimiento a Compañía de Minas Buenaventura por haberme abierto las puertas y confiado la realización de este trabajo en su Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, específicamente en la planta de procesos.

Al Ing. Carlos Rodríguez, Director de Medio Ambiente de la Compañía, por su apoyo y disposición para resolver mis consultas, al prof. Atilio Mendoza de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A los Ingenieros que me ayudaron desinteresadamente en la planta de procesos de Orcopampa, Ing. César Hinostroza, Jefe de la planta de procesos, Ing. Jaime Díaz, Ing. Roger Muñoz, Ing. Juan Ayala, Ing. Gustavo López y también merecen mi reconocimiento la Srta, Patricia Gutiérrez, el Sr. Florencio Cayetano y el Sr. Daniel Taco.

A todas las personas que me ayudaron de diferentes maneras, pero con valiosos aportes en la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa y en la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes también hicieron posible el desarrollo y culminación del presente trabajo.

## RESUMEN

La presencia actual del cianuro en importantes catástrofes personales y ambientales indica que el conocimiento y los sistemas de la gestión del cianuro en la explotación minera deben ser mejorados mucho más a fondo. Más específicamente, el contar con acertados estándares en el diseño y en la construcción de las presas de relaves, de la gestión del agua, de la capacitación y entrenamiento de la mano de obra, de la protección de la fauna y del buen funcionamiento de los sistemas de aviso y emergencia, son áreas de atención prioritaria.

Así como los accidentes mortales provocados en los trabajadores que se encuentran en el radio de acción del cianuro resultan muy raros, en los últimos años han existido importantísimos desastres afectando al medio natural que rodea a las operaciones mineras que utilizan cianuro. Algunos de ellos como el de Omai (1995) en el territorio de Guayana, Baia Mare (2000) en Rumania y Wassa West (2001) en Ghana han sido ampliamente difundidos por la prensa de todo el mundo.

Las principales razones de los incidentes ambientales en las explotaciones mineras provienen del pobre diseño de la gestión de las aguas de proceso, del diseño y la construcción de las presas de relaves y de su mantenimiento, además de los frecuentes accidentes en el transporte de pulpas cianuradas.

Con el presente trabajo de investigación, se pretende realizar la definición del trazado y caracterización del cianuro a lo largo del proceso de recuperación del oro y la plata en la Unidad Económica Administrativa Orcopampa de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Para ello se realizaron muestreos sistemáticos representativos tanto de la pulpa como de las soluciones que contienen cianuro, para ser analizadas luego en el laboratorio de la empresa minera, en las tres categorías que se puede presentar este compuesto.

En base a los resultados y las mediciones de HCN en los diferentes ambientes del proceso metalúrgico se pretende realizar un Análisis de Riesgo provocado por este consumo de cianuro en la planta de procesos, con la determinación de los peligros actuales y potenciales en cada una de las etapas, calificándolos como paso previo a la propuesta de soluciones para disminuir el riesgo a niveles aceptables.

Luego se discuten los principios de “buenas prácticas” y de la filosofía del “Código Internacional del Cianuro” y su aplicación al proceso utilizado en la mencionada unidad minera, buscando que los logros vayan acorde con el esfuerzo previsto y que cuidadosamente se ha considerado y, además, se establece un plan o normativa de acción previsor.

## ABSTRACT

The actual existence of cyanide in very significant environmental catastrophes indicates that the cyanide management in the mining operation must be improved. Specifically, disposing right standard in the design and the construction of tailing disposals, water managing, qualification and training labor, fauna protection and the good operation of the systems of warning and emergency, all are areas of high-priority attention.

The main reasons of the environmental incidents in the mining operations comes from poor design of management of process waters, the design and the construction and maintenance of tailing disposals, in addition to the frequent accidents in the cyanided pulp transport.

In the present investigation, we try to get a cyanide layout of the gold and silver recovery process in the Economic Unit Administrative Orcopampa belongs to Mining Company Buenaventura S.A.A. In order to get it we have sampled with a representative method the pulp and the solutions containing cyanide, to be analyzed in the mining company laboratory.

On the basis of the results and the HCN measurements in different places of the metallurgical process we have completed an risk analysis caused by this cyanide consumption with the determination of the present and potential hazards in each stages.

After discussing the principles of "good practices" and the philosophy of the "International Code of the Cyanide" and their application to the process used in the mentioned mining unit, we look the profits that are agree with the predicted effort and it is proposed an action plan.

# ÍNDICE

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>II</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1. Introducción	1
2. Motivación y Objetivos	3
2.1 Motivación	3
2.2 Objetivos	4
<b>CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>6</b>
1. Presentación	6
1.1 zona de estudio	6
1.2 Clima	7
1.3 Marco geológico	7
1.4 Proceso metalúrgico	13
2. Fundamentos teóricos	18
2.1 Uso del cianuro en la industria del oro	
2.2 Producción, transporte y almacenamiento del cianuro	21
2.3 Preparación del mineral	23
2.4 Lixiviación con soluciones líquidas de cianuro	23
2.5 proceso Merrill Crowe	25
2.6 Recuperación del oro disuelto	28
3. El cianuro la sustancia temida	29
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
2.1 Tipo de investigación	31
2.2 Población y muestra	31



2.3	Técnicas de toma de muestras	31
2.4	Técnicas de análisis para el balances del cianuro	34
2.5	Caracterización del Cianuro	
2.6	Resultados de los análisis	

**CAPÍTULO III: PROCESO EXPERIMENTAL: ESTUDIO DEL CICLO  
DE VIDA DEL CIANURO EN LA PLANTA DE  
PROCESOS DE ORCOPAMPA. 42**

3.1	Definición del trazado del cianuro a lo largo del proceso de recuperación del oro: desde su llegada a almacén hasta su emplazamiento en la presa de relaves	42
3.2	Balance del cianuro en cada fase del tratamiento	45
3.3	Caracterización de los impactos ambientales reales y potenciales a lo largo de su recorrido	47
3.4	Primera formulación de los escenarios previstos	49

**CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL RIESGO PROVOCADO POR EL  
CONSUMO DE CIANURO EN ORCOPAMPA 53**

4.1	Definición de los conceptos a aplicar: riesgo, peligrosidad, exposición, probabilidad de ocurrencia, valoración	54
4.2	Determinación de los peligros actuales y potenciales en cada una de las etapas	57
4.3	Determinación de los periodos de exposición al riesgo de los agentes implicados en el uso del cianuro	59
4.4	Determinación del daño posible causado por un acontecimiento negativo	70
4.5	Cálculo de la probabilidad de suceso en cada fase	72
4.6	Factores de amplificación o de reducción de los sucesos	74

<b>CAPÍTULO V: PRINCIPIOS DE “BUENAS PRÁCTICAS” Y DE LA FILOSOFÍA DEL “CÓDIGO INTERNACIONAL DEL CIANURO” Y SU APLICACIÓN AL PROCESO EN ORCOPAMPA</b>	<b>78</b>
5.1 Establecimiento de una estrategia de gestión del cianuro como parte de la gerencia ambiental de la mina y del proceso de concentración del oro	78
5.2 Formación y entrenamiento en una buena gestión de cianuro para los encargados, los trabajadores y los contratistas	82
5.3 Establecimiento de responsabilidades definidas para todos los individuos con las cadenas de responsabilidad y comunicación dentro del personal implicado.	85
5.4 La instauración de procedimientos seguros para el transporte del cianuro, su almacenaje y abandono en las presas de relaves	88
5.5 Establecimiento de auditorias regulares y procedimientos de Gestión	91
5.6 Establecimiento de programas de muestreo de cianuro en todo el ciclo de vida, su análisis y la elaboración de los informes correspondientes.	92
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>108</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>116</b>

# INTRODUCCIÓN

## 1. Introducción

Inevitablemente los desafíos de la problemática ambiental se dan en todas las actividades relacionadas con los procesos industriales.

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente realizada en Estocolmo en 1972, los científicos se mostraban preocupados por el crecimiento poblacional y por el agotamiento de las fuentes de recursos naturales. Ya en 1982, cuando se conmemoraron los diez años de la de la conferencia de Estocolmo, una sesión especial del Consejo de Administración del programa de las Naciones de Unidas para el Medio Ambiente, en Nairobi, Kenia, una nueva e importante preocupación entraba en escena, eran los problemas ambientales globales, que comenzaban a indicar que el nivel de las actividades humanas dentro de la “economía global” ya estaba excediendo en algunas áreas del Planeta la capacidad de asimilación de la biosfera, es decir, algunos residuos de las actividades humanas sobrepasaban largamente la capacidad natural de autodepuración de la biosfera y se estaban acumulando en el aire, en el agua y en suelo, y estaban provocando una degradación ambiental a velocidades superiores a la de regeneración natural.

En consecuencia, a la preocupación por el agotamiento de la fuentes de recursos naturales se sumaba la preocupación de cómo los límites de absorción de los residuos de la actividades humanas se tornaban mucho más difícil y más complicado de controlar.

En 1984 la Canadian Chemical Producers Association (CCPA) emitió un documento denominado Statement of Responsible Care and Guiding Principles, conteniendo principios específicos propuestos para el sector de la industria química en la gestión responsable del proceso de producción en todo el ciclo de vida del producto para poder controlar los efluentes y emisiones que se emitan.

En 1991 durante la segunda conferencia mundial de Gestión Ambiental en las Industrias, fue publicada la “Carta Patente del Desarrollo Sustentable de las Organizaciones”, introduciendo así un nuevo concepto de sustentabilidad (Martha Macedo de Lima Barata, 1994).

El concepto de desarrollo sostenible, definido como el desarrollo económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, tomado del resumen de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en el marco de la cumbre de la tierra llevada a cabo en Río de Janeiro en junio 1992 donde estuvieron presentes los representantes de 178 gobiernos, incluidos 120 Jefes de Estado y en el que se buscaba hacer frente a los grandes problemas ambientales y de desarrollo, los resultados de la Cumbre incluyeron convenciones globales sobre la biodiversidad y el clima, una Constitución de la Tierra de principios básicos, y un programa de acción, llamado Agenda 21, para poner en práctica estos principios.

El tema de la gestión ambiental visto como contribución al desarrollo tecnológico y económico tiene una dimensión cultural y política que va a exigir la participación democrática de todos en la toma de decisiones para los cambios que sean necesarios.

En este sentido la actitud empresarial con relación al medio ambiente es más proactiva con la adopción de códigos voluntarios de conducta y tecnologías más limpias y con desempeños muchas veces superiores a los exigidos por las normas gubernamentales, como por ejemplo el llevar a cabo por las Empresas mineras auditorias ambientales periódicas y de códigos voluntarios de conducta como el “Responsible Care” por las industrias químicas, el Código Internacional del Cianuro y las Normas Internacionales ISO 14000, ayudadas por las normas de seguridad OSHAS 18000 en la empresas mineras que buscan disciplinar los procedimientos de la gestión empresarial y la producción en todo el ciclo de vida de los productos, objetivando la reducción de la degradación ambiental.

## **2. Motivación y Objetivos**

Las operaciones de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (CMB S.A.A.) en la Unidad Orcopampa empezaron en el año 1967 y continúan hasta la fecha. Estas operaciones históricas involucraron el procesamiento de minerales de oro y plata con una combinación de flotación convencional y cianuración en circuitos separados, pero actualmente, el cambio del comportamiento metalúrgico del mineral de la mina Chipmo, la principal zona de producción de la unidad Orcopampa, ocasionó que la recuperación de oro por gravimetría y flotación descendiera del 90 % (promedio para el año 2001) a 86 %. Las pruebas de laboratorio indicaron que era factible cianurar el relave de gravimetría (gravimetría y cianuración) y así poder incrementar la recuperación hasta alcanzar el 95 %. (Estudio de Impacto Ambiental del depósito de relaves N° 4, 2002)

Por ello se incorporó un circuito de cianuración de relaves de gravimetría y se construyó el Depósito de Relaves N° 4, lo que permitirá la continuación de la vida útil de la mina. Debido a las variaciones mineralógicas que se presentan durante la explotación del mineral, su tratamiento está sometido a continuas modificaciones, razón por la cual desde el inicio de las operaciones se han venido complementando y/o realizando cambios. El tratamiento actual se realiza por el proceso de Chancado, Molienda, Gravimetría, "Carbon in Leaching" (CIL), Desorción, Electrólisis y Fusión, obteniéndose el Bullion o una barra Doré con un contenido promedio de 70% de oro y 30 % de plata. La Planta de Procesos de Orcopampa trata actualmente 1300 tcstd., con una ley promedio de 18.5 gr Au/TM y 9.0 gr Ag/TM.

### **2.1 Motivación**

El creciente uso del cianuro de sodio en las operaciones mineras de oro y plata hace necesario un manejo responsable y con conocimientos claros de la peligrosidad y riesgos del mismo.

En el caso de las operaciones metalúrgicas de la unidad económica administrativa de Orcopampa, en la planta de procesos, se usa el cianuro casi desde los inicios de las operaciones, pero en el año 2004 se empezó a incrementar la demanda de cianuro hasta llegar en la actualidad a 2000 toneladas por día; por ello es necesario un cuidado con elementos de seguridad debidamente establecidos en la manipulación de este compuesto.

Buenaventura considera que todos los trabajadores tienen el derecho de llegar a sus casas sanos y sin lesiones después de la jornada de trabajo, utilizando las mejores prácticas y tecnologías económicamente factibles, para explorar, desarrollar y explotar yacimientos minerales; buscando el desarrollo sostenible de las regiones donde realiza sus operaciones.

## **2.2 Objetivos**

- Identificar, prevenir, controlar y corregir posibles fugas de solución conteniendo cianuro de las diferentes instalaciones del proceso y componentes del mismo que ocasionen riesgos personales y para el medio ambiente y, además, generar un plan de Manejo de los Fluidos que producirá información para tomar decisiones oportunas.
- Realizar una gestión adecuada manteniéndose dentro del marco de las regulaciones aplicables y requerimientos, los cuales son:
  - Regulaciones del Ministerio de Energía y Minas
  - Regulaciones y requerimientos del Banco Mundial (IFC)
  - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) – Documento EPA/625//4-91/025
  - Código Internacional de Cianuro
  - Estándares Ambientales de Five Stars
  - Heap Leach Facilities Management (Manejo de Facilidades de Lixiviación)
  - Cyanide Management (Manejo de Cianuro)

- Proteger y minimizar los daños a las personas, medio ambiente y a la propiedad, involucrados en una emergencia.
- Establecer los procedimientos y acciones, para prevenir o hacer frente a las emergencias que pudieran suscitarse, en forma rápida y eficiente, manejando la emergencia con serenidad, responsabilidad y métodos específicos.
- Manejar adecuadamente los recursos materiales y humanos para lograr el control efectivo y eficiente de la emergencia.
- Tener medios adecuados para prestar la debida atención a las personas que puedan resultar lesionadas.
- Definir claramente las responsabilidades y funciones de los integrantes del Comité de Crisis.
- Disponer de un adecuado programa de limpieza y recuperación de los residuos de la zona afectada, para minimizar el impacto ambiental y disposición final de los residuos generados por la emergencia.
- Establecer un sistema de responsabilidad en el manejo integral de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, a fin de evitar situaciones de riesgo e impactos negativos a la salud humana y al ambiente.
- Minimizar el riesgo de incendios o siniestros mediante la detección y prevención de áreas críticas.
- Establecer un análisis de los indicadores de riesgo de las principales sustancias tóxicas, que se utilizan en las operaciones minero – metalúrgicas, determinando el grado de toxicidad.
- Contar con personal capacitado para que responda de manera efectiva ante una contingencia y para que pueda prestar los primeros auxilios si fueran necesarios.

# CAPITULO I

## PRESENTACIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1. Presentación

#### 1.1 Zona de estudio

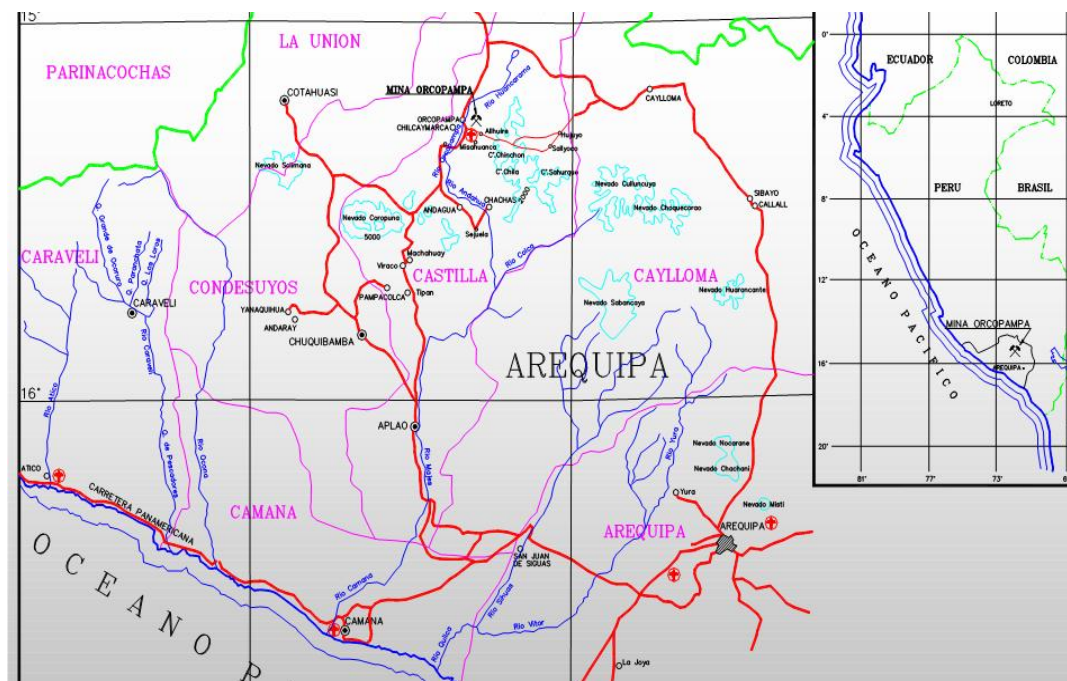
Políticamente el distrito minero de Orcopampa, se sitúa en la Provincia de Castilla; Región de Arequipa, al sur este de la ciudad de Lima, capital del Perú, alrededor de las siguientes coordenadas:

Longitud: 72° 20' 40" W

Latitud: 15° 15' 30" S

Altitud: 3,800 m.s.n.m.

Abarca una extensión aproximada de 30 Km<sup>2</sup>.



**Figura N° 1:** Ubicación geográfica del distrito minero de Orcopampa en la Región Arequipa, Perú.



## 1.2 Clima

La región cuenta con un clima, en el que se diferencian dos estaciones notoriamente marcadas, la época que corresponde a los meses de abril a octubre con un clima seco, de escasas precipitaciones pluviales y de temperaturas bajas, menores incluso de 5° C.

La época de lluvias, que corresponde a los meses de noviembre a marzo, que se caracteriza por la abundancia de precipitaciones pluviales (fuertes lluvias y granizo), con temperaturas variables entre 10 °C y los 18 °C.

## 1.3 Marco geológico

### 1.3.1 Geología Regional

En el área anteriormente definida se reconocen 5 unidades litológicas bien diferenciadas, las cuales son:

**a) Rocas Sedimentarias del Mesozoico.-** Se observan bien expuestas al Sur de Andagua e inmediaciones de Chapacoco, subyaciendo a los volcánicos terciarios en marcada discordancia angular; se han diferenciado las siguientes formaciones:

- **Grupo Yura (JK-y):** Afloramientos de este grupo se observan al sur de la zona Blanca – Aseruta y también expuestos en los alrededores de Chapacoco, en la quebrada Allhuire, al Este del Volcán Anchajollo, mina Santa Rosa, y en Chachas; está representado por areniscas y cuarcitas intercaladas con lutitas grises; no se conoce el contacto inferior. El contacto superior es concordante con la formación Murco y/o discordante angularmente con los volcánicos terciarios. Por correlaciones estratigráficas se le asigna una edad Jurásico Superior a Cretácico Inferior- (Caloviano - Neocomiano, Benavides 1962). Las cuarcitas son correlacionadas con el miembro Hualhuani.

- **Formación Murco (Ki-m):** Aflora al Sur de Andagua, al Suroeste de Chapacoco, en Chilcaymarca y Panahua cerca de la Mina Santa Rosa. Está compuesto por lutitas abigarradas, areniscas rojo violáceas y lutitas púrpura. El contacto con el Grupo Yura y el suprayacente Arcurquina es concordante. Por correlaciones estratigráficas se le asigna una edad Cretáceo Inferior (Neocomiano Superior Aptiano ).

- **Formación Arcurquina (Kms-a):** Está bien expuesta en los alrededores de Andagua y Panahua y al Sur-Oeste de Chapacoco consta de una potente secuencia de calizas color gris claro en capas delgadas y gruesas, con horizontes de chert. Se le asigna una edad cretáceo medio a superior.

**b) Rocas Volcánicas del Terciario.-** Están representadas por el Grupo Tacaza y el Tufo Umachulco que se encuentran en discordancia angular sobre las rocas mesozoicas.

- **Grupo Tacaza (T-t):** Está compuesto por diferentes tufos en posición más ó menos horizontal intercalados con brechas volcánicas, derrames lávicos, rocas sedimentarias - volcánicos continentales lutáceos-tufáceos y conglomerados piroclásticos; localmente en el área de trabajo se ha diferenciado las siguientes unidades: tufo Pisaca, brecha Santa Rosa, tufo Manto, y tufo La Lengua (Arenas 1969; Noble 1972a; 1973a ). El Grupo Tacaza tiene un espesor que sobrepasa los 1,000 metros.

- **Tufo Umachulco (Ts-u) ( 6.2 +- 0.2 m.a.):** Aflora al Norte de Umachulco, y en la parte alta de Huancarama está constituida por un tufo de composición dacítica con abundantes fenocristales de andesina con hornblenda y biotita; rellenan las depresiones del Grupo Tacaza y son cubiertos por lavas del volcánico Andagua, pertenecen al Mioceno Superior.

**c) Rocas Intrusivas del Terciario.-** Compuesto por:

- **El Complejo Sarpene (Ti-s):** Aflora al Este de mina Manto, está compuesto de dacitas, latita cuarzosa y andesitas, se encuentran cortando al tufo Manto.

En Chipmo aflora un complejo de domos porfiríticos de naturaleza ácida a intermedia, cubierta por el tufo riódacítico Chipmo. Por una serie de consideraciones y datos disponibles para Orcopampa, la edad de las rocas intrusivas (Dacita Sarpane) se le asigna como Mioceno Temprano (ca.18.8 Ma.).

**d) Rocas Volcánicas del Cuaternario (Qr-va).**- Consiste en un conjunto de lavas, cenizas y otros materiales provenientes de la emisión de los volcanes de Andagua.

- **Volcánicos Andagua (plioceno (?) y cuaternario):** Están constituidos por andesitas basálticas (lavas más antiguas) y basálticos (recientes). Las lavas son de color gris en fractura fresca y rojizo por intemperismo, con disyunción columnar, a menudo con inclusiones de fragmentos de cuarcita. Se les observa en los alrededores de la mina Santa Rosa y Orcopampa. Estas lavas están cubiertas por sucesivas capas de material aluvial y por otra generación de coladas.

**e) Depósitos Aluviales Cuaternarios.**- Tanto en la zona del valle como en las quebradas se observan rellenos de conglomerados, arenas, gravas y limos constituidos por elementos provenientes de la denudación reciente de las rocas existentes en el área, estos sedimentos cuaternarios se hallan formando terrazas fluviales, depósitos de piedemonte, etc.

