

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y**

**METALÚRGICA**



**OPERACIONES DE LA PLANTA DE PROCESOS**

**YANACocha NORTE**

**MINERA YANACocha S.R.L.**

**INFORME DE INGENIERÍA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**SERGIO EDUARDO VICUÑA DÍAZ**

**LIMA – PERÚ**

**2001**

## INDICE

### OPERACIONES DE LA PLANTA DE PROCESOS YANACocha NORTE

#### MINERA YANACocha S.R.L.

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTO</b>	1
<b>INTRODUCCION</b>	2
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes	3
1.2 Características del área de Yanacocha Norte	5
1.2.1 Topografía y Fisiografía	5
1.2.2 Clima y Meteorología	5
1.2.2.1 Precipitación	5
1.2.2.2 Evaporación	6
1.2.2.3 Vientos	7
1.2.2.4 Temperaturas	7
1.2.3 Mineralogía del yacimiento	8
<b>CAPITULO II</b>	
<b>ASPECTOS MINERALOGICOS</b>	
2.1 Introducción	9
2.2 Descripción de los minerales cianurables	9
2.3 Minerales susceptibles a tratarse por cianuración	10
2.4 Muestreo de minerales	11
2.5 Mineralogía de los minerales auríferos	12
2.6 Minerales auríferos	12
2.7 Minerales asociados al oro	13
2.8 Tipo de yacimientos auríferos	13

## **CAPITULO III**

### **FUNDAMENTOS METALURGICOS PARA LA LIXIVIACION Y PRECIPITACION DEL ORO**

3.1	Generalidades sobre la disolución del oro	15
3.2	Reacciones de disolución de oro en soluciones diluídas de cianuro	15
3.3	Factores que afectan la disolución de oro	16
3.4	El pH y Eh en la cianuración	19
3.5	Mecanismo químico de la precipitación de oro	19

## **CAPITULO IV**

### **ACERCA DEL ORO**

4.1	Aspectos generales	21
4.2	Cronología del oro	22
4.3	Características del oro	25
4.4	Usos principales del oro	27
4.5	Situación mundial	30
4.5.1	Producción y consumo mundial	33
4.5.2	Mayores países productores	34
4.5.3	Mayores compañías productoras	38
4.5.4	Reservas mundiales	39
4.5.5	Precio Histórico	39
4.6	Situación nacional	41

## **CAPITULO V**

### **LIXIVIACION DEL MINERAL**

5.1	Construcción de la pila de mineral	43
5.1.1	Descripción general	43
5.1.2	Sistema de colección de la solución preñada	44
5.2	Descarga de mineral sobre la pila de lixiviación	45
5.3	Acondicionamiento del mineral con cal	45
5.4	Armado y regadío de celdas	46
5.5	Pozas de colección de la solución	47

## **CAPITULO VI**

### **OPERACIONES DE LA PLANTA YANACUCHA NORTE**

6.1	Línea interconectada Carachugo – Yanacocha Norte	50
6.2	Flow sheet	51
6.3	Descripción del proceso Merrill Crowe	51
6.3.1	Clarificación de la solución preñada	52
6.3.1.1	Formación de precapa	53
6.3.1.2	Dosificación de diatomita	54
6.3.1.3	Lavado de filtros clarificadores	55
6.3.2	Desoxigenación de la solución preñada	55
6.3.3	Precipitación del oro con polvo de zinc	56
6.3.4	Recuperación del precipitado Au – Zn	56
6.4	Datos técnicos de la operación	57
6.4.1	Recuperación	57
6.4.2	Producción annual	58
6.4.3	Costos de operación	59
6.4.4	Capacidad instalada	60
6.4.5	Consumo de energía	61
6.4.6	Consumo de reactivos e insumos	61
6.5	Consideraciones medio ambientales	62
6.6	Planta de tratamiento de exceso de agua	64
	<b>CONCLUSIONES</b>	66
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	67

## **AGRADECIMIENTO**

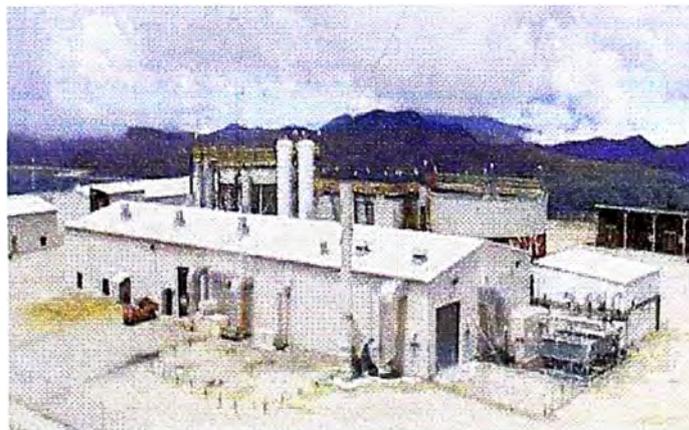
Comienzo agradeciendote a tí Virgencita del Carmen que marcaste mi camino desde niño y para siempre, a mis padres José y Marta a quienes les debo lo que soy por su perseverancia en guiarme día a día por el camino del bien y del estudio, a mis hermanas quienes tuvieron mucha paciencia conmigo, a mi esposa Zoila por darme el último empujón para lograr el tan ansiado Título Profesional, a mi hijita Chris quien muchas veces hizo que dejara de hacer mi trabajo para jugar, a mis amigos y amigas que de una u otra forma pusieron un granito de arena y por último y no menos importante a mis maestros, pues fueron ellos los que me dieron mi formación profesional.

## INTRODUCCION

Minera Yanacocha S.R.L. comenzó sus operaciones en el mes de Julio de 1,993, fué la primera gran inversión en Minería después de muchos años, al inicio tenía un millón de onzas de oro como reservas y empezó con la planta de Carachugo, diseñada para procesar 250 metros cúbicos por hora, pero la producción fué incrementandose rapidamente durante los cuatro primeros años a un promedio de 40% anual, simultáneamente se estaba ejecutando un programa agresivo de exploraciones en otras anomalías geológicas del área de Yanacocha lográndose descubrir otros cuerpos mineralizados y cubicar nuevas y grandes reservas que hoy llegan a los 40 millones de onzas de oro y cerca de 400 millones de onzas de plata, por tal motivo en el año 1,997 entró en operaciones la segunda planta de procesos, llamada Yanacocha Norte, para poder seguir incrementando la producción anual.

La planta de procesos Yanacocha Norte es la segunda planta con la que cuenta Minera Yanacocha S.R.L., comenzó a producir precipitado de oro en Diciembre de 1,997, con un promedio de ley de aproximadamente 12.31% en Au y 13. 83% en Ag, procesando 300 m<sup>3</sup>/h que con la modificacion e implementacion de algunos equipos llegó a tratar hasta 1600 m<sup>3</sup> /h y que con la proxima puesta en operación de la quinta mina, La Quinoa, se ve en la necesidad de realizar una ampliación de planta para poder procesar la solución rica que vendrá del pad del mismo nombre, con esta ampliación actualmente esta planta tiene una capacidad instalada para procesar 2,500 metros cúbicos por hora.

El presente informe tiene por finalidad poder documentar a todas aquellas personas que deseen conocer más de cerca la realidad industrial en minería aurífera a gran escala.

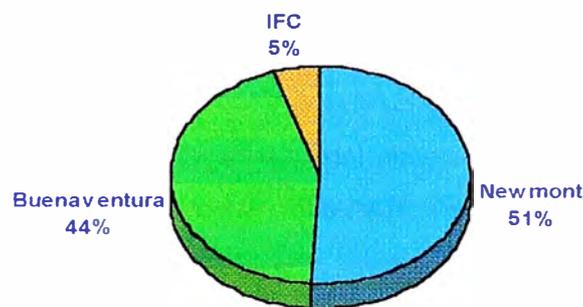


# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

Minera Yanacocha S.R.L. es una compañía formada por 3 socios en la que participan las empresas Newmont Gold Corporation 51.35 % , Minera Condesa S.A 43.65 % que a su vez es propiedad en un 100 % de Compañía de Minas Buenaventura S.A. y el 5 % restante le corresponde a la Corporación Financiera Internacional, brazo financiero del Banco Mundial.



1997 a la fecha

Pocas empresas mineras en el mundo pueden mostrar el vertiginoso desarrollo que ha permitido a Minera Yanacocha ser reconocida como la más importante productora de oro de América Latina y reconocida como la de menor costo operativo entre las 10 principales productoras auríferas del mundo.

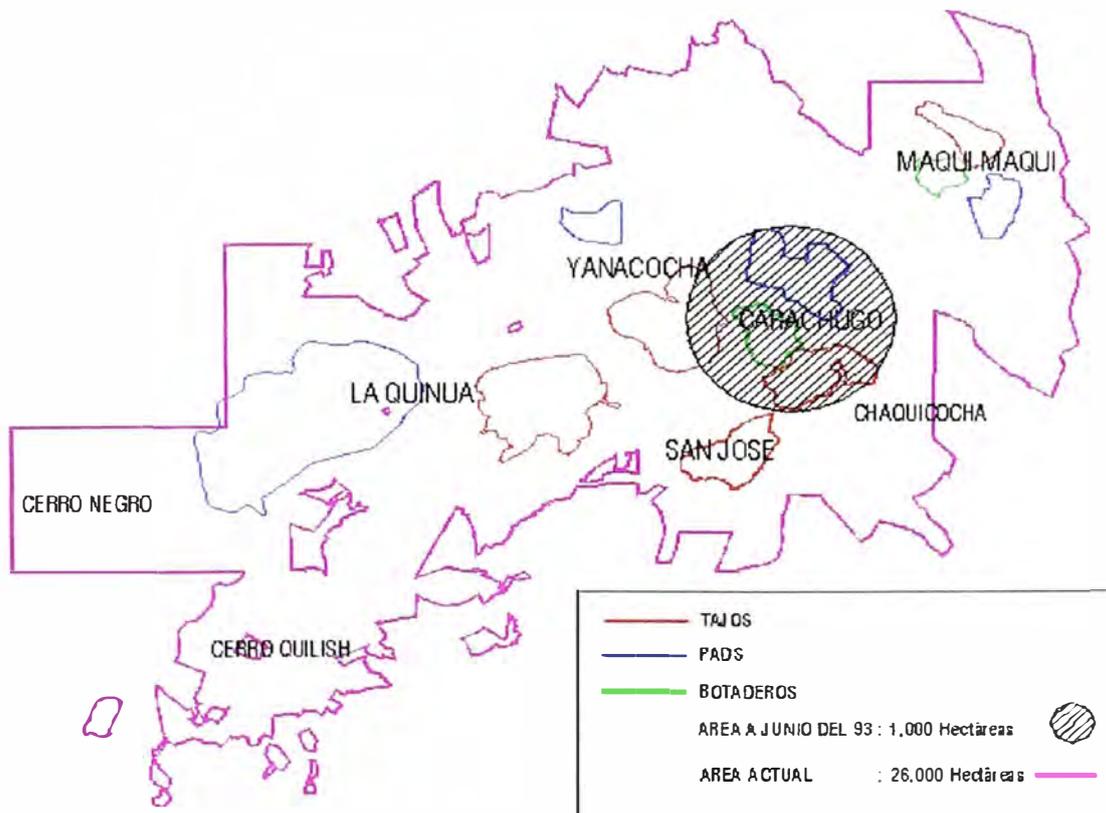
Dentro de los factores que contribuyen al bajo costo podemos citar los siguientes:

- Mineral oxidado cerca a la superficie.
- Bajo ratio de desmonte : mineral, 0.5 : 1
- No se necesita chancar ni moler el mineral por su alta porosidad.
- Altas recuperaciones superiores a 70 %
- Corto ciclo de lixiviación de 30 a 60 días.
- La ley de plata se va incrementando.

El distrito aurífero de Cajamarca fue motivo de interés minero desde la época pre-hispánica. Geólogos contemporáneos visitaban la zona de Yanacocha en los años 60' y 80', pero en busca de yacimientos de cobre y plata, sin imaginar que el enorme diseminado de oro era posible ser aprovechado.

En 1,984 Newmont Gold Company se interesó por explorar a fondo una posible mina de oro, 8 años más tarde, en 1,992, queda definida la explotación del yacimiento Carachugo en una de las más de 15 anomalías que se presentan en las concesiones de Minera Yanacocha, que abarcan un total de 26 mil hectáreas. El mismo año quedan construidas las carreteras, el primer pad de lixiviación y la planta de procesos de Pampa Larga.

La primera barra de oro producida por Minera Yanacocha, proviene de la mina Carachugo, se fundió el 7 de agosto de 1,993. El primer millón de onzas producidas se completó el 3 de febrero de 1,996. En solo esos dos años y medio, entraron en producción los depósitos de Maqui-Maqui y San José, a finales de 1,997 entra en operaciones la mina de Yanacocha Norte y el 24 de diciembre del mismo año comienza a producirse precipitado de oro en la planta de Procesos Yanacocha Norte, para la obtención posterior de dore, al mismo tiempo que se exploraba intensamente en La Quinua y en otras anomalías que podrían convertirse en futuras minas.



Hoy se conoce la presencia de oro diseminado en las anomalías designadas como Cerro Negro, Encajón, Cerro Quilish, El Tapado, Chaquicocha Norte y Sur.

Entre los nuevos descubrimientos, definidos como tales en 1,998, se asigna prioridad a La Quinoa en sus dos sectores Norte y Sur, según información proveniente de Newmont en Denver permite suponer que la sexta mina de Yanacocha podría ser El Tapado, situado entre los dos segmentos de La Quinoa cuyas zonas mineralizadas resultan de sumo interés.

## **1.2 CARACTERISTICAS DEL AREA DE YANACOA NORTE**

Las facilidades del Pad y Planta Yanacocha Norte se encuentra ubicadas a 41 km de la ciudad de Cajamarca subiendo por la carretera que va desde Cajamarca hacia Hualgayoc, en la parte norte de los Andes peruanos y a una altura de 4,000 m.s.n.m.

### **1.2.1 TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA**

La región se caracteriza por ser una terreno muy accidentado con montañas, valles, quebradas, ríos, lagunas, etc. En el área adyacente a estas facilidades las montañas Yanacocha y Rumi Guachac forman la divisoria continental entre la cuenca del Atlántico y la cuenca del Pacífico.

### **1.2.2 CLIMA Y METERELOGIA**

La zona se caracteriza por tener un clima frío y húmedo con marcadas temporadas de lluvias y estiaje.

#### **1.2.2.1 PRECIPITACION**

Los datos que se muestran en la tabla 1.1 son datos obtenidos de la estación metereológica ubicada en Carachugo.

De acuerdo con los datos in situ, el promedio de precipitación anual en la estación metereológica de Carachugo ha sido de 1,140 mm desde 1,995, esto es igual a 1,140 litros por metro cuadrado, sin embargo se ha observado ligeras fluctuaciones que van desde 995 mm hasta 1,571 mm. Alrededor del 86 % de las precipitaciones se producen durante los meses de octubre a abril, según la información histórica febrero y marzo son los meses más lluviosos y húmedos mientras que julio y agosto los más secos. ( ver tablas 1.1 y 1.2 ).

### 1.2.2.2 EVAPORACION

Cuando se examina el promedio de evaporación medida mensualmente, es posible observar que se producen variaciones por temporada. La evaporación es mayor durante los meses más secos o sea durante julio y agosto. Los picos para la evaporación se observan entre los meses de mayo y octubre, tiempo durante el cual se produce el 55 % de la evaporación anual. El promedio de evaporación fluctúa entre 94mm ( agosto ) y 56 mm ( febrero ), siendo el promedio anual de 854 mm (ver tablas 1.1 y 1.2 ).

**TABLA 1.1**  
**PROMEDIO DE PRECIPITACION Y EVAPORACION MENSUAL**

MES	PROMEDIO DE PRECIPITACION ( mm )	PROMEDIO DE EVAPORACION ( mm )
ENERO	111.80	84.90
FEBRERO	176.20	56.10
MARZO	158.80	75.00
ABRIL	114.90	66.40
MAYO	60.50	70.40
JUNIO	26.60	74.80
JULIO	18.00	86.90
AGOSTO	11.00	93.90
SETIEMBRE	44.80	83.30
OCTUBRE	132.60	78.70
NOVIEMBRE	136.30	77.30
DICIEMBRE	148.20	64.90

NOTA: Promedios de los años 1995 a 2000 en la estación metereológica de Carachugo

TABLA 1.2 PRECIPITACION Y EVAPORACION ANUAL		
MES	PRECIPITACION ANUAL ( mm )	EVAPORACION ANUAL ( mm )
1,995	1,320.79	968.30
1,996	1,103.00	970.00
1,997	994.86	799.35
1,998	924.90	805.70
1,999	1,579.50	1,156.80
2,000	1,243.60	875.59
<b>PROMEDIO</b>	1,194.44	929.29

### 1.2.2.3 VIENTOS

Desde abril de 1,993 se han recogido datos sobre los vientos producidos en la zona en la estación de Carachugo. La topografía afecta los patrones de vientos locales, produciéndose una canalización a lo largo de los valles y quebradas con vientos que suben por las laderas durante el día y bajan por estas durante la noche, la información con que se cuenta, da cuenta que los vientos dominantes soplan generalmente desde el noreste, este y sudeste y que ocasionalmente llegan a velocidades de hasta 100 km/hr.

