

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO DE LA RECUPERACIÓN DEL MERCURIO
METÁLICO A PARTIR DE LOS LODOS DE DEPURACIÓN
HÚMEDA DE LOS GASES DE LA PLANTA DE ÁCIDO
SULFÚRICO DE UNA REFINERÍA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

**WILER HERNANDO HUARINGA SALAZAR
RODOLFO JOAQUIN FERRUA HUARCAYA**

LIMA – PERÚ

2007

Agradecimiento

A mi enamorada, novia, amante, confidente y fiel esposa Máxima Lavado Antonio e hija Yamilet Yelina, por la comprensión y apoyo incondicional.

También a mis padres Cupertino y Cerila, a todos mis hermanos Roger, Elmer, Norma, Nilda, Melva, Percy y Gina

Wiler

Agradecimiento

A mis padres: Hipólito y Bertha, a mi esposa Antonia y a mis hijos: Rodolfo, Christian y Gabriela por el apoyo recibido.

Rodolfo

Resumen

Nuestro país es rico en minerales de diferentes leyes, su extracción originó la existencia de muchos depósitos de relaves de ciertos minerales de baja ley en todas las zonas mineras del Perú, produciendo la contaminación del medio, ríos, aguas subterráneas, terrenos de cultivo de poblaciones rurales y urbanas.

El presente trabajo propone desarrollar un estudio técnico económico para evaluar la factibilidad de recuperar el mercurio que es un poderoso contaminante del medio ambiente y además una sustancia de gran valor en la metalurgia del oro. Por tratamiento de los lodos metalúrgicos provenientes de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla.

En el Capítulo I, se trata sobre los antecedentes de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, los procesos metalúrgicos, los objetivos planteados a desarrollar en el presente estudio como son: Eliminar los residuos de mercurio en el efluente metalúrgico, desarrollar una tecnología de recuperación del mercurio y uso del mercurio en la recuperación del oro.

En el Capítulo II, se describe al mercurio y sus efectos en el medio ambiente, la contaminación por mercurio, características, reseña y datos históricos, importaciones y exportaciones de mercurio, procedencia de la materia prima, estado natural de los minerales, yacimientos en el Perú, características de la blenda (esfalerita) y las propiedades de los distintos minerales en estado natural, análisis del concentrado, especificaciones del concentrado, proceso de producción de zinc y ácido sulfúrico,

En el Capítulo III, se presenta la seguridad industrial, inspecciones, protección personal, adiestramiento en seguridad, uso de equipo de protección, peligros a la seguridad y a la salud, almacenamiento del mercurio, y en el aspecto de la higiene industrial tenemos acciones de emergencia, control de fuego, fugas, derrames y desechos.

En el Capítulo IV, se expone la tecnología del proceso empezando por la obtención del mercurio metálico, las operaciones unitarias en el proceso de

producción como transporte de lodos, lixiviación, decantación, precipitación, sedimentación y lavado, una selección de equipos y el método de obtención de la mina Santa Bárbara Brocal del mercurio y del cinabrio.

En el Capítulo V, se detalla el diseño de planta, previamente se hace una descripción del proceso, se evalúa el balance de materia, lodos en base seca, mercurio total, mercurio recuperado, sulfuro de sodio, soda cáustica y aluminio requerido, el balance de energía para proceder al diseño de equipos principales y secundarios.

En el Capítulo VI, describe las características de la inversión de tres alternativas y construir la planta de tratamiento, determina el financiamiento más adecuado ante dos opciones: financiamiento externo, financiamiento interno o con recursos propios.

En el Capítulo VII, se expone la evaluación económica del proyecto, el análisis de tres alternativas, la primera (A); instalación de la planta fuera de Cajamarquilla, la segunda (B); instalación de la planta de recuperación dentro de la planta de Cajamarquilla, utilizando equipos nuevos y la tercera alternativa (C); instalación de la planta en Cajamarquilla, utilizando equipos dados de baja. Aquí observamos que la alternativa C es la mejor con un $VAN_C = \$40\,730 > VAN_B = \$18\,984$ para una tasa de corte del 5% y evaluando mediante la tasa interna de retorno (cuando en $VAN = 0$), tenemos: $TIR_C = 22,76\% > TIR_B = 11,43\%$.

En el Capítulo VIII, se menciona las principales conclusiones y recomendaciones; en el Capítulo IX referencias bibliográficas y en el Capítulo X, se pone los anexos, cuadros y diagramas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN.....	IV
ÍNDICE	VI
INDICE DE CUADROS	X
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
CAPITULO I : INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos del estudio.....	2
CAPITULO II : EL MERCURIO Y SUS EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE	3
2.1 Contaminación	3
2.1.1 Contaminación ambiental.	3
2.1.2 Contaminación ambiental por mercurio.....	4
2.1.2.1 Contaminación ambiental por mercurio en los alimentos.	5
2.1.2.2 Contaminación ambiental por mercurio en el suelo	6
2.1.2.3 Contaminación ambiental por mercurio en la atmósfera.....	7
2.1.3 Efectos que produce la contaminación por mercurio	8
2.2 El mercurio	9
2.2.1 Características del mercurio	9
2.2.2 Reseña histórica del mercurio	10
2.2.3 Datos históricos y estadísticos en el Perú.....	11
2.2.3.1 Datos históricos.....	11
2.2.3.2 Importaciones de mercurio	12
2.2.3.3 Exportaciones de mercurio	13
2.3 Procedencia de los concentrados de Zinc como materia prima	13