### 1.3.2 Geología local

El área aurífera de Chipmo se encuentra ubicada entre la quebrada Ocoruro y el río Chilcaymarca, a unos 5 Km. al oeste de la histórica zona argentífera de Orcopampa (vetas Calera, Manto, Santiago Etc). La roca hospedante de las principales vetas de oro (Nazareno, Prometida, Natividad) consisten de flujos y domos de composición dacítica, andesítica y cuarzo latita pertenecientes al complejo volcánico Sarpane. Las fracturas radiales concéntricas y el marcado bandeamiento de flujo son diagnósticos para identificar los domos. Dataciones ( $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ ) de fenocristales de plagioclasas pertenecientes a los domos

dacíticos Sarpane del área de Chipmo indican que estos se depositaron entre 19.0 a 19.6 M.A (D. Noble, 1990).

### **1.3.3 Geología estructural**

Las vetas de Chipmo están emplazados en un sistema de fallamiento NE-SW con buzamientos mayormente al Sur (Mariana, Prometida, Nazareno, y Pucará sur), y al Norte (San Jose1, San José 2, Pucará-Andrea, Natividad, Lucy).

Existe otro sistema de fallamiento NW-SE con buzamientos al Norte (vetas Vanesa 1, Vanesa 2, falla mal paso, veta Ventanilla y veta Huichupaqui).

Se puede definir otra zona de fraccamiento NW-SE en la parte Oeste del yacimiento, en el cual están ubicadas las anomalías Ocoruro Norte, Centro y Sur.

En el área de Sausa se observan cinco crestones con afloramientos discontinuos de rumbo N60 °E y 60 °NW de buzamiento.

### **1.3.4 Geología Económica**

La mineralización económica del área de Chipmo pertenece a un sistema epitermal, del tipo de relleno de fracturas. La mineralización de las vetas Nazareno, Prometida y Natividad de esta área consisten principalmente de oro nativo asociado a telurios, así como a cobres grises y pirita en estructuras de cuarzo lechoso, venas de dickita – alunita y bandas de baritina.

El principal mineral de oro es la calaverita (75%) y minoritariamente el oro nativo (15%), cobre grises, petzita y hessita son constituyentes menores. El tamaño de la mineralización es en promedio de menor a 30 micras, para el caso de la calaverita y de 50 micras para el oro nativo, aunque en zonas de bonanza el oro nativo se aprecia macroscópicamente.

### 1.3.5 Alteración Hidrotermal

En el área Chipmo, la alteración Argílica Avanzada de superficie e interior mina fue determinada en base al mapeo geológico y al uso de un espectrómetro PIMA. Estas son las siguientes:

Silicificación masiva

Cuarzo - alunita

Cuarzo - caolinita ó caolinita - cuarzo

Cuarzo - dickita ó dickita- cuarzo

Argílica

Propilítica

Estas alteraciones están asociadas a las principales vetas cuyos afloramientos están debajo de la cota 4000.

### 1.3.6 Mineralogía

#### a) Área Nazareno.-

- **Mena:** Oro nativo asociado a Teluros (Calaverita, Petzita, Hessita, Krennerita y Telurobismutinita), muy esporádica presencia de cobre gris.

- **Ganga:** Ensamble Cuarzo gris y blanco – Baritina – dickita - Caolinita, Pirita, estructuras brechoides cuarzo lechosas masivas +/- 65 % a 79 %, en tramos venillas que cortan a dacitas fuertemente silisificadas, en algunas labores asociado al cuarzo, mucha veces presencia de baritina en tramos aislados.

#### b) Área Prometida.-

- **Mena:** Oro nativo asociado a Teluros (Calaverita, Petzita, Nagyagita), presencia restringida de Tetraedrita y Tennantita que agregan valores de Plata.

- **Ganga:** Cuarzo varias generaciones (Cuarzo gris, blanco granular, lechozo), dickita, Caolinita y Alunita minoritariamente, dacitas a riocitas fuertemente silisificadas, cortadas por venillas de cuarzo lechoso sacaroide +/- 5 %, fracturas rellenas con arcillas (dikita) +/- 5 % diseminación de pirita fina +/- 2 %, en algunas zonas de bonanza presencia de minerales grises. +/- 2 %.



**Fotografía N° 1:** Mineral de mina (Chipmo) en la cancha de recepción para ser tratado en la Planta de procesos.

### 1.3.7 Geomorfología

La zona presenta un amplio valle de origen tectónico (Fallas en Graben) en el cual discurre el río Orcopampa principal colector de las aguas de esorrentía que son derivadas a través de una red dendrítica de quebradas algunas de ellas ligadas a fallas geológicas principalmente, siendo el principal afluente el río Chilcaymarca.

Como rasgos fisiográficos interesantes se tiene, que rodean al valle una serie de colinas redondeadas de rocas mas antiguas que soportan sobreimpuestas en algunos lugares estructuras de flujos de lava y una apreciable cantidad de pequeños aparatos volcánicos que alcanzan de los 30 a 350 metros de altura, cuyo origen es la actividad volcánica cuaternaria reciente que se remonta de 500 mil a 1 millón de años aproximadamente.

Se observa también un sistema de terrazas fluviales, que podrían evidenciar un probable antecedente lagunar del valle formado por un fallamiento normal de tipo graben.

#### **1.4 Proceso metalúrgico**

La Planta de Procesos Orcopampa trata un mineral aurífero de ley de cabeza promedio 18.5 g/TM. Tiene una capacidad de tratamiento de 1300 toneladas cortas secas por día y su producto final son barras doré.

La planta cuenta con las operaciones de: chancado, molienda- clasificación, concentración gravimétrica, espesamiento, cianuración proceso CIL, cianuración de concentrados gravimétricos, desorción- electrodeposición, Merrill Crowe, fundición, lavado acido de carbón, regeneración de carbón, destrucción de cianuro y disposición de relaves.

- **La sección de chancado:** consta de tres etapas, el chancado primario que reduce el mineral proveniente de la mina a menos de 3 " y cuenta con un tolván de 60 TM de capacidad, un alimentador de placas de 42 " x 49 ' 6 " que transporta el mineral hacia la chancadora de mandíbulas Nordberg de 25 " x 40 ". El producto de la chancadora es conducido hacia la tolva pulmón de 500 TCS de capacidad a través de la faja transportadora N° 01. Sobre esta faja se tiene un electroimán Eriez Magnetics cuya finalidad es separar los objetos metálicos procedentes de la mina.

La faja alimentadora N°1, descarga el mineral de la tolva pulmón de 500 TMS de capacidad y la faja transportadora N°2 conduce el mineral hacia el chancado

secundario en donde se reduce de tamaño el mineral de +/- 3 " a +/- 1 ". Esta etapa consta de un detector de metales Outokumpu, una zaranda vibratoria Nordberg 6 ' x 12 ' que trabaja en circuito abierto con la chancadora Hydrocone Falcon de 75 ". El producto del chancado secundario es transportado por la faja N° 04 hacia la zaranda Magensa 6 ' x 12 ' que trabaja en circuito cerrado con la chancadora terciaria Symons short head de 4 '. El undersize de la zaranda menos de ¾ " es recepcionado y almacenado en la tolva de Finos de 1000 TCS de capacidad.

- **La Sección de molienda:** es donde inicia la "cianuración del mineral". Esta sección cuenta con tres molinos. El molino de barras Allis Chalmers 7 ' x 12 ' de 250 Hp, el molino de bolas Allis Chalmers 7 ' x 12 ' de 250 Hp y el molino de Bolas Dominion 12 ' x 16 ' de 1250 Hp.

La lechada de cal a una concentración de 1.3 % se adiciona al ingreso del molino de barras 7 'x12 ' y la solución de cianuro de sodio a una concentración del 10% es adicionado al ingreso del molino de bolas 12 ' x 16 '.

El mineral de la tolva de finos es transportado por la faja N° 06 al molino de barras 7 'x12 ', la descarga de este molino se une con la descarga del molino de bolas 7 ' x 12 ' en el cajón de la bomba Warman 6/4 N° 01, que trabaja en circuito cerrado con un ciclón krebs D-15. El overflow de este se une con la descarga del molino de bolas 12 ' x 16 ' en el cajón de las bombas Warman 8/6 N° 02 el cual opera en circuito cerrado con el ciclón Krebs G-máx. El overflow del ciclón krebs DS15LBGMAX. Se envía a la sección de espesamiento.

La pulpa que se envía a gravimetría es derivada de los manifold, de los manifold de los ciclones Krebs D-15 se alimenta a la zaranda Derrick K48-90R-3M que trabaja con el concentrador centrífugo Knelson manual KC-30MD, mientras que del manifold de los ciclones Krebs DS15LB GMAX, se alimenta a la zaranda Sisetec que trabaja junto con el concentrador Knelson automático KC30-MC.





**Fotografía N° 2:** Sección de molienda en la Planta de procesos de Orcopampa.

- **La sección de espesamiento:** la pulpa que proviene del overflow de los ciclones a una densidad promedio de 1.23 Kg/lit, es tamizada en una zaranda 4' x 12' de malla de poliuretano N° 30 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 0.22 % (Praestol 2530) 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, sin embargo el underflow del espesador que tiene una densidad promedio de 1.40 Kg/lit que corresponde a 45 % sólidos, es bombeado al tanque N° 01 de carbón in leach.

- **La sección Carbón in leach:** Cuenta con seis tanques de 35 ' x 35 ', el tiempo de residencia de cada tanque es de 12 horas, haciendo un total de tiempo de cianuración de 72 horas.

En el Tanque N° 01 la cinética de disolución es más rápida obteniéndose un porcentaje de extracción entre 55 – 65 %. Las condiciones de operaciones en el primer tanque son las siguientes: la fuerza de cianuro se mantiene en 800 ppm, el pH 10.8 - 11.2 y la concentración de oxígeno entre 7.0 ppm - 8.0 ppm. Los valores de fuerza de cianuro y pH van disminuyendo de tanque a tanque por el consumo en la disolución del oro.

Los tonelajes de carbón activado que se mantiene en los tanques a partir del tanque dos al seis es respectivamente 15, 12, 8, 8 , 7 toneladas métricas, o una concentración de carbón en gramos por litro de pulpa de 17.4, 13.9, 9.3, 9.3, 8.1. 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.

Las leyes de los carbones que se tiene en cada tanque disminuye del tanque dos al tanque seis, en promedio las leyes en gramos de oro por tonelada de carbón son: 5300, 1900, 900, 500, 350.

Diariamente se cosecha 3.0 TM de carbón del tanque N° 02. Esta operación consiste en bombear utilizando una bomba Bredel SPX 100, pulpa que contiene el carbón del tanque dos hacia la zaranda de cosecha, el carbón queda retenido en la malla y se envía por gravedad hacia la tolva de carbón cargado ubicado en la sección de desorción, mientras que la pulpa que pasa la malla cae al tanque N°01. Esta operación tiene una duración de aprox. 8 a 9 horas.

La Nivelación de Carbón es usando la cosecha de tres toneladas de carbón del tanque N° 02 entonces ese tanque queda con tres toneladas menos es decir con 12 TM, 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. Como la concentración de carbón en cada tanque es diferente entonces los tiempos de bombeo son diferentes. Los tiempos de bombeo son: 20.0 hrs del tanque N° 06 al tanque N° 05, 14.0 hrs del N° 05 al N° 04, 13.3 hrs del N° 04 al N° 03 , 9.2 hrs del N° 03 al N° 02.

- **Sección de desorción y electrodeposición:** La desorción es un proceso inverso al de adsorción, en este proceso se trata de extraer el oro y la plata contenido en el carbón, mediante presión y temperatura. El proceso de desorción trabaja en circuito cerrado con el proceso de electrodeposición. Una vez acumulado aprox. 3000 Kg. de carbón en la tolva de cosecha y teniendo el reporte de análisis de laboratorio de la solución del tanque barren por concentración de oro y NaOH, se procede a realizar la desorción, se bombea todo el carbón hacia el stripper, posteriormente se drena el agua que se uso en el bombeo del carbón, se adiciona la cantidad calculada de soda cáustica en solución de tal manera de alcanzar 2 % de concentración de la solución barren, y se comienza a bombear solución barren, esta solución primero se calienta en el intercambiador 130 °C y luego ingresa al stripper por la parte inferior y sale por la parte superior e ingresa nuevamente al intercambiado de calor y se dirige hacia el tanque rompe presión para luego ingresar a las celdas electrolíticas, la solución que paso por las celdas retorna al tanque de solución barren y continua así con ese ciclo aprox. por 18 horas que es el tiempo en que se desorbe sobre el 90 % del oro. Al finalizar se realiza la cosecha del precipitado electrolítico depositado en los cátodos de las celdas electrolíticas, este precipitado antes de ir a fundición pasa por las operaciones de filtrado y secado.

- **Fundición:** cuenta con un sistema de retorta (horno cerrado, con tuberías para condensar el mercurio), en el cual se realiza el secado del precipitado electrolítico y la condensación del mercurio; Además cuentan con un horno calentado por un quemador a petróleo, el crisol que usan es de carburo de silicio de 100 Kg. de capacidad y tiene una duración para +/- 15 coladas, su

composición del flux es el siguiente: 35 % Bórax Deca hidratado, 33 % Carbonato de sodio y 32 % Sílice, usan la relación de 1.0 fundente / precipitado. El bullion tiene un peso de +/- 25 Kg. con +/- 70% de oro.

- **Lavado ácido y Regeneración:** Estos procesos tienen la finalidad de recuperar las propiedades de adsorción del carbón, con el lavado ácido se trata de eliminar los carbonatos de calcio adsorbidos en el carbón. El lavado ácido se realiza con el carbón desorvido y consiste en hacer recircular una solución de ácido nítrico al 10 % a través del carbón. La regeneración de carbón tiene la finalidad de limpiar los poros del carbón de sustancias orgánicas que puedan haberse adsorbido, la regeneración se realiza en un horno rotatorio horizontal a gas.

- **Destrucción de cianuro:** Como su nombre lo indica se destruye los cianuros remanentes del relave de la cianuración en carbón (Carbón in leach), para ello se utiliza el ácido de caro ( $H^2SO^5$ ) que es un ácido formado de la mezcla del peróxido de hidrógeno ( $H^2O^2$ ) y el ácido sulfúrico ( $h^2SO^4$ ). En una reacción rápida y exotérmica, El relave de la cianuración con carbón tiene una concentración de cianuro Wad promedio de 280 ppm y después de pasar por el reactor de destrucción el cual tiene un tiempo de residencia de 6 minutos, su concentración de cianuro wad disminuye a 50 ppm.

- **Disposición de relave:** La presa de relave esta construida como presa de agua y 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 lográndose tener un efluente externo de cero.

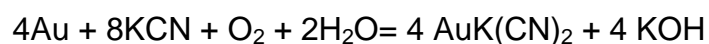
## 2. Fundamentos teóricos

### 2.1 Uso del cianuro en la industria del oro

La lixiviación en montones (heap leaching) es un proceso muy económico para tratar metalúrgicamente minerales con baja ley en metales preciosos, este método de tratamiento recibe un fuerte impulso a mediados de la década del 70 del siglo anterior, cuando el oro alcanza cotizaciones de hasta 600 US\$/onza el

año 1980; se implementa el rehúso del carbón activado y se beneficia minerales con fuerte contenido de finos mediante aglomeración (tomado del "Use of Cyanide in the Gold Industry" publicado en el sitio del Código Internacional para el Manejo del Cianuro en la Minería del Oro)

El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa disolvente preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral. La reacción enunciada por Elsher en Journal Prakchen (1946), es la siguiente:



La química involucrada en la disolución de oro y plata en el proceso de cianuración en pilas es la misma aplicada en los procesos de cianuración por agitación.

El oxígeno, esencial para la disolución del oro y plata, es introducido en la solución de cianuro mediante la inyección directa de aire a los tanques solución de cabeza, por bombeo de la solución recirculante.

La velocidad de disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida, lo que hace que el proceso de disolución sea un proceso heterogéneo; la velocidad de disolución depende también de la velocidad de agitación lo que indica que el proceso sufre la presión de un fenómeno físico.

Otros factores que influyen en la velocidad de disolución son las siguientes:

**a) Tamaño de la partícula.**- Cuando se presenta oro grueso libre en la mena, la práctica generalizada es recuperarlo por medio de trampas antes de la cianuración ya que las partículas gruesas podrían no disolverse en el tiempo que dura el proceso.

Bajo condiciones consideradas ideales con respecto a la aereación y agitación, Barsky encontró que la velocidad mínima de disolución de oro es 3.25 mg/cm<sup>2</sup>/hora.

**b) Oxígeno.-** Es un elemento indispensable en la disolución del oro y plata (aereación de la pulpa). Aparentemente y siguiendo la estequiometría de la reacción la disolución de un mol de oro requiere medio mol de oxígeno y dos moles de cianuro, y dependerá de la proporción de la difusión del cianuro y de la del oxígeno, y también de la superficie específica del oro.

En la práctica existen dos métodos para incrementar la concentración del oxígeno disuelto:

- Aumentar la presión del aire como oxidante
  - Utilizar oxígeno puro, aire enriquecido en oxígeno o agua oxigenada
- Ambos sistemas son costosos y solo se justifican cuando la pulpa contiene cantidades significativas de consumidores de oxígeno.

**c) Concentración de la solución de cianuro.-** La solubilidad del oro en una solución de CN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 0.005 % NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0.01% NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0.25% NaCN. La proporción más eficaz es de 0.05 % a 0.07 % NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05 % NaCN y para menas de plata de 0.3 % para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0.3 % - 0.7 %. El NaCN es el más usado en el proceso de cianuración, aunque también se emplea el KCN.

**d) Temperatura.-** La velocidad de disolución de los metales en una solución de NaCN aumenta con el incremento de la temperatura, hasta 85° C. Arriba de esta temperatura; las pérdidas por descomposición del cianuro es un serio problema.

**e) Alcalinidad protectora.-** Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis.
- Prevenir pérdidas de cianuro por acción del CO<sub>2</sub> del aire.
- Neutralizar los componentes ácidos.
- Facilitar el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.

**f) Porcentaje de finos.-** Este aspecto es muy importante en el sistema “heap leaching”, porque, cuando el porcentaje de finos es alto, mayor al 20 % del total (< -10 mallas, 1.7 mm) las partículas tienden a aglutinarse y, en consecuencia no dejan pasar las soluciones de cianuro por lo que estos minerales requieren otro tratamiento posiblemente curado con cal, cemento o ambos para lograr aglomerarlos y facilitar la percolación.

## 2.2 Producción, transporte y almacenamiento de cianuro

Se estima que la producción anual de cianuro de hidrógeno en todo el mundo es de \*1,4 millones de toneladas métricas, de las cuales sólo 13 % se utiliza en la producción de reactivos para procesar oro, mientras que el 87 % restante se utiliza en las industrias para producir plástico, adhesivos, productos químicos retardantes de la combustión, cosméticos, productos farmacéuticos, en el procesamiento de alimentos y como aditivo antiaglutinante en la sal de mesa.

El cianuro utilizado en minería, se fabrica y se distribuye en distintas formas físicas y químicas, como por ejemplo, briquetas y escamas de cianuro y cianuro líquido. El cianuro de sodio se comercializa en briquetas y líquido, mientras que el cianuro de calcio se comercializa en forma de escamas y líquido. La fuerza de los reactivos de cianuro es de 98 % en las briquetas de cianuro de sodio, 44 % - 50 % en las escamas de cianuro de calcio, 28-33% en el cianuro de sodio líquido y 15 %- 18 % en el cianuro de calcio líquido.

La elección del reactivo está generalmente sujeta a disponibilidad, medios de

transporte, la distancia de las minas y el costo. Las operaciones de gran escala que se encuentran cerca de las instalaciones de producción suelen usar cianuro líquido. Las operaciones de menor tamaño, en cambio, utilizan cianuro sólido, más que nada por el riesgo que implica transportar líquido por distancias muy largas y por el costo que eso genera.

El cianuro líquido se transporta a las minas por camiones tanque (cisterna) o vagones tanque y se lo descarga en tanques de almacenamiento. El tanque del camión o el vagón puede tener una o dos paredes de separación, y la ubicación y el diseño del equipo de descarga varía según el tipo de vehículo utilizado.

Las briquetas de cianuro o las escamas de cianuro se transportan a las minas en tambores metálicos, bolsas de plástico, cajas y contenedores ISO. El equipo que se utiliza para disolver el cianuro en las minas se diseña de acuerdo a la forma en la que se embala o empaqueta el reactivo, para poder ofrecer las más altas medidas de seguridad. El pH de las soluciones que contienen cianuro en el momento de la disolución debe ser siempre mayor a 12 para evitar la volatilización de los gases tóxicos de cianuro de hidrógeno. La solución resultante es luego bombeada a tanques de almacenamiento antes de ser agregada al proceso.

La solución de cianuro es introducida en el proceso metalúrgico desde el tanque de almacenamiento en proporción a la masa de sólidos secos. La cantidad de cianuro agregada es constantemente controlada para mantener un nivel de cianuro óptimo según el mineral que está siendo tratado.

Es obligatorio llevar un inventario de los reactivos de cianuro para poder mantener una continuidad en las operaciones y para limitar la frecuencia de las descargas que son consideradas operaciones críticas en materia de seguridad.

Si bien las formas en las que se produce el cianuro varían, una vez que forma parte del proceso los métodos utilizados para recuperar oro son las mismas.



### **2.3 Preparación del mineral**

La preparación del mineral es necesaria para que al ponerlo en contacto con la solución de cianuro permita una recuperación óptima de oro. El primer paso en la preparación del mineral es la trituración, que permite reducir el tamaño de sus partículas y liberar el oro para poder recuperarlo.

Con los minerales que contienen oro libre puede ocurrir que la lixiviación con cianuro no sea suficiente para recuperar el metal, debido a que se necesita mucho tiempo para liberar las partículas más grandes de oro. En estos casos, el mineral debe ser sometido previamente a un proceso de recuperación por gravedad para recuperar el oro libre antes de lixiviar con cianuro.

Las menas portadoras de minerales que contienen sulfuros, o carbonatos, requieren de un tratamiento adicional, aparte de la reducción de tamaño, antes de comenzar el proceso de recuperación de oro. La recuperación de oro de los minerales que contienen sulfuros es poco exitosa porque el cianuro tiende a lixiviar los minerales con sulfuros en lugar del oro y el cianuro es absorbido o consumido por la formación de tiocianato. Estos minerales son primero sometidos a procesos de concentración, tales como la flotación, y luego a otros procesos para oxidar los sulfuros, para así limitar su interacción con el cianuro durante la lixiviación. El proceso de oxidación, realizado antes de la lixiviación, evita que los minerales carbonáticos absorban el oro una vez solubilizado. A su vez, el proceso de lixiviación también debe ser modificado por la adición de carbón activado para absorber el oro.

### **2.4 Lixiviación con soluciones líquidas de cianuro**

Cuando el oro es lixiviado con soluciones de cianuro se forma un complejo de cianuro y oro por el efecto del oxidante, como los complejos de oxígeno y cianuro. Estos complejos son muy estables y la cantidad de cianuro necesaria es mínima y no excede los requerimientos estequiométricos. En la práctica, sin embargo, la cantidad de cianuro utilizada en la lixiviación depende de la

presencia de otros consumidores de cianuro y de la necesidad de lograr niveles de lixiviación adecuados.

Las concentraciones de cianuro más comunes oscilan entre los 300 y los 500 mg/l (de 0.03 % a 0.05 % como NaCN) y dependen del tipo de mineral. El oro se recupera por lixiviación en pilas (estática) o lixiviación por agitación (lixiviación dinámica).