### 1.2.2.4 TEMPERATURA

Los datos sobre las temperaturas se obtuvieron de la estación metereológica de Negritos, estos datos indican que las temperaturas máximas en un periodo de registro de 10 años fluctuaron entre 17.5 °C y 21.3 °C y las mínimas fluctuaron entre -3 °C y -6.9 °C.

### **1.2.3 MINERALOGIA DEL YACIMIENTO**

La mina Yanacocha Norte se compone de dos yacimientos principales de mineral conocidos como Yanacocha Norte y Yanacocha Sur. Yanacocha Sur a su vez se subdivide en dos yacimientos más pequeños llamados Encajon y Yanacocha Oeste.

Estos yacimientos de oro ramificados están situados al sur de un campo volcánico terciario que descansa en forma discordante sobre los sedimentos cretácicos. La secuencia extrusiva incluye series inferiores de dacitas y andecitas las cuales son cubiertas por series superiores de ignimbritas, dacitas y tobas.

La caracterización mineralógica de Yanacocha Norte indica que las muestras del núcleo del óxido consiste de un 65% a 95% de cuarzo, con cantidades variables de óxido de hierro, alunita, sericita, pyrophyllita, montmorillonita y pirita. Las muestras de sulfuro contienen de 10 % a 36 % de pirita y cantidades menores de covelita, enargita y sulfuro elemental.

Los estudios mineralógicos de Yanacocha Sur indican que el cuarzo excede el 95 % en las muestras de rocas con oro en presencia de óxidos. Otros minerales encontrados en las muestras de óxido incluyen óxido de hierro, alunita, sericita, montmorillonita y pirita. Las muestras de sulfuro en Yanacocha Sur contienen de 10 % a 40 % de pirita y cantidades menores de enargita, covelita y sulfuro elemental.

## **CAPITULO II**

### **MINERALOGIA DEL ORO**

#### **2.1 INTRODUCCION**

Los yacimientos auríferos pueden agruparse en aquellos que conservan su forma primitiva aunque hallan experimentado la acción de ligeras presiones, y los que por el contrario, han sufrido alteraciones importantes de carácter químico o mecánico. Refiriéndose a estos últimos y estudiando los efectos de la erosión a través de las épocas geológicas, se comprende la estrecha relación que debe existir entre la edad de las cordilleras cuyas rocas sirvieron de caja para la formación inicial de las estructuras y sus características actuales.

Dependiendo de la antigüedad, los fenómenos de erosión habrían dado lugar a la formación de diversos tipos de yacimientos auríferos. Considerando los hechos en un orden retrospectivo, ha de suponer que los depósitos han tenido su origen en la acción de los agentes atmosféricos sobre las cordilleras de la época terciaria (que son las más modernas) y la época secundaria.

En síntesis, las minas de oro más ricas se relacionan con las antiguas cordilleras, cuyos filones, desmantelados por la erosión, han esparcido sus riquezas minerales por las vertientes y en los cauces de los ríos, bajo la acción de las aguas torrenciales.

#### **2.2 DESCRIPCION DE LOS MINERALES CIANURABLES**

No todos los minerales de oro y plata están aptos para un tratamiento de cianuración, además de la ausencia o presencia de agentes cianicidas, materiales carbonaceos que absorben los metales preciosos, y sustancias orgánicas que consumen oxígeno de la solución; el oro y la plata, deben estar finamente particulados para una rápida disolución.

En la cianuración en pila la roca huésped debe ser porosa y permeable a la solución, o producirse suficiente exposición de las partículas como producto de la trituración. Por otra parte la presencia de cantidades excesivas de arcillas en algunos minerales dificulta la percolación, este problema es eliminado mediante una aglomeración de los finos.

Para poder diagramar un circuito de tratamiento es necesario conocer el mineral, concentrado o relave; ya que cada material tiene su propia particularidad es importante

conocer la mineralografía, lo que ayudaría a identificar los minerales valiosos y tener una idea previa del comportamiento del material ante la cianuración.

Para que el proceso de lixiviación por cianuración en pila sea viable, los minerales o menas que contienen el oro y la plata, deben cumplir las siguientes características:

- Primordialmente, el mineral debe estar relativamente exento de cianicidas; de sulfuros parcialmente oxidados de Sb, Zn, Fe, Cu y otros interferentes que inhiben la solubilidad del oro y la plata.
- El tamaño de las partículas auríferas o argentíferas debe ser bastante pequeño para que la disolución sea en el menor tiempo posible.
- El mineral debe tener la suficiente porosidad para que la solución penetre o esté en contacto con la mayor superficie de metal valioso.
- El mineral debe estar libre de constituyentes ácidos; si lo tuviera es necesario efectuar pretratamientos.

### **2.3 MINERALES SUSCEPTIBLES A TRATARSE POR CIANURACION**

Las características más comunes de algunos minerales con mayores ventajas para la cianuración, son, las siguientes:

- Menas oxidadas que contienen partículas finas de oro nativo, ya sean en cuarzo o ganga de piedra caliza.
- Menas sulfurosas en las que el oro está asociado a pequeñas cantidades de pirita y arsenopirita; opcionalmente, requieran molienda fina y tostación previa.
- Los minerales que contengan telurio, antimonio, arsénico y otros elementos volatilizables; requieren una tostación previa.
- Los que tienen oro libre, siempre que el tamaño grueso se recoja antes por gravimetría o amalgamación; pues de no hacerlo así, el tiempo de disolución sería prolongado.
- Los minerales calizos y silicios que contengan poca pirita se prestan bastante al tratamiento por cianuración.
- Los sulfuros son tratables por cianuración, luego de una concentración previa, ya sea por flotación o en mesas gravimétricas.

Los minerales que han de someterse al proceso de cianuración deben tener las siguientes características.

- La mena debe estar relativamente libre de cianicidas.

- Mineral con valores metálicos de granulometría fina y con la suficiente porosidad.
- La mena debe estar libre de materia carbonácea, para evitar la adsorción del cianuro de oro.
- La mena no debe exceder excesivas cantidades de material arcilloso, que podrían impedir la percolación de la solución.
- La mena o el mineral no debe contener constituyentes que formen ácidos, lo que ocasionaría un alto consumo de cal.

## 2.4 MUESTREO DE MINERALES

El manipuleo, muestreo y análisis químico de minerales, concentrados y relaves auríferos, tienen una particular importancia y requieren de gran cuidado para efectuar el control en las operaciones metalúrgicas.

Todo movimiento de estos materiales debe evitar al máximo las pérdidas que se ocasionan durante el tratamiento, transporte, pesado y muestreo; sobre todo, cuando se trata de minerales de alta ley y concentrados de alto contenido aurífero. Cuando se trata de concentrados y minerales que contienen oro libre, es muy importante extremar el cuidado de todo movimiento de materiales y en forma especial durante la etapa de pulverización y tamizado, pues de existir oro libre, éste se laminará, lo que podría ocasionar discrepancias en los ensayos químicos.

La mayor consideración en una operación de muestreo, es decir sobre un peso apropiado de muestra de material a sacarse de una población o lote y después, el mínimo peso a retenerse luego de las etapas sucesivas de preparación (chancado y molienda). Los pesos de muestras se determinan sobre la base de la información sobre tamaño de partícula, distribución, cantidad de especies valiosas, gravedad específica, características de rotura, etc. Esta información, pocas veces está disponible, y de acuerdo a esto, se debe depositar gran confianza en la conducción de las operaciones.

**Métodos de muestreo.**- Existen dos métodos de muestreo comúnmente usados: el muestreo a mano y a máquina. Como su nombre lo indica, el muestreo a mano, se lleva a cabo por personal de planta y el muestreo a máquina, se efectúa mediante dispositivos de corte automatizados.

El muestreo manual posee una pronunciada tendencia al error, además es costoso. Su uso se justifica solamente cuando el muestreo es de naturaleza ocasional o temporal y donde el material es pegajoso y difícil de manejar. En el resto de situaciones

se recomienda el muestreo a máquina. El muestreo manual se lleva a cabo mediante el uso de: tenazas o pinzas, tubos ranurados o rectos, palas y, por coneo y cuarteo.

El muestreo a máquina o automático, se efectúa mediante un cortador de muestra manejado mecánicamente y diseñado para captar una capa delgada de mineral o pulpa en caída, a intervalos de tiempo predeterminado. En este tipo de muestreo la reproducibilidad de resultados es más probable, así como la cantidad de muestra a captarse.

## 2.5 MINERALOGIA DE LOS MINERALES AURIFEROS

Los factores que afectan la extracción del oro, son de naturaleza mineralógica. El conocimiento de la mineralogía del mineral o producto metalúrgico a ser tratado, si son apropiadamente combinadas con las pruebas metalúrgicas, proporcionaran las herramientas necesarias para mejorar la recuperación, siendo necesario determinar:

- Las especies minerales que aloja a los metales preciosos.
- El mineral o especie huésped de metal.
- La distribución y localización del metal precioso en la especie huésped.
- La granulometría del metal precioso.

## 2.6 MINERALES AURIFEROS

Además de la presencia de oro nativo, se presentan otras aleaciones y especies.

### Aleaciones naturales:

Oro argentífero (electrum)	(Au, Ag)
Oro cuprífero (cuproauro)	(Au,Cu)
Oro paladinífero (porpesita)	(Au,Pd)
Oro rodonífero(rodonita)	(Au,Rh)
Oro irídico	(Au,Ir)
Oro platinífero	(Au,Pt)
Oro bismutífero	(Au,Bi)
Amalgama de oro	(Au <sub>2</sub> Hg <sub>3</sub> )
Maldonita	(Au <sub>2</sub> Bi)
Auricúprico	(AuCu <sub>3</sub> )
Paladio Cupriáurico	(Cu,Pd) <sub>3</sub> Au <sub>2</sub>

**Sulfuros:**

Uytembogardita  $(\text{Au}_3\text{AuS}_2)$

**Telururos:**

Calaverita  $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$   
 Krennerita  $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$   
 Montbrayita  $(\text{Au,Sb})_2\text{Te}_3$   
 Muthmannita  $(\text{Au,Ag})\text{Te}$   
 Silvanita  $(\text{Au,Ag})\text{Te}_4$   
 Kostavita  $(\text{Au,Cu})\text{Te}_4$   
 Nagyagita  $(\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te,Sb}))_4\text{S}_5$

**Antimoniuros:**

Aurostibita  $(\text{AuSb}_2)$

**Seleniuros:**

Fischesserita  $(\text{AuAg}_2\text{Se}_2)$

**2.7 MINERALES ASOCIADOS AL ORO**

Plata nativa	Arsenopirita	Sulfosales	Carbón
Pirita	Limonita	Hematita	Magnetita
Cuarzo	Calcopirita	Ilmenita	Rodonita
Esfalerita	Rutilo	Anastasa	Turmalina
Galena	Casiterita	Baritina	Carbonatos
Estibina	Argentita	Jarosita	Teluros
Platinoides			

**2.8 TIPOS DE YACIMIENTOS AURIFEROS**

Clasificación de acuerdo a la ocurrencia en la naturaleza.

**Vetas y filones de cuarzo aurífero**, comprenden las vetas de cuarzo y oro.

- **Depósitos epitermales.** - Son las vetas hidrotermales de cuarzo, carbonatos, baritina y fluorita, que contienen oro nativo o telururos de oro y cantidades variables de

plata. Constituyen vetas emplazadas en espacios abiertos y la gran parte se encuentra en rocas volcánicas muy alteradas de edad terciaria.

- **Placeres.**- Compuestos de arenas no consolidadas o semi- consolidadas y de gravas, las que contienen muy pequeñas cantidades de oro nativo y otros minerales pesados. La mayor parte son depósitos fluvio-glaciales y glaciales; ocurren a lo largo de valles y cauces actuales o terrazas de flujos pre-existentes.
- **Placeres fósiles.**- Estos son depósitos formados en épocas geológicas muy antiguas. Todos los ejemplos conocidos son pre-cambrianos y han sido litificados hasta convertirse en conglomerados formando parte del basamento, están compuestos por cuarzo, pirita y minerales micáceos.
- **Depósitos diseminados de oro.**- Los yacimientos de este tipo han sido puestos en explotación recientemente. Consisten en diseminados de oro en granos muy finos en calizas, dolomitas carbonáceas y limosas. El oro que mayormente es submicroscópico, está acompañado de sílice, pirita y otros sulfuros.
- **Oro como sub-producto.**- Donde el oro es el constituyente menor común de la mena y puede ser recuperado durante los procesos de fundición y refinación de los concentrados de los metales base. A pesar de que el contenido de oro en estas menas es baja, la producción es significativa debido a los altos tonelajes de mineral que se tratan.

## CAPITULO III

### FUNDAMENTOS METALURGICOS DE LA CIANURACION Y PRECIPITACION DEL ORO

#### 3.1 GENERALIDADES SOBRE LA DISOLUCIÓN DEL ORO

El oro no se oxida a temperatura ordinaria, no es soluble en ácidos: clorhídrico, nítrico y sulfúrico. Se disuelve en agua regia, la que puede ser dificultada por la presencia de la plata mediante la formación del cloruro de plata que cubre la superficie del metal.

El oro también se disuelve en soluciones que contengan bromo o cloro, pero con mayor lentitud, siendo la reacción acelerada por el incremento de la temperatura. El yodo al estado nascente disuelve al oro. El oro se disuelve igualmente en ácido clorhídrico en presencia de sustancias orgánicas, por ejemplo alcohol, cloroformo, etc. La disolución del oro en soluciones que contiene bromo ha servido de base para el método de bromo-cianuración, utilizado para algunos minerales refractarios en minería Australiana.

La base del proceso de cianuración, es que soluciones débiles o diluidas de cianuro de sodio o potasio, tienen una acción disolvente preferencial sobre partículas de oro metálico, con respecto a otros metales que se encuentran habitualmente en los minerales de oro.

El cianuro es el término descriptivo general aplicado usualmente al cianuro de sodio, NaCN. Debiendo mencionarse que el ión cianuro (CN<sup>-</sup>) es en realidad el que tiene la acción o fuerza disolvente, y la base alcalina del Sodio, Potasio o Calcio, simplemente da la estabilidad química al compuesto.

#### 3.2 REACCIONES DE DISOLUCIÓN DE ORO EN SOLUCIONES DILUIDAS DE CIANURO DE SODIO

Las reacciones de mayor significancia en el proceso de cianuración son las que a continuación se presentan:

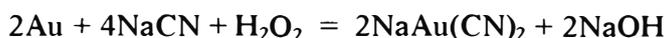
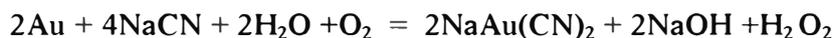
##### ECUACIÓN DE ELSNER



##### ECUACIÓN SUGERIDA POR JANIN



## ECUACIONES DE BODLAENDER



La ecuación global vendría a ser la misma que la ecuación de Elsner.

Respecto a estas ecuaciones cabe hacer un comentario, en razón a que el constituyente de mayor importancia es el oxígeno (excepto el de Janin, por lo que pierde credibilidad). Las reacciones propuestas por Bodlaender resaltan cuan importante es la presencia del oxígeno, la cual en una cantidad limitada, forma el peróxido necesario por la disolución del oro y en exceso, propicia la oxidación del ión cianuro a ión cianato.

### 3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA DISOLUCIÓN DEL ORO

- **Tamaño de partícula;** Cuando en los minerales se encuentra oro libre grueso, la práctica usual es separarlo por medio de trampas hidráulicas gravimétricas, antes de la cianuración, de lo contrario, las partículas gruesas no podrán ser disueltas completamente en el tiempo disponible para llevar a cabo el proceso de disolución. Otra práctica para reducir el tamaño de las partículas de oro, es la molienda y clasificación de los minerales de oro en circuito cerrado, donde las partículas de oro grueso son reducidos de espesor y quebrantados logrando rebosar del clasificador. Cuando se utilizan cribas hidráulicas en los circuitos de molienda, es posible coleccionar partículas de oro hasta de tamaños equivalentes a la malla 65. Una partícula de oro de 45 micras de espesor, no tardaría más de 12 horas para disolverse, y una de 150 micras de espesor no tardará más de 48 horas para disolverse. La plata metálica de los mismos espesores que el oro tardará el doble de tiempo para disolverse. La velocidad de disolución, además esta acondicionada a otros factores como: la aireación, agitación, composición química, concentración de cianuro, grado de liberación del oro, y la eficiencia de la solución de cianuro en uso, entre otras.
- **Concentración de cianuro;** La velocidad de disolución del oro en solución de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a diluidas. Hay variaciones muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de disolución de oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados. Las variaciones incluyen factores como, la razón del volumen de la solución a la superficie del oro, y las mencionadas anteriormente. Si es empleado un gran volumen de solución de cianuro y la superficie expuesta por el oro es relativamente

pequeña y la agitación es suficientemente intensa para favorecer la difusión de los productos de la reacción, entonces el factor restrictivo que gobierna la velocidad de disolución del oro sería la concentración de oxígeno en la solución en contacto con el oro.