2.3.1	Concentrados de Zinc.....	13
2.3.2	Yacimientos en el Perú.....	14
2.3.2.1	Atacocha.....	15
2.3.2.2	Milpo.....	15
2.3.2.3	Raura.....	15
2.3.2.4	Santa Rita.....	16
2.3.2.5	Recuperada.....	16
2.3.2.6	Contonga.....	16
2.3.2.7	Proaño.....	16
2.3.2.8	Huampar.....	17
2.3.2.9	Chungar.....	17
2.3.2.10	Paragsha.....	17
2.3.2.11	Volcán.....	18
2.3.2.12	Perubar.....	18
2.3.3	Características de la blenda (esfalerita).....	18
2.3.4	Análisis del concentrado.....	21
2.3.5	Especificaciones del concentrado.....	21
2.4	Proceso de producción de Zinc y Ácido Sulfúrico.....	22
2.4.1	Etapas del proceso de los concentrados de Zinc.....	23
2.4.2	Propiedades de los lodos de depuración.....	26
2.4.2.1	Planta de producción de ácido sulfúrico.....	27
CAPITULO III : SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL.....		36
3.1	Seguridad industrial.....	36
3.1.1	Inspecciones.....	36
3.1.2	Protección personal.....	39
3.1.3	Adiestramiento en seguridad.....	44
3.1.4	Uso de equipo de protección personal.....	48

3.1.5 Peligros de seguridad y salud.....	49
3.1.6 Almacenamiento.....	52
3.2 Higiene industrial.....	53
3.2.1 Acciones de emergencia.....	53
3.2.1.1 Primeros auxilios.....	53
3.2.1.2 Control de fuego.....	54
3.2.1.3 Fugas y derrames.....	54
3.2.1.4 Desechos.....	57
CAPITULO IV : TECNOLOGIA DEL PROCESO	59
4.1 Procesos de obtención del mercurio metálico.....	59
4.2 Operaciones unitarias en el proceso de producción	62
4.2.1 Transporte de lodos a la tolva de almacenamiento.....	62
4.2.2 Lixiviación.....	62
4.2.3 Decantación	62
4.2.4 Precipitación.....	62
4.2.5 Sedimentación.....	63
4.2.6 Lavado.....	63
4.3 Selección de equipos.....	63
4.4 Métodos de obtención del mercurio.....	65
CAPITULO V : DISEÑO DE PLANTA.....	67
5.1 Descripción del proceso.....	67
5.2 Balance de materia	68
5.2.1 Cálculos del sulfuro de sodio (Na_2S) requerido.....	68
5.2.2 Soda cáustica y aluminio requerido.....	69
5.3 Balance de energía.....	71
5.4 Diseños de equipos principales	72
5.4.1 Transporte de lodos mercuriales (materia prima)	72

5.4.2 Disolución de mercurio.....	73
5.4.3 Envío de la solución lixiviada.....	75
5.4.4 Precipitación del mercurio.....	77
5.4.5 Provisión de vapor	77
5.5 Diseños de equipos secundarios.....	77
5.5.1 Almacenamiento de lodos.....	77
5.5.2 Disolventes de lixiviación	78
CAPITULO VI : INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO.....	80
6.1 Inversión.....	80
6.2 Financiamiento.....	81
CAPITULO VII : EVALUACIÓN ECONOMICA.....	83
7.1 Costo total de inversión.....	84
7.1.1 Capital fijo.....	84
7.2 Costo total del producto	85
7.2.2 Gastos generales	86
7.3 Utilidad neta	87
7.4 Flujo de caja	88
7.5 Valor presente neto.....	88
7.6 Tasa de retorno.....	90
CAPITULO VIII : OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
8.1 Observaciones	92
8.2 Conclusiones.....	93
8.3 Recomendaciones	93
CAPITULO IX : BIBLIOGRAFÍA.....	95
CAPITULO X : APENDICE	97

INDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1 : Usos del mercurio	10
CUADRO N° 2 : Asientos de explotación de las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII.....	12
CUADRO N° 3 : Importaciones de Mercurio	12
CUADRO N° 4 : Estado Natural	14
CUADRO N° 5 : Propiedades del mineral	19
CUADRO N° 6 : Análisis del producto	21
CUADRO N° 7 : Especificaciones del Concentrado	22
CUADRO N° 8 : Composición de Gases de Tostación.....	25
CUADRO N° 9 : Tamaño de partículas de Lodos de Depuración	26
CUADRO N° 10 : Composición química de lodos de lavado de gases.....	27
CUADRO N° 11 : Alternativas de Evaluación Económica	86

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N° 1 : Vista panorámica de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla	1
Figura N° 2 : Cristales de Esfalerita.....	13
Figura N° 3 : Recepción de Concentrados de Zinc.....	23
Figura N° 4 : Diagrama de flujo - Cajamarquilla.....	35
Figura N° 5 :- Diagrama de equipos.....	64
Figura N° 6 : Esquema del Balance de Masa por Lotes	70
Figura N° 7 : Comparación de alternativas B y C.....	90

CAPITULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Debido a la naturaleza de los procesos metalúrgicos en la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, existen residuos sólidos, efluentes y emisiones. Las emisiones gaseosas contienen mercurio, poderoso contaminante del medio ambiente y además es una substancia de gran valor en la metalurgia, por lo que se propone desarrollar un estudio técnico-económico para evaluar la factibilidad de recuperar el mercurio por tratamiento de los lodos metalúrgicos provenientes del lavado de gases.



Figura N° 1 : Vista panorámica de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla

1.2 Objetivos del estudio

Los