En la lixiviación en pilas, el mineral es apilado en una plataforma forrada con una membrana impermeable. Para agregar el cianuro se rocía la pila con la solución de cianuro o se usa un sistema de riego por goteo. La solución de cianuro lixivia el oro del mineral, que es recolectado por la membrana impermeable y bombeado o transportado hacia las instalaciones de almacenamiento para su posterior procesamiento. Este sistema es muy práctico debido al bajo costo de inversión requerida, pero es un proceso lento y la eficacia de la extracción de oro es de entre 50 % y 75 %.

En el proceso de molienda convencional y lixiviación por agitación, la mena es triturada en molinos hasta convertirla en polvo. El mineral triturado se transporta por cinta a una serie de tanques de lixiviación donde se lo agita ya sea mecánicamente o por inyección de aire, o ambos para lograr un mayor contacto entre el cianuro y el oxígeno con el oro y mejorar el rendimiento del proceso de lixiviación. Luego, el cianuro disuelve el oro del mineral y forma un complejo estable de oro y cianuro.

El uso de compuestos de oxígeno o peroxígeno como oxidantes para reemplazar la utilización de aire mejora la lixiviación y reduce el consumo de cianuro, debido a la neutralización de algunas de las especies consumidoras de cianuro que se encuentran en el mineral triturado.

EL pH del mineral triturado aumenta a 10 u 11 si se utiliza cal en el circuito de lixiviación para asegurarse de que cuando se agregue el cianuro, no se facilite la aparición de cianuro de hidrógeno tóxico y que el cianuro quede en la

solución para disolver el oro. El mineral triturado puede necesitar una preparación previa, como la oxidación, antes de agregar el cianuro.

En el proceso de recuperación se utiliza carbón activado, ya sea agregándolo directamente a los tanques durante el proceso de lixiviación o a los tanques luego de la lixiviación. El carbón absorbe el oro disuelto de los minerales formando una masa de sólidos más pequeña. Luego, el carbón es separado por zarandeo y es sometido a otros tratamientos para recuperar el oro que ha absorbido.

Cuando no se usa carbón para absorber el oro del mineral triturado, la solución que contiene oro debe ser separada de los componentes sólidos por filtrado o espesado. La solución que se obtiene, es tratada nuevamente (aparte del proceso de absorción del carbón) para recuperar el oro que contiene.

Los residuos que quedan luego de recuperar el oro se denominan "material de residuo" o "material estéril". Estos residuos son filtrados para recuperar la solución, tratados para neutralizar o reutilizar el cianuro, o son enviados a las instalaciones de almacenamiento de residuos.

## **2.5 Proceso Merrill Crowe**

La solución rica resultado de la cianuración del concentrado gravimétrico después de habersele eliminado los finos y el oxígeno pasa un tanque de agitación herméticamente cerrado en donde se le adiciona zinc en polvo y acetato de plomo.

Los equipos que conforman este proceso se encuentran en un ambiente independiente bajo techo, implementado con un sistema de ventilación "airtec".

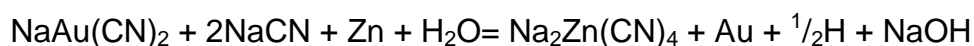
**Clarificación.-** La solución rica del tanque de almacenamiento es alimentado a un clarificador a presión cuyas placas están revestidas de diatomita con el objeto de mejorar la clarificación. Los lodos producto de la clarificación se retornan al proceso de cianuración

**Precipitación.-** La solución previamente clarificada es sometida a un sistema de desoxigenación por medio de una bomba y una torre de vacío que trabaja aproximadamente a 23 pulgadas de Hg de depresión.

Clarificada y desoxigenada la solución rica es sometida a la adición de polvo de zinc para que se produzca la precipitación del oro en un medio donde la solución no es expuesta al aire atmosférico lo que constituye el trabajo de una bomba de vacío en seco conectada a la torre Crowe y el cono precipitador. La solución es transferida a un filtro donde se produce la precipitación. Los productos de este proceso son los siguientes:

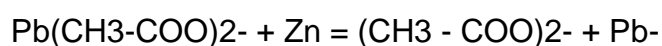
- El sólido que contiene los valores de oro, plata y otros metales como impurezas
- El líquido es la solución pobre o barren y es recirculada a la poza correspondiente

Todo este proceso se basa en el principio de la precipitación de metales preciosos contenidos en soluciones de CN empleando polvo de zinc, por el hecho de que el oro y la plata son electronegativos respecto al zinc, ocurriendo un reemplazo electroquímico del oro y la plata por el zinc, seguido por el desplazamiento del hidrógeno del agua por el sodio según la siguiente reacción:



En la práctica, ocurre un exceso en el consumo de zinc por encima de la demanda teórica debido a que tanto el CN con el álcali libre en la solución tienden a atacar al Zinc disolviéndolo.

Las reacciones son más eficientes con la adición de acetato de plomo:



**Adsorción en carbón activado.-** Se realiza cuando el mineral contiene muy poca proporción de Ag, es decir cuando el mineral está constituido principalmente por oro como metal precioso.

**Desorción del oro del carbón activado.-** En este caso el carbón cargado con oro es sometido al proceso de desorción en volúmenes alcalinos alcohólicos; el oro pasa a solución, formando un electrolito rico en oro el cual pasa a electrodeposición en cátodos de lana de acero y, posteriormente es fundido.

El oro se encuentra en las menas en cantidades pequeñas: menos de 10 g/t o 0.001%. Con esas concentraciones el único método económicamente viable para extraer oro de los minerales es el uso de procesos de extracción que utilizan soluciones a base de agua (hidrometalurgia) como la lixiviación, por el cual el oro se disuelve en un medio acuoso para separar la solución que contiene oro de la que contiene residuos, y la recuperación del oro disuelto utilizando carbón activado. Una vez extraído del carbón activado, el oro es de nuevo recuperado por precipitación o galvanización.

Como el oro es un metal noble no es soluble en agua. Para disolverlo se necesita de una sustancia como el cianuro, que permite formar complejos y estabilizar el oro en las soluciones, o de un agente oxidante como el oxígeno. Para poder disolver oro se necesitan 350 mg/l o 0.035 % de cianuro puro.

Existen otros agentes que disuelven el oro, como son el cloruro, el bromuro o el tiosulfato, pero los complejos que se obtienen resultan menos estables y es por eso que se necesitan condiciones y oxidantes más fuertes para disolver el oro. A veces, estos reactivos son peligrosos para la salud y el medio ambiente y además son más costosos.

De esta manera se explica por qué el cianuro es el reactivo por excelencia para la lixiviación de oro desde que se lo comenzó a utilizar en los últimos años del siglo XIX.

## 2.6 Recuperación del oro disuelto

El oro es recuperado de la solución por cementación con polvo de zinc o utilizando carbón activado, como se describió líneas arriba, para luego proceder a la extracción por vía electrolítica. Para una cementación más eficiente es preciso utilizar una solución preparada por filtrado o decantación.

El proceso más económico es el que permite que el carbón activado adsorba el oro disuelto, lo que solidifica el oro y facilita la posterior separación. En este proceso, las partículas de mineral deben ser menores a 100 micras, mientras que las partículas de carbón deben tener un tamaño mayor a 500 mm. La absorción se consigue cuando el mineral entra en contacto con el carbón, proceso que puede realizarse mientras que el oro está en pleno proceso de lixiviación o luego de la lixiviación. El primero resulta más caro ya que la absorción es poco eficiente y el carbón es muy abrasivo y sucio.

En general, el carbón activado, en contacto con la pulpa, recupera más del 99,5 % del oro en un período de entre 8 y 24 horas, dependiendo de la reactividad del carbón, la cantidad de carbón utilizada y el rendimiento de las mezcladoras utilizadas. El carbón es separado de la mezcla hidrodinámicamente o con aire y los residuos son espesados para separar la solución con cianuro para luego reutilizar o destruir el cianuro, o enviados directamente a las instalaciones de almacenamiento de colas desde donde la solución de cianuro es reciclada al proceso de lixiviación. El oro adsorbido por el carbón activado se recupera con una solución de cianuro y soda cáustica caliente. Luego, el carbón es aprovechado y devuelto al circuito de adsorción mientras que el oro es recuperado por cementación con zinc o por vía electrolítica. Si contiene cantidades importantes de metales básicos, se funde o se calcina el oro y se lo convierte en lingotes (bullion) que contienen entre 70% y 90% de oro. Luego, el bullion es sometido a un nuevo proceso para purificarlo y lograr un 99,99% o 99,999% de pureza por cloración, fundición y electro-purificación.

(\*) Otras fuentes indican que la producción mundial es de 3 millones de toneladas y que se destina el 8% para utilización en la minería.

### **3. El cianuro, la sustancia temida**

El cianuro es un término genérico para un grupo de elementos químicos que contiene carbono y nitrógeno. Los compuestos cianurados pueden ser naturales o manufacturados. El natural es producido por ciertas bacterias, hongos y plantas, como mecanismos de defensa (mandioca, cerezas, almendras, damasco, lentejas, aceitunas, sorgo y soja, entre otros alimentos). Los manufacturados son el cianuro hidrogenado, el de sodio y el potásico.

El hidrogenado es un gas incoloro con olor a almendras, tóxico y letal si se ingiere o inhala. La mayor parte que se libera accidentalmente se volatiliza en la atmósfera donde es rápidamente diluido o degradado por los rayos ultravioletas.

El cianuro hidrogenado es la forma básica a partir de la cual se derivan otros compuestos y se produce en el mundo entero a partir de sustancias como el amoníaco y gas natural. La producción anual mundial que algunos mencionan, de 3 millones de toneladas, solamente un 8% se convierte cianuro de sodio para su utilización en el procesamiento de metales. Esto permite la efectiva y eficiente extracción del oro y es uno de los reactivos químicos que disuelve oro en agua y por razones tanto técnicas como económicas es la sustancia seleccionada para recuperar el oro de los minerales.

Se utiliza desde 1890. En el mundo, en los últimos 50 años, sólo existen antecedentes de cuatro derrames importantes de presas de relaves (diques de cola) que contenían residuos cianurados: en Nicaragua, Australia, Rumania y Bolivia. En tres de ellos se logró la mitigación o desaparición de los restos de cianuro en menos de una semana y en el caso de Rumania no se pudo lograr el mismo éxito a raíz de la alta carga de metales pesados que llevaban los residuos, pero no por efecto de los compuestos cianurados.

Si bien no existe "riesgo cero" y pese al bajo índice de accidentes que se ha registrado, la industria minera ha reconocido a nivel mundial la genuina preocupación de la comunidad por los riesgos ambientales que traen aparejado el uso y manejo del cianuro.

Su compromiso es procurar que sea manipulado en forma tan responsable y segura tanto como sea posible en todas las etapas de los procesos productivos. Este fue asumido en mayo de 2000 en un taller que tuvo como corolario el desarrollo del Código Internacional de Gestión de Cianuro para la Fabricación, el Transporte y el Uso en la Producción de Oro, en donde participaron referentes del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Consejo Internacional de Metales y el Medio Ambiente.



## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Tipo de Investigación**

La investigación realizada es un proceso científico-tecnológico que busca correlacionar datos extraídos experimentalmente para que, a partir de los resultados, se pueda analizar el ciclo de vida del cianuro y las pérdidas y caracterización del mencionado compuesto, para con ello evaluar los posibles riesgos, analizarlos y dar alternativas de mejor operatividad en el uso del cianuro.

#### **2.2 Población y Muestra**

La muestra materia de estudio, es la pulpa y solución “barren” del proceso de tratamiento del concentrado aurífero proveniente de la mina Chipmo en la unidad Económica Administrativa de Orcopampa , esencialmente compuesto por arcillas, cuarzo y en mucha menor proporción sulfuros metálicos.

Se tomaron 10 muestras con las respectivas contramuestras en la pulpa y se filtraron obteniendo una solución que junto con las otras soluciones ya tomadas, se enviaron al laboratorio químico para su respectivo análisis.

#### **2.3 Técnicas de toma de muestras**

El objetivo principal del muestreo consistió en tomar una muestra de agua en solución en un volumen suficientemente pequeño para que pudiera ser transportada convenientemente y, además, represente con exactitud al material del cual ha sido extraído.

Es muy importante que el muestreo haya sido planificado adecuadamente e integrando con el trabajo de laboratorio y que su enfoque sea apropiado para los objetivos previstos.

Dentro de un programa de monitoreo ambiental, se debe considerar con respecto al muestreo lo siguiente:

- Localización del muestreo
- Tiempo y frecuencia del muestreo
- Parámetros de análisis: conservación de las medidas, incluyendo tipo de almacenamiento y adiciones químicas.



**Fotografía N° 3:** Muestro sistemático, tanque N° 6, relave del proceso CIL.

De acuerdo al tipo de efluente, se deben considerar las características de muestreo que, en nuestro caso, se consideraron las referentes a las aguas provenientes del relave, rebose del relave, y aguas recuperadas. Dichas aguas contienen sustancias que interfieren con los análisis químicos, tales como la presencia de sulfatos, agentes oxidantes y sólidos. Sus características son:

- El sulfato puede perjudicar la precisión en el análisis. Es posible eliminarlo añadiendo carbonato de plomo.
- Los agentes oxidantes pueden degradar el cianuro en el periodo comprendido entre la toma de muestras y el análisis. Se evita añadiendo un preservante tal como puede ser un reductor.
- En las muestras, los sólidos en suspensión generan errores en la determinación de los niveles de cianuro. Hay que separar el sólido antes del análisis.
- Para el análisis de cianuro total los sólidos deberán ser incluidos en la muestra, ya que algunos complejos de cianuro son insolubles y podrían estar presentes en los sólidos.
- La medición del flujo juega un papel importante en la recolección de muestras representativas de agua residuales y constituye un elemento esencial en el cálculo de la cantidad total del contaminante que se descarga al ambiente.

#### **- Preservación de las muestras.-**

La preservación de las muestras tomadas es de vital importancia para evitar pérdidas de las especies de cianuro o cambios en las mismas. Las pérdidas están relacionadas con la volatilización, oxidación y fotodescomposición.

Si se observa la presencia en las muestras de sulfuro o agentes oxidantes se debe tener en cuenta:

- La presencia de agentes oxidantes como sulfuro, peróxido de hidrógeno y cloro requieren de la adición de agentes reductores tales como el ácido ascórbico, bisulfito de sodio o arsenito de sodio, los cuales no alteran los resultados de los análisis.
- Si se detectase la presencia de sulfuro podrá agregarse acetato de plomo, carbonato de plomo ó nitrato de bismuto, estos compuestos precipitan el sulfuro como sulfuro de bismuto o plomo, y así se logra la conservación de la muestra.

### **- Etiquetado, Catalogación de las muestras.-**

El etiquetado de las muestras es de suma importancia para evitar errores en la identificación de las muestras. Las etiquetas deberán incluir el número de la muestra, el nombre de quién lo ha tomado, hora, fecha y lugar de recolección.

La catalogación de la muestra también es importante ya que es necesario registrar toda la información referente al estudio que deseamos.

## **2.4 Técnicas de análisis para el balance del cianuro**

La variedad de los compuestos de cianuro es la principal causa de que se hayan desarrollado numerosos métodos de análisis. Las tres clasificaciones del cianuro que se estudian, están definidas por un método de análisis químico, y son los que se requieren con mayor frecuencia en los monitoreos.

- Cianuro total
- Cianuro disociable en ácido débil (WAD)
- Cianuro libre

### **2.4.1 Análisis de Cianuro Total (TCN)**

En la determinación del cianuro total se mide el cianuro libre, los cianuros simples y los complejos metal-cianuro. El análisis de cianuro total generalmente se lleva a cabo empleando métodos manuales; sin embargo, también pueden emplearse procedimientos automáticos.

#### **- Método Manual.-**

Existen dos métodos aceptables por la ASTM (1984) y en ALPHA (1989). El proceso básico es común a ambos métodos y consiste en la destilación con reflujo de la muestra mediante calor ácido (1:1 ácido sulfúrico), un catalizador de cloruro de magnesio y vacío. El instrumental de destilación sugerido es distinto en ambos protocolos, pero los procedimientos son los mismos.

La destilación por reflujo libera el gas de cianuro de hidrógeno, que luego es adsorbido en una “trampa” que contiene hidróxido de sodio diluido. La solución resultante es analizada por cianuro de sodio mediante colorimetría o por titulación. A través de estos métodos se puede cuantificar los cianuros complejos, excepto los de cobalto, oro y platino.

Es recomendable emplear el método colorimétrico para el análisis de muestras de baja concentración de cianuro, empleando la cloramina-T como oxidante, a lo que sigue la reacción Konig modificada para formar un pigmento de polimetina (Lambert 1975).

#### **- Método Automático.-**

Se basa en la destilación con películas delgadas (Goulden 1972). Se recurrió al uso de luz ultravioleta para acelerar la descomposición de los cianuros complejos, inclusive los complejos de cobalto y oro. Este método es la base del procedimiento auto-analizador. Un análisis empleando el método automático mide realmente la cantidad total de cianuro y tiocianato presentes en la muestra. Puesto que se sabe que muchas aguas residuales y especialmente las aguas residuales de muchas minas de oro contienen tiocianato, dicha interferencia hace que el procedimiento automático no pueda emplearse para el monitoreo ambiental del cianuro.

#### **- Método Semi-Automático.-**

Es el método para reducir la descomposición del tiocianato e incorporar algún grado de automatización. (Lachat Instruments 1990).

El sistema Lachat emplea un conjunto de tubos de destilación. La muestra se prepara en un tubo, que es introducido en un tubo colector que contiene una membrana hidrofóbica. Los tubos sellados son calentados en un bloque de calentamiento a más de 100 °C y los vapores de la muestra pasan a través de la membrana, condensándose para ser recolectados sobre ella.

El destilado recolectado luego podrá ser analizado manualmente o mediante un auto-analizador. Con este método, la interferencia de tiocianato para un rango de concentración de 0.025 a 2.5 ppm SCN era del 2%.

#### **2.4.2 Análisis de Cianuro Disociable con Acido Débil (WAD)**

En términos analíticos, los cianuros que se disocian fácilmente son denominados “disociables con ácido débil”. En esta clasificación se incluyen al cianuro libre, cianuro simple y algunos cianuros complejos. Estos compuestos de cianuro forman fácilmente HCN cuando reaccionan con un ácido débil.

El método del ácido pícrico es otra forma de medir la facilidad de disociación del cianuro, aunque no lo realiza con precisión, puede evaluar eficazmente los cambios de concentración. Este procedimiento ha sido exitosamente empleado en las plantas metalúrgicas para monitorear rutinariamente los procesos de cianuración o el tratamiento de las aguas residuales.

La manera lógica de analizar los cianuros fácilmente disociables requiere de la modificación del método del análisis del cianuro total, disminuyendo la fuerza del ácido en la fase de reflujo y añadiendo reactivos o tomando otras medidas para inhibir la descomposición de cianuros complejos. Sin embargo, sin la irradiación ultravioleta, sólo los cianuros simples podrán ser determinados. El pH en la fase de reflujo debe ser de 4.5 y agregar acetato de zinc para evitar la descomposición del cianuro de hierro. Con este procedimiento el cianuro era recuperado completamente de los complejos de zinc y níquel, en un 70 % de los complejos de cobre, en un 30 % de los complejos de cadmio, en un 2 % de los complejos de ferrocianuro y 0 % de los complejos de ferricianuro y cobalto.

El límite de detección de cianuro disociable en ácido débil es de 0.005 mg/lit, el cual es el mismo en caso del cianuro total.

### 2.4.3 Análisis de Cianuro Libre

En los análisis de cianuro libre, consiste en medir sólo el HCN y el  $\text{CN}^-$ , presentes en la muestra al momento del análisis. Evidentemente algunos complejos débiles serán medidos también debido a su capacidad de disociación.

La determinación del cianuro libre en agua por micro-difusión se ha convertido en un procedimiento de la ASTM, 1985.

## 2.5 Caracterización del Cianuro

El término cianuro incluye todos los grupos CN en compuestos de cianuro que se puedan determinar como ion cianuro,  $\text{CN}^-$ . Sus compuestos de cianuro en que se puede obtener como  $\text{CN}^-$  se clasifican en cianuros simples y complejos.

Los cianuros simples se representan con la fórmula  $\text{A}(\text{CN})_x$  donde A es un álcali (sodio, potasio, amonio) o un metal y x, la valencia de A, es el número de grupos CN. En las soluciones acuosas de cianuros alcalinos simples, el grupo CN está presente como  $\text{CN}^-$  y HCN molecular, en una relación que depende del pH y la constante de disociación para HCN molecular ( $\text{pK}_a \approx 9,2$ ). En la mayoría de las aguas naturales predomina el HCN<sup>1</sup>. En las soluciones de cianuros metálicos simples, el grupo CN puede presentarse también en forma de aniones complejos de cianuro metálico, con estabilidad variable. Muchos cianuros metálicos simples son poco solubles en agua o casi insolubles [CuCN, AgCN,  $\text{Zn}(\text{CN})_2$ ], pero forman una variedad de cianuros metálicos complejos, muy solubles, en presencia de cianuros alcalinos.

Los cianuros complejos tienen formulas diferentes, pero los cianuros metálicos alcalinos, se pueden representar normalmente por  $\text{A}_y\text{M}(\text{CN})_x$ . En esta fórmula A representa el álcali presente y veces, M el metal pesado (hierro ferroso y férrico, cadmio cobre, níquel, plata, zinc u otros) y x el número de grupos CN: x es igual a la valencia de A. tomada y veces más la del metal pesado. La disociación inicial de cada cianuro complejo soluble alcalino-metálico da lugar a un anión que es el radical  $\text{M}(\text{CN})_x^-$ . Éste puede mantener la disociación en

función de varios factores, con liberación de  $\text{CN}^-$  y la consiguiente formación de HCN.

Es bien conocida la gran toxicidad para la vida acuática del HCN molecular, que se forma en las soluciones de cianuro por reacción hidrolítica de  $\text{CN}^{2-5}$  con el agua. La toxicidad de  $\text{CN}^-$  es menor que la de HCN, pero normalmente carece de importancia porque la mayoría del cianuro libre (grupo CN presente como  $\text{CN}^-$  o HCN) existe como  $\text{HCN}^{2,5}$ , ya que el pH de la mayoría de las aguas naturales es sustancialmente más bajo que el  $\text{pK}_Q$  para HCN molecular. La toxicidad para los peces de la mayoría de las soluciones de cianuros complejos analizadas es atribuible principalmente al HCN resultante de la disociación de los complejos <sup>2,4,5</sup>. Es posible distinguir analíticamente el HCN de otros tipos de cianuros en soluciones de cianuros complejos <sup>2, 5 - 9,10</sup>

El grado de disociación de los diferentes cianuros metálicos complejos en equilibrio, que puede no alcanzarse durante mucho tiempo, aumenta al disminuir la concentración y disminuir el pH y está inversamente relacionado con su estabilidad muy variable. Los complejos de cianuro de zinc y cadmio se disocian casi totalmente en soluciones muy diluidas y por ello pueden causar toxicidad aguda para los peces a un pH normal. En soluciones igual de diluidas, existe mucha menor disociación en el complejo níquel cianuro y los complejos muchos más estables formados con cobre y plata, la toxicidad aguda para los peces de las soluciones con aniones complejos de cobre cianuro o plata-cianuro pueden deberse principalmente o totalmente a la toxicidad de los iones sin disociar aunque los iones complejos son mucho menos tóxicos que  $\text{HCN}^{2,5}$ .