- **Concentración de oxígeno;** El uso de oxígeno o de un agente oxidante es indispensable para la disolución del oro, bajo condiciones normales de cianuración. Los agentes oxidantes, tales como peróxido de sodio, permanganato de potasio, dióxido de manganeso, el bromo y el cloro han sido utilizados con mayor o menor éxito en el pasado, pero debido al costo de estos reactivos y las complicaciones inherentes en el manejo de ellos, han dejado de ser usados. De otro lado el mejor conocimiento y entendimiento de las reacciones involucradas en la cianuración y del conocimiento de los efectos de los constituyentes del mineral, han demostrado que una adecuada aireación dan tan buenos resultados como lo hacen los oxidantes químicos citados.

Según estudios realizados, el efecto del oxígeno en la disolución del oro ( que se muestra en la tabla adjunta ), esta referida para una solución de cianuro de sodio al 0.1 % y a 25°C. Donde se observa que la velocidad de disolución del oro es directamente proporcional al contenido de oxígeno del gas usado, deduciéndose que la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro es directamente proporcional a la presión parcial de oxígeno.

El uso de oxígeno puro es demasiado costoso, por lo que el aire es la fuente usual de oxígeno requerido.

#### **Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución del oro**

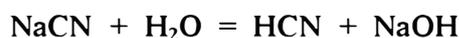
<b>% Oxígeno</b>	<b>Velocidad de disolución (mg/cm<sup>2</sup>.hr)</b>
0.0	0.04
9.6	1.03
20.9	2.36
60.1	7.62
99.5	12.62

- **La Temperatura;** El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico, produce fenómenos opuestos que afectan la velocidad de disolución. El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, a la par que la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura.

Por consiguiente deberá de haber una temperatura óptima para un máximo grado de disolución. De estudios se conoce que esta temperatura es de 85°C. En la práctica, el uso de soluciones calientes para la extracción del oro, resulta desventajosa por el elevado costo.

- **La alcalinidad de la solución;** La reducción de la descomposición del cianuro se logra mediante la adición de cal en forma de lechada que es la alcalinidad protectora. Es usual mantener esta alcalinidad usando aproximadamente 1 libra de cal por tonelada de mineral. El efecto benéfico de la cal se manifiesta por el efecto logrado en la sedimentación de las partículas finas o lamas. En algunos casos, para propósitos específicos, la alcalinidad protectora se mantiene mediante el uso de otros álcalis como el hidróxido de sodio y carbonato de sodio, estos álcalis sin embargo generalmente no son agentes de sedimentación efectivos.

- ◆ Previene la pérdida de cianuro por hidrólisis

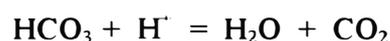
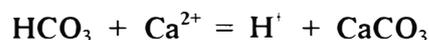


Haciendo que la reacción sea favorecida hacia la izquierda.

- ◆ Previene la pérdida de cianuros por efecto de la acción del dióxido de carbono del aire.



- ◆ Favorece la descomposición de los bicarbonatos presentes en el agua que se usa, antes del proceso de cianuración.



- ◆ Neutraliza los compuestos ácidos y los que generan acidez, tales como sales ferrosas, férricas, sulfatos, etc.
- ◆ Ayuda en la sedimentación de las partículas finas, consiguiéndose la clarificación de la solución rica.

### 3.4 EL pH y Eh EN LA CIANURACION

El mecanismo físico químico de la lixiviación del oro con soluciones de cianuro tiene su interpretación por diagramas de equilibrio Eh vs pH para sistemas Oro – Agua, Cianuro – Agua y Oro – Cianuro – Agua.

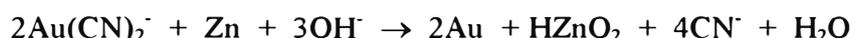
Los cationes áuricos ( $\text{Au}^{3+}$ ) pueden estar en equilibrio con oro metálico en el sistema oro – agua, o con iones auro – cianuro  $\text{Au}(\text{CN})_2$  en el sistema oro – cianuro – agua, hasta pH 1. Los iones de oro predominantes son áuricos, y no aurosos, debido a que la reacción  $\text{Au}^\circ \rightarrow \text{Au}^{3+}$  se ubica muy por debajo del límite de estabilidad de la reacción  $\text{Au}^\circ \rightarrow \text{Au}^+$ . El campo de estabilidad del oro metálico a potenciales de reducción relativamente bajos, cubre todo el rango de pH, al igual que la estabilidad del agua.

El oro puede formar especies de óxidos insolubles (óxido áurico hidratado:  $\text{Au}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Au}(\text{OH})_3$  ó peróxido de oro,  $\text{AuO}_2$  a potenciales relativamente altos. Ambos óxidos son termodinámicamente inestables y por lo tanto fuertes oxidantes. La fuerza oxidante de estos óxidos depende de la acidez del sistema y declina cuando incrementa el pH. El ácido cianhídrico (HCN) y los iones cianuro ( $\text{CN}^-$ ) que forma el complejo auroso de cianuro  $\text{Au}(\text{CN})_2$ , son las especies estables a muy bajos potenciales, siendo el último, predominante a pHs mayores a 9.24. A potenciales elevados, el ión cianato ( $\text{CNO}^-$ ), es la única especie estable.

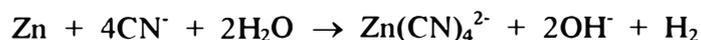
### 3.5 MECANISMO QUIMICO DE LA PRECIPITACION DEL ORO

El orden electroquímico de los metales en soluciones de cianuro determina su solubilidad relativa en dicho solvente. Las determinaciones publicadas del orden electroquímico de metales en soluciones de cianuro de potasio, indican la secuencia siguiente, de positivo a negativo: Mg, Al, Zn, Cu, Au, Ag, Hg, Pb, Fe, Pt. Cualquier metal de esta secuencia tenderá a disolverse en solución de cianuro más rápido que el metal de su derecha, desplazará a esos metales de la solución y precipitarán ellos. Por ejemplo el cobre precipitará al oro, plata, mercurio, etc. El magnesio ó aluminio precipitará al oro y la plata más rápido que el zinc.

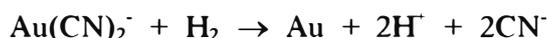
Cuando la cianuración fué adoptada en gran escala, como en el proceso de extracción del oro a partir de sus menas en 1,890. MacArthur usó algunas limaduras de zinc para precipitar oro a partir de soluciones cianuradas. La adición de sales solubles de plomo (en una concentración controlada) para crear una aleación de plomo-zinc sobre las partículas de zinc. La precipitación del oro fué más eficiente cuando en 1,904 C. W. Merrill introdujo el uso de zinc en polvo porque proporcionaba una gran área superficial.



El zinc también puede reaccionar en soluciones alcalinas de cianuro para producir hidrógeno:



Por tanto, es posible que la precipitación de algo de oro no proceda directamente sino a través de la formación de oxígeno.



Se sabe, no obstante, que el oro de las soluciones cianuradas no es precipitado por el hidrógeno a presión atmosférica. A elevadas presiones y temperaturas, la reducción de los iones aurosos por el hidrógeno toma lugar a velocidades relativamente bajas. Barin y otros propusieron la siguiente reacción química total para la cementación de oro por zinc.



La cementación es un sistema redox heterogéneo en el cual los iones aurocianuro y cianuro tienen que transferirse a la superficie del zinc; los reactantes tienen que ser absorbidos en ella; la reacción de reducción toma lugar en dicha superficie; los productos de la reacción son todos y cada uno de los pasos anteriores es proporcional al área disponible de zinc, como se probó en la práctica al introducir el uso de zinc en polvo en lugar de granallas de zinc.

Obviamente, la etapa más lenta arriba mencionada, controlará la velocidad de cementación del oro. Barin y otros en 1,980 confirmaron las conclusiones experimentales de Nicol (1,979), que sostienen que la velocidad de cementación del oro está controlada por la velocidad de transferencia de los iones  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ .

Finkelstein (1,972) ha discutido las reacciones importantes del sistema Zn-H<sub>2</sub>O-CN y presentado los respectivos equilibrios en los diagramas potencial vs pH. La reducción de los iones aurocianuro por zinc en escala industrial, fue posteriormente mejorada cuando T. B. Crowe extrajo aire y el oxígeno disuelto en las soluciones preñadas, usando vacío, antes de añadir el polvo de zinc. La presencia de oxígeno en la solución retarda la reacción de reducción e incrementa el consumo de zinc. Después de la deaeración en una torre de vacío Crowe, una solución preñada típica contiene solo de 0.16 a 1.3 ppm de oxígeno.

## **CAPITULO IV**

### **ACERCA DEL ORO**

#### **4.1 ASPECTOS GENERALES**

El oro es uno de los elementos metálicos de transición, su símbolo Au, funde a 1,064 °C y hierve a 2,856 °C, el oro puro es el más maleable y dúctil de todos los metales pues se podría hacer una lámina de 0.000013 cm. de espesor y con 29 gr. se podría estirar hasta hacerlo un hilo de 100 km. de longitud, también es uno de los más suaves, su dureza esta entre 2.5 y 3 y es sumamente denso. Es buen conductor del calor y de la electricidad. Es inactivo a la mayoría de solventes y no es atacado por el aire, la humedad o el calor. Se disuelve en mezclas de ácidos clorhídricos y nítricos y en cianuros alcalinos.

El oro se encuentra en la naturaleza en vetas de cuarzo y depósitos aluviales secundarios como metal libre o en un estado combinado. Es el número 75 en orden de abundancia sobre la corteza terrestre y casi siempre está asociado a cantidades variables de plata cuya ocurrencia natural se llama electrum.

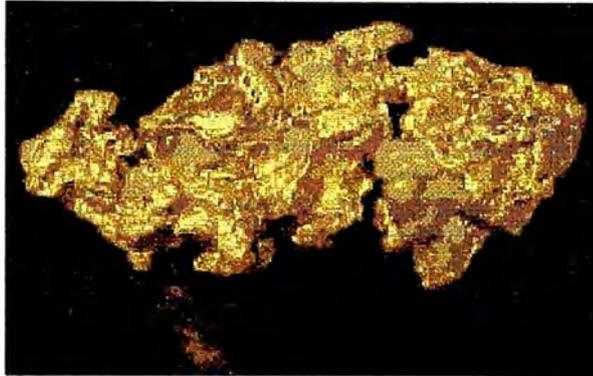
El oro ha sido conocido y valorado desde tiempos remotos, no solo por su belleza y resistencia a la corrosión sino por su fácil transformación, además el oro puro era fácil de conseguir, debido a su relativa rareza se usó como dinero y base del Sistema Monetario Internacional, la unidad de oro es la onza troy equivalente a 31.1035 gr.

La pepita de oro más grande encontrada pesó 70.8 kg y fue hallada accidentalmente en Victoria, Australia en 1,869.

Al momento del descubrimiento de América el valor de todo el oro en Europa ascendía a menos de US \$225 millones, durante los siguientes 350 años la producción de oro fué de 4,665,000 kg, durante este periodo América del Sur y Mexico se convirtieron en los mayores productores del metal.

El oro fué descubierto en Australia en Febrero de 1,851, y en Estados Unidos el oro comenzó a ser explotado a mediados del siglo XIX en las regiones de los montes Apalaches y al oeste de las Montañas Rocosas.

Sud Africa es el principal productor de oro hoy en día con una producción anual de 600 TM.



#### **4.2 CRONOLOGIA DEL ORO**

**4,000 A.C.** Primer registro de Oro usado en partes de Europa Central y Oriental.

**3,000 A.C.** Los egipcios dominan el arte de transformar oro en hojas y ligarlo con otros metales.

**1,500 A.C** El Shekel (la tercera parte en oro) es usado como una unidad normal de medida a lo largo del Medio Oriente.

**1,091 A.C.** Cuadrados de oro son legalizados en China como una forma de dinero.

**58 D.C.** Julio Cesar toma bastante oro en Gaul (Francia) para pagar las deudas de Roma.

**1,100 DC** Venecia afianza su posición como el líder en el mercado mundial de lingotes debido a su ubicación favorable con relación a las rutas de comercio dirigidas al este.

**1,511** Rey Ferdinand de España envía a los exploradores al Hemisferio Occidental con la orden de "conseguir oro."

**1,717** Isaac Newton, Maestro de la London Mint (Moneda de oro inglesa), define el precio del oro que dura durante 200 años. Tiene inicio el patrón de oro Ingles.

**1,787** Primera moneda de oro americana hecha acuñada por el orfebre Ephraim Brasher.

**1,797** Guerras Napoleónicas. Banco de Inglaterra suspende pagos en oro.

**1,848** La corrida al oro de California empieza cuando James Marshall encuentra manchas de oro en el aserradero de John Sutter cerca de la unión de los ríos Americano y Sacramento.

**1,850** Edward Hammong Hargraves, en su retorno de California, predice que encontrará oro en Australia dentro de una semana. El descubre oro en Nueva Gales del Sur una semana después de aterrizar.

**1,870-1,900** Todos los grandes países, a excepción de China, cambian al patrón de oro.

**1,886** George Harrison, mientras estaba excavando las piedras para construir una casa, descubre oro en Sudáfrica.

**1,887** Los doctores de Glasgow, Robert y William Forrest y el químico John S. MacArthur patentan el proceso de extraer oro del mineral usando cianuro.

**1,896** Dos buscadores descubren oro mientras pescan en el Río de Klondike en norte de Canadá; se rumorearon hallazgos más ricos al sur de Alaska iniciando la Corrida al Oro de Alaska en 1898; la última corrida al oro del siglo.

**1,900** EE.UU. adopta el patrón de oro para su dinero.

**1,917.** Queda establecida la bolsa "Fix" de Londres.

**1,922** La tumba del Rey Tutankhamen (1,352 A.C.) fue abierta para revelar un cajón de 2,448 lb. de oro y centenares de objetos revestidos en oro.

**1,927** Un estudio médico en Francia demuestra que el oro es valioso en el tratamiento de artritis reumática.

**1,931** Inglaterra abandona el patrón de oro.

**1,933** Presidente Franklin D. Roosevelt prohíbe la exportación de oro, suspende la convertibilidad de billetes de dólar en oro, ordena a los ciudadanos Americanos para presentar todo el oro que ellos poseen y establece un precio diario para el oro.

**1,934** Roosevelt fija el precio del oro a US\$ 35.00 por onza.

**1,936** Estados Unidos, Francia e Inglaterra establecen Acuerdo Tripartita en el que los 3 países pueden vender y comprar oro entre si.

**1,939** Mercado de oro de Londres cerrado debido a la Guerra.

**1,944** La Conferencia de Bretton Woods fija las bases del sistema monetario de post guerra.

**1,947** El primer transistor, la pieza clave para la electrónica, es construido en AT&T Bell Laboratories. El dispositivo usa contactos de oro apretados en una superficie de germanio.

**1,954** El mercado de Londres abre nuevamente después de la Guerra.

**1,960** El láser es inventado usando espejos forrado de oro para aumentar al máximo la reflexión infrarroja.

**1,961** La minería empieza en el Carlin Trend de Nevada, haciendo de Nevada el más grande productor de oro de Estados Unidos.

**1,961** Establecido el Acuerdo del Oro entre Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Holanda, Suiza, Inglaterra y el Banco de la Reserva Federal de Nueva York: Su objetivo es comprar y vender oro en el mercado de Londres para mantener el precio.

**1,968** El mercado de oro de Londres es cerrado a pedido del gobierno de USA. Los bancos centrales abandonan el precio fijo de oro de US\$35 por onza troy y le permite flotar. El Acuerdo del Oro es abolido.

**1,969** Las viseras de los cascos forradas de oro protegen los ojos de los astronautas de no chamusquearse a la luz del sol en la luna (Apolo 11).

**1,971** La convertibilidad de US\$ a oro es suspendida.

**1,972** US\$ es devaluado a US\$38 la onza.

**1,973** USA propone otra devaluación del dolar, para US\$ 42,22/oz. La mayoría de los países adoptan el precio flotante..

**1,974** El 31 de diciembre, el gobierno americano suspende la prohibición para la propiedad individual de oro.

**1,975** Primera subasta americana de oro (2 millones de onzas subastadas, menos de la mitad vendida).

**1,976** Primera subasta del Fondo Monetario Internacional.

**1,978** El papel del oro en el Sistema Monetario Internacional desaparece.

**1,980** El oro alcanza el precio más alto de la historia, US\$870 la onza el 21 de Enero en Nueva York.

**1,986** Se introducen los discos compactos forrados en oro.

**1,992** El Tratato de Maastricht es firmado, definiendo la formación de la comunidad Europea y la adopción de una sola moneda.

**1,996** El robot Mars Global Surveyor es lanzado con un telescopio parabólico forrado en oro a bordo que generará un mapa detallado de la superficie marciana en un periodo de dos años.

**1,998** Austria, Belgica, Finlandia, Francia, Alemania, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Portugal y España son confirmados como los participantes de la Comunidad Europea.

**1,998** El Consejo de Gobierno del Banco Central Europeo decide que el 15% de sus reservas iniciales consistirán en oro.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DEL ORO

Hay muchos aspectos físicos del metal amarillo que son verdaderamente asombrosos. El Oro es el más maleable (capacidad para ser martillado en hojas muy delgadas) y dúctil (capacidad para ser trefilado en un alambre fino) de todos los metales. Desde tiempo inmemorial el lustre resplandeciente del metal noble le permite ser utilizado para confeccionar las más codiciadas y exquisitas joyas - propias para reinas o reyes. El Oro también es uno de los metales más pesados conocidos. Tiene un peso específico de 19.3 los que indica que pesa 19.3 veces tanto como un volumen igual de agua. El oro ofrece una combinación única de propiedades químicas y físicas que lo transforman en un material vital en muchas aplicaciones electrónicas, industriales y medicinales. Estas propiedades están descritas abajo.

#### PROPIEDADES QUÍMICAS

El oro es un metal del Grupo 11 de la tabla de elementos químicos con símbolo Au, número atómico 79, peso atómico 196.96655. Su configuración electrónica es  $[\text{Xe}].4f^{14}.5d^{10}.6s^1$ . Su punto de fusión es 1,064.18 °C (1,337.33K; 1,947.52 °F) y su punto de ebullición es 2,856 °C (3,129 K; 5,173 °F) y es soluble en agua regia. Su peso específico es 19.3g/cm<sup>3</sup>. Su dureza en la escala de Mohs es 2.5, en la escala Brinell es 2,450 y en la escala Vicker 216.

Otras características son:

Entalpia de fusión [kJ mol<sup>-1</sup>]: 12.5

Entalpia de vaporización [kJ mol<sup>-1</sup>]: 330 Entalpia de atomización [kJ mol<sup>-1</sup>]: 368

Volumen Molar[cm<sup>3</sup>]: 10.21 Modulo de Young [GPa]: 78

Ratio de Poisson [no units]: 0.44

#### RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

El Oro es el más "no-reactivo" de todos los metales - es benigno en todos los ambientes naturales e industriales. El Oro nunca reacciona con oxígeno (uno de los elementos más activos), lo que significa que el nunca se oxidará o se empañará.

#### CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA

El Oro está entre los más eléctricamente conductivos de los metales. Como electricidad es básicamente el flujo de partículas cargadas en una corriente, los metales que son conductivos permiten que esta corriente fluya sin impedimento. El Oro puede

llevar asimismo una corriente eléctrica diminuta en temperaturas que varían de  $-55^{\circ}$  a  $+200^{\circ}$  centígrados. Su resistividad eléctrica es de  $2.2 [10^{-8} \text{ W m; or mW cm}]$

### **DUCTILIDAD Y MALEABILIDAD**

El Oro es el más dúctil de todos los metales, permitiéndole ser sacado en alambres diminutos o hilos sin romper. Con solo una onza de oro se puede dibujar un alambre de cinco millas de largo. Además, con solo una onza de este metal maravilloso se puede enchapar un hilo de cobre de 1,000 millas de largo. La maleabilidad del oro también es incomparable. Puede extenderse en hojas extremadamente delgadas. Por ejemplo, una onza de oro puede ser martillada en una hoja de 100 pies cuadrados. Estaría tan delgado que se necesitarían 1,000 hojas para constituir el espesor de una página del periódico.

### **REFLEXIÓN DE INFRARROJO (CALOR)**

El Oro es el material más reflexivo y absorbente de energía infrarroja (o calor). El oro de pureza alta refleja hasta 99% de rayos infrarrojos.

### **CONDUCTIBILIDAD TERMAL**

El Oro también es conductor excelente de energía termal o calor. Como muchos procesos electrónicos crean calor, el oro es necesario para transferir calor hacia afuera de los instrumentos delicados. Por ejemplo, una aleación con 35% de oro se usa en la boquilla del motor principal del Transportador Espacial, donde las temperaturas pueden alcanzar  $3,300^{\circ}\text{C}$ . La aleación de oro es el más tenaz y duradero material disponible para protección de estas temperaturas. Su conductividad térmica es de  $320 [10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$  y su coeficiente lineal de expansión térmica es  $14.2 [10^{-6} \text{ K}^{-1}]$  multiplicado por  $10^6$

### **RARIDAD**

Más increíble que sus características físicas es su escasez. Está bien documentado que el volumen de oro producido en el mundo durante toda la historia es de sólo aproximadamente 120,000 toneladas métricas. Comprensiblemente, es bastante difícil para una persona con pocos conocimientos relacionar esta medida.

Basta decir que el volumen total del metal brillante producido hasta hoy día ocuparía solo un cubo 18 metros por 18 metros por 18 metros - qué es equivalente al volumen aproximado de un edificio de 6 pisos.

#### **4.4.1 USOS PRINCIPALES DEL ORO**

El Oro tiene grandes propiedades de maleabilidad, ductilidad, reflexión, resistencia a la corrosión e inigualables habilidades como conductor eléctrico y termal, lo que le da un sin número de aplicaciones.

#### **DINERO / RESERVA DE VALOR**

El Oro se legalizó como dinero ya en 1,091 A.C. en China como una alternativa a la seda. El Oro todavía es el único medio universalmente aceptado de intercambio. Millones de personas por el mundo siguen usando oro como una garantía contra la inflación y como una forma básica de economías y una reserva fiable de valor durante tiempos de incertidumbre económica o levantamiento político.

#### **JOYERIA**

Desde el descubrimiento del oro en la antigüedad, su belleza y facilidad de manoseo inspiraron orfebres a crear ornamentos, no solo para adorno, sino también como símbolos de riqueza y poder. Las habilidades de los orfebres de Egipto, de Benvenuto Cellini o Carl Fabergé nos encanta hasta los días de hoy. Hoy día la joyería es un producto de masa, sin embargo en muchos países las joyas aún son guardadas como forma básica de economía. La joyería es la piedra fundamental del mercado del oro, consumiendo todo el oro producido. El Oro puro es usado en aquellos países donde la joyería es usada tanto para inversión como adorno. Pero el oro como tiene baja dureza necesita ser mezclado con otro metal para evitar ser rayado. En cualquier otro lugar el oro es utilizado en forma de aleación con otros metales, que no solamente lo toman más duro como cambian su color. La aleación con plata tiene un color blanco; La aleación con cobre tiene color rojo. La proporción de oro en una aleación es medida en quilates. El oro puro es denominado oro de 24 quilates, mientras una aleación con 75% de oro es denominado oro de 18 quilates.

El más antiguo uso de oro como joyería data de la civilización Sumaria, que habitó la región Sur de Irak cerca de 3,000 años A.C. los objetos hechos a partir de varias técnicas fueron encontrados en tumbas Egipcias. Los mejores ejemplos son obtenidos de los tesoros del Rey Tutankhamen, quien murió en 1,352 A.C. Históricamente el oro ha sido un metal raro y caro, accesible solamente a los más ricos. Pero la corrida del oro en California y Australia a mediados del siglo XIX creó una nueva dimensión en el suministro de oro. En el siglo 20 la joyería del oro pasó a ser accesible a la mayoría de las

personas. Italia ha permanecido en la delantera en la industria joyera mundial. La Renascenza Italiana coincidió con el descubrimiento de nuevas fuentes de oro en el Nuevo Mundo. El progreso en la joyería era conducido por Italia, que se tornó en el más grande fabricante del mundo, utilizando más de 400 toneladas de oro por año. Nuevos centros surgieron en los años 1,990, notablemente Hong Kong, Singapore, Malasia y Tailandia. En Japón, la fabricación de joyas para el mercado doméstico se ha tomado en una gran industria, produciendo más de 100 toneladas al año. La importancia de la joyería para la industria del oro no puede ser subestimada. Entre 1,970 y 1,992 cerca de 65% de todo el oro disponible en el mercado era usado en joyería. Desde 1,991 más de 2,000 toneladas han sido usadas anualmente.

	<b>Quilate</b>	<b>Pureza</b>	<b>% Oro</b>
<b>Oro Puro</b>	24	1,000	100
<b>Aleación de oro</b>	22	916.6	91.66
	18	750	75
	14	585	58.5
	10	416.7	41.67
	9	375	37.5

## **MONEDAS**

El oro ha sido reconocido como reserva de valor desde el inicio de su historia pero se cree que las primeras monedas fueron cuñadas en 670 A.C. por el Rey Gyges de Lydia, en Turquía. El rey Croesus acuñó monedas con 98% de oro en el año 550 A.C. Cerca de 500 años después Julio Cesar acuñó monedas para pagar la Legión Romana. Para inversionistas que le gustan invertir en oro, poseer monedas de oro es tanto conveniente como placentero. Las monedas tienen valor de dinero del país que las emite y su contenido de oro es garantizado. El valor nominal es apenas simbólico; su verdadero valor es dado por su contenido en oro. En general, el valor de mercado de las monedas es igual al valor del contenido en oro más 4 - 8%. Las monedas de oro son acuñadas en pesos de 1/20, 1/10, 1/4, 1/2, y una onza (cerca de 31 gramos). Las más populares monedas del mundo están mostradas en la fotografía abajo y descritas más abajo.

**American Eagle:** Es una moneda de 22 quilates, emitida por Estados Unidos, que tiene estampada la cabeza del Aguila Americana. Tiene pesos de 1 oz, 1/2 oz, 1/4 oz y 1/10 oz.

**Australian Nugget:** Es una moneda de 24 quilates emitida por GoldCorp de Australia en los siguientes tamaños: 1 kg, 10 oz, 2 oz, 1 oz, 1/2 oz, 1/4 oz, 1/10 oz y 1/20 oz

**Britannia:** Es una moneda de 22 quilates emitida por la Royal Mint de Inglaterra en 4 tamaños: 1 oz, 1/2 oz, 1/4 oz y 1/10 oz.

**Maple Leaf:** Es una moneda de 24 quilates emitida por Royal Mint de Canadá. Además de monedas de 1 oz, también son acuñadas monedas de 1/2, 1/4, 1/10 oz

**Philharmoniker:** Moneda de 1 oz de 24 quilates producida por Austria. La moneda muestra algunos instrumentos musicales en homenaje a la Orquesta Philharmonic de Viena.

**The Krugerrand:** Moneda de 22 quilates producida y distribuida por la Refinería Rand. Está disponible en 4 tamaños: 1oz, 1/2oz, 1/4oz y 1/10oz .

## **ELECTRONICA**

El principal uso es en electrónica. Nuestra era de alta tecnología encuentra en el oro un elemento indispensable en todo, desde calculadoras a computadoras, desde máquinas de lavar ropa a televisores, desde misiles a naves espaciales. Los motores de las naves Columbia Americanas son revestidos de ligas de oro para reflejar el calor; El módulo lunar del programa Apollo que puso el hombre en la Luna estaba forrado con láminas de oro para evitar la radiación. Hasta el teléfono común en su casa contiene 33 contactos eléctricos revestidos de oro. El revestimiento de tales contactos y conectores es el mayor uso del oro en electrónica porque asegura disipación de calor y garantiza que no haya oxidación. Otra gran aplicación de oro en electrónica es en la fabricación de semiconductores, donde finos hilos de oro con espesor de un centésimo de milímetro son utilizadas para conectar transistores y circuitos integrados. Japón responde por cerca de 60% del consumo de oro en electrónica, seguido de USA con cerca del 30%.

## **APLICACIONES DENTALES**

El uso de oro en Odontología es el segundo mas importante. Este metal ha sido usado en Odontología por cerca de 3,000 años. En el siglo 7 A.C los Etruscos utilizaban oro para reparar dientes. Un estudio del siglo 16 recomienda el uso del oro para llenar cavidades dentales. La maleabilidad y resistencia del oro lo recomienda para este uso pero su suavidad exige que sea mezclado con otros metales para evitar el desgaste. Las aleaciones de oro más comunes son con Platina, Plata y Cobre. Una aleación típica contiene de 62% a 90% de oro. En los últimos años el oro ha sufrido competencia de

otros metales como paladio y de materiales cerámicos. Pero las propiedades anti alérgicas del oro hizo que su utilización permanezca en crecimiento, con cerca de 60 toneladas por año. También en usos dentales, Japón es el mayor consumidor del mundo, con cerca de 28% del total.

### **RESERVA DE VALOR**

Cerca de 1/4 de todo el oro que existe – 34,000 toneladas - es usado como parte de reservas internacionales de gobiernos, bancos centrales e instituciones financieras. Cerca del 16% de las reservas de los países e instituciones es oro.

Cuanto oro debe mantener un banco central? Algunos guardan más de lo que deberían mientras otros guardan menos?

### **OTRAS APLICACIONES**

Otras aplicaciones para el oro incluyen placas decorativas, relojes, lapiceros, aros de anteojos y tapas de baños. También se utiliza para decoración de platos de porcelana. El más espectacular uso del oro es en los domos de techos de edificios. Recientemente el oro ha sido utilizado para revestir los vidrios de las ventanas de edificios, como forma para disminuir los costos de calefacción y aire acondicionado.

## **4.3 SITUACION MUNDIAL**

El oro ha sido utilizado, desde que el hombre inventó la moneda, como un medio para defenderse de la inflación. No solo los individuos han atesorado el oro con este propósito, sino también los bancos centrales. Sin embargo en las últimas décadas, las naciones desarrolladas han logrado controlar el fantasma de la inflación y en consecuencia los bancos centrales han perdido parte del interés que tenían en atesorar el oro.

Mientras que en 1,997 el oro guardado en los bancos centrales representaba el 42% de todo el oro atesorado en el mundo y el que correspondía a la joyería, el 31%; en la actualidad esos porcentajes se han invertido, no llegando el oro de los bancos centrales a representar el 30%, mientras que el que corresponde a joyería supera al 42%. Esta variación en proporciones se debe sólo parcialmente a la disminución de las reservas de oro de los bancos centrales. Mucha mayor incidencia ha tenido el hecho que el oro se ha seguido produciendo y los individuos lo han continuado comprando y atesorando como pieza de joyería.

A los bancos centrales no les convendría vender en forma acelerada sus reservas de oro ya que, si el precio se desploma, serían los más perjudicados. Por otra parte un mayor descenso en los precios aceleraría la reducción paulatina pero persistente que se observa desde hace varios años en la producción de oro de Sudáfrica, el primer productor de oro del mundo, que por la profundidad que han alcanzado sus minas tienen costos muy elevados.

Tomando en cuenta estos dos factores se espera que para el presente año el precio del oro se ubique entre US\$280 y US\$300 la onza, tomando en cuenta como factores positivos los límites de ventas establecidos por los bancos centrales europeos, la reducción de los programas de coberturas anunciadas por algunas compañías mineras recientemente, y la fortaleza de la demanda en los últimos meses. El aspecto negativo en la industria continúa siendo los temores por nuevas ventas de otros bancos centrales.

Como consecuencia de los precios aún relativamente deprimidos, las compañías mineras están interesadas únicamente en el desarrollo de proyectos auríferos que ofrezcan costos muy bajos y retornos de inversión atractivos, bajo una expectativa de precios variables entre US\$300 y US\$325 por onza.

Los inversionistas no estarán dispuestos a incluir en sus portafolios a compañías mineras sin posibilidades de resultados económicos atractivos con estas expectativas de precios, a diferencia de lo que ocurría hace varios años. Esta nueva tendencia de la industria minera del oro afecta negativamente a muchos países, pero no necesariamente a los de América Latina, debido a que la región ofrece el potencial de desarrollar proyectos de bajo costo, según proyecciones del Instituto del Oro, la producción de oro en América Latina crecerá 11% entre 1,998 y el 2,002, a 12 millones de onzas. El Perú por ejemplo, se ha convertido en uno de los productores de oro más grande del mundo, mientras que otras regiones como Sudáfrica y Norteamérica han disminuido su participación en la industria aurífera.