Los iones complejos hierro-cianuro son muy estables y no son tóxicos; en la oscuridad sólo se alcanzan niveles tóxicos agudos de HCN en soluciones que no sean muy diluidas y lleven mucho tiempo preparadas. Sin embargo, estos complejos están sometidos a fotólisis amplia y rápida produciendo HCN tóxico cuando se exponen las soluciones diluidas a la luz solar directa. La fotodescomposición depende de la exposición a la radiación ultra violeta y por ello es lenta en las aguas profundas, turbias o en la sombra. La pérdida de HCN hacia la atmósfera y su destrucción química y bacteriana, a medida que



se producen, contribuyen a evitar la concentración de HCN a niveles nocivos. Por todo ello está justificada la obligación de distinguir los complejos de cianuro con hierro de otros menos estables, así como entre cianuro combinado y libre o HCN. (Mary Ann H. Franson, Métodos Normalizados APHA, AWWA, WPCF, 1997).

Algunos autores han descrito al cianuro como un pseudo halógeno (Chatwin, 1990). Sin embargo, esta analogía no es siempre adecuada, especialmente en términos de formación de complejos metálicos (Cotton y Wilkinson, 1972).

### **- Terminología.-**

**Ion Cianuro:** Como se indicó previamente, este término se refiere únicamente al anión libre CN en solución.

**HCN Molecular:** El HCN molecular es una molécula neutra a la que se denomina ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno.

**Compuestos Simples de Cianuro:** Son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un ión cianuro. Son sales que provienen de reacciones ácido – base (por ejemplo el cianuro de sodio).

**Compuestos Complejos de Cianuro:** Son compuestos que se disocian en el agua liberando un catión y un anión que contiene ion cianuro. El anión, denominado complejo, puede seguir disociándose produciendo en última instancia un catión y varios iones cianuro (por ejemplo, el  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  o triciano cuprito).

**Organocianuros:** Son compuestos orgánicos que contienen el grupo  $\text{C}=\text{N}$ ; se los denomina nitrilos o cianuros. Las cianhidrinas ( $\text{R}_2\text{C}(\text{OH})\text{CN}$ ) y los glucósidos cianogénicos ( $\text{R}_1\text{R}_2\text{C}(\text{OR}_3)\text{CN}$ ) son nitrilos que pueden liberar iones cianuro en condiciones apropiadas, de ahí que presenten un comportamiento análogo al de los cianuros simples. Otros organocianuros, como el acrilonitrilo ( $\text{CH}_2\text{CHCN}$ ) y el acetonitrilo ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), se degradan para producir sus

respectivos ácidos y amoníaco, mostrando en consecuencia un comportamiento diferente de las formas inorgánicas del cianuro.

**Cianuro Libre:** Esta denominación comprende tanto al HCN molecular como al ion de cianuro. Esta terminología se emplea tanto para la descripción analítica del cianuro como para evaluar su toxicidad.

**Cianuro Total (TCN):** Se denomina así a todos los compuestos de cianuro existentes en una solución acuosa. Este es un término que se emplea en los procedimientos analíticos. El "cianuro total real" de una solución puede o no concordar con el "cianuro total" determinado por una técnica analítica particular.

En la práctica, la cuantificación del cianuro total depende del método analítico empleado.

**Cianuro Disociable con Ácido Débil (WAD CN):** Es un término analítico utilizado para designar a los compuestos de cianuro que se disocian bajo reflujó, con un ácido débil, normalmente a pH 4.5 .

## 2.6 Resultado de los análisis

DESCRIPCIÓN	<i>CN-WAD</i>	<i>CN-Total</i>	Lugar de toma de muestras
	p.p.m(mg/l)	p.p.m. (mg/l)	
M-1	373.34	528.33	Over Ciclón G-max (Molino Dominion 12"x16")
M-2	433.34	436.67	Rebose espesador (Solución barren)
M-3	386.67	520.00	Cabeza CIL (Relave espesador)
M-4	263.34	356.67	Relave CIL (Cabeza destrucción cianuro)
M-5	53.33	66.67	Relave destrucción cianuro
M-6	900.00	1000.00	Solución barren ingreso molino 3"x 8"
M-7	9405.00	12540.00	Salida del tanque pachuca
M-8	9467.50	12490.00	Ingreso a los tanques de solución rica
M-9	9190.00	12280.00	Salida del filtro prensa N° 1
M-10	343.30	445.73	Cabeza del proceso merril crowe
M-11	338.89	443.85	Relave del proceso merril crowe
M-12	23.34	30.00	Presa de Relaves N° 4

**Tabla N° 1:** Resultados de análisis por el laboratorio químico de Orcopampa.

## CAPITULO III

### PROCESO EXPERIMENTAL: ESTUDIO DEL CICLO DE VIDA DEL CIANURO EN LA PLANTA DE PROCESOS DE ORCOPAMPA

#### 3.1 Definición del trazado del cianuro a lo largo del proceso de recuperación del oro, desde su llegada a almacén hasta su emplazamiento en la presa de relaves

El Cianuro de Sodio, que se utiliza en el proceso metalúrgico de Orcopampa y que se transporta desde la ciudad de Lima por vía terrestre en forma de briquetas sólidas de color blanco, es una sustancia venenosa, irritante y con un nivel de riesgo serio, es transportada en contenedores de 20 o hasta 30 toneladas en cajones de madera de una tonelada de peso cada uno, viene en bolsas de polipropileno y esta a su vez en una bolsa de polietileno transparente, evitándose de este modo contacto alguno con las personas y organismos del entorno.

El almacén previsto para guardar esta sustancia construido especialmente para tal fin y con la respectiva ventilación y especificaciones técnicas adecuadas es provisto semanalmente y con un stock de no más de 60 toneladas en tránsito.

Diariamente la Planta de Procesos saca de almacén dos toneladas de Cianuro de Sodio y 50 Kg de soda cáustica para la preparación respectiva al 10 % de contenido de cianuro de sodio.

En la preparación del Cianuro de Sodio con la soda cáustica no hay contacto entre el operador y la sustancia ya que se lleva a cabo de manera mecanizada y la sustancia queda almacenada por el lapso de 24 horas que es el tiempo en que demora en abastecer al circuito metalúrgico para la “cianuración” con el mineral aurífero en los lugares específicos de adición de la solución de Cianuro de Sodio al 10 % y que alcance una fuerza de 800 gr/m<sup>3</sup>.

Ya en el proceso en sí de la planta metalúrgica, la adición de Cianuro de Sodio empieza en la fase de Molienda, en la cual se adiciona 60 Kg de Cianuro de Sodio por hora, esto se realiza en el tercer molino (molino dominion de bolas 12 “ x 16 ”), pero también en esta fase de molienda se adiciona solución “barren” (viene de la poza de captación de solución recogida de todo el proceso metalúrgico y de la presa de relaves N° 4), en dos cajones de las bombas de recirculación de la pulpa hacia los molinos y también en el molino dominion de bolas.

La solución que contiene el cianuro de sodio viaja en una tubería revestida con pintura metálica anticorrosión e ingresa directamente al molino que está completamente cerrado y cuenta con un sistema de extracción de gases, el HCN medido en esta fase está en el orden de 1 a 6 gr/m<sup>3</sup>.

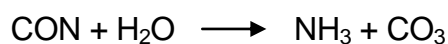
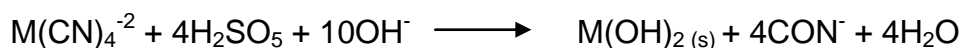
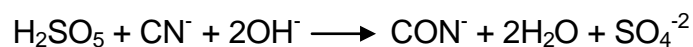
Luego viene la fase de espesado de la pulpa proveniente de molienda con el contenido de cianuro de sodio dado por la adición directa de los tanques de preparación y la suma de las soluciones “barren”, en esta fase se obtiene por rebose una cantidad de “solución rica” (solución de cianuro de sodio conteniendo oro) que va hacia los tanques de solución rica de la fase de cianuración de los concentrados gravimétricos.

Luego, en la fase de carbon in leaching (proceso CIL), la pulpa que viene del espesador con el contenido de cianuro de sodio resultante luego del rebose de la solución en la fase anterior a la que se le suma la solución de los tanques “pachuca” y además el carbón que “extrae” el oro, va hacia el proceso de destrucción del cianuro.

En estas dos últimas fases caracterizadas, el HCN medido está en el orden de 0.5 a 4 gr/m<sup>3</sup>, ambas fases se dan en un ambiente descubierto y expuesto a los flujos de aire que en esta zona alcanzan los 60 a 100 Km/Hr.

Luego tenemos la fase de destrucción de Cianuro, en la que se busca reducir su concentración en la pulpa pobre y se realiza a través de la oxidación química con ácido de caro, que es la suma del peróxido de hidrógeno y el ácido sulfúrico,

donde se oxida el cianuro libre, el cianuro WAD y el cianuro Total, mediante la siguiente reacción:



Manteniendo siempre los límites máximos adecuados para el desecho de efluentes normados por el Ministerio de Energía y Minas.

Luego del proceso de destrucción de cianuro y con un contenido de cianuro de sodio entre 10 a 18 gr/m<sup>3</sup>, se deposita la pulpa (relave) en la presa de relaves conteniendo entre 55 % a 60 % de solución y 40 % a 45 % de sólidos.

El material que es producto del concentrado gravimétrico, pasa a una fase de cianuración de los concentrados gravimétricos, en esta fase se tiene el segundo punto de adición directa en donde ingresa al circuito 23.3 Kg de Cianuro de Sodio por hora en el tanque de cianuración denominado "Pachuca" donde se suma la solución "barren" al molino 3 " x 8 " y finalmente, luego de unos procesos de clarificación, Merrill Crowe y filtrado se obtiene el precipitado de oro y la solución pobre "barren" va hacia la poza de captación de soluciones de todo el proceso metalúrgico, para de allí adicionar a los puntos mencionados.

En el área de cianuración de concentrados gravimétricos la presencia de HCN está en el orden de 4 a 8 gr/m<sup>3</sup>.

La cantidad de Cianuro de Sodio expresado en kilogramos por día se detalla en el plano N° 2 de los Anexos.

### 3.2 Balance del cianuro en cada fase del tratamiento

#### MOLIENDA

	CN kg/día
<b>Ingreso:</b>	
Molino Dominion de bolas 12 " x 16 "	1440.00
Solución barren al Ciclón G max	194.8
Solución barren molino de bolas 8 " x 10 "	80.8
Solución barren al cajón bomba "# 2"	451.43
Solución barren al cajón bomba "# 3"	514.60
<b>Total</b>	<b>2681.63</b>
<b>Salida:</b>	
Hacia Espesador	<b>1934.54</b>
<b>Consumo:</b>	
En HCN y Diferentes Reacciones	<b>747.09</b>

#### ESPEADOR Y TANQUES CIL

##### **ESPEADOR:**

<b>Ingreso:</b>		
	Pulpa	<b>1934.54</b>
<b>Salida:</b>		
Rebose Espesador	Solución	969.47
Cabeza CIL	Pulpa	749.56
	<b>Total</b>	<b>1719.03</b>
<b>Consumo:</b>		
	En HCN y Diferentes Reacciones	<b>215.51</b>

##### **TANQUES CIL:**

<b>Ingreso:</b>		
	Pulpa	749.56
	Solución de los tq. "pachuca"	5.53
	<b>Total</b>	<b>755.09</b>
<b>Salida:</b>		
	Pulpa	<b>514.13</b>
<b>Consumo:</b>		
	En HCN y Diferentes Reacciones	<b>240.96</b>

#### DESTRUCCIÓN DE CIANURO

<b>Ingreso:</b>		
	Pulpa	<b>514.13</b>
<b>Salida:</b>		
	Pulpa	<b>96.1</b>
<b>Destruído:</b>		
	En las reacciones con el ácido de caro	<b>418.03</b>

**CIANURACIÓN DE CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS**

<b>Ingreso:</b>		
	Solución de NaCN al tanque de cianuración	560.00
	Solución barren al molino 3 " x 8 "	2.82
	<b>Total</b>	<b>562.82</b>
<b>Salida:</b>		<b>38.00</b>
<b>Consumo:</b>	En HCN y Diferentes Reacciones	<b>524.82</b>

**TANQUES DE SOLUCIÓN RICA****FILTRO PRENSA 1:**

<b>Ingreso:</b>		
	Pulpa	<b>38.00</b>
<b>Salida:</b>		
	Solución	32.23
	Relave cianurado	5.53
	<b>Total</b>	<b>37.76</b>
<b>Consumo:</b>		<b>0.24</b>

**TANQUES DE SOLUCIÓN RICA:**

<b>Ingreso:</b>		
	Solución	32.23
	Solución del rebose del espesador (en el tanque 3)	969.47
	<b>Total</b>	<b>1001.70</b>
<b>Salida:</b>		
	Solución	<b>990.72</b>
<b>Consumo:</b>	En HCN y Diferentes Reacciones	<b>10.98</b>

**MERRIL CROWE:**

<b>Ingreso:</b>		
	Solución	<b>989.1</b>
<b>Salida:</b>		
	Solución	<b>986.55</b>
<b>Consumo:</b>	En HCN y Diferentes Reacciones	<b>2.55</b>

**Tabla N° 2:** Balance del cianuro en la planta de procesos de Orcopampa.



### 3.3 Caracterización de los impactos personales y ambientales reales y potenciales a lo largo del recorrido del cianuro

Área Crítica	Accidente	Riesgo	Parte Afectada
<b>Almacén (descarga)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Medio ambiente</li> </ul>
<b>Transporte (hacia planta)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choque</li> <li>• Volcadura</li> <li>• Derrame</li> <li>• Filtración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhalación</li> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Medio ambiente</li> <li>• Pérdidas humanas y/o materiales</li> </ul>
<b>Preparación de Cianuro de Sodio al 10 %</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame</li> <li>• Caída</li> <li>• Filtración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhalación</li> <li>• Intoxicación</li> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Pérdidas humanas</li> <li>• Medio ambiente</li> </ul>
<b>Transporte mediante tuberías hacia las operaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración</li> <li>• Derrame</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Inhalación</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Medio Ambiente</li> </ul>
<b>Adición en el procesos de molienda, espesado y CIL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame</li> <li>• Filtración</li> <li>• colapso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta</li> <li>• Inhalación</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves</li> <li>• Medio Ambiente</li> <li>• Pérdidas materiales</li> </ul>
<b>Adición en el proceso de cianuración de concentrados gravimétricos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame</li> <li>• Filtración</li> <li>• colapso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Inhalación</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador. Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Medio Ambiente</li> <li>• Pérdidas materiales</li> </ul>

<b>Destrucción del cianuro en la pulpa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame</li> <li>• Caída</li> <li>• filtración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhalación</li> <li>• Intoxicación</li> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador.</li> <li>Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Pérdidas humanas</li> <li>• Medio ambiente</li> </ul>
<b>Pozas de solución barren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración</li> <li>• Caída</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intoxicación</li> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador.</li> <li>Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Pérdidas humanas</li> <li>• Medio Ambiente</li> </ul>
<b>Transporte mediante tubería hacia la presa de relaves</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración</li> <li>• Derrame</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Inhalación</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador.</li> <li>Lesiones leves</li> <li>• Medio Ambiente</li> </ul>
<b>Disposición en la presa de relaves</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración</li> <li>• Caída</li> <li>• Colapso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición corta y/o prolongada</li> <li>• Inhalación</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salud del trabajador.</li> <li>Lesiones leves y/o severas</li> <li>• Medio Ambiente</li> <li>• Pérdidas materiales</li> </ul>

**Tabla N° 3:** Caracterización de los impactos ambientales y personales.

### 3.4 Primera formulación de los escenarios previstos

En el estudio del trazado del cianuro y la caracterización de los impactos personales y ambientales, se van dar sucesos o acontecimientos que deben ser previstos como por ejemplo:

- Exposición de seres humanos o receptores ecológicos al cianuro de sodio derramado durante un accidente de transporte.
- Exposición de los trabajadores, especialmente al cianuro de Hidrógeno gaseoso en lugares cerrados.
- Exposición de seres humanos por escapes de cianuro en solución al agua superficial o subterránea que puede ser ingerida.
- Exposición de receptores ecológicos como aves o peces a soluciones que contienen Cianuro.
- Para cada uno de estos ítems se debe considerar el correcto manipuleo del Cianuro de Sodio.
- El cianuro de sodio está embalado con las más altas condiciones de seguridad, para inclusive resistir impactos, el transporte a través de la tuberías mantienen los estándares mas exigentes de seguridad previendo posibles fugas.
- La operación metalúrgica en cada una de sus fases en donde la pulpa que contiene cianuro de sodio va circulando, cuenta con sistemas de extracción de gases y detectores estacionarios y móviles de HCN, y los empalmes en las transferencias de la pulpa de un proceso a otro cuenta con la verificación diaria indispensable para las operaciones siguiendo los procedimientos previstos.

En los escenarios considerados se tienen:

- El almacén general de las cajas con el cianuro de sodio sólido, construido siguiendo las especificaciones técnicas previstas.



**Fotografía N° 4:** Almacén con las cajas que contienen cianuro de sodio.

- El transporte hacia la preparación del cianuro de sodio con la soda cáustica, desde el almacén general a una distancia de 450 metros, previéndose posibles volcaduras del vehículo que transporta la caja con el Cianuro de Sodio.
- La preparación del cianuro de sodio con la soda cáustica a una concentración del 10 % en un ambiente diseñado para que esta preparación y bombeo hacia las operaciones sea de manera semi automática y controlada mediante los sensores del sistema haciendo mínimo el contacto del operador con la solución del cianuro de sodio.

- El circuito de molienda donde la pulpa inicia su recorrido y se le adiciona la solución de cianuro de sodio; los molinos y los cajones de las bombas están completamente cerrados y cuentan con un sistema de extracción de gases que minimiza los riesgos por exposición al personal que trabaja en toda el área, pero puede preverse una posible fuga de la pulpa por alguna conexión ya gastada.

- En la fase de espesado y proceso carbon in leaching (CIL), al estar expuesta al aire libre la exposición a HCN es mínima y la transferencia de la pulpa de un circuito a otro es monitoreada en tiempo real pudiéndose prever cualquier anomalía como una fuga de pulpa con cianuro, pasando al proceso de desorción y lavado ácido con mínima o casi nula presencia de cianuro.

- El proceso de destrucción de cianuro de la pulpa con ácido de caro (Peróxido de hidrógeno con ácido sulfúrico), se dosifica de manera controlada desde el cuarto de control de máquinas de manera automatizada, evitando también de esta manera el contacto con el operador de turno y la minimización de riesgos por exposición al cianuro, pero es posible prever alguna fuga por desgaste de las conexiones y acoples de la tuberías siguiendo los procedimientos escritos de trabajo seguro por los operadores y supervisores.

- La fase de Cianuración de concentrados gravimétricos, en donde se adiciona solución de cianuro de Sodio desde el tanque de preparación del mismo y la solución barren, se considera el riesgo de desprendimiento de HCN, por ser la ventilación menor que en los demás fases del proceso y también considerar una posible fuga de solución rica conteniendo Cianuro de Sodio por las tuberías que conforman este circuito, filtros y clarificador por posibles desgastes de las conexiones, retornando la solución de esta fase a las pozas de solución barren.

- En las pozas de solución barren que se encuentran con la debida señalización de peligros y los cordones de seguridad se tiene generación de HCN en el orden de 2 a 5 gr/m<sup>3</sup>, pero siempre se tiene en cuenta el posible acceso de personal no autorizado a las pozas y el posible contacto con la solución barren.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DEL RIESGO PROVOCADO POR EL CONSUMO DE CIANURO EN ORCOPAMPA**

Las operaciones metalúrgicas de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa en la que se trata 1300 toneladas cortas/día requieren del uso de insumos y reactivos químicos, como es el caso del cianuro de sodio considerado como Material Peligroso (MATPEL) y que es transportado hacia la mina por vía terrestre en condiciones estipuladas en los contratos con el proveedor de la mencionada sustancia, cumpliendo con los requerimientos de seguridad y técnicos de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y dispositivos legales para evitar accidentes durante su manipuleo.

La mayoría de los accidentes de origen tecnológico son previsibles, por lo que se trabaja principalmente en la prevención, sin descuidar la capacitación y respuesta ante una emergencia. La eficacia de la prevención será posible a través de la elaboración de un “análisis de riesgo” que se deberá actualizar y perfeccionar permanentemente con la finalidad de: preservar la vida humana, evitar impactos negativos significativos para el ambiente y evitar o minimizar las pérdidas materiales.

Los objetivos del Análisis de Riesgos son: Identificar los Potenciales Riesgos para la población, fauna y flora por donde se traslade el Cianuro de Sodio ya sea en forma sólida o en solución que la mayor parte de su recorrido, para prevenirlos o minimizarlos en el caso de que éstos se produzcan durante la manipulación y operación, desde el lugar de almacenamiento, preparación, adición al proceso de “cianuración”, destrucción y disposición final en la presa de relaves.

#### **4.1 Definición de los conceptos a aplicar: riesgo, peligrosidad, exposición, probabilidad de ocurrencia, valoración**

##### ***Riesgo.-***

Definido como la posibilidad de que ocurra un accidente, pérdida o daño. El anticipar un riesgo es una evaluación basada en la frecuencia con la que puede ocurrir una falla y de la probable gravedad o severidad del efecto resultante (McCormick, 1981).

En los últimos años se han desarrollado varios métodos de análisis de decisiones y evaluación de riesgos con el fin de evaluar proyectos ingenieriles, Sin embargo, la utilización de estas técnicas para valuar los riesgos ambientales en la etapa de planeamiento de proyectos es bastante novedosa. La aplicación de la metodología para el manejo de riesgos ambientales aplicada a la disposición de relaves de una operación minero metalúrgica fue presentada por Kent y otros (1992).

El proceso de evaluación de riesgos posibilita la evaluación sistemática de los riesgos involucrados, explícitos e implícitos. Esta evaluación puede ser llevada a cabo por un equipo multidisciplinario de profesionales expertos en el tema, como por ejemplo, el diseño de presas de relaves, tratamiento de residuos o evaluación de recursos hidrobiológicos.

Todas las contingencias posibles en cada área particular son identificadas. A cada contingencia posible se le asigna una probabilidad de ocurrencia y un grado dentro de una escala de severidad. Una vez completada la evaluación de riesgos, podrán prepararse planes de contingencia para aquellas situaciones cuya probabilidad de ocurrencia es razonablemente alta y/o que tendrían un grave impacto en caso de que se produjese.



Las metodologías para efectuar evaluaciones de riesgos son señaladas por McCormick (1981), así como por Cohrssen y Covello (1989). Cabe resaltar que algunas técnicas descritas por dichos autores no son aplicables para la evaluación de riesgos ambientales en la etapa de diseño conceptual y son difíciles de implementar en los proyectos mineros, cuya duración es relativamente corta. La evaluación de riesgos del proyecto Cinola Gold, constituye una buena referencia preparada por Rescan Environmental Services Ltd. (1988), por encargo del Comité de Dirección del Desarrollo de la Minería de British Columbia (Canadá). Este estudio es un ejemplo de una evaluación de riesgos emprendida en la etapa de diseño conceptual de un proyecto minero y que se puede extrapolar muy bien a operaciones mineras como las de Orcopampa, por ejemplo.

El planeamiento conducente a la evaluación de los riesgos es un aspecto cada vez más importante del desarrollo de la gestión del uso de sustancias peligrosas, como es el caso del cianuro. Dos aspectos importantes en que el planeamiento se aplica al inicio de un proyecto son el cierre de operaciones y el balance de agua, en donde obviamente se involucra el balance del cianuro. Los planes de contingencia son también necesarios para el caso de derrames y otras emergencias.