Adicionalmente dentro de los nuevos usos del oro, una posibilidad interesante que resulta de su universal aceptación, podría provenir de internet, en los últimos dos años ha crecido explosivamente el interés por utilizar el oro como un medio de pago para las transacciones a través de internet. Actualmente la mayor parte de pagos se efectúan a través de tarjetas de crédito, pero las tarjetas de crédito presentan varias desventajas, incluyendo altas comisiones por transacción, la posibilidad de fraude y el limitado acceso al crédito en el ámbito mundial. Resultan demasiado costosas para pagos de menos de 10 dólares.

## Principales Monedas de oro del Mundo



American Eagle de 1 oz oro de 99.99



Canadian Maple Leaf 1 oz de 99.99



South Africa Krugerrand 1 oz de 99.99



American Eagle de 10 dólares de 1,871

#### 4.3.1 PRODUCCION Y CONSUMO MUNDIAL

Sud Africa es el mayor productor de oro en el mundo seguido de Estados Unidos y Australia, juntos produjeron el 47 % de la producción mundial en el año 1,997 y para este año 2,001 se espera que juntos produzcan el 43 % del total mundial. Latino América y Asia produjeron el 21 % y para este año espera producir el 26 % del total.

La India es el mayor país consumidor de oro con el 21 % , seguido del lejano y medio Oriente con 37 %, tercero esta Estados Unidos con el 10 %, donde su principal uso es la joyería.

<b>País</b>	<b>1,993</b>	<b>1,994</b>	<b>1,995</b>	<b>1,996</b>	<b>1,997</b>	<b>1,998</b>	<b>1,999</b>
Sudáfrica	620	584	522	495	493	477	453
USA	332	326	319	329	351	362	343
Australia	247	255	254	290	312	307	304
Canadá	153	146	150	164	168	169	159
China	119	121	133	145	157	164	170
Rusia	165	158	142	133	137	130	126
Indonesia	52	55	74	92	101	121	nd
Perú	27	39	57	65	75	93	118
Uzbekistan	67	64	64	78	82	78	nd
Ghana	40	44	52	50	56	69	78
Brasil	76	73	67	64	nd	nd	nd
Otros	391	411	435	453	477	nd	nd
<b>Total mundial</b>	<b>2,289</b>	<b>2,278</b>	<b>2,269</b>	<b>2,357</b>	<b>2,468</b>	nd	nd

La tecnología moderna ha posibilitado la producción de **oro en laboratorio**. El Laboratorio Lawrence Berkeley en California realizó el sueño de los antiguos alquimistas. El laboratorio utilizó un acelerador de partículas atómicas BEVALAC para bombardear iones de carbono y neon en bismuto. Este proceso sacó fragmentos del átomo de bismuto, transformándolo en un elemento más liviano, el oro. Pero los costos son muy altos para realizar esta operación. Se gastó cerca de US\$ 10,000.00 para producir 1/mil millonésimo de centavos de dolar en oro.

#### **4.4.2 MAYORES PAÍSES PRODUCTORES**

Hoy, la producción mundial suma anualmente aproximadamente 2,300 toneladas, después de haberse duplicado desde 1,980 debido a precios más altos y a la nueva tecnología. Aunque el oro se mina en casi sesenta países, el cuadro siguiente muestra los países de mayor producción de oro.

##### **SUDAFRICA**

El Oro fue descubierto por George Harrison en la hacienda Langlaagte cerca de Johannesburgo en febrero de 1,886. De pronto, SudAfrica se convirtió en el primer productor de oro del mundo, una posición que ha defendido casi continuamente desde entonces. En sólo durante un siglo, más de 45,000 toneladas de oro se han minado en Sudafrica, aproximadamente 40% de todo el oro producido hasta hoy día en el mundo. El oro se encontró en un arco de "reefs" que se estiran desde 40 millas al Este de Johannesburgo hasta a 90 millas al Oeste, girando entonces hacia al Orange Free State, 200 millas al Sur-Oeste. Los reefs varían en espesor y se inclinan hacia el centro del arco a profundidades de por lo menos 5,000 metros. Como el oro se entierra profundamente, las nuevas minas subterráneas son caras y toman por encima de cinco años para entrar en producción. El año de mayor producción fue en 1,970 cuando alcanzó 1,000 toneladas. Desde entonces se ha caído a alrededor de 550 toneladas (debajo del 25% de la producción mundial), pero es probable que Sudafrica siga siendo el primer productor mundial este nuevo siglo.

##### **ESTADOS UNIDOS**

La corrida del oro de California empezó en Enero de 1848 después del descubrimiento de oro en el aserradero de Sutter en el Valle de Sacramento. Casi medio millón de buscadores se fueron a California, ayudando a abrir el Oeste Americano. Pero se tuvo la mayor producción temporalmente en 1,853. Después de esto la producción menguó y, aparte de un resurgimiento breve en los años treinta, bajó a 30.5 toneladas por 1,980, cuando el precio del oro fue alto, acoplado con las nuevas técnicas de la producción, se reactivó la industria. Por 1,995 la producción alcanzó 329 toneladas, 60% del estado de Nevada. El depósito más rico es el Carlin Trend con más de 30 tajos abiertos de los cuales el

mas grande es Goldstrike con una producción esperada por encima de 50 toneladas por año.

## **RUSIA**

Históricamente, Rusia fue uno de las primeras fuentes de oro. Alejandro el Grande conquistó Armenia en el año 33 A.C. para obtener su oro, pero fue un descubrimiento en los montes Urales en 1,774 que activó la industria moderna. Por los años 1,840 Rusia era el principal productor del mundo, hasta haber sido eclipsado por la corrida del oro de California. Después de la Revolución, Stalin incentivó la minería y la Unión Soviética fue el segundo proveedor más grande hasta ser alcanzado por los Estados Unidos en 1,991. La producción soviética global alcanzó el máximo de 285 toneladas en 1,989, antes de caer a aproximadamente 250 toneladas en 1,991 de las cuales unas 150 toneladas eran de Rusia propiamente. Están desarrollándose nuevas minas importantes en Kazakstan y Uzbekistán.

## **AUSTRALIA**

El Oro se descubrió primero en Australia en 1,851 cerca de Bathurst, Nueva Gales Sur, transformándolo de una colonia penal. La producción alcanzó el máximo en 1,865 a 95 toneladas, pero la suerte reactivó su producción con los descubrimientos en Kalgoorlie, Australia Occidental, en 1,893. La segunda corrida, enfocando a lo largo de la famosa "Milla Dorada" de Kalgoorlie, duró una década. Por 1,903 la producción había subido a 199 toneladas, un nivel no superado hasta 1,988. La explosión del oro de los años ochenta cambió todo. La reactivación se enfocó en Kalgoorlie. La "Milla Dorada" está trabajándose como un inmenso cráter cuya producción anual está cerca de 20 toneladas. La producción australiana en 1,995 fue de 254 toneladas de las cuales 75% vinieron de Australia Occidental.

## **CANADA**

Canadá sólo se hizo un productor serio con el descubrimiento de oro en el afluente Klondike del Río de Yukon en 1896. 75 toneladas de oro aluvial se recuperaron en los primeros tres años. El futuro de la industria, sin embargo, está bajo tierra en el escudo Pre-cámbrico que cubre Ontario del Norte y Quebec y

que proporcionan por encima del 80% del oro de Canadá. La primera mina, el Domo, abrió en 1,909 y todavía está operando. El incremento del precio a US\$35 la onza en 1,934, estimuló la producción a 172 toneladas en 1,941. Después la minería declinó; por 1,978 sólo 50 toneladas fueron producidas. La industria se reactivó en los años ochenta con el descubrimiento del depósito de Hemlo en Ontario del Norte. Tres minas están operando en Hemlo y están produciendo 35 toneladas, con la mina de Williams que contribuye con 15.5 toneladas, anualmente. Hemlo ayudó a alcanzar un récord de producción de 175 toneladas en 1,991, pero la producción ha bajado desde entonces. El único nuevo depósito grande es Eskay Creek en British Columbia.

## **AMERICA LATINA**

El Oro fue recuperado de los depósitos aluviales en los Andes en el año 1,000 A.C. Sin embargo, una producción significativa no empezó hasta el siglo 18 con los descubrimientos en Brasil. La mina de Mineracao Morro Velho en Minas Gerais abrió en 1,835 y es la mina más vieja del mundo continuamente en operación. La producción de Brasil voló en los años ochenta de los depósitos aluviales en la cuenca del Amazonas; el más rico era Serra Pelada, del que 13 toneladas fueron excavadas por los miles de "garimpeiros" (los buscadores) en un solo año. La producción total se ha estabilizado a alrededor de 75 toneladas anualmente, la mitad viene de las minas formales, el resto de los "garimpeiros" en depósitos aluviales. El resto de América Latina es enfoque de mucha exploración e inversión por compañías mineras Sudafricanas y Norteamericanas que han empujado la producción anual hacia 280 toneladas. Chile tiene depósitos de bajas leyes en los Andes, entre las que se encuentran las minas El Indio y La Coipa. Bolivia tiene una nueva mina en Kori Kollo; Guyana ha desarrollado el tajo abierto de Omai; Perú tiene las nuevas minas de Yanacocha y Pierina, en Venezuela la mina de La Camorra abrió en 1,994 e importantes recursos fueron identificados en Las Cristinas; Uruguay ha abierto la mina de Mahomas y Argentina puede desarrollar el depósito de Majo de La Alumbreira. En Latino América Perú es el mayor productor de oro.

## **CHINA**

El Oro se ha minado en China durante más de 1,000 años, principalmente en la provincia de Shandong. Un gran programa de inversión ha incrementado la producción oficial a cerca de 100 toneladas anualmente en los años noventa, pero las cooperativas locales y la minería aluvial extraoficial contribuyen con otras 30-40 toneladas probablemente. Toda la producción formal se vende al Banco del Pueblo de China que re-vende parte a los fabricantes de joyas y joyerías locales. Las Compañías mineras internacionales están proporcionando especialización y esperan entrar en proyectos de "joint-venture".

## **GHANA**

Ghana ha sido reconocida como la costa del oro durante 2,000 años. En los años noventa su industria minera ha sufrido un fuerte impulso que ha cuadruplicado la producción anual por encima de 50 toneladas. La mina de Ashanti, que celebró su centenario en 1,997, contribuye con mucho de la producción, pero hay nuevos joint-ventures con grupos mineros extranjeros. Indonesia y Papua-Nueva Guinea que tienen muchos depósitos de oro del epithermal, se han hecho productores significantes en los años noventa. La apertura de las minas de las Islas de Misima y de Porgera ha empujado la producción de Papua-Nueva Guinea a aproximadamente 60 toneladas anualmente. Otra gran mina de bajas leyes, Isla de Lihir, comenzó a operar a fines de 1,999. Indonesia está produciendo por encima de 70 toneladas anualmente, diez veces más que hace una década.

## **PERU**

La producción de oro en el Perú no fue muy significativa hasta principios de los años 90, cuando empezó la producción de tajos abiertos de oro en el país. En el año 1,993 comenzó la explotación de la mina Yanacocha que de 200,000 onzas anuales pasó a producir 1,850,000 onzas en el año 2,000, de igual forma en 1,998 entro en operaciones la mina Pierina que está produciendo alrededor de 900,000 onzas anuales.

#### 4.4.3 MAYORES COMPAÑÍAS PRODUCTORAS DE ORO

Las 15 más grandes compañías productoras de oro del mundo produjeron en 1,998 cerca de 1,134 toneladas, o 44% del total mundial. AngloGold, del grupo Anglo American sigue como la más grande productora mundial, con cerca de 239 toneladas. El cuadro a continuación muestra las posiciones en 1997 , 1998 y 1999.

#### MAYORES COMPAÑÍAS PRODUCTORAS DE ORO

Toneladas

	1,997	1,998	1,999
ANGLOGOLD	226	239	178
NEWMONT	123	127	130
BARRICK GOLD	95	100	114
GOLD FIELDS	97	123	96
PLACER DOME	80	91	98
RIO TINTO	67	88	93
HOMESTAKE	57	70	nd
FREEPORT	56	69	75
ASHANTI	36	48	nd
NORMANDY	44	48	nd
ARMONY	24	31	nd
BATTLE MOUNTAIN	27	28	24
KINROSS	13	26	nd
GREAT CENTRAL MINES	16	23	nd
AVGOLD	29	23	19

#### 4.4.4 RESERVA MUNDIAL

Las reservas mundiales se dan en la siguiente tabla, generalmente el orden coincide con los mayores productores del mundo.

PAIS	RESERVAS (Tons)
Sudáfrica	18,500
Estados Unidos	5,600
Australia	4,000
Rusia	3,000
Perú	2,300
Uzbekistán	2,000
Canadá	1,500
Brasil	800
Otros	9300
Total Mundial	47,000

#### 4.4.5 PRECIO HISTORICO

En 1,717 Isaac Newton, Maestro de la "London Mint" (Moneda de oro inglesa), define el precio del oro en alrededor de US\$ 20 /onza que permanece casi invariable durante 200 años. En 1,792 el Congreso americano adoptó un estándar bimetálico (oro y plata) para el dinero de la nueva nación - con el precio del oro estimado a US\$ 19.30 para la onza troy. Esto permaneció esencialmente inalterado hasta 1,834, cuando el precio del oro se incrementó a US\$ 20.67, nivel en el que se mantuvo durante los siguientes 100 años hasta 1,934. No fue hasta 1,934 que el Presidente Americano Franklin Delano Roosevelt devaluó el dólar subiendo el precio del oro a US\$ 35.00 la onza. En diciembre del año 1,971 representantes de los diez países más industrializados se reunieron en Washington D.C. Era su propósito expreso tomar cualquier medida para mejorar las condiciones económicas internacionales. El ahora famoso Acuerdo Smithsonian otorgó un incremento inmediato en el valor de oro de US\$ 35.00 a US\$ 38.00 por onza. El Presidente Richard Nixon lo llamó como "el acuerdo monetario más significativo en la historia mundial". Desgraciadamente, esta medida fue demasiado pequeña y demasiado tarde. Las condiciones económicas

internacionales continuaron deteriorándose, forzando al Gobierno Americano a devaluar el dólar por segunda vez en 1,973, subiendo el precio oficial de oro a US\$ 42.22 por onza troy. Finalmente, a todas las monedas internacionales se les permitieron flotar libremente con relación al oro. En Junio de ese año el precio del oro había subido a un inaudito US\$ 120 por onza. La demanda explosiva durante los meses siguientes creó condiciones para la creación del mercado del oro a futuro en COMEX en Enero de 1,975. Un frenesí mundial por el oro hizo explosionar su precio a un sin precedentes a un record de US\$ 850 la onza el 21 de Enero de 1,980. Obviamente, el exceso especulativo había llegado demasiado lejos. Desde esa fecha el precio del oro ha estado en una tendencia decreciente por más que 13 años. Naturalmente ha habido un periodo de tregua, cuando los precios rebotaron ligeramente. Sin embargo, el mercado bajista a largo plazo permanecía intacto hasta el 23 de abril de 1,993. En esa fecha los contratos de entregas a plazo para Junio de 1,993 COMEX cerraron a US\$ 347.50 la onza, lo cual anunció una reversión de la tendencia bajista de 13 años.





#### 4.5 SITUACION NACIONAL

Un aspecto interesante en el caso del oro, es que en los últimos años se han explorado diversos proyectos mineros, existiendo grandes probabilidades de que varios de ellos superen el millón de onzas de reservas. De ser así, la producción de oro del Perú podría seguir creciendo en los años venideros a un mayor ritmo que el previsto en las proyecciones.

Una de las compañías que destina mayores recursos a la exploración es el Grupo Buenaventura. El proyecto Minas Conga que pertenece en un 60 % a dicha compañía, es el más importante que tiene actualmente bajo estudio. Una reciente cubicación de los pórfidos de Chailhuagón y Perol confirmaron recursos indicados por perforación diamantina, del orden de 430 millones de toneladas con un contenido de 0.30 % de cobre y 0.82 gr/t de oro, lo que representa un contenido fino de 1.3 millones de toneladas de cobre y 11.4 millones de onzas de oro.

Las pruebas de flotación realizadas para estos minerales indican buenas recuperaciones para el oro y excelentes para el cobre, los concentrados están libres de impurezas y ensayan de 25 a 36 % de cobre y de 1 a 4 onzas de oro por tonelada.

Otro importante proyecto en el que trabaja Buenaventura con Southern es Tantahuatay, prospecto en el que se han determinado recursos cianurables en rumas por 25 millones de toneladas con contenidos de oro de 0.8 gr/tonelada.

Adicionalmente existen en Tantahuatay 350 millones de toneladas con 0.8 % de cobre y 0.3 gr/tonelada de oro, pero que contienen 0.2 % de arsénico.

Los socios invierten en la realización de estudios metalúrgicos por empresas especializadas con el propósito de encontrar soluciones técnicas y económicas que hagan viable la recuperación de estos recursos.

No obstante que la crisis de los precios en los mercados de metales han obligado a reducir los presupuestos de inversión en exploración de las empresas mineras en todo el mundo, estas reducciones han estado dirigidas a las exploraciones que se conocen como de grass rotos, es decir en áreas inexploradas, pero han continuado siendo intensas en aquellos proyectos donde ya se han determinado interesantes tonelajes de recursos mineros.

La mayor parte de los proyectos en que la exploración ha continuado siendo intensa son auríferos. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

**La Arena / La Virgen**, en el departamento de La Libertad, que están siendo explorados por Cambior, estos dos yacimientos tienen en conjunto más de un millón de onzas de oro.

**Poracota**, en el departamento de Arequipa que pertenece a Teck Corporation y Southwestern Gold, posee recursos por más de un millón de onzas.

**Uhcumachay** en Ancash, cuyas características geológicas son similares a Pierina y Yanacocha está siendo explorada por Barrick Gold.

## CAPITULO V

### LIXIVIACION DEL MINERAL

#### 5.1 CONSTRUCCION DE LA PILA DE LIXIVIACION

La pila de lixiviación está ubicada al noroeste de los tajos abiertos de Yanacocha Norte y cerca de la cabecera de la Quebrada de Yanacocha, fué construida en 5 etapas y según su diseño proyecta albergar 163 millones de toneladas de mineral para su lixiviación abarcando un área de 175 hectáreas.

##### 5.1.1 DESCRIPCION GENERAL

El tipo de construcción del Pad Yanacocha Norte es de tipo Valle-Quebrada, sobre la cual se prepara el subrasante que viene a ser la superficie sobre la cual se colocará suelo importado, pudiendo ser esta superficie producto de una excavación o relleno.

La base del pad y todo lo relacionado con los sistemas de colección de solución como canales y pozas, fueron limpiados de todo tipo de material que no son aptos para relleno en obras de ingeniería tales como vegetación, suelo superficial ( top soil ), turba y arcillas suaves.



##### Capa de PL sobre geomembrana

La pila de lixiviación fué construida sobre una superficie de baja permeabilidad de 30 cm . de espesor llamado soil liner, sobre la cual se colocó

una geomembrana de polietileno de baja densidad ( LLDPE 60 mil ) con la finalidad de prevenir la filtración de la solución hacia el suelo. Algunas áreas sensibles fueron cubiertas adicionalmente con una geomembrana de alta densidad ( HDPE 60 mil ) con el propósito de aumentar la protección de la pila.

A esta cubierta sintética se le protegió con una capa de 35 cm. de espesor de gravilla fina molida ( protective layer ) para evitar roturas o agujeros, sobre esta gravilla fina compactada se construyó el sistema de drenaje que consta de tuberías colectoras de solución de HDPE perforadas y recubiertas con una gravillas más gruesa, adicionalmente todo el perímetro de la pila de lixiviación tiene una berma para evitar cualquier posibilidad de fuga de solución.

Toda corriente de agua que originalmente discurría por los terrenos donde hoy se encuentra la pila de lixiviación ha sido canalizada y desviada o de lo contrario es monitoreada en una serie de muestreos de aguas superficiales y pozos de monitoreo de aguas subterráneas instaladas tanto en la parte superior como inferior de la pila.

### 5.1.2 SISTEMA DE COLECCION DE LA SOLUCION

El sistema de colección de la solución preñada esta formado por tuberías colectoras perforadas de 4 pulgadas de diámetro haciendo un ángulo de 45 ° con las tuberías troncales que estan ubicadas en zonas de máxima pendiente y que tienen 24 pulgadas de diámetro, son estas tuberías las que se encargan de llevar la solución hasta un sumidero que luego de ingresar a otro sistema de tuberías la solución preñada es colectada en las pozas.

#### Sistema de drenaje



## 5.2 DESCARGA DEL MINERAL SOBRE LA PILA DE LIXIVIACION

El pad se comienza a cargar con mineral de pequeña granulometría para proteger la base de la pila para cuando ésta alcance alturas de más de 100 metros, al principio se usan camiones de 20 m<sup>3</sup> de capacidad para formar una capa de 2 metros de altura, la cual servirá como protección del sistema de colección y geomembrana, luego se usa la flota de camiones de 70, 80 o 140 TM de capacidad para comenzar a formar capas de 10 metros de altura de mineral.

El mineral que se deposita en el pad no pasa previamente por ningún proceso de chancado o trituración, de esta manera se aprovecha la gran porosidad del mineral y como resultado el costo de operación es bajo.

Una vez que el mineral es depositado sobre el pad, un tractor se encarga de ir nivelando la superficie de la pila con una pendiente positiva de 2 % hacia el centro de esta, donde se comenzaran a armar las celdas para la lixiviación.

<b>MINERAL DEPOSITADO EN LOS PAD</b>			
<b>PAD</b>	<b>TONELADAS</b>	<b>ONZAS</b>	<b>LEY</b>
Carachugo	127,021,500	5,398,189	1.322
Yanacocha Norte	38,532,642	1,352,642	1.092
Maqui Maqui	59,700,183	3,085,898	1.608
Total	225,254,325	9,836,729	1.358

## 5.3 ACONDICIONAMIENTO DEL MINERAL CON LECHADA DE CAL

Conforme se va avanzando en el frente de descarga del mineral, con la ayuda de una cisterna de 5,000 galones de capacidad, se riega lechada de cal para ir regulando el pH entre 9 y 11, esta es una de las condiciones para una buena lixiviación. La dosificación de cal es de 0.6 kilogramos de cal por tonelada de mineral puesto en el pad. La cal que se usa es suministrada por la calera China Linda de propiedad de Minera Yanacocha y adicionalmente por Cementos Norte Pacasmayo.



**Cisterna para regar cal**

#### **5.4 ARMADO Y REGADIO DE CELDAS DE LIXIVIACION**

Una vez que Mina entrega un área para su lixiviación se procede a tender tuberías de HDPE de 6 pulgadas de diámetro, desde unos árboles de válvulas que contienen la solución para regadío, la máxima longitud que pueden tener estas líneas es de 300 metros, a estas tuberías se conectan por medio de uniones de HDPE otras tuberías de 4 pulgadas de diámetro y un máximo de 150 metros de longitud, en estas últimas se colocan las mangueras para regadío por goteo que tienen agujeros cada 80 cm. y la separación entre estas mangueras es de 50 cm.



**Regadío de celdas**

El flujo de regadío es de aproximadamente 10 litros por metro cuadrado por hora, dependiendo de la altura de la pila y la presión con la que llega la solución. La solución cianurada que se riega tiene una concentración de 50 a 60 gramos por metro cúbico de cianuro, el tiempo de regadío promedio es de 45 días y la velocidad de percolación es de 2 a 3 metros por día.



#### **Arbol de válvulas para distribuir la solución**

Se tienen dos alternativas para regar el mineral la primera, que se usa normalmente es el regadío con solución barren, esta es una solución pobre que viene de la planta de precipitación Merrill Crowe, es acondicionada con cianuro a una concentración de 50 ppm. y su flujo es de 1,100 m<sup>3</sup>/hr, como segunda alternativa se tiene el sistema de recirculación por medio del cual se envía 1,000 m<sup>3</sup>/hr de solución barren mezclada con solución de baja ley de la poza de menores eventos al pad de lixiviación.

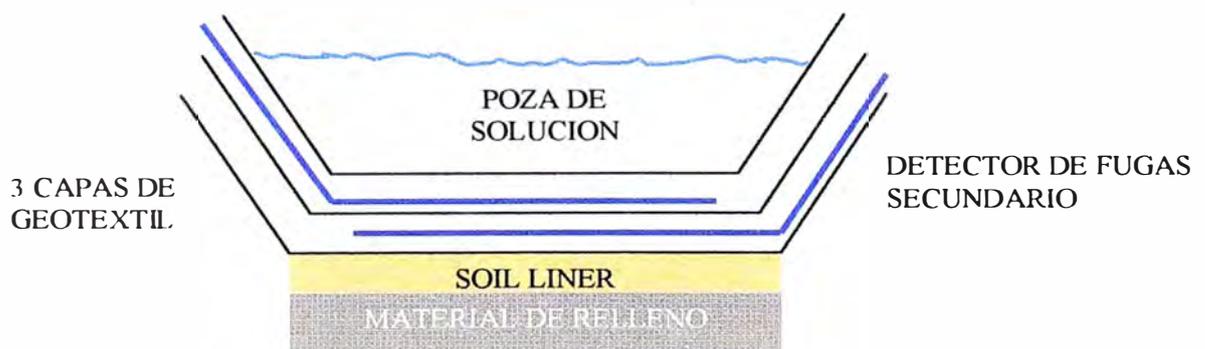
### **5.5 POZAS DE COLECCION**

Las facilidades de Yanacocha Norte cuentan con un sistema de colección de solución en 4 pozas que son como siguen:

- **Poza de Operaciones;** es la principal por que aquí se deposita la solución rica que viene del pad de lixiviación y que irá al proceso Merrill Crowe, tiene una capacidad de 40,000 m<sup>3</sup>, y ha sido contruida con triple revestimiento de geomembrana y un doble sistema de detección de fugas.

- **Poza de Menores Eventos;** es la segunda poza a donde se derivan las descargas de baja ley o cuando en épocas de lluvia la solución rica se enturbia esta tiene que ser derivada a esta poza, su capacidad es de 100,000 m<sup>3</sup> y al igual que la poza de operaciones ha sido construida con triple revestimiento de geomembrana y doble sistema de detección de fugas.
- **Poza de Tormentas;** es la poza que como su nombre lo indica sirve para contener eventos impredecibles, esta diseñada para soportar la tormenta más fuerte de la zona que pueda haber ocurrido en los últimos 100 años, su capacidad es de 150,000 m<sup>3</sup> y tiene las mismas características técnicas de las dos anteriores.
- **Poza de Agua Cruda;** en esta poza se almacenan todas las aguas de escorrentía de los canales de diversión, eventualmente si requerimos almacenar agua para alguna construcción o para uso industrial se usa esta poza que tiene una capacidad de 650,000 m<sup>3</sup> y tiene el mismo sistema de protección al de las anteriores.

DETECTOR DE FUGAS PRIMARIO



Corte transversal de las pozas

## Poza de Operaciones Yanacocha Norte



## CAPITULO VI

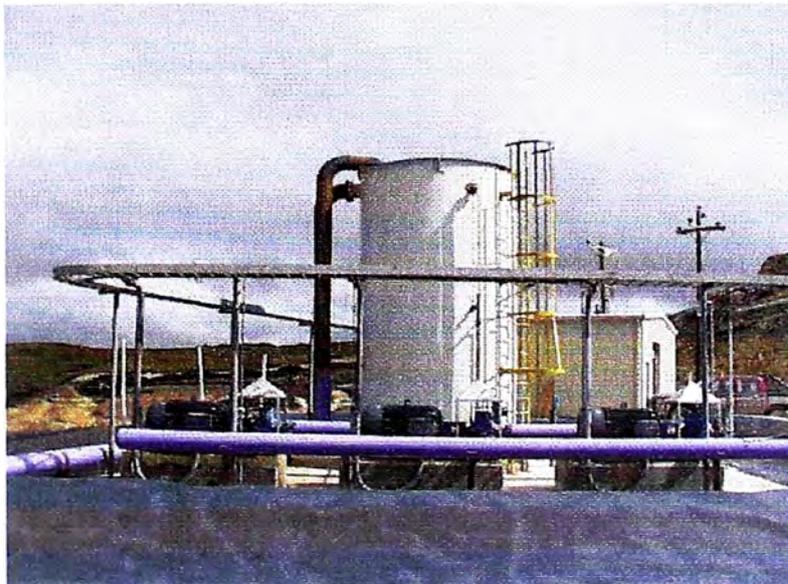
### OPERACIONES DE LA PLANTA DE PROCESOS YANACOCCHA NORTE

#### 6.1 LINEA INTERCONECTADA CARACHUGO – YANACOCCHA

En el mes de Abril del año 1,999 se comenzó a trabajar con una línea interconectada entre las dos plantas de procesos con una capacidad para enviar y recibir solución rica o barren dependiendo de las necesidades de la operación de 600 metros cúbicos por hora.

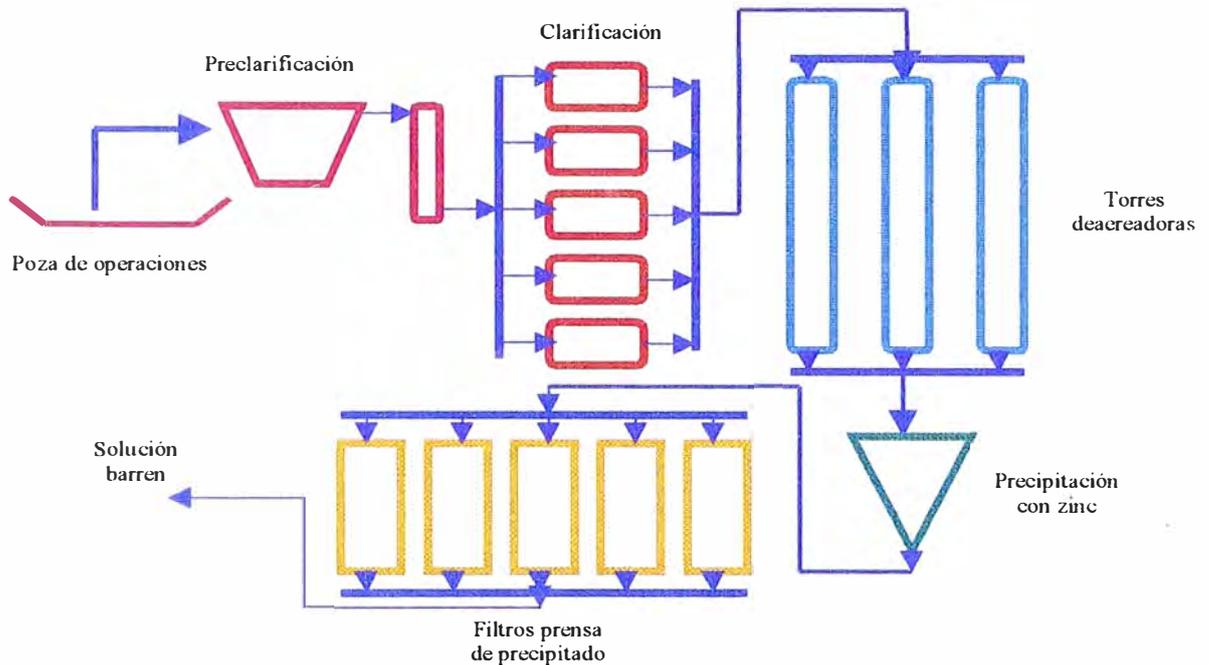
Esta línea interconectada tiene 5 kilómetros de longitud aproximadamente y está formada por dos líneas paralelas por donde se pueden enviar o recibir hasta 600 metros cúbicos por hora de solución rica o barren.

Actualmente esta línea envía 600 metros cúbicos por hora de solución rica desde la poza de operaciones de Carachugo hasta la planta Yanacocha Norte en donde va directamente hasta el reactor preclarificador Hooper, a cambio para mantener el balance hídrico, la planta Yanacocha Norte envía 400 metros cúbicos por hora de solución barren al pad de Carachugo.



Tanque de rebombeo de Línea Interconectada

## 6.2 FLOW SHEET



## 6.3 DESCRIPCION DEL PROCESO MERRILL CROWE

La solución preñada necesita de ciertos requisitos fundamentales para una eficiente cementación del oro a partir de soluciones cianuradas con la adición de zinc en polvo, estos requisitos son los siguientes:

- 1.- La solución preñada debería:
  - Estar clarificada con menos de 5 ppm de sólidos
  - Estar desoxigenada hasta 1 ppm de oxígeno
  - Tener una concentración de cianuro libre
  - Tener un pH en el rango de 9 a 11
- 2.- Adecuada adición de zinc en polvo de alta pureza

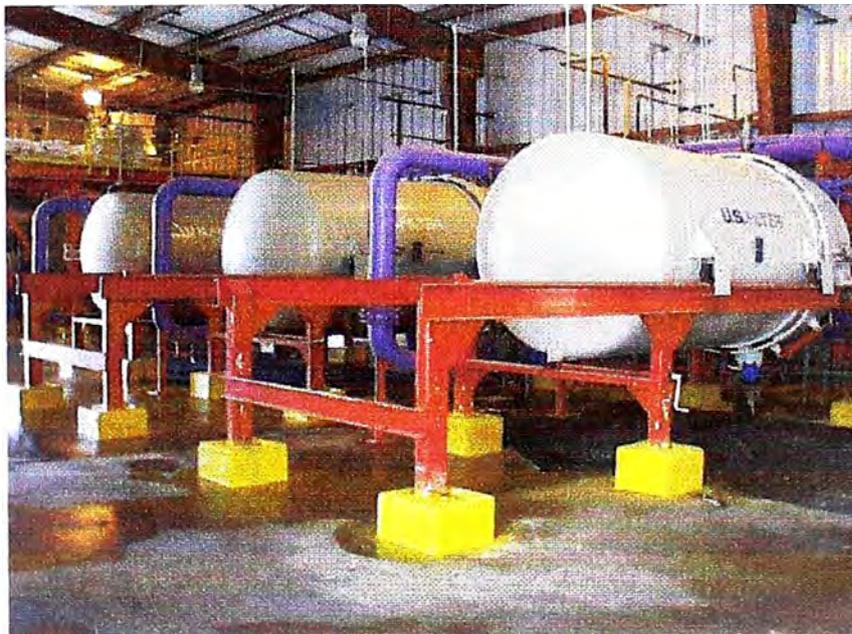
La adición de sales solubles de plomo, el uso de zinc en polvo y la desoxigenación de la solución preñada fueron incorporados en una técnica industrial para la recuperación del oro de las soluciones cianuradas, proceso Merrill Crowe desarrollado en Estados Unidos, este proceso consiste de cuatro etapas básicas:

- 1.- Clarificación de la solución de cianuro preñada.
- 2.- Desoxigenación de la solución.
- 3.- Precipitación de la solución con polvo de zinc.
- 4.- Recuperación del precipitado oro-zinc.