### ***Peligrosidad.-***

Definido como el riesgo que puede ocasionar daño, se refiere a cualquier sustancia con propiedades físicas, químicas y/o fisicoquímicas que pueden causar daño a la salud humana y/o al medio ambiente.

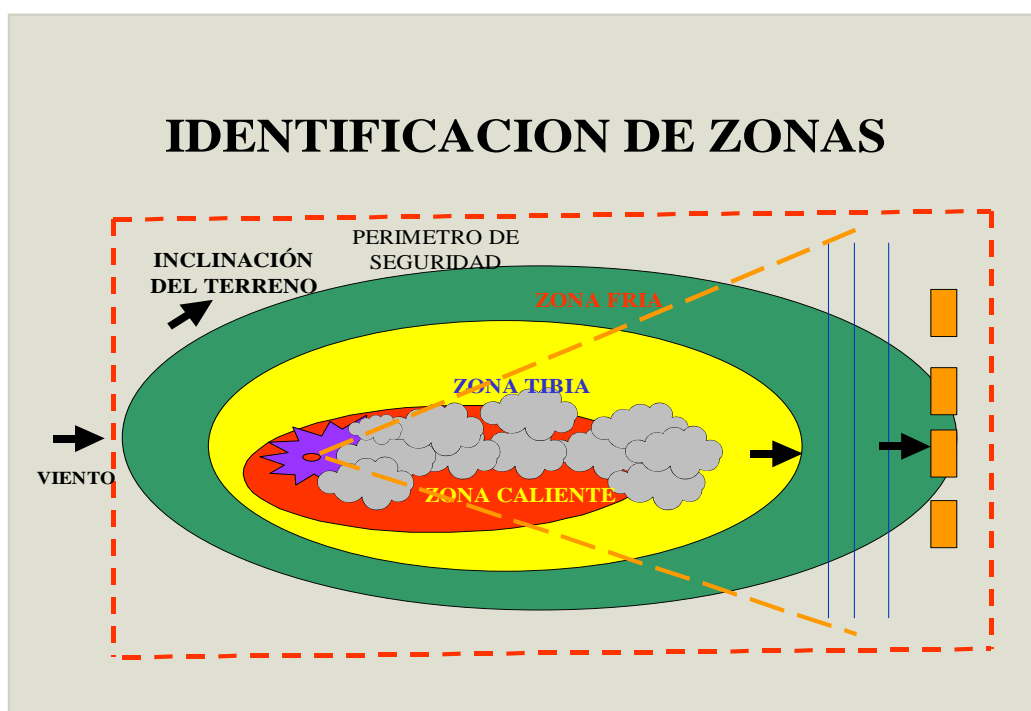
### ***Exposición.-***

Poner las personas y/o el medio ambiente en contingencia o riesgo de agentes susceptibles de ocasionar daños, como en este caso el cianuro de sodio.

En caso de un derrame accidental del cianuro de sodio, la probabilidad de mayor exposición es para las personas como el operador o los empleados que participen en la respuesta a la emergencia. La exposición pública también es posible a los habitantes de las zonas aledañas ubicados en el lugar del derrame en algún punto cercano a él.

La exposición de mayor significación hacia las personas, por el material peligroso derramado, es por el contacto con la piel y/o inhalación del producto. En el caso que el derrame sea a un cuerpo de agua, la exposición o contacto de las personas será por beber el agua o bañarse con el agua contaminada.

También la exposición se toma en el sentido de quedar dentro del radio de acción o circunstancia susceptible de afectar a los individuos o a la naturaleza, se produzca o no el acontecimiento fatal, como por ejemplo en las zonas “caliente”, “tibia” o “fría” como se muestra en la figura N° 2.:



**FIGURA N° 2:** Identificación de zonas de exposición.

(x) Tomado del análisis de riesgos del transporte terrestre de materiales peligrosos, de Lima a Uchucchacua y viceversa.

Para los materiales derramados en el ambiente terrestre, las exposiciones ecológicas se refieren bien a la fauna por ingestión dañina y estar en contacto con ella, mientras que la flora de las áreas agrícolas y silvestres es afectada al entrar en contacto con el agua contaminada por un derrame.

### **Probabilidad de ocurrencia**

La Probabilidad, es el índice común de frecuencia del daño y posee varios niveles desde una probabilidad y mide desde lo no probable a lo muy probable.

### **Valoración**

La valoración identifica los riesgos de mayor importancia en las etapas o escenarios de la operación en las que se esté empleando el cianuro de sodio dentro del proceso metalúrgico. Los resultados de valoración suministran una base para gestionar las operaciones de materiales peligrosos y manejar los riesgos a niveles esperados.

#### **4.2 Determinación de los peligros actuales y potenciales en cada una de las etapas**

Los peligros actuales y eventualmente potenciales que se dan en las diversas etapas donde se emplea el cianuro de sodio son de origen tecnológico, humano o natural y son previsibles en los dos primeros casos. Un peligro de origen natural, es el riesgo sísmico por estar la zona de estudio ubicada dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico aunque en realidad, la frecuencia resulta muy baja dado que no se tienen registro de un evento sísmico de consideración ( $\geq 4$  grados en la escala de Richter) en los últimos 55 años. Normalmente se trabaja con los llamados periodos de recurrencia, que marcan la probabilidad de un evento catastrófico. Resulta quizás el mas difícil de poder desarrollar un adecuado plan de respuesta ante la emergencia y poder preverlo En el caso de los peligros de origen tecnológico y humano se

está trabajando con bastante eficiencia, pero es necesario poner cierto énfasis en algunas etapas de los procesos que se muestran en la tabla siguiente:

<b>ETAPAS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PELIGROS ACTUALES Y POTENCIALES</b>
1	Almacenamiento de Cianuro	a) Derrame b) Exposición c) Inhalación d) Envenenamiento
2	Carga y transporte del cianuro hacia su preparación	a) Derrame b) Volcadura c) Choque d) Exposición e) Contaminación
3	Preparación del cianuro de sodio al 10%	a) Contacto con vapores b) Inhalación c) Intoxicación d) Exposición corta y/o prolongada
4	Transporte por el sistemas de tuberías hacia las operaciones	a) Filtración b) Inhalación c) Intoxicación d) Exposición e) Contaminación
5	Procesos de Molienda, Espesado y “carbon in leach” (CIL)	a) Filtración b) Contacto con vapores c) Inhalación d) Intoxicación
6	Proceso de cianuración de concentrados gravimétricos	a) Filtración b) Derrame c) Inhalación d) Intoxicación

7	Destrucción de cianuro en la pulpa	a) Filtración b) Derrame c) Inhalación
8	Pozas de solución barren	a) Filtración b) Inhalación c) Contaminación
9	Transporte mediante tubería hacia la presa de relaves	a) Filtración b) Derrame c) Intoxicación d) Exposición e) Contaminación
10	Disposición en la presa de relaves	a) Filtración b) Derrame c) Colapso d) Exposición e) Contaminación

**Tabla N° 4:** Determinación los peligros actuales y potenciales en cada escenario.

#### **4.3 Determinación de los períodos de exposición al riesgo de los agentes implicados en el uso de cianuro**

El primer agente implicado en la exposición al riesgo es el trabajador que está directamente involucrado en la operación metalúrgica y luego tenemos el medio ambiente en su conjunto. En ese sentido disponemos la cantidad de trabajadores y el tiempo en horas que se hallan expuestos por días y, con ello, podemos determinar el riesgo al que se encuentran expuestos.

### Distribución del Personal asignados a sus áreas

Trabajadores	Área de trabajo	Horas/día de trabajo	Sistema de trabajo
<b>Obreros</b>			
4	Molienda	8 Hrs/día	Sin sistema <sup>(x)</sup>
3	Gravimetría	8 Hrs/día	Sin sistema
2	Cianuración Gravimétrico	8 Hrs/día	Sin sistema
4	CIL	8 Hrs/día	Sin sistema
4	Relave	8 Hrs/día	Sin sistema
8	Mecánico y lubricador	8 Hrs/día	Sin sistema
3	Desorción - Electrodeposición	12 Hrs/día	10x5 <sup>(xx)</sup>
1	Lavado ácido de carbón	12 Hrs/día	10x5
4	Merrill Crowe - Fundición	12 Hrs/día	10x5
<b>Empleados</b>			
7	Jefe de Guardia y otros	12 Hrs/día	20x10 <sup>(xxx)</sup>
<b>Ejecutivos</b>			
8	Jefaturas	12 Hrs/día	20x10

**Tabla N° 5:** Periodos de exposición al riesgo por día u horas trabajadas.

(x): Trabajo de lunes a viernes

(xx): Diez días continuos de trabajo por cinco días continuos de descanso

(xxx): Veinte días continuos de trabajo por diez días continuos de descanso

Los trabajos que realizan la cantidad mencionada de personas en el cuadro anterior, que en tiempos diferentes, dados por las horas de exposición y también, por los periodos diferentes de sistema de trabajo los ponen en contacto con una posible fuente de riesgo debido a algún accidente potencial con el cianuro y también el medio ambiente en forma permanente como agente esencial en el desarrollo de la vida en todas sus formas está expuestos a sufrir contaminación

por cianuro. La empresa minera controla bastante bien esta exposición con las medidas de seguridad dadas de acuerdo a los propios estándares de seguridad de la compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y a los proporcionados por los sistemas de gestión ambiental y de seguridad implementados con certificación internacional voluntarios y con auditorias semestrales, que hacen que la probabilidad de un accidente contra el medio ambiente dado por la gestión del cianuro sea hasta el momento controlada.

<b>Nivel de Deficiencia (ND)</b>	<b>Nivel de Exposición (NE)</b>	<b>Nivel de Consecuencia (NC)</b>
0 – Aceptable	1 – Esporádica	10 – Leve
2 – Mejorable	2 – Ocasional	25 – Grave
6 – Deficiente	3 – Frecuente	60 – Muy Grave
10 – Muy deficiente	4 – Continua	100 – Mortal

<b>Prioridad (PR)</b> <b>PR = NDx NExNC</b>	
PR ≤ 40	: Justifica la corrección
40 < PR ≤ 150	: Relativamente urgente
150 < PR ≤ 600	: Urgente
600 < PR	: Inmediata

**Tabla N° 6:** Especificaciones de los rangos a usar para determinar la prioridad de acción en el análisis de riesgo.

En la tabla N° 8, se muestra el análisis de riesgo por el consumo en cada actividad determinada.

### ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL CONSUMO DE CIANURO EN LA U.E.A. "ORCOPAMPA"

N°	ACTIVIDAD	PELIGROS ASOCIADOS	MEDIDAS PREVENTIVAS	ND	NE	NC	PR
1	Almacenamiento de Cianuro	a) Derrame b) Intoxicación c) Inhalación d) Envenenamiento	a) Elaborar el análisis de trabajo seguro y realizar todas las coordinaciones pertinentes.	a)	2	60	<b>720</b>
			b) Verificar las cajas de embalaje, deben estar totalmente cerradas y selladas.	b)	3	60	<b>1080</b>
			c) Evitar el contacto directo con el cianuro	c)	3	60	<b>1080</b>
			d) Usar en forma adecuada y permanente los equipos de protección personal específicos.	d)	2	100	<b>2000</b>
			e) Mantener una buena ventilación del almacén				
			f) Medir la presencia de vapores de cianuro con el detector.				
			g) Ordenar y controlar el etiquetado del producto.				
			h) Delimitar y colocar avisos preventivos en el almacén				



2	Carga y transporte de Cianuro hacia su preparación	a) Volcadura	b) Capacitación del personal en el transporte de cianuro.	a) 10	2	60	<b>1200</b>
		b) Choque	c) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.	b) 10	3	100	<b>3000</b>
		c) Derrame	d) "Check list" o pre-uso del vehículo	c) 6	2	60	<b>720</b>
		d) Contaminación ambiental	e) Comunicación permanente durante el traslado	d) 10	2	60	<b>1200</b>
		e) Inhalación	f) Conocimiento de primeros auxilios	e) 6	2	60	<b>720</b>
		f) Intoxicación	g) Contar con un Plan de Contingencias	f) 10	1	100	<b>1000</b>
	g) Envenenamiento	h) Contar con un detector de cianuro					
		i) Uso de "kit" de cianuro.					
		j) Conocer la ubicación y el contenido de las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro del cianuro.					
		k) Contar con los Equipos de Protección Personal específicos.					
		l) Contar con los equipos de protección general como cintas preventivas, mallas, avisos preventivos, alarmas, etc).					
		m)		g)			

3	Preparación del Cianuro de sodio al 10 % de concentración	a) Contacto con vapores	a) Elaborar el análisis de trabajo seguro y hacer las coordinaciones pertinentes.	a) 10	4	60	<b>2400</b>
		b) Ingestión	b) Designar a los trabajadores competentes y suficientemente entrenados para esta tarea.	b) 10	1	100	<b>1000</b>
		c) Inhalación	c) Verificar que ninguna persona extraña a la tarea debe estar cerca al área de preparación de la solución de cianuro.	c) 6	4	60	<b>1440</b>
		d) Intoxicación	d) Delimitar el área y colocar los avisos de seguridad en lugares de fácil visibilidad.	d)10	4	60	<b>2400</b>
		e) Envenenamiento	e) Verificar el buen estado de los equipos de protección personal y el equipo detector de cianuro.	e) 10	3	100	<b>3000</b>
		f) Conocer la ubicación y el contenido de las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro del cianuro.					
		g) Monitoreo del ambiente con el detector de cianuro.					
		h) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.					

4	Transporte por el sistemas de tuberías hacia las operaciones	a) Filtración	a) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.	a) 9	2	50	<b>900</b>
		b) Inhalación	b) "Check list" de todo el sistema de tuberías en la planta de procesos.	b)6	3	60	<b>1080</b>
		c) Intoxicación	c) Contar con un Plan de Contingencias	c) 4	1	70	<b>280</b>
		d) Exposición	d) Contar con un detector de cianuro	d) 4	3	50	<b>600</b>
		e) Contaminación	e) Conocer la ubicación de todos los puntos de acople y transferencia de la solución de cianuro.	e) 6	1	40	<b>240</b>
		f) Contar con las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro para la verificación de las tuberías.					
		g) Contar con los equipos de protección general como cintas preventivas, mallas, avisos, alarmas, etc).					
		h) Verificar diariamente el estado de las conducciones, prestando especial atención a la presencia de eflorescencias en las juntas o en cualquier punto de las tuberías					

5	Proceso de molienda, espesado y "carbon in leaching" (CIL)	a) Contacto con vapores	a) Elaborar el Análisis de trabajo seguro	a) 10	4	60	<b>2400</b>
		b) Inhalación	b) Dictar charlas de seguridad y capacitación constante a los trabajadores del lugar	b) 10	3	60	<b>1800</b>
		c) Intoxicación	c) Conocer la ubicación y el contenido de las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro	c) 6	3	60	<b>1080</b>
		d) Envenenamiento	d) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.	d) 10	3	100	<b>3000</b>
			a) Usar en forma adecuada y permanente los equipos de protección personal				
			b) Designar a los trabajadores competentes y suficientemente entrenados para la tarea.				
			c) Monitoreo del ambiente con el detector de cianuro.				
			d) Evitar el contacto directo con la pulpa que contiene cianuro				
			e) Conocimiento de primeros auxilios				
			f) Contar con un Plan de Contingencias				

6	Proceso de cianuración de concentrados gravimétricos	a) Filtración	a) Elaborar el Análisis de trabajo seguro	a) 10	3	50	<b>1500</b>
		b) Derrame	b) Designar a los trabajadores competentes y suficientemente entrenados para esta tarea.	b)10	2	50	<b>1000</b>
		c) Contacto con vapores	c) Conocer la ubicación y el contenido de las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro	c) 6	3	40	<b>720</b>
		d) Inhalación	d) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.	d) 6	3	50	<b>900</b>
		e) Intoxicación	g) Usar en forma adecuada y permanente los equipos de protección personal	e) 6	3	60	<b>1080</b>
		f) Envenenamiento	h) Monitoreo del ambiente con el detector de cianuro.	f) 5	1	60	<b>300</b>
		i) Conocimiento de primeros auxilios					
		j) Contar con un Plan de Contingencias					

7	Destrucción de cianuro en la pulpa	a) Filtración	a) Designar a los trabajadores competentes y suficientemente entrenados para esta tarea.	a) 6	2	50	<b>600</b>
		b) Derrame	b) Verificar que personas extrañas a la tarea no deben estar cerca del tanque de destrucción del cianuro.	b) 6	1	70	<b>420</b>
		c) Inhalación	c) Delimitar el área, colocando letreros suficientemente visibles y claros.	c) 5	1	50	<b>250</b>
		d) Contaminación	d) Verificar el buen estado de los equipos de operación del cianuro.	d) 5	1	40	<b>200</b>
		e) Conocer la ubicación y el contenido de las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro del Cianuro.					
		f) Monitoreo del ambiente con el detector de cianuro.					
		g) Desarrollar y cumplir las tareas de acuerdo a los procedimientos estandarizados.					

8	Pozas de solución barren	d) Filtración	a) Verificar las instalaciones de las pozas de solución barren y los circuitos automáticos de nivel del espejo de agua.	a) 1	2	30	<b>60</b>
		e) Inhalación	b) Evitar el contacto directo con el cianuro de el trabajador de turno	b) 2	2	20	<b>80</b>
		c) Contaminación	c) Usar en forma adecuada y permanente los equipos de protección personal específicos d) Medir la presencia de vapores de cianuro con el detector. e) Delimitar y colocar avisos preventivos en los lugares mas visibles de los alrededores de las pozas de solución barren	c) 3	1	30	<b>90</b>
9	Transporte mediante tubería hacia la presa de relaves	f) Filtración	a) "Check list" de todo el sistema de la tubería hacia la presa de relaves	a) 2	2	50	<b>200</b>
		g) Derrame	b) Contar con un Plan de Contingencias	b) 2	1	90	<b>180</b>
		h) Intoxicación	c) Contar con un detector de cianuro	c) 2	1	80	<b>160</b>
		i) Exposición	d) Conocer la ubicación de todos los puntos de acople y transferencia de la solución de cianuro.	d) 4	2	60	<b>480</b>
e) Contaminación							

			<p>e) Contar con las hojas de procedimiento escrito de trabajo seguro para la verificación de las tuberías.</p> <p>f) Contar con los equipos de protección general como cintas preventivas, mallas, avisos, alarmas, etc).</p>	e) 5	2	90	<b>900</b>
10	Disposición en la presa de relaves	<p>f) Filtración</p> <p>g) Derrame</p> <p>h) Colapso</p> <p>i) Exposición</p> <p>e) Contaminación</p>	<p>a) Elaborar el análisis de trabajo seguro y realizar todas las coordinaciones pertinentes.</p> <p>b) Verificar periódicamente la presa de relaves en toda su estructura y funcionamiento de acuerdo a su diseño.</p> <p>c) Evitar el contacto directo con el cianuro del personal encargado de la presa</p> <p>d) Usar en forma adecuada y permanente los equipos de protección personal específicos.</p> <p>e) Medir la presencia de vapores de cianuro con el detector.</p>	<p>a) 1</p> <p>b) 1</p> <p>c) 1</p> <p>d) 5</p> <p>e) 4</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>3</p> <p>3</p>	<p>80</p> <p>100</p> <p>100</p> <p>80</p> <p>80</p>	<p><b>80</b></p> <p><b>100</b></p> <p><b>100</b></p> <p><b>1200</b></p> <p><b>960</b></p>

(\*)

**Tabla N° 7:** Análisis de riesgo en la gestión del uso del cianuro en la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa.



(\*) De acuerdo a la Ficha de Evaluación de Riesgos, donde se presentan los niveles o grados de riesgos expuestos, se concluye que el manejo del cianuro es de por sí crítica; siendo su prioridad de atención en la mayoría de las tareas o actividades “INMEDIATA” por ser mayor a 600 (PR > 600).

#### 4.4 Determinación del daño posible causado por un acontecimiento negativo

Se refiere al daño debido a un potencial derrame o filtración de solución conteniendo cianuro de sodio en alguna de las fases del proceso metalúrgico y que rebasa los límites de contingencia.

- Nivel de Consecuencia de Severidad para Exposición al personal trabajador:

EXPOSICIÓN A LA PERSONA	TIPO DE EXPOSICIÓN	TIPO DE EFECTOS
A la tierra contaminada con cianuro	Contacto con la piel e Inhalación.	<b>Muy baja toxicidad:</b> irritación muy pequeña
		<b>Baja a moderada toxicidad:</b> lesiones recuperables
		<b>Moderada a alta toxicidad:</b> irritación severa en el personal trabajador expuesto al contacto con la tierra contaminada
		<b>Alta toxicidad:</b> potencialmente letal en áreas de alta contaminación
A la solución con cianuro	Ingestión, contacto en la piel.	<b>Baja toxicidad:</b> efectos estéticos, lesiones recuperables
		<b>Moderada a altamente tóxico:</b> Es potencialmente letal si la ingestión o contacto con la piel es de consideración
		<b>Altamente tóxico:</b> Potencialmente letal

**Tabla N° 8:** Efectos de acuerdo a tipos de exposición por el los trabajadores.

- Nivel de Consecuencia de Severidad para Exposición al medio ambiente:

EXPOSICIÓN AL MEDIO AMBIENTE	RECEPTOR PRIMARIO	TIPO DE EFECTOS
Agua	Fauna y flora acuática	Baja toxicidad
		Baja a moderada toxicidad
		Moderada a alta toxicidad, poco persistente, áreas ecológicas, de “wet lanas” y de sembrío puntual cercano a la contaminación
		Alta toxicidad, potencialmente letal en áreas de vida en cautiverio y silvestre
Hábitat ecológico	Vegetación	Ningún impacto perceptible para el agua de regadío y potable
		Moderada toxicidad, impacto a la superficie con contenido de sólidos
		Moderada a altamente tóxico, infiltración en los suelos, no persistente
		Altamente tóxico, infiltración en los suelos y líquidos, persistente
	Animal	No tóxico a baja toxicidad, irritación muy pequeña
		Moderada toxicidad, no persistente, lesiones recuperables
		Potencialmente letal, recuperable, no persistente
		Potencialmente letal, lesión irreparable, efecto persistente

**Tabla N° 9:** Efectos de acuerdo a tipos de exposición por el medio ambiente.

#### 4.5 Cálculo de la probabilidad de sucesos en cada fase

De acuerdo al periodo de ocurrencia se puede estimar el Índice de Frecuencia, que es la Probabilidad de Ocurrencia por la Exposición en cada fase o etapa donde se maneja el cianuro de sodio.

PERÍODO DE OCURRENCIA	COEFICIENTE
Nunca	0
1 000 años	0,5
500 años	1
100 años	2
50 años	3
25 años	4
10 años	5
5 años	6
1 año	7
1 mes	8
1 semana	9
1 día u horas	10

**Tabla N° 10:** Periodos de ocurrencia y periodos de acuerdo a ello.

(x) Tomado del análisis de riesgos del transporte terrestre de materiales peligrosos, de Lima a Uchucchacua y viceversa

Los sucesos en este caso referidos a acontecimientos negativos que potencialmente podrían suceder y basando esta valoración en las estadísticas de ocurrencia hasta Diciembre del año 2005 de los registros de la mina Orcopampa de la compañía de minas Buenaventura S.A.A., se detallan en la tabla siguiente, la cual se elaboró con el concurso de los jefes de guardia, dos

trabajadores, el ingeniero encargado de la oficina de ingeniería y planeamiento a modo de un comité de seguridad que estableció los niveles de frecuencia para tener una idea más objetiva de los riesgos a los que se ve expuesto el trabajador y el medio ambiente en las operaciones metalúrgicas de Orcopampa.