### 6.3.1 CLARIFICACION DE LA SOLUCION PREÑADA

La solución preñada o rica se bombea desde la poza de operaciones con un sistema de bombeo que consta de 6 bombas, esta solución se envía a un reactor preclarificador Hooper en forma de V de donde por rebose alimenta un tubo en forma de pedestal para alimentar a las 4 bombas que se encargan de enviar la solución a los filtros clarificadores, los 5 filtros clarificadores tienen 11 m<sup>3</sup> de capacidad y 90 metros de superficie filtrante cada uno y llevan en su interior un sistema de 28 sectores paralelos forrados con una tela sintética filtrante, llamado medio filtrante, por donde atraviesa la solución que se esta filtrando.

Cada filtro clarificador puede filtrar hasta 500 metros cúbicos por hora de solución. En la operación los filtros clarificadores comienzan un ciclo de filtración con 40 PSI de presión y conforme transcurre el tiempo esta presión va aumentando hasta que cuando llega a 65 PSI el filtro tiene que salir de operación para su lavado correspondiente.



**Filtros Clarificadores Planta Yanacocha Norte**

### **6.3.1.1 FORMACION DE PRECAPA CON TIERRA DIATOMACEA**

La diatomita es un alga microscópica unicelular caracterizada por una compleja estructura celular compuesta principalmente por sílice amorfa.

La filtración es un proceso por el cual las partículas insolubles son separadas de un líquido por el paso de éste a través de un material permeable.

Para hacer eficiente el proceso de filtración es necesario emplear un auxiliar filtrante que cumpla con los siguientes requisitos:

- Debe ser químicamente inerte.
- Debe estar compuesto por una compleja estructura.
- Debe formar una torta porosa contra el medio filtrante y debe ser incompresible.
- Debe estar disponible en diversas granulometrías para cubrir las distintas exigencias del mercado en función de calidad de filtrado, flujo y rendimiento volumétrico.
- Debe desprenderse fácilmente del medio filtrante una vez finalizado el ciclo de filtración.

Los sectores que tienen en su interior los filtros clarificadores tienen que estar revestidos de una precapa de diatomita para que al paso de la solución preñada puedan quedar retenidos los sólidos suspendidos.

La formación de precapa permite:

- Evitar que las impurezas de la solución alcancen el medio filtrante.
- Obtener la calidad de filtrado inmediata.
- Una vez finalizado el ciclo de filtración la torta se desprende limpiamente del medio filtrante.

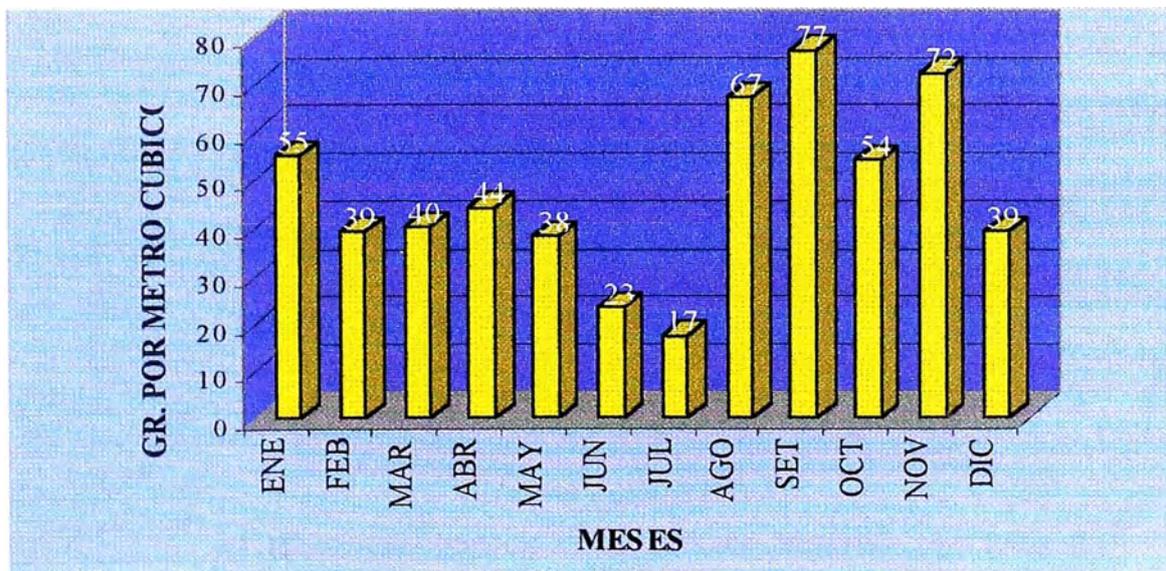
Esta precapa debe tener de 0.7 a 1.5 kg de diatomita por metro cuadrado de superficie filtrante. Para la formación de la precapa se recircula de 15 a 20 minutos una suspensión de diatomita hasta tener un líquido claro a la salida del filtro.

### 6.3.1.2 DOSIFICACION DE TIERRA DIATOMACEA

La dosificación de diatomita que se le agrega constantemente a la solución preñada permite mantener la permeabilidad de la torta filtrante a medida que transcurre el ciclo de filtración. De esta forma se maximiza el ciclo de filtración en función de obtener un flujo más constante y un máximo rendimiento volumétrico.

En general para todo proceso de filtración la dosificación del auxiliar filtrante se relaciona directamente con el contenido de sólidos en suspensión, en la planta Yanacocha Norte se dosifica de 15 a 30 gr de diatomita por metro cúbico de solución, dependiendo de la turbidez, cabe destacar que durante los meses de lluvia se usa más diatomita que durante los meses secos debido a que cuando llueve aumenta significativamente la turbidez de la solución.

### CONSUMO PROMEDIO DE DIATOMITA



### 6.3.1.3 LAVADO DE FILTROS CLARIFICADORES

Una vez que se ha cumplido un ciclo de filtración que puede ser desde una hasta varias horas, llegando hasta las 30 horas inclusive, dependiendo de la turbidez de la solución con que se este trabajando. Se realiza el lavado del filtro, para esto el filtro sale de operación por un tiempo de aproximadamente 6 minutos para realizar la descarga y lavado del filtro. Una vez lavado el filtro se realiza un ciclo de recirculación de tierra diatomácea para recubrir con diatomita los sectores del filtro lo que se conoce como precapa.

### 6.3.2 DESOXIGENACION DE LA SOLUCION PREÑADA

Una eficiente y completa precipitación del oro y plata se consigue por la remoción del oxígeno disuelto en la torre de vacío Crowe. Interiormente esta torre tiene unas placas y está rellena con unos piezas cilíndricas huecas para crear una mayor superficie en la solución y exponerla a la succión de las bombas de vacío. Incluso pequeñas trazas de oxígeno tienen un efecto negativo en la precipitación del oro.



**Torres deaeradoras**

El hidrógeno desprendido durante la disolución del zinc anula el efecto de cualquier traza de oxígeno remanente en solución. Tenemos el control del oxígeno disuelto en solución a la salida de las torres de vacío, este varía desde 0.15 ppm hasta 1.3 ppm dependiendo de varios factores como es el flujo del proceso, saturación de filtros prensa de precipitado, buena operación de las bombas de vacío y bombas de precipitado, dosificación de polvo de zinc.

Una buena precipitación depende del valor del oxígeno disuelto en solución, cuando este valor esta sobre 0.40 algo esta ocurriendo y debemos tomar acción inmediata para evitar que se nos escapen valores altos de oro en la solución barren.

### **6.3.3 PRECIPITACION DEL ORO CON POLVO DE ZINC**

Una vez que la solución preñada ha sido clarificada y deaerada, se le envía por una tubería cerrada sin exponerla al aire atmosférico, a los filtros de precipitado, esta solución no puede ser almacenada.

En esta tubería se va dosificando constantemente polvo de zinc de una granulometría entre 3 y 5 micras, usando dos conos dosificadores llenos de solución para evitar el ingreso de aire a la solución que se esta precipitando. Dentro de esta tubería tenemos un mezclador estático que hace que la solución en contacto con el zinc se agite al pasar por este mezclador.



**Cono dosificador de Zinc**

### **6.3.4 RECUPERACION DEL PRECIPITADO DE ORO-ZINC**

Una vez que se ha precipitado el oro y plata en la solución, ésta se bombea a una serie de cinco filtros prensa de precipitado en los cuales se filtra la solución quedando el precipitado atrapado en las telas filtrantes, luego la solución que sale de los filtros prensa se conoce como solución barren y llega a una

piscina de almacenamiento donde se le agrega cianuro de sodio concentrado y desde donde se bombea al pad para comenzar nuevamente el ciclo de lixiviación.



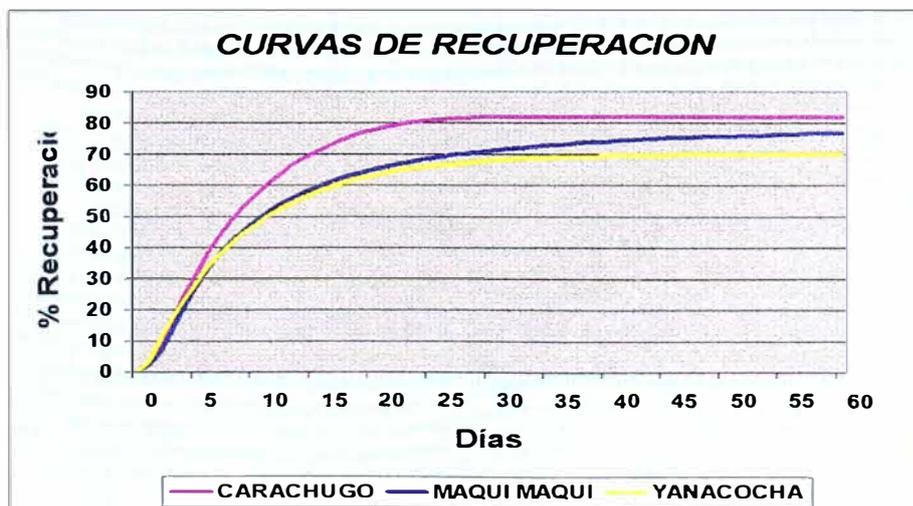
**Filtro prensa de precipitado**

#### 6.4 DATOS TECNICOS DE LA OPERACION

A continuación se detallarán algunos de los datos técnicos más relevantes en las operaciones de la planta Yanacocha Norte, como son recuperación, producción, costos, capacidad instalada, consumo de energía y consumo de reactivos e insumos.

##### 6.4.1 RECUPERACION

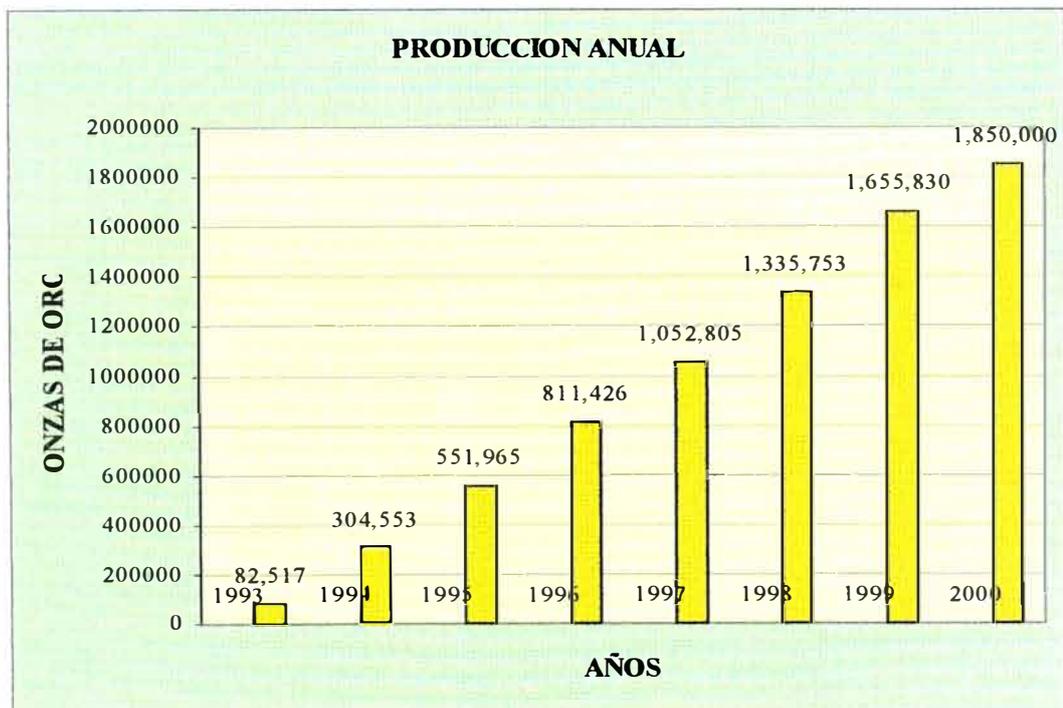
La recuperación en la lixiviación es de cerca del 70%, con un tiempo de regadío entre 30 y 60 días, y la eficiencia del proceso Merrill Crowe es de 98% lo que hace una recuperación final de 69% para el caso del mineral de Yanacocha Norte.



## 6.4.2 PRODUCCION ANUAL

Desde Agosto de 1,993 las operacines de exploración, mina y procesamiento pasaron a producción y en el comienzo las reservas estuvieron situadas en 1,000,000 de onzas que iban a tratarse en 5 años con una producción de 200,000 onzas por año. Ahora después de 7 años de operaciones las reservas aumentaron a 40,000,000 de onzas con una producción de cerca de 2, 000,000 de onzas anuales para los próximos 20 años. La mina fue diseñada para mover 10,000 toneladas por día, actualmente se mueven 300,000 toneladas diariamente con un ratio promedio de 0.5 toneladas de desmonte por tonelada de mineral.

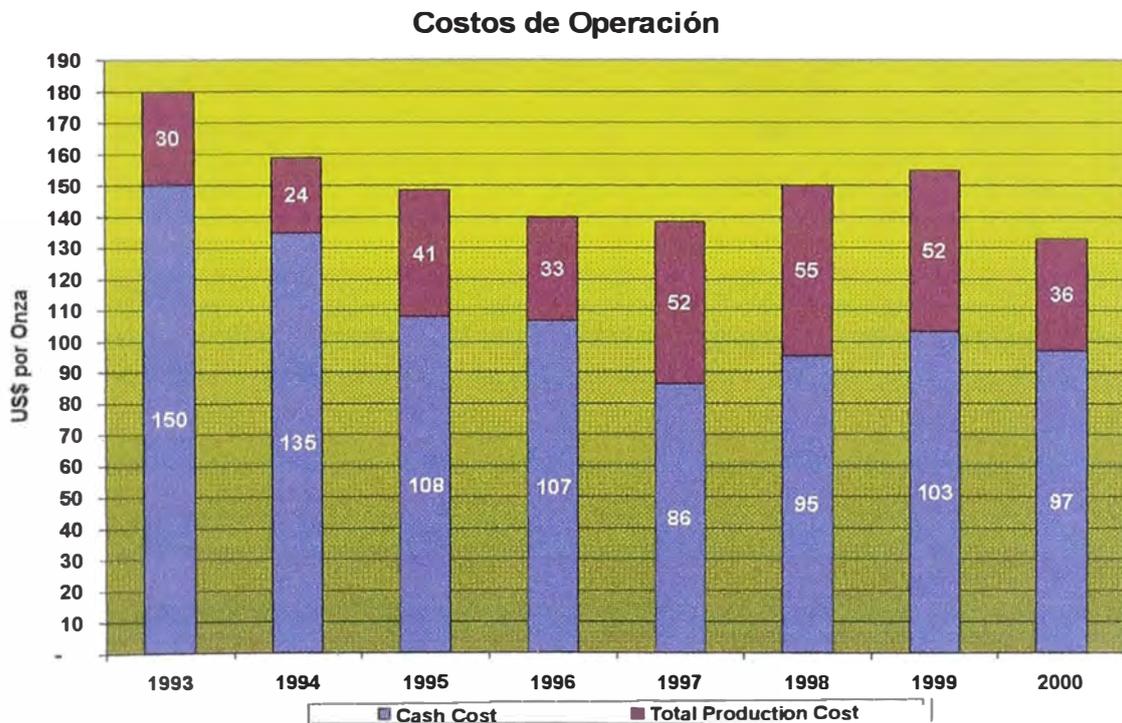
La producción ha venido creciendo a una tasa promedio de 23 % en los últimos 5 años como resultado de los esfuerzos desarrollados en cada una de las áreas que involucran las operaciones de Minera Yanacocha.