<b>ETAPAS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PELIGROS ACTUALES Y POTENCIALES</b>	<b>COEFICIENTE DE OCURRENCIA</b>
1	Almacenamiento de Cianuro	e) Derrame f) Exposición g) Inhalación h) Envenenamiento	6 4 4 3
2	Carga y transporte del cianuro hacia su preparación	f) Derrame g) Volcadura h) Choque i) Exposición j) Contaminación	6 5 3 4 4
3	Preparación del cianuro de sodio al 10%	e) Contacto con vapores f) Inhalación g) Intoxicación h) Exposición corta y/o prolongada	7 6 5 5
4	Transporte por el sistemas de tuberías hacia las operaciones	f) Filtración g) Inhalación h) Intoxicación i) Exposición j) Contaminación	7 7 7 7 7
5	Procesos de Molienda, Espesado y “carbon in leach” (CIL)	a) Filtración b) Contacto con vapores c) Inhalación d) Intoxicación	8 8 6 4

6	Proceso de cianuración de concentrados gravimétricos	a) Filtración	8
		b) Derrame	6
		c) Inhalación	6
		d) Intoxicación	5
		e) Exposición	7
7	Destrucción de cianuro en la pulpa	a) Filtración	4
		b) Derrame	4
		c) Inhalación	6
8	Pozas de solución barren	a) Filtración	4
		b) Inhalación	5
		c) Contaminación	5
9	Transporte mediante tubería hacia la presa de relaves	a) Filtración	8
		b) Derrame	7
		c) Intoxicación	7
		d) Exposición	7
		e) Contaminación	8
10	Disposición en la presa de relaves	a) Filtración	6
		b) Derrame	6
		c) Colapso	6
		d) Exposición	6
		e) Contaminación	6

**Tabla N° 11:** Cálculo del coeficiente de la probabilidad de ocurrencia.

#### 4.6 Factores de amplificación o de reducción de los sucesos

Las instalaciones en la que se opera en la planta de procesos metalúrgicos de Orcopampa son relativamente nuevas en lo que concierne a todo el proceso de cianuración, entonces, se deduce que con el deterioro natural y el desgaste por el paso del tiempo de las piezas de las máquinas que operan en la planta aumenta el riesgo de un posible fallo en la gestión del cianuro en las operaciones. Por ello el énfasis en cumplir los procedimientos escritos de trabajo seguro en cada una de las etapas del proceso metalúrgico,

supervisando con la periodicidad debida y de acuerdo a las especificaciones de cada operación, con el objeto de reducir con tendencia a cero los riesgos de fallos en sus diferentes etapas.

Otro de los factores de amplificación de sucesos negativos es el riesgo sísmico, aunque las estadísticas no mencionan recientes acontecimientos de esta naturaleza, es necesario mantener las estructuras de toda la planta y las máquinas constantemente supervisadas para evitar algún posible colapso de alguna parte de las instalaciones cumpliendo con los estándares de trabajo y recomendaciones de los fabricantes que prevén estos sucesos y que están descritos en sus especificaciones técnicas.

En el cuadro siguiente se puede ver como el riesgo sísmico como factor de amplificación en la presa de relaves puede tener efectos bastante negativos incluyendo otras causas asociadas.

ÁREAS CRÍTICAS	RIESGO	CAUSAS	IMPACTO
DEPOSITO DE RELAVE	Falla en el depósito de relave	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Sismos de gran intensidad producen</li> <li>▫ falla en la construcción y en la operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Deterioro de suelos, flora y fauna afectada.</li> </ul>
	Desborde de relave	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Sismos de gran intensidad y fallas en operaciones (Ej. Relave superó la capacidad de almacenamiento).</li> <li>▫ Intensas precipitaciones, que sobrepasan la capacidad máxima probable (aún con la existencia del canal de coronación alrededor del depósito de relave).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Contaminación de la flora y fauna.</li> <li>▫ Las partículas depositadas sobre la vegetación disminuyen el área para la realización de la fotosíntesis.</li> </ul>
TUBERÍAS DE RELAVE	Rotura de la tubería	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Sismos de gran intensidad, deterioran y rompen las tuberías.</li> <li>▫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Deterioro de áreas por donde pasa la tubería de relave</li> </ul>

(x)

**Tabla N° 12:** Riesgos debido a factores de ampliación de sucesos.

(x) Tomado del análisis de riesgos del transporte terrestre de materiales peligrosos, de Lima a Uchucchacua y viceversa.

Un factor de reducción de los sucesos negativos que se pudiesen dar en la planta de procesos de Orcopampa se refiere a la ubicación privilegiada en las faldas de un cerro de baja pendiente y escasa altura con relación a la llanura donde se sitúa la planta, a no más de 100 metros y con vientos fuertes superiores a los 80 kilómetros por hora de manera muy frecuente, que dispersan los gases de HCN que se origina en la planta.

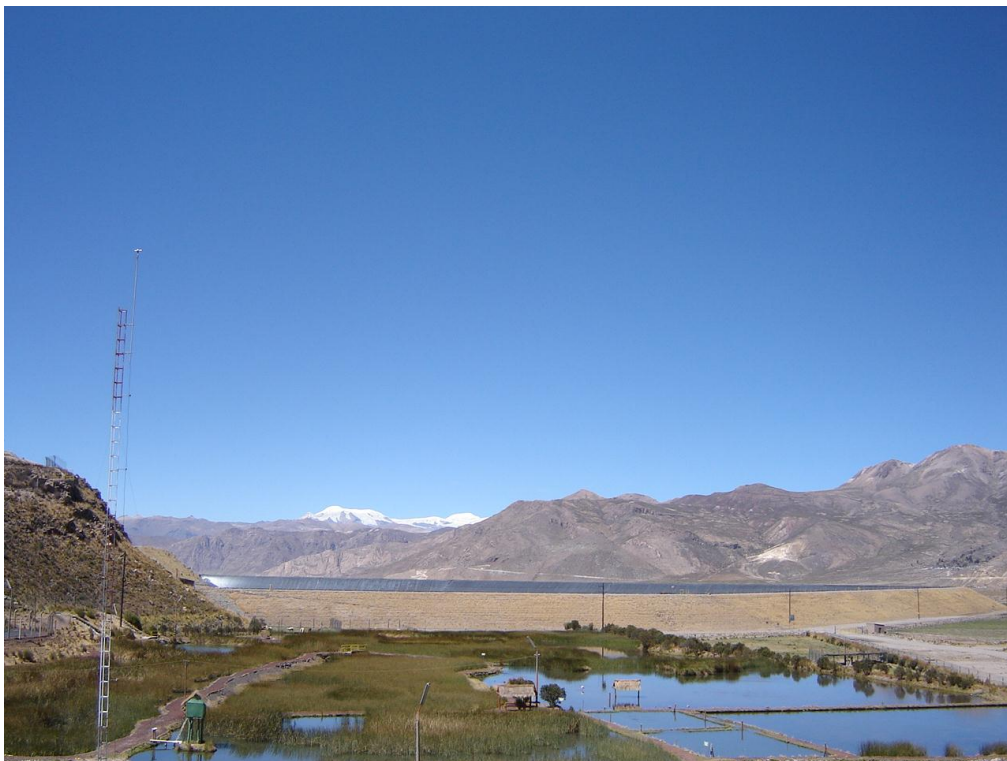


**Fotografía N° 5:** Planta de Procesos mirando al NE, pueblo de Orcopampa al fondo.





**Fotografía N° 6:** Planta de Procesos mirando al SO.



**Fotografía N° 7:** Planta de Procesos mirando al NO, Presa de relaves N° 4 al fondo.



## CAPITULO V

### PRINCIPIOS DE “BUENAS PRACTICAS” Y DE LA FILOSOFÍA DEL “CÓDIGO INTERNACIONAL DEL CIANURO” Y SU APLICACIÓN AL PROCESO EN ORCOPAMPA

#### **5.1 Establecimiento de una estrategia de gestión del cianuro como parte de la dirección ambiental de la mina y del proceso de concentración de oro**

La gestión del cianuro en las operaciones de la planta de procesos es de vital importancia para prevenir y actuar correctamente ante cualquier situación no controlada, aplicando los medios humanos y materiales disponibles para garantizar una correcta resolución de los problemas a presentarse, haciendo de esta manera más efectiva la respuesta a cualquier situación que pueda suscitarse en el ámbito de las operaciones metalúrgicas.

La oficina de control ambiental junto a la jefatura de la planta de procesos de Orcopampa, durante el tiempo que duren las operaciones, deberá organizar y adquirir equipos, para atender los diferentes tipos de situaciones que se pudiesen presentar y para tener siempre presente el ciclo de uso del cianuro desde el almacén, las operaciones, hasta su disposición en la presa de relaves, para ello es necesario la formación y estructuración de grupos encargados de realizar determinadas funciones, como son: Brigada contra Incendios, Cuadrilla de Salvataje, Comité de Crisis, entre otras.

La estrategia de gestión, juntamente con la capacidad de respuesta ante las emergencias, involucra a todos los trabajadores que laboran en la U.E.A. Orcopampa.

La presente propuesta de gestión contempla las acciones que se deberán poner en práctica durante todo el proceso que involucra el uso del cianuro y que puede ocasionar una emergencia. El contar con estrategias de gestión y

planes de respuesta ante emergencias, es determinante para que una empresa pueda ser capaz de controlar cualquier situación que se le pueda presentar antes que esta se vuelva incontrolable.

Este plan de gestión del cianuro como parte de la dirección Ambiental de la empresa en Orcopampa, se basa en la política de Seguridad y Medio Ambiente de Cia. de Minas Buenaventura S.A.A., empezando por los valores que ésta expone:

En la persona 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 los accionistas, autoridades, socios, clientes y comunidad en general. Para lograrlo, se trabaja permanentemente en busca de la excelencia, generando riqueza en el proceso, sin desmedro del bienestar y seguridad de los trabajadores y cuidando el medio ambiente que los rodea, de acuerdo con la filosofía de la Empresa.

La estrategia de gestión va de la mano con los objetivos en seguridad y medio ambiente de la empresa, en los que considera que todos tienen el derecho de llegar a sus casas sanos y sin lesiones después de la jornada de trabajo.

Se utilizará las mejores prácticas y tecnologías económicamente factibles, para desarrollar y tratar los minerales, buscando el desarrollo sostenible de la región donde realiza sus operaciones.

Por ello el compromiso de usar las mejores prácticas y tecnologías disponibles para desarrollar y tratar los minerales, asegurando la disponibilidad de los recursos necesarios para este fin.

Respetar las leyes y reglamentación vigentes, a las autoridades, y en especial a la persona, manteniendo un compromiso permanente con la excelencia y utilizando como herramientas, el diálogo y la capacitación continua.

Será de uso común el respeto a las costumbres locales y la integración a la comunidad donde se realiza las actividades minero-metalúrgicas con sensibilidad social, minimizando los impactos negativos al medio ambiente.

Los trabajadores se deben respeto en el lugar de trabajo, así como, a sus propias costumbres y, por consiguiente, ello contribuye a minimizar los impactos negativos en la zona de trabajo mediante un comportamiento adecuado.

Trabajar con responsabilidad y entusiasmo, educando a los que no conocen, corrigiendo las equivocaciones y predicando permanentemente con el ejemplo la forma correcta de trabajar, en búsqueda constante de la excelencia.

Actuar con eficacia para corregir las condiciones inseguras detectadas, en todas las fases de las operaciones minero-metalúrgicas.

Los objetivos que empiezan por proteger y minimizar los daños a la persona, medio ambiente y a la propiedad, involucrados en situaciones de riesgo y una eventual emergencia.

El establecimiento de procedimientos y acciones a ejecutarse, para prevenir o hacer frente ante situaciones de riesgo y emergencias que pudieran suscitarse, en forma rápida y eficiente; manejando estas situaciones con serenidad, responsabilidad y métodos específicos.

Manejar adecuadamente los recursos materiales y humanos para lograr el control efectivo y eficiente de los materiales peligrosos.

Tener los medios adecuados para prestar atención debida a las personas que puedan resultar afectadas.

Definir claramente las responsabilidades y funciones de los integrantes de cada uno de los comités formados para hacer frente ante situaciones que revisten alguna situación de riesgo y/o emergencia.

Disponer de un adecuado programa de limpieza y recuperación de los residuos de los materiales peligrosos, para minimizar el impacto ambiental y la disposición final de estos residuos.

Establecer un sistema de responsabilidad en el manejo integral de los residuos, desde la generación hasta su disposición final, a fin de evitar situaciones de riesgo e impactos negativos a la salud humana y al ambiente.

El establecimiento de un análisis de los indicadores de riesgo de las sustancias tóxicas, como el caso del cianuro que se utiliza en las operaciones metalúrgicas, determinando el grado de toxicidad.

Contar y formar personal capacitado para que responda de manera efectiva ante una contingencia y para que pueda prestar los primeros auxilios si fuera necesario.

La adquisición del cianuro de sodio a una empresa que a su vez es la distribuidora de un fabricante que emplea prácticas y procedimientos apropiados para limitar la exposición de sus trabajadores al cianuro y para prevenir que se produzcan emisiones de cianuro hacia el medio ambiente.

La empresa a nivel del departamento de adquisiciones debe requerir en el contrato de compra de cianuro que el fabricante de proporcione inicialmente un informe de un auditor independiente con respecto a sus instalaciones de producción de cianuro. Este informe debe confirmar que el fabricante:

- a. Utiliza programas para limitar la exposición del trabajador a niveles seguros de cianuro.
- b. Tiene la habilidad para impedir, controlar y responder por las liberaciones de cianuro hacia el medio ambiente.
- c. Usa prácticas de ingeniería correctas y aceptadas para el diseño y construcción de instalaciones para la producción de cianuro.
- d. Prepara e implementa un plan de sanidad y seguridad para los trabajadores.

- e. Utiliza un programa de capacitación para los empleados que manejan el cianuro, y
- f. Tiene en el lugar un plan de respuesta de emergencia que haya sido desarrollado con intervención de la comunidad.

La empresa distribuidora del cianuro también debe demostrar que sus instalaciones cuentan con los programas, prácticas y procedimientos apropiados para limitar la exposición de los trabajadores al cianuro y prevenir, controlar y responder por las emisiones de cianuro hacia el medio ambiente. También debe proporcionarse una certificación o documentación de la cadena de custodia que establezca que el cianuro entregado para la operación fue verdaderamente producido por el fabricante manifestado.

## **5.2 Formación y entrenamiento en una buena gestión de cianuro para los encargados, los trabajadores y los contratistas**

La enseñanza de los peligros en la manipulación del cianuro y su correcto uso en cada una de las etapas de la operación es vital para evitar incidentes y accidentes que son negativos no sólo para la persona que sufre el acontecimiento negativo si no para la empresa y todo lo que ello involucra, por eso es necesario que se realice entrenamiento capacitaciones continuas y simulacros de accidentes en la operación del cianuro con la participación de los trabajadores, empleados y la dirección de la empresa minera que se involucre de acuerdo a las responsabilidades asignadas a cada jefatura.

El Objetivo de este entrenamiento que se propone es la capacitación al más alto nivel de calidad y busca los siguientes objetivos:

- Difundir conocimientos sobre el desempeño de las labores que cada trabajador tendrá que realizar antes, durante y después de situación de riesgo y emergencia.
- El reconocimiento de materiales con cianuro en la operación, información respecto a los efectos del cianuro sobre la salud, los síntomas de la

exposición al cianuro, y los procedimientos a seguir en caso de exposición al cianuro. Las Hojas de Información de la Seguridad de Materiales u otros elementos de información redactados de manera que sea fácil de entender por los trabajadores y sean útiles para este propósito. El reentrenamiento se debe realizar periódicamente y se deben conservar los registros de la capacitación brindada.

- Difundir conocimientos sobre el desempeño de las labores que cada trabajador tendrá que realizar antes, durante y después de situación de riesgo y emergencia.
- Concientizar a todos los todos los trabajadores para actuar de manera oportuna y eficiente en caso de una situación de riesgo y emergencia.
- Crear en todos los trabajadores una motivación favorable que permita hacerlos partícipes de la prevención y control de las situaciones de riesgo y emergencias.



**Fotografía N° 8:** Charlas de entrenamiento como parte de “Buenas Prácticas” y la gestión del cianuro.

Se deberán dar todos los alcances en la formación y capacitación para actuar en casos de situaciones de riesgo y emergencia a todo el personal trabajador de la empresa, estén directamente involucrados o indirectamente en la gestión del cianuro.

Para un correcto desarrollo de la formación, capacitación y simulacros se debe brindar a los trabajadores la capacitación y entrenamiento sobre el desenvolvimiento durante una situación de riesgo y emergencia, de acuerdo a su área y departamento, principalmente en:

- Primeros auxilios.
- Peligros de gases y asfixia.
- Rutas de escape y evacuación.
- Rescate minero (referido a todas las operaciones de la mina).
- Uso de equipos de salvataje (medidores de gases “Drager”).
- Uso de extintores.
- Comportamiento ante la emergencia.
- Acción en caso de derrame de cianuro (en forma sólida, líquida o en la pulpa).

Los simulacros de evacuación, en la que se incluye a la brigada de búsqueda y rescate, se deben efectuar de acuerdo al Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, vigente.

El cianuro de sodio que se utiliza en el beneficio del oro en la planta de procesos de Orcopampa es una sustancia peligrosa, pero también es necesario mencionar al ácido sulfúrico y al peróxido de hidrógeno que se usa para la destrucción del cianuro también son sustancias peligrosas y a continuación se muestra una clasificación de peligros de los mismos.

NOMBRE DE LA SUSTANCIA		CLASIFICACIÓN DE PELIGROS								
		EXPLOSIVO	OXIDANTE	INFLAMABLE	CORROSIVO	VENENOSO	IRRITANTE	FORMADORA	RADIOACTIVA	RIESGO - NFPA
1	PERÓXIDO DE HIDROGENO	X	X		X		X			4
2	ÁCIDO SULFÚRICO		X		X	X	X			4
3	CIANURO DE SODIO					X	X	X		3
4	PETRÓLEO	X		X		X	X			4

**Tabla N° 13:** Clasificación de peligros de 4 sustancia peligrosas importantes.

(x) Tomado del plan de contingencias y capacidad de respuesta ante emergencias de la U.E.A. Orcopampa

### 5.3 Establecimiento de responsabilidades definidas para todos los individuos con las cadenas de responsabilidad y comunicación dentro del personal implicado

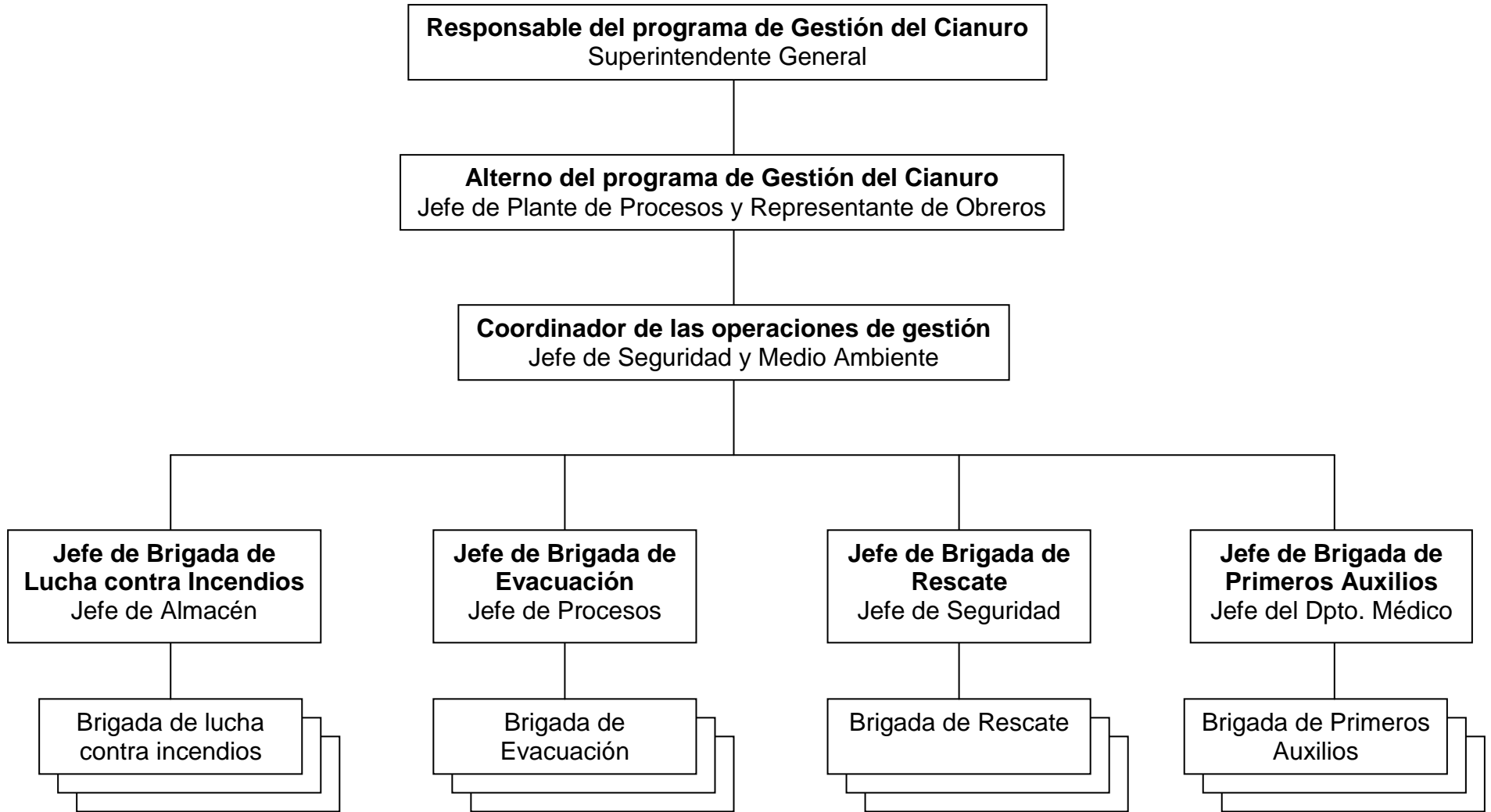
La buena organización y definición clara de las funciones y responsabilidades de todas las personas involucradas en la gestión del cianuro es importante ante cualquier eventualidad para responder con celeridad y eficacia de acuerdo a las necesidades dadas.

También es necesario que las relaciones públicas formen parte integral de todo el sistema, incluidos en los comités que se formen, ya que la negligencia para proporcionar la información adecuada a los involucrados directa e indirectamente, inclusive a los medios de comunicación lo mas rápido posible, ocasionará malestar innecesario en el manejo del riesgo o incidente y frecuentemente obstaculiza el trabajo del personal técnico responsable de la labor de respuesta, control e incluso limpieza en el lugar del incidente.

En la figura N°3 se presenta un cuadro sugerido parecido a un comité de crisis a implementarse a partir de la dirección ambiental para la gestión del cianuro.



**Establecimiento de responsabilidades**



**Figura N° 3:** Organigrama de responsabilidades en la gestión de cianuro en la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa.

Todo el personal que trabaja dentro de las instalaciones de la empresa minera es responsable de su seguridad, de la de sus compañeros y del cuidado al medio ambiente, íntimamente involucrados en los procesos de capacitación y formación, así como difusores de la política de “buenas prácticas” a las personas involucradas indirectamente con las operaciones mineras.