Actualmente los valores de plata en la mina Yanacocha Norte son de 15 gr/ton y en La Quinoa de 4 gr/ton, durante el año 2,000 se han producido 1,600,000 onzas de plata, para el año 2,001 se espera producir 3,200,000 onzas de plata que permitirá bajar nuestro cash cost en US \$4 la onza.

### 6.4.3 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación de operación han sido variables desde los US\$180 por onza de costo total del año 1,993 hasta un mínimo de US\$138 del año 1,997, a partir de este año subió consecutivamente durante los años 1,998 y 1,999 debido básicamente a las inversiones que se realizaron para las ampliaciones de los pads de lixiviación y exploraciones de las futuras minas, a partir del año 1,999 la Corporación Newmont comenzó a difundir el modelo de Gold Medal Performance basado en la participación total de todos los empleados eliminando sistemáticamente las ineficiencias dentro de la compañía y como un modo en que la dirección planifica el futuro, implanta los programas y controla los resultados con vistas a una mejora permanente. Este modelo ha comenzado a dar sus resultados y en el año 2,000 se ha tenido un costo total de US\$133 por onza, sustentado principalmente en la reducción de costos en las operaciones de mina, lixiviación y procesos.



En lo que se refiere al proceso de lixiviación y Merrill Crowe los costos son como siguen:

<b>Costos de Planta</b>	<b>US \$</b>
Costo por tonelada puesta en el Pad	0.30
Costo por onza producida	12.80
Costo de energía por Kwh	0.06

<b>Costos de Planta por Etapas</b>	<b>US \$ por onza</b>
Lixiviación	5.60
Merrill Crowe	1.64
Refinería	0.71
combustible, energía, mantenimiento	4.85
<b>Total</b>	<b>12.80</b>

<b>Costos del Proceso Merrill Crowe</b>	<b>US \$ por m<sup>3</sup></b>	<b>Porcentaje</b>
Polvo de zinc	0.028	34.1%
Diatomita	0.024	29.3%
Sueldos	0.010	12.2%
Otros	0.020	24.4%
<b>Total</b>	<b>0.082</b>	<b>100%</b>

#### **6.4.4 CAPACIDAD INSTALADA**

La planta de procesos Yanacocha Norte comenzó a operar el 24 de Diciembre de 1,997 procesando 300 metros cúbicos por hora de solución rica, para esta fecha la planta tenía una capacidad instalada de 900 metros cúbicos por hora y contaba con 2 bombas de solución rica, 2 filtros clarificadores, 2 torres de vacío, tres bombas de vacío, un cono dosificador de zinc, 2 bombas verticales de precipitado y 2 filtros prensa de precipitado.

En este momento y con la ampliación de sus instalaciones, la planta Yanacocha Norte cuenta con 5 bombas de solución rica, 5 filtros clarificadores de 500 metros cúbicos de capacidad de filtración por hora cada uno, 3 torres de vacío, 2 de 800 metros cúbicos de capacidad por hora y la tercera de 1,300 metros cúbicos de capacidad por hora, 5 bombas de vacío, 2 conos dosificadores de zinc, 5 bombas verticales de precipitado y 5 filtros prensa de precipitado.

Con toda esta ampliación hoy en día la planta se encuentra operando con una capacidad instalada de 2,500 metros cúbicos por hora.

#### **6.4.5 CONSUMO DE ENERGIA**

El consumo de la planta con la nueva ampliación incluyendo las bombas de recirculación y la línea interconectada entre plantas llega a los 5,000 Kw/hora de energía, para esto se cuenta con una instalación a la red interconectada nacional de 60 Kv, que nos provee Hidrandina, adicionalmente contamos con una central térmica que consta de 3 Generadores Caterpillar de 1,000 Kw cada uno y uno adicional de 700 Kw, de manera que en caso de emergencia contamos con una capacidad para generar energía de 3,700 Kw, suficiente para mantener nuestra planta en operación.

#### **6.4.6 CONSUMO DE REACTIVOS E INSUMOS**

Los reactivos e insumos que se consumen en el proceso Merrill Crowe básicamente son:

- **Diatomita**, la diatomita se usa para formar la precapa en los filtros clarificadores y también se le agrega en forma continua a la solución. Adicionalmente formamos una fina precapa de diatomita en los filtros prensa de precipitado para facilitar la descarga de estos filtros.

Tomando en cuenta el uso de diatomita en las diferentes partes del proceso su consumo promedio es de 47.4 gramos por metro cúbico de solución. Esto hace un consumo mensual de 78 toneladas de diatomita mensual.

- **Zinc**, el zinc se usa para la precipitación del oro y la plata de la solución rica, adicionalmente se agrega zinc en la fina precapa de los filtros prensa de precipitado para tener un mejor control del contenido de oro en la solución barren.

La razón entre la cantidad de zinc usado en la precipitación es de 3.5 gramos de zinc por cada gramo de oro y plata en solución, esto hace un consumo mensual de zinc de 30 toneladas.

- **Cianuro de sodio**, el consumo de cianuro depende de la fuerza de cianuro con que se quiere regar el pad de lixiviación, pueden haber meses en que se consume hasta 50 toneladas como otros en los que se consume 10 toneladas.
- **Anticrustante**, el anticrustante es un reactivo que se le agrega a la solución barren para evitar la formación de costras calcáreas en las paredes de las tuberías, su consumo es de 1,600 kilogramos mensual.
- **Petróleo**, el petróleo se usa solo cuando se necesita generar energía con nuestra central térmica y su consumo es de 3,200 galones por día para todos los generadores.

## 6.5 CONSIDERACIONES MEDIO AMBIENTALES

El Manejo Ambiental de Yanacocha en realidad no es otra cosa que un complejo sistema de procesos planificados que involucran a todas las áreas que trabajan en Yanacocha, a los organismos fiscalizadores y nuestro entorno social.

El punto de partida para todos estos procesos es la política ambiental de la empresa, la cual está claramente definida por el compromiso de lograr la excelencia en el manejo ambiental.

Bajo esta premisa es que empezamos a desarrollar diferentes procesos, como son la preparación de estudios de impacto ambiental, que son requisito indispensable para iniciar cualquier tipo de operación y en ellos se detallan las características propias del medio ambiente donde se realizará la actividad minera, la manera de la explotación del recurso mineral, los impactos ambientales que vamos a generar y los más importante, las diferentes medidas de mitigación de estos impactos.

Una vez desarrollado el proceso de elaboración y aprobación de los estudios de impacto, se empieza la ejecución y construcción del proyecto. Durante esta etapa se ejecutan, de manera simultánea, varios procesos como el de supervisión ambiental. Esta supervisión ambiental implica una serie de coordinaciones con las diferentes áreas involucradas en la construcción y ejecución del proyecto, que van desde la revisión de la factibilidad ambiental de diseños hasta las coordinaciones en campo durante la ejecución.

Dicha supervisión está orientada al asesoramiento ambiental en todos los niveles, para aseguramos de manera efectiva, el cumplimiento de los procedimientos y normas

ambientales desarrollados por Yanacocha. Como es de suponer, estos procedimientos tienen la intención de cubrir todas las actividades que de una u otra forma pueden afectar el medio ambiente.

Otro proceso importante dentro del Manejo Ambiental de Yanacocha, es el monitoreo ambiental, el cual viene a ser una estrecha evaluación de los efectos que podríamos estar causando como producto de nuestra actividad minera. Para poder realizar este monitoreo de forma eficiente, es necesario iniciar estas evaluaciones ambientales antes de iniciar las operaciones, que vendría a ser lo que se denomina la “línea de base” y que no es otra cosa que un punto de partida, que nos va a permitir evaluar, mediante un monitoreo continuo durante la etapa de operación de la mina, si es que la calidad de los principales componentes del medio ambiente ( agua, aire o suelo ) han sufrido algún impacto. De ser este el caso, se determinaran las medidas de control o mitigación adecuadas, con la finalidad de minimizar estos impactos.

Un claro ejemplo de este proceso es el programa de monitoreo de calidad de las aguas que realiza Yanacocha, que se basa en la toma de muestras para su posterior análisis e interpretación de los resultados, que nos permitirá identificar posibles problemas ambientales de manera oportuna, así como una efectiva toma de medidas correctivas.

Finalmente, dentro de Manejo Ambiental de Yanacocha, tenemos el proceso de restauración y cierre de áreas, el cual puede ser de manera temporal o definitivo dependiendo del caso.

Para el cierre final se desarrollan diversos estudios que nos aseguren la estabilidad ambiental en el tiempo, de las áreas que se van a cerrar. En este proceso, las áreas a cerrar recuperan en la medida de lo posible una fisiografía acorde con el entorno natural, para posteriormente acondicionarla con la tierra orgánica y revegetarla.

En algunos casos específicos, como las canchas de lixiviación, las áreas a cerrar requieren de un tratamiento previo para evitar la posterior liberación de residuos contaminantes.

Un aspecto importante a resaltar, es que el manejo ambiental es muy dinámico y que se debe adaptar y actualizar permanentemente para poder cubrir las necesidades que se vayan presentando, conforme avanza el desarrollo de la mina y de los procesos productivos.

Siendo así, es parte de nuestro compromiso como empresa el aprovechar la experiencia de las situaciones adversas que se nos presentan, para enriquecer la

retroalimentación y seguir esforzándonos cada vez más para mantener y superar los altos estándares de manejo ambiental alcanzados hasta el momento.

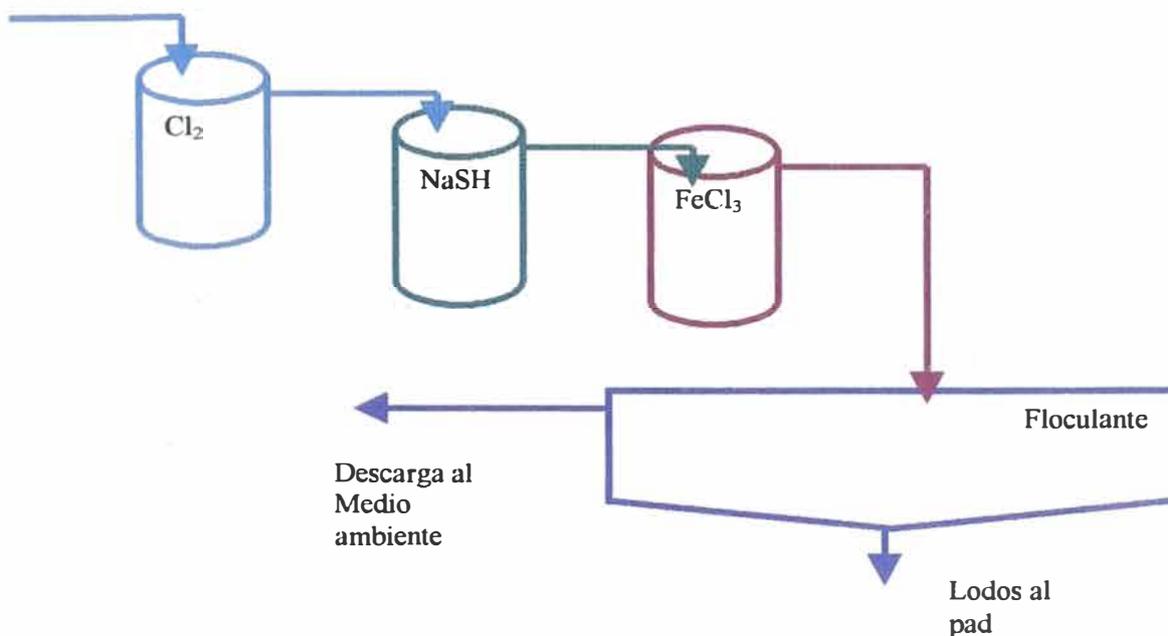
## 6.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE EXCESO DE AGUA

Durante los meses de lluvias se acumula diariamente grandes cantidades de agua, esta agua es recogida en las extensas áreas expuestas ya sean pads, canales, pozas, etc. Como es necesario mantener un balance hídrico en nuestras operaciones, debemos de tratar el exceso de agua para poder regresarlo al medio ambiente, para esto contamos con dos plantas de tratamiento de exceso de agua, una en Carachugo y la otra en Yanacocha Norte.

La planta de tratamiento de exceso de agua de Yanacocha Norte cuenta con dos circuitos, con una capacidad de tratamiento de 500 m<sup>3</sup>/h cada uno. El método que se usa para la destrucción del cianuro y remoción de metales de la solución, es el de clorinación alcalina para el caso del cianuro y formación de sulfuros de los metales, para la separación sólido-líquido.

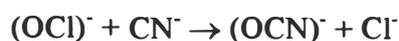
### FLOW SHEET PLANTA DE TRATAMIENTO DE EXCESOS DE AGUA

Solución barren

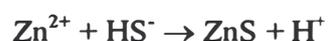
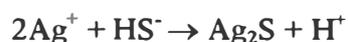
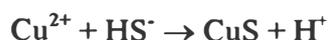
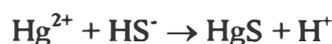


A continuación se presentan las reacciones que tienen lugar para este propósito.

- El cloro gaseoso se disuelve en agua y es usado para convertir el cianuro a cianato no tóxico según las reacciones siguientes:



- El hidrosulfuro reacciona con iones de los metales para formar sulfuros de metal insolubles según las siguientes reacciones.



- El cloruro férrico reacciona en soluciones alcalinas para formar principalmente hidróxido férrico que actúa como una ayuda de coagulación y sirve para la remoción de los sulfuros de metal.



Una vez que el agua esta tratada pasa por un análisis del departamento de Medio Ambiente de la compañía y son ellos quienes finalmente autorizan la descarga del agua tratada al medio ambiente.

## **CONCLUSIONES**

- El proceso de lixiviación en pilas es factible para minerales de baja ley siempre y cuando se trate grandes tonelajes de mineral.
- La porosidad del mineral es relevante, no solo para poder tener bajos costos de operación, sino también para tener altas recuperaciones, porque cuando el mineral es muy poroso se pueden evitar las etapas de chancado y/o molienda que demandan grandes costos en energía.
- El proceso Merrill Crowe es uno de los procesos más económicos para recuperar oro de soluciones cianuradas.
- El ciclo de lixiviación es corto debido a la gran porosidad del mineral.
- La automatización de la planta de procesos permite un buen monitoreo permanente de la operación, dando muy buenos resultados de eficiencia.
- La aplicación de un programa de manejo de aguas son determinantes cuando las operaciones de lixiviación se ejecutan en regiones de extrema lluviosidad.
- El proceso de clorinación se aplica para detoxificar soluciones cianuradas, los resultados obtenidos demuestran que con estos procesos podemos alcanzar niveles de cianuro wad debajo de los standares requeridos.

## **BIBLIOGRAFIA**

Solution Mining

Handbook of Mineral Dressing

Principios de Hidrometalurgia

Ingeniería Metalúrgica

Introduction to Mineral Processing

Procesamiento extractivo del oro

Minas y Petróleo

Auxiliares filtrantes

U.S. Department of Treasury

[www.kitco.com](http://www.kitco.com)

[www.nyse.com](http://www.nyse.com)

[www.newmont.com](http://www.newmont.com)

[www.metalprices.com](http://www.metalprices.com)

[www.barrick.com](http://www.barrick.com)

[www.perú-minería.com](http://www.perú-minería.com)

[www.minería.com](http://www.minería.com)

[www.anglogold.com](http://www.anglogold.com)

[www.avgold.co.za](http://www.avgold.co.za)

Robert W. Bartlett

A. F. Taggart

Venancio Astucuri T

Ivan Quiroz N.

Jhon M. Curie

Tecsup

L & L Editores

Celite Chile S.A.