Las comunidades cercanas a las instalaciones de las operaciones mineras que pudiesen verse afectadas deben incorporarse al proceso de planeamiento de respuesta a emergencias. Los trabajadores pueden aportar información valiosa para la identificación de posibles fallas y escenarios de pérdidas y sobre las capacidades de respuesta. Las comunidades que puedan ser afectadas deben ser informadas de la naturaleza de los riesgos asociados con el cianuro y deben ser consultados acerca de las acciones de comunicación y respuesta. Es especialmente importante que la operación involucre a la comunidad, especialmente si ésta cumple un rol en la actividad de respuesta, por ejemplo, si es necesaria una evacuación. La comunidad puede estar involucrada directamente mediante el contacto con individuos y grupos susceptibles de ser afectados, o mediante el contacto con dirigentes y representantes de la comunidad, según la naturaleza de los escenarios de fallas y efectos.

Las entidades locales como entes externos y el centro médico de la comunidad posiblemente pueden tener la capacidad de asistir en caso de una emergencia relacionada con el cianuro. Se deberá solicitar sus contribuciones de acuerdo a sus capacidades y rol eventual en una acción de respuesta. La consulta y comunicación regular con la comunidad local o sus representantes deben realizarse para asegurar que el Plan esté orientado a los riesgos y condiciones actuales.

#### **5.4 La instauración de procedimientos seguros para el transporte del cianuro, su almacenaje y abandono en las presas de relaves**

La correcta organización y el establecimiento de procedimientos reducen significativamente el riesgo de accidentes y daños a las personas y al medio ambiente. A continuación se proponen procedimientos en cada una de las diferentes actividades de gestión del cianuro.

##### **- Transporte:**

Durante la carga se deberá realizar un control del vehículo o “check list”, el cual será profundo. Así mismo se revisará la carga con el fin de que ésta se encuentre en perfectas condiciones y pueda llegar en el mismo estado de cómo salió del almacén de Lima al almacén de la mina en Orcopampa.

Se debe tener a la mano las hojas de seguridad del cianuro de sodio (MSDS), así como la hoja de ruta con detalles del estado del tiempo

Efectuar el transporte solo en el horario establecido

Verificar continuamente que el cianuro de sodio esté correctamente envasado y asegurado durante el transporte

No transportar cianuro con alguna sustancia inflamable u oxidantes fuertes, ya que esto causaría complicaciones en el caso de un incendio

Transportar vehículos que tengan la plataforma cubierta, no usar camiones abiertos. En caso de accidente el compartimiento o contenedor reduce el derrame e impacto.

Respetar las velocidades establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones:

Para pista asfaltada su velocidad no sobrepasarán los 60 a 70 kmph y para pista afirmada 30 kmph

Durante la descarga se deberá considerar el hecho de que los involucrados porten sus implementos de seguridad así como delimiten la zona con conos para iniciar la descarga.

**- Almacenaje:**

Almacenar en un lugar seguro, bien ventilado y lejos de la humedad y materiales oxidantes. Deben ser observadas las precauciones de seguridad estrictas y se debe contar con ropa apropiada y equipo de seguridad para el manejo del material; debe haber disponibilidad de equipo contra incendio y primeros auxilios.

Evacuar a todo el personal que no cuente con la protección y seguridad adecuada, no usar agua si se quiere limpiar alguna zona con posible presencia de cianuro de sodio, ya sea sólido o en polvo.

Proteger contra contaminación todo drenaje y canaletas de agua.

Portar todo el equipo de seguridad necesario, así como el equipo de respiración ante cualquier eventualidad.

Evitar posibles contactos con calor y agua, pues causan que el gas cianhídrico sea liberado.

El cianuro de sodio no es flamable como sólido, pero sí en contacto con ácidos, sales de ácido y dióxido de carbono, liberando gas cianhídrico, el cual es altamente tóxico y flamable en altas concentraciones. Por ello no usar extinguidores a base de dióxido de carbón.

**- Operaciones:**

En todo el proceso de las operaciones lo más importante es que estén implementados y activos los sistemas de gestión diseñados para proteger la salud humana y el medio ambiente, incluyendo la planificación e inspección de contingencias y los procedimientos preventivos de mantenimiento.

Las instalaciones deben ser inspeccionadas con una frecuencia diaria para asegurar que funciona dentro de los parámetros establecidos y correctos, aunque las inspecciones dependerán de las necesidades específicas de las instalaciones de acuerdo al tipo de actividad y fase del proceso y del grado de instrumentación y automatización, aunque estas inspecciones visuales son necesarias en la mayor parte de los sitios, ya que la integridad estructural de las tuberías, molinos, tanques, cajones, bombas y filtros es importante para prever signos de corrosión y pérdidas de solución conteniendo cianuro.

El pH de la pulpa de las operaciones ayuda a evitar la generación de gas cianhídrico por estar entre 10.5 y 11.0, además, lo ventilado de la zona contribuye a que se disipe los gases que pudiesen formarse en esta caso el gas cianhídrico.

**- *Abandono en la presa de relaves:***

El relave que se envía hacia su disposición final luego del proceso de destrucción del cianuro, contiene entre 12 a 18 gr/m<sup>3</sup>. El porcentaje de sólidos es de aproximadamente el 40 % y 60 % de solución.

Con estas características la disposición en la presa de relaves debe ser controlada por el responsable en el sistema de control general, dos o tres veces por guardia, para verificar una disminución significativa en el flujo, y además, indique alguna fuga.

El personal asignado a la presa de relaves debe contar siempre con su equipo de protección personal y ser capacitado continuamente, evitando también contacto directo de ninguna forma con el relave y manteniendo el cerco de protección siempre en buen estado y con los avisos de seguridad visibles y en lugares adecuados.

#### **5.5 Establecimiento de auditorías regulares y procedimientos de gestión.**

Las auditorías e inspecciones ambientales y de seguridad que realiza el Ministerio de Energía y Minas semestralmente y la empresa auditora privada contratada por Buenaventura S.A.A. para el sistema integrado de gestión deben de poner énfasis en la evaluación de la gestión del cianuro por el peligro inherente a esta sustancia y el riesgo que conlleva su manipulación, el comité interno de seguridad y medio ambiente de la mina debe realizar inspecciones programadas visuales detalladas de todo el ciclo de vida del cianuro.

Dentro del procedimiento de gestión la programación de auditorías cruzadas con las diversas áreas de la empresa involucradas en las operaciones y responsables no solo de la seguridad de sus áreas si no de la gestión integral de seguridad y medio ambiente de toda la mina y dentro de ello la gestión del cianuro que debe ser conocido por todos los trabajadores de la mina sin ser indiferentes a riesgos a los que pueden estar expuestos, deben ser llevadas a cabo con regularidad mensual o bimensual.

Los procedimientos de gestión se deberán establecer en los comités de seguridad, involucrando a todos los trabajadores e incluso a la comunidad que ante una eventualidad también va a ser afectada de manera directa o indirecta, para ello es posible tomar los ejemplos de procedimientos de gestión de minas auríferas con mayor experiencia y adecuarlos a la realidad de las operaciones en Orcopampa.

## **5.6 Establecimiento de programas de muestreo de cianuro en todo el ciclo de vida, su análisis y la elaboración de los informes correspondientes**

La manera más sencilla de llevar un control estricto y real de la efectividad del programa de gestión del cianuro es mediante muestreos sistemáticos y secuenciales en tiempo de todo el ciclo de vida del cianuro, pero no solo el muestreo es importante si no el correcto análisis en el laboratorio químico de las muestras por las pruebas que se soliciten ya que a menudo se detectan fallas en los procedimientos de análisis que aunque sean aparentemente despreciables los errores, en el tiempo su acumulación resulta en perjuicios significativos, por ello la necesidad de elaborar el informe de este programa de muestreo en conjunto la planta de procesos y el laboratorio sin librarse de responsabilidades por competencia de funciones, es decir ser responsables tanto por las muestra enviadas y los resultados en un solo informe de ambas áreas.

En base a ello, con el control semanal, quincenal o mensual y con la evaluación de riesgos se podrá establecer procedimientos de emergencia a modo de plan de contingencias y que puedan ser considerados y regularmente practicados con simulacros y charlas prácticas con periodicidad establecida en estos procedimientos para hacer de nuestro lugar de trabajo y de las sustancias con la que nuestros días laborales transcurren nuestras armas para forjar un futuro mejor seguro.

## CAPITULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### Proceso metalúrgico

La Planta de Procesos Orcopampa trata un mineral aurífero de ley de cabeza promedio 18.5 g/TM. Tiene una capacidad de tratamiento de 1300 toneladas cortas secas por día y su producto final son barras doré en una relación de 70 % de oro y 30 % de plata aproximadamente.

La planta cuenta con las operaciones de: chancado, molienda- clasificación, concentración gravimétrica, espesamiento, cianuración proceso carbon in leaching (CIL), cianuración de concentrados gravimétricos, desorción-electrodeposición, Merrill Crowe, fundición, lavado ácido de carbón, regeneración de carbón, destrucción de cianuro y disposición de relaves.

#### Cianuración

El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa disolvente preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral. La reacción enunciada por Elsher en Journal Prakchen (1946), es la siguiente:



El oro reacciona con el ion cianuro para transformarse en el ion complejo  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  aurocianuro. La presencia de oxígeno acelera la reacción de disolución del oro.

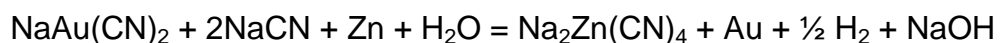
El cianuro disuelve al oro eficientemente en rangos alcalinos ( $\text{pH} = 10-11$ ). Para valores de  $\text{pH} < 9$ , parte del cianuro se consume en la formación de HCN.



La presencia de cianidas como óxidos de cobre, sulfuros como la pirrotita, etc., elevan el consumo de cianuro.

### **Merrill Crowe**

Todo este proceso se basa en el principio de la precipitación de metales preciosos contenidos en soluciones de CN empleando polvo de zinc, por el hecho de que el oro y la plata son electronegativos respecto al zinc, ocurriendo un reemplazo electroquímico del oro y la plata por el zinc, seguido por el desplazamiento del hidrógeno del agua por el sodio según la siguiente reacción:



### **Adsorción en carbón activado**

Se realiza cuando el mineral contiene poca proporción de Ag, es decir cuando el mineral está constituido principalmente por oro como metal precioso.

### **Desorción del oro del carbón activado**

En este caso el carbón cargado con oro es sometido al proceso de desorción en volúmenes alcalinos alcohólicos; el oro pasa a solución, formando un electrolito rico en oro el cual pasa a la electrodeposición en cátodos de lana de acero y, posteriormente es fundido.

### **Muestreo y análisis químico**

El muestreo empleado en la en la planta Orcopampa, fue de una toma de 250 ml, cada 0.5 hora, durante un período de 8 horas, cuyos resultados se muestran en la tabla N° 1 del Capítulo II.

Los análisis químicos realizados fueron el  $\text{CN}^-$  WAD y el  $\text{CN}^-$  total, el resultado del  $\text{CN}^-$  total se empleó para realizar el balance de cianuro en la planta de procesos.

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos, podemos apreciar que existen complejos estables y fácilmente dissociables que se forman durante el proceso de cianuración, por ello las diferencias entre los análisis por  $\text{CN}^-$  WAD y el  $\text{CN}^-$  total en solución, resultados del trazado del cianuro a lo largo del proceso de recuperación del oro, desde su llegada a almacén hasta su emplazamiento en la presa de relaves.

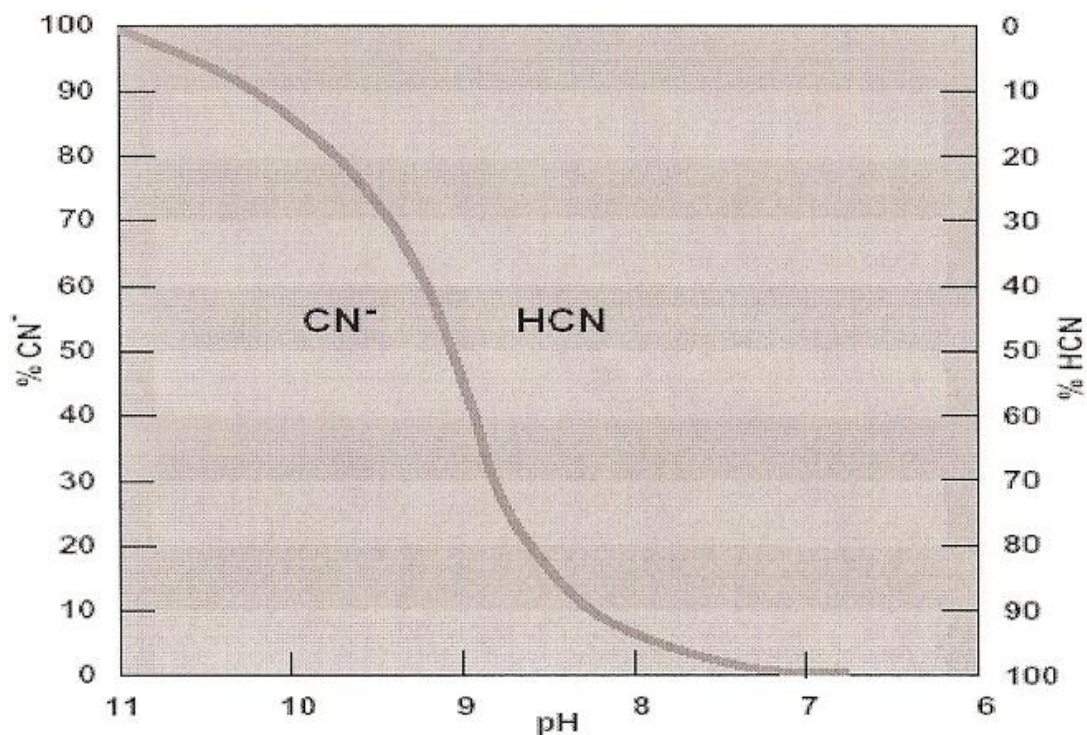
### **Transporte y almacenamiento del cianuro**

La presentación del cianuro en forma de pastillas, garantiza que no se forme cianuro en polvo, adicionalmente se encuentra depositado en bolsas de polipropileno debidamente sellado y a la vez en barriles herméticamente cerrados lo que evita emisiones fugases durante el transporte y su almacenamiento.

El almacén en Orcopampa fue diseñado y construido de acuerdo a los estándares exigidos por las normas y disposiciones gubernamentales y por consiguiente posee las condiciones seguras para el almacenamiento del cianuro de sodio con una adecuada ventilación y con capacidad de almacenaje de 60 toneladas.

### **Uso del Cianuro**

La planta de procesos usa diariamente 2 toneladas de cianuro y 50 kg de NaOH, para preparar la solución de cianuro al 10 %, de donde se alimenta a la planta obteniendo soluciones con una fuerza de  $800 \text{ gr/m}^3$ . La adición de NaOH garantiza que la solución tenga el pH en el rango de 10 - 11, donde se evita las pérdidas por la formación de HCN, en la figura N° 4 se muestra el umbral del ion cianuro y la formación del HCN en función del pH:



**Figura N° 4:** Concentración de iones cianuro y pH.

(x) Tomado de Scout J. S. y J. C. Inglés, 1981.

La formación de HCN se midió en el orden de 1-6 gr/m<sup>3</sup> en la molienda, de 0.5 – 4 gr/m<sup>3</sup> en el proceso CIL y de 4-8 gr/m<sup>3</sup> en la cianuración de los concentrados gravimétricos. Una adecuada ventilación, permite la evacuación del gas HCN, cuya cantidad es mínima en comparación con la cantidad de cianuro que ingresa al sistema.

Luego del proceso de destrucción del cianuro el contenido del mismo se reduce a 10 – 18 gr/m<sup>3</sup>.

### **Balance del cianuro**

De acuerdo al Balance realizado para el cianuro en las diversas etapas se observa el consumo en las etapas como sigue:

#### ***Molienda***

Consumo : 747.09 kg CN/día

**Espesador**

Consumo : 215.51 kg CN/día

**Tanques CIL**

Consumo : 240.96 kg CN/día

**Destrucción de Cianuro**

Destrucción : 418.03 kg CN/día

**Cianuración de Concentrados Gravimétricos**

Consumo : 524.82 kg CN/día

**Filtro Prensa 1**

Consumo : 0.24 kg CN/día

**Tanque Solución rica**

Consumo : 10.98 kg CN/día

**Merrill Crowe**

Consumo : 2.55 kg CN/día

En el consumo de cianuro se considera a este en la disolución de los metales (Au, Ag, Cu, etc.) y en las pérdidas en la formación de HCN. Como el manejo de la operación controla del pH en rango de 10-11, entonces las pérdidas por formación de HCN son “despreciables” para el balance del mismo.

En la destrucción del cianuro la cantidad que se destruye por día es de 418 kg/día, es un valor alto ya que representa aproximadamente el 21 % del cianuro total alimentado a planta.

En los procesos donde no se produce cianuración (filtración, tanques de solución rica, etc), las diferencias de cianuro entre el ingresante y el saliente, se debe a errores en el análisis químico y en menor proporción a las pérdidas por formación de HCN.

El consumo de cianuro producido en el proceso de Merrill Crowe, se debe a que parte del zinc en polvo reacciona con el cianuro remanente en la solución rica.

### **Formulación de los escenarios previstos**

En el estudio del trazado del cianuro y la caracterización de los impactos personales y ambientales, se van dar sucesos o acontecimientos que deben ser previstos tales como:

- Exposición de personas o receptores ecológicos al Cianuro de Sodio derramado durante un accidente de transporte.
- Exposición de los trabajadores, especialmente al Cianuro de Hidrógeno gaseoso en los lugares cerrados.
- Exposición de personas por escapes de Cianuro en solución al agua superficial o subterránea que puede ser ingerida.
- Exposición de receptores ecológicos como aves o peces a soluciones que contienen Cianuro.
- Para cada uno de estos ítems se debe considerar el correcto manipuleo del Cianuro de Sodio.
- El Cianuro de Sodio está embalado con las más altas condiciones de seguridad, para inclusive resistir impactos, el transporte a través de la tuberías mantienen los estándares mas exigentes de seguridad previendo posibles fugas.
- La operación metalúrgica en cada una de sus fases en donde la pulpa que contiene Cianuro de Sodio va circulando cuenta con sistemas de extracción de gases y detectores estacionarios y móviles de HCN, y los empalmes en las transferencias de la pulpa de un proceso a otro cuenta

con la verificación diaria indispensable para las operaciones siguiendo los procedimientos previstos.

En los escenarios considerados se tienen:

- El almacén general de las cajas con el Cianuro de Sodio sólido, construido siguiendo las especificaciones técnicas apropiadas.
- El transporte hacia la preparación del Cianuro de Sodio con la soda cáustica, desde el almacén general a una distancia de 450 metros, previéndose posibles volcaduras del vehículo que transporta la caja con el Cianuro de Sodio.
- La preparación del Cianuro de Sodio con la soda cáustica a una concentración del 10 % en un ambiente diseñado para que la preparación y bombeo hacia las operaciones sea de manera semi automatizada y controlada mediante los sensores del sistema haciendo mínimo el contacto del operador con la solución del cianuro de sodio.
- El circuito de molienda donde la pulpa inicia su recorrido y se le adiciona la solución de cianuro de sodio; los molinos y los cajones de las bombas están completamente cerrados y cuentan con un sistema de extracción de gases que minimiza los riesgos por exposición al personal que trabaja en toda el área, pero puede preverse una posible fuga de la pulpa por alguna conexión ya gastada.
- En la fase de espesado y el proceso carbon in leaching (CIL), al estar expuesta al aire libre el riesgo al HCN es mínimo y la transferencia de la pulpa de un circuito a otro es monitoreada en tiempo real pudiéndose prever cualquier anomalía como una fuga de pulpa con cianuro, pasando al proceso de desorción y lavado ácido con mínima o casi nula presencia de cianuro.

- El proceso de destrucción de cianuro de la pulpa con ácido de caro (Peróxido de hidrógeno con ácido sulfúrico), se dosifica de manera controlada desde el cuarto de control de máquinas de manera automatizada, evitando también de esta manera el contacto con el operador de turno y la minimización de riesgos por exposición al cianuro, pero es posible prever alguna fuga por desgaste de las conexiones y acoples de la tuberías siguiendo los procedimientos escritos de trabajo seguro por los operadores y supervisores.
- La fase de Cianuración de concentrados gravimétricos, en donde se adiciona solución de cianuro de Sodio desde el tanque de preparación del mismo y la solución barren, se considera el riesgo de desprendimiento de HCN, por ser la ventilación menor que en los demás fases del proceso y también considerar una posible fuga de solución rica conteniendo Cianuro de Sodio por las tuberías que conforman este circuito, filtros y clarificador por posibles desgastes de las conexiones, retornando la solución de esta fase a las pozas de solución barren.
- En las pozas de solución barren que se encuentran con la debida señalización de peligros y los cordones de seguridad se tiene generación de HCN en el orden de 2 a 5 gr/m<sup>3</sup>, pero siempre se tiene en cuenta el posible acceso de personal no autorizado a las pozas y el posible contacto con la solución barren.

### **Peligros actuales y potenciales en cada una de las etapas en U.E.A. Orcopampa**

**Almacenamiento de cianuro.-** Derrame, Inhalación, Intoxicación, Envenenamiento. El almacén cuenta con los elementos de seguridad mínimos para estos eventos, como es la ventilación, el empleo de mascarar antigases y guantes del personal involucrado en el almacenamiento del cianuro.

**Carga y Transporte del cianuro hacia su preparación.-** Los peligros potenciales serían: Derrame, Volcadura, Choque, Exposición, Contaminación.

Todos estos peligros se reducirían considerando la forma de transporte seguro de los contenedores de cianuro de sodio, las cuales deben ser resistentes ante algún evento no deseado durante su transporte.

**Carga y Descarga de Cianuro.-** En esta etapa se considera los siguientes peligros: Derrame, Inhalación, Intoxicación, Envenenamiento, Contaminación. Con el aseguramiento de los contenedores se debe evitar cualquier derrame cuando se sufra alguna caída del recipiente durante su carga y descarga.

**Preparación del Cianuro de Sodio al 10 %.-** Contacto con vapores, Inhalación, Intoxicación y Exposición corta y/o prolongada. El personal debe usar sus implementos de seguridad como son los guantes y las máscaras, debe evitar el contacto directo con las soluciones y hacer un control continuo del pH de las pulpas, las cuales se deben encontrar en valores de 10-11.

**Transporte por el sistema de tuberías hacia las operaciones.-** Filtración, Inhalación, Intoxicación, Exposición y Contaminación. Se debe tener presente de que las tuberías conductoras deben estar saneadas, pintadas con pintura anticorrosiva, para evitar fugas que permitan que se produzcan los peligros mencionados anteriormente.

**Procesos de Molienda, Espesado y carbon in leaching (CIL).-** Filtración, Contacto con vapores, Inhalación y Intoxicación. Se debe prever que durante la molienda, espesado y agitación se producen vapores, entonces es necesario el uso de protectores antigases y un control adecuado del pH de la pulpa que debe mantenerse en rangos alcalinos; 10-11.

**Proceso de Cianuración de concentrados gravimétricos.-** Filtración, Derrame, Inhalación, Intoxicación y Exposición. El consumo de cianuro es alto debido a las altas leyes de oro del concentrado, por lo tanto los riesgos de formación de gases es más frecuente, por lo que hay que tomar en cuenta las medidas mencionadas.



**Destrucción de cianuro.-** En la pulpa, riesgo de filtración, derrame e inhalación. En la destrucción existe mayor probabilidad de formación de gases de HCN, por lo que hay que considerar la protección adecuada del personal que participa en esta operación.

**Pozas de solución barren.-** Filtración, inhalación y contaminación. La filtración es uno de los mayores riesgos por rotura de la geomembrana, la cual puede afectar al medio ambiente.

**Transporte mediante tubería hacia la presa de relaves.-** Filtración, derrame, intoxicación, exposición y contaminación. Los derrames se pueden producir por fallas en la estructura de las tuberías las cuales producirían impacto en las personas y en el medio ambiente.

**Disposición en la presa de relaves.-** Filtración, derrame, colapso, exposición y contaminación. El colapso de las presas de relave son los que causarían mayor impacto en las personas y el medio ambiente, por lo que hay que el monitoreo y control es indispensable.

#### **Determinación de los períodos de exposición al riesgo de los agentes implicados en el uso de cianuro**

De acuerdo a la ficha de evaluación de riesgos, donde se presentan los niveles o grados de riesgos expuestos, se concluye que el manejo del cianuro es de por sí crítico; siendo su prioridad de atención en la mayoría de las tareas o actividades "INMEDIATA" por ser mayor a 600 (PR>600). Para lo cual se debe realizar programas de implementación de sistemas que permitan reducir los riesgos en las etapas involucradas.

#### **Determinación del daño posible causado por un acontecimiento negativo**

Es el daño que se produciría debido a un potencial derrame o filtración de solución conteniendo cianuro de sodio en alguna de las fases del proceso metalúrgico y que rebasó los límites de contingencia.

### **Cálculo de la probabilidad de sucesos en cada fase**

De acuerdo al periodo de ocurrencia se puede estimar el Índice de frecuencia, que es la probabilidad de ocurrencia por la exposición en cada fase o etapa donde se maneja el cianuro de sodio. Estos valores por ser la planta relativamente nueva están con coeficientes bajos.

### **Establecimiento de una estrategia de gestión del cianuro como parte de la dirección ambiental de la mina y del proceso de concentración de oro**

La oficina de control ambiental junto a la superintendencia general y la jefatura de la planta de procesos de Orcopampa, durante el tiempo que duren las operaciones, deberá organizar y adquirir equipos, para atender los diferentes tipos de situaciones que se pudiesen presentar y para tener siempre presente el ciclo de uso del cianuro desde el almacén, las operaciones, hasta su disposición en la presa de relaves, para ello es necesario la formación y estructuración de grupos encargados de llevar a cabo los planes de contingencia.

### **Establecimiento de responsabilidades definidas para todos los individuos con las cadenas de responsabilidad y comunicación dentro del personal implicado**

La buena organización y definición clara de las funciones y responsabilidades de todas las personas involucradas en la gestión del cianuro es importante ante cualquier eventualidad para responder con celeridad y eficacia de acuerdo a las necesidades dadas.

Se muestra un organigrama en la figura N° 3, donde se proponen responsabilidades a las personas que administran la unidad minera y la planta de procesos como el Superintendente General, el jefe de planta, supervisores, jefes de área: almacén, centro médico, etc., y un representante de los trabajadores.

Cabe mencionar que los miembros importantes de este organigrama son los trabajadores. Ya que de ellos depende el éxito o el fracaso de las medidas que se tomen para enfrentar los sucesos que se produzcan de parte del cianuro.

Finalmente, se hace necesaria la tarea de involucrar a todas las personas en el sistema de gestión del cianuro en todo el ciclo de vida de este, desde la gerencia central en Lima, el Superintendente General en la mina, el Jefe de Planta, los trabajadores y la comunidad presentes directa e indirectamente en el uso del cianuro para poder llegar a buen fin en el desarrollo de las operaciones.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cianuro es un veneno de acción rápida capaz de matar a una persona en cuestión de minutos si está expuesta a una dosis suficientemente elevada mediante la inhalación, ingestión o absorción a través de la piel, impidiendo el cianuro a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y cianosis.

Los accidentes pueden suceder en cualquier momento, pero no de manera fortuita, si no por no seguir los procedimientos establecidos para el transporte, almacenamiento, preparación, uso y disposición final del cianuro, es importante que la empresa minera siga los procedimientos ya establecidos en seguridad, medio ambiente e incluso para la calidad del trabajo y producto final, extrapolando para la gestión específica del cianuro por la peligrosidad y riesgo que esta sustancia reviste.

El estudio desarrollado en las páginas anteriores pone en evidencia el esfuerzo realizado por la compañía en el aseguramiento de la calidad de la protección ambiental y personal de los trabajadores, y en el caso, del manejo del cianuro, de los cuidados bien establecidos.

El análisis de riesgos refuerza el conocimiento de las condiciones de trabajo en relación a la gestión del cianuro en la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, sin embargo, puesto que el trabajo con el cianuro posee unas especiales condiciones de mentalización y de adecuación de medios, se propone afianzar dicho conocimiento elaborando un Plan de Fallos con su correspondiente Análisis (FMA) completado con el Fault Tree Analysis para las situaciones de mayor peligro, construyendo unos escenarios muy completos y apoyando el análisis en experiencias personales y de otras plantas análogas.

Puesto que una parte importante del trabajo está realizado, faltaría que de manera paciente y rigurosa se construyesen los árboles y se calificaran los peligros y probabilidades para lograr este fin.

Es necesario afianzar mas en detalle el estudio y el balance del cianuro en todo el ciclo de vida del mismo para en base a ello elaborar los árboles y planes de fallos, para ello es indispensable la disposición y el buen criterio de los responsables de la gestión del cianuro en la mina.

La manera mas eficiente de reducir la concentración de cianuro en la solución pobre es mediante la oxidación química a través del proceso con el ácido de caro (ácido sulfúrico con peróxido de hidrógeno), que es un potente oxidante, pero también es necesario realizar ajustes en la dosificación del ácido sulfúrico y el peróxido de hidrógeno para aumentar la destrucción del cianuro en pulpa.

La fase operacional donde se produce el mayor consumo de cianuro es en la molienda y por ende donde existe mayores posibilidades de formación de vapores, el área de cianuración de concentrados gravimétricos por la fuerza de cianuro con la que trabaja es también un lugar donde se debe poner atención en la seguridad para el personal que labora.

La preparación de la solución de cianuro al 10%, involucra un alto riesgo de contaminación por inhalación, a pesar del poco contacto del operador y el cianuro de sodio es por ello indispensable la supervisión y protección personal en esta tarea.

La fase de espesado y el proceso CIL son de menor riesgo pero no menos importante en seguridad, por ello el control del pH en rangos de 10-11 y el uso de los implementos de seguridad como el respirador para gases y guantes resistentes a los ácidos es indispensable.

El consumo de cianuro debe estar cercano al estequiométrico, de tal forma que los remanentes de éste en solución serían los de menor valor, reduciendo por ende los riesgos de impactos personales y ambientales esta reacción requiere del apoyo del oxígeno para una eficiente disolución del oro, lo cual debe ser correctamente regulado.

El muestreo y el análisis por el laboratorio químico deben estar en continua coordinación y establecer programas para llevar a cabo periódicamente el muestreo en todo el ciclo de vida del cianuro, pudiendo de esta manera tener estadísticamente los datos y compararlos en el tiempo y ver las deficiencias y poder realizar mejoras en el circuito general de la planta de procesos.

El factor que podría ocasionar alguna situación de riesgo en la mina es básicamente el deterioro o desgaste de los equipos con respecto al tiempo, lo cual incrementa el riesgo de producirse con mayor frecuencia los eventos peligrosos en las diferentes áreas de la planta de tratamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamson, R.J., *The Chemistry of the Extraction of Gold from its Ores*, Gold Metallurgy in South Africa, Cape and Transvaal Printers, Ltd., Cape Town, South Africa 1972.

Alabaster, J.S., Shurben, D.G. and Mallett, M.J., *The Acute Lethal Toxicity of Mixtures of Cyanide and Ammonia to Smelts of Salmon, Salmo salar at Low Concentrations of Dissolved Oxygen*, Journal of Fish Biology, vol. 22, 1983, pp.215-222.

American Water Works Association (AWWA), *Water Quality and Treatment*, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 1990.

American Cyanimid Co., *Chemistry of Cyanidation*, Stanford, Connecticut 1963.  
Brickell, R.H., *Chemistry of Cyanide Solutions*, C-I-L Inc., January 1981.

Clarke, R.H., *The Effects of Effluents from Metal Mines on Aquatic Ecosystems in Canada, A Literature Review*, Technical Report 488, Environment Canada, Winnipeg, 1974.

Clark, Jr., D.R. and Hothem, R.L., *Mammal Mortality at Arizona, California, and Nevada Gold Mines Using Cyanide Extraction*, Calif. Fish and Game, vol. 77, 1991, pp. 61-69.

Downing, KM., *The Influence of Dissolved Oxygen on the Toxicity of Potassium Cyanide to Rainbow Trout*, Journal of Experimental Biology, vol. 31, 1954, pp. 161-164.

Dorr, J. and Bosqui, F., *Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*, McGraw Hill, 2nd Edition, 1950.

Franson Mary Ann H., Directora de edic. Lenores S., Clesceri - WPCF, Arnold E. Grennberg – APHA, R. Rhodes Trussel – AWWA, Métodos Normalizados, 1997.

Flynn, C.M. and McGill, S.L., *Cyanide Chemistry-Precious Metals Processing and Waste Treatment*, U.S. Bureau of Mines, NTIS Publication PB96-117841, 1995.

Hendrickson T.N. and Daignault, L.G., *Treatment of Complex Cyanides for Reuse and Disposal*, Report No. EPA-R2-73-269, USEPA, 1973.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del trabajo (INSHT), Procedimientos de evaluación de riesgos, España 2000.

#### INTERNATIONAL CYANIDE MANAGEMENT INSTITUTE

Revision of the Code and Its Related Documents For The International Cyanide Management Code - July 2005

J. Escobar, A. Echeverri: Notas sobre minería de veta y cianuración. Fundación Escobar, Medellín, Colombia, 1990. Ed. Río Negro S.A.

Marsden, J. and House, I., *The Chemistry of Gold Extraction*, Ellis Horwood Limited, Hertfordshire, United Kingdom 1993.

Scott, J. and Ingles, J., *State-of-the-Art Processes for the Treatment of Gold Mill Effluents*, Mining, Mineral, and Metallurgical Processes Division, Industrial Programs Branch, Environment Canada, Ottawa, Ontario, March 1987.

Sharpe, A.G., *The Chemistry of Cyano Complexes of the Transition Metals*, Academic Press, 1976.

USEPA, *The Ambient Water Quality Criteria for Cyanide*, NTIS Publication PB85-227460, January 1985.



### **Referencias Informativas**

Allen, C. H., *Mitigating Impacts To Wildlife At FMC Gold Company's Paradise Peak Mine*, in *Proceedings Of The Nevada Wildlife Mining Workshop, Reno, NV, 27-29 March 1990*, pp.69-71. (Available from Nevada Mining Assoc., 3940 Spring Drive, Reno, Nev. 89502)

Connolly, G. and Simmons, G. D., *Performance Of Sodium Cyanide Ejectors*, in D.O. Clark, ed. *Proceedings of the Eleventh Vertebrate Pest Conference*, University of California Press, Davis, 1984, pp. 114-121.

Hendrix, J.L, Nelson, J.H. and Ahmadiantehrani, M., *Fate of Cyanide in Tailings - An Update*, Cyanide and the Environment Conference, Tucson, Arizona, December, 1984.

Milosavljevic, E.B. and Solujic, L., *How To Analyze For Cyanide*, in *Proceedings of Cyanide: Social, Industrial and Economic Aspects*, The Minerals, Metals & Materials Society Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, February 12-15, 2001.

Leduc, G., Pierce, R.C. and McCracken, I.R., *The Effects Of Cyanides On Aquatic Organisms With Emphasis Upon Freshwater Fishes*, Natl. Res. Council Canada Publ. NRCC 19246, 1982. (Available from Publications, NRCC/CNRC, Ottawa, Canada KIA OR6)

Ray, W.M.R., *A Simple Leach Procedure For Determining the Total Cyanide Content of Heap Leach Tailings*, Cyanide and the Environment Conference, Tucson, Arizona, December, 1984.

Sharp, C. and Baker, D., *Accuracy and Precision of the EPA Reflux Method for Cyanide in Gold-Processing Waste Streams*, 1981 Society of Mining Engineers Annual Conference, Chicago, Illinois, 1981.

## CIANURO EN EL MEDIO AMBIENTE

### *Referencias Técnicas*

Alesii, B.A., and Fuller, W.H., *The Mobility of Three Cyanide Forms in Soil*, EPA-600/9-76- 015, USEPA, Cincinnati, Ohio, 1976.

Alstrom, S., and Burns, R.G., *Cyanide Production By Rhizobacteria As A Possible Mechanism Of Plant Growth Inhibition*, Biol. Fert. Soils, vol. 7, 1989, pp. 232-238.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Toxicological Profile for Cyanide (Update)*, September 1997.

Botz, M.M. and Mudder, T.I., *Modeling Of Natural Cyanide Attenuation In Tailings Impoundments*, Minerals and Metallurgical Processing, vol. 17:4, November 2000, pp. 228-233.

Cade, J.W. and Rubira, R.J., *Cyanide Poisoning Of Livestock By Forage Sorghums*, Government of Victoria Department of Agriculture, *Agnote 1960/82*, 1982.

Caruso, S.C., *The Chemistry of Cyanide Compounds and Their Behavior in the Aquatic Environment*, Carnegie-Mellon Institute of Research, 1975.

Cicerone, R.J. and Zellner, R., *The Atmospheric Chemistry of Hydrogen Cyanide (HCN)*, Journal of Geophysical Research, vol. 88:C15, Dec. 20, 1983, pp. 10,689-10,696.

Dufour, D. L., *Cyanide Content Of Cassava (Manihot esculenta, Euphorbiaceae) Cultivars Used By Tukanoan Indians In Northwest Amazonia*. Econ. Bot., vol. 42, 1988, pp. 255-266.

Dragun, J., *The Soil Chemistry of Hazardous Material*, Control Research Institute, Silver Spring, Maryland, 1988.

Hyatt, D.E., *The Chemical Basis of Techniques for the Decomposition and Removal of Cyanides*, AIME, Soc. Min. Eng., Trans., 1976, pp. 204-220.

IEC, Ltd., *Factors Affecting Natural Attenuation of Free and Metal-Complexed Cyanides from Gold Mining Effluents*, Fisheries and Environment Canada, Burlington, Ontario, 1979

Lagas, P., Loch, J.P. and Harmsen K., *The Behaviour Of Cyanide In A Landfill And The Soil Beneath It*, in R. Perry, ed. *Effects Of Waste Disposal On Groundwater And Surface Water*, Int. Assoc. Hydrol. Sci., Publ. 139, 1982, pp. 169-178.

Okeke, G.C., Obioha, F.C. and Edeogu, A.E., *Comparison Of Detoxification Methods For Cassava-Borne Cyanide*, Nutr. Rep. Int., vol. 32, 1985, pp. 139-147.

Smith, A., *Cyanide Attenuation and Detoxification in Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Leaching Projects*, Van Zyl, Hutchison and Kiel (eds.), Soc. Mining Engs/Am. Inst. Min. Met. Eng., 1988, chapter 14.

Englehardt, P., *Long-term Attenuation of Cyanide in an Inactive Leach Heap in Cyanide and the Environment*, Van Zyl (Ed), Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Vol. 2, 1985, pp. 539-547.

Gannon, D.G., *Toxicity of Cyanide Solutions in Proceedings from Cyanide and the Gold Mining Industry Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Jan. 22-23, 1981.

Hendrix, J., Nelson, J. and Ahmadiantehrani, M., *Cyanide in Precious Metals Mill Tailings Impoundments*, AIME Annual Meeting, 1987.

Huiatt, J.L., Kerrigan, J.E., Olson, F.A. and Potter, G.L, *Cyanide from Mineral Processing*, Salt Lake City, Utah, U.S. Bureau of Mines and Utah Mining and Mineral Resources Research Institute, February 2-3, 1982.

Kidd, C.H., *Prediction of Solute Transport from Gold Mine Tailings, Coromandel, New Zealand*, Proc. 3rd Intl. Mine Water Conf., Melbourne, Australia, 1988.

Knight piésold Consulting, Estudio de Impacto Ambiental del depósito de relaves N° 4\_ Orcopampa.

Longe, G.K. and DeVries, F.W., *Some Recent Considerations on the Natural Disappearance of Cyanide in Economics and Practice of Heap Leaching in Gold Mining*, Cairns Queensland, Australia, August, 1988.

McGill, S.L., Hendrix, J. and Nelson, J., *Cyanide/Thiocyanate Reactions in Tailings*, Cyanide and the Environment, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, vol. 1, 1985, pp. 143-159.

Schafer, W.M. and Hudson, T., *Land Application of Cyanide-Containing Mining Process Solutions* in Proc. *Planning, Rehabilitation, and Treatment of Disturbed Lands*, Billings, Montana, 1990.

Smith, A., Moore, D., and Caldwell, J., *Prediction of Groundwater Impact of Tailings Disposal* in Proc. *2nd Annual Can/Am Conf. on Hydrogeology*, Baniff, Alberta, Canada, 1985.

Struhsacker, D.W. and Smith, A., *Cyanide Neutralization and Reclamation of Heap Leach Projects* in Proc. *Planning, Rehabilitation and Treatment of Disturbed Lands Symposium*, Billings, Montana, 1990.

Zaidi, A., Schmidt, J.W., Simovic, L., and Scott, J., *The Art and Science of Treating Wastewaters from Gold Mines*, Annual Operator's Conference, Ottawa, Ontario, January 20-22, 1987.

## ANÁLISIS DEL CIANURO

### *Referencias Técnicas*

American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition*, Edited by Lenore S. Cleseri, Arnold E. Greenberg and Andrew D. Eaton, 1998.

ASTM, Section II, *Water and Environmental Technology*, volume 11.02, 1985.  
Barton, P., Hammer, C.A., and Kennedy, D.C., *Analysis of Cyanides in Coke Plant Wastewater Effluents*, Journal Water Pollution Control Federation, 1978, pp. 234-239.

Csikai, N.J. and Barnard, Jr., A.A., *Determination of Total Cyanide in Thiocyanate-Containing Wastewaters*, Analytical Chemistry, vol. 55, 1983, p. 1677.

Kelada, N. P., *Automated Direct Measurements Of Total Cyanide Species And Thiocyanate And Their Distribution In Wastewater And Sludge*, J. Water Pollut. Control Fed., vol. 61, 1989, pp. 350-356.

Koch, W.M.F., *The Determination of Trace Levels of Cyanide by Ion Chromatography with Electrochemical Detection*, National Bureau of Standards Journal of Research, 1983.

Pohlandt, C., Jones, E., and Lee, A., *A Critical Evaluation of Methods Applicable to the Determination of Cyanides*, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, January, 1983, pp. 11-19.

Pohlandt, C., *The Determination of Cyanide in Hydrometallurgical Process Solutions and Effluents by Ion Chromatography*, Report No. M128, Council for Mineral Technology, Randburg, South Africa, 1984.

Rocklin, R. and Johnson, E., *Determination of Cyanide, Sulfide, Iodide and Bromide by Ion Chromatography with Electrochemical Detection*, Anal. Chem., vol. 55, 1983, pp. 4-7.

Schulz, R.S., *Investigation of Chemical and Cyanide Properties in Saline Tailings of Gold Mines*, Australian Journal of Mineralogy, October 1996.

Umana, M., Beach, J. and Sheldon, L., *Restrictions Rule Support Revision to Method 9010, Total and Amenable Cyanide*, Office of Solid Waste, USEPA, Washington, D.C., 1987.

Wu, X.Z., Yamada, M., Hobo, T. and Suzuki, S., *Uranine Sensitized Chemiluminescence For Alternative Determinations Of Copper (II) And Free Cyanide By The Flow Injection Method*, Anal. Chem., vol. 61, 1989, pp. 1505-1510.

Yoshida, T., Tamamura, Y. and Katsura, T., *Practical Method For Determination of Total Cyanide in Metal-Containing Wastewaters*, Environ. Sci. Technol., vol. 43:9, 1983, pp.441.

**Página web:** [www.cyanidecode.org](http://www.cyanidecode.org)

## **ANEXOS**



**Fotografía I:** Transporte del cianuro listo para ser descargado en el almacén de la mina.

**Fotografía II:** Transporte del cianuro del almacén Hacia la planta para su Preparación.







**Fotografía III:** Supervisor en la preparación del

**Fotografía IV:** Operador verificando el ingreso del cianuro embolsado para su preparación.





**Fotografía V:** Tuberías de soluciones y aire para las operaciones.

**Fotografía VI:** Tuberías de distribución con los colores de identificación de sustancias para la operación.







**Fotografía VII:** Ingreso de la solución de NaCN a las operaciones.

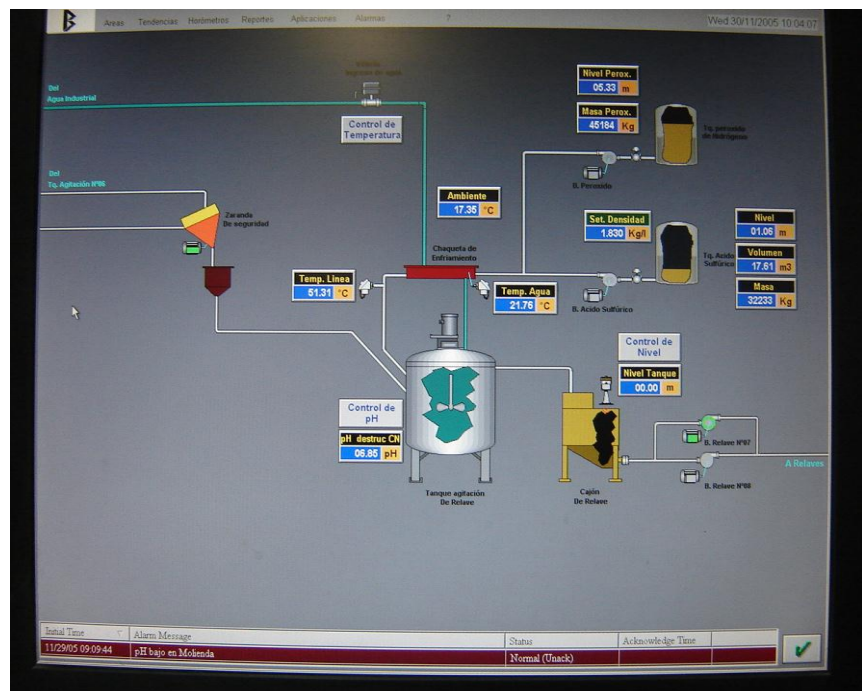
**Fotografía VIII:** Ingreso de la solución barren a las operaciones.





**Fotografía IX:**  
Sala de control de  
las operaciones

**Fotografía X:** Control  
En tiempo "real" de la  
Destrucción del cianuro.







**Fotografía XI:** Molino dominion de bolas 12"x16" cubierto para favorecer al sistema de extracción de HCN

**Fotografía N° XII:** Sistemas De señalización como parte de La gestión de seguridad.





**Fotografía N° XIII:**  
Presa de relaves N°  
4 mirando al NO.

**Fotografía N° IV:**  
Presa de relaves 4  
Mirando al NE del  
Extremo opuesto.







**Fotografía N° XV:**  
medidor estacionario de  
HCN en la sección de  
molienda.

**Fotografía N° XVI:** Medidor  
de mano de HCN para el  
personal expuesto al mismo.





**Fotografía N° XVII:** Extractor de gases de la planta de procesos.

**Fotografía N° XVIII:**  
El antídoto en el área de cianuración de concentrados gravimétricos.







**Fotografía N° XIX:** Presa de relaves N° 1 convertida en parque ecológico.

**Fotografía N° XX:** Parque ecológico con la planta de procesos al fondo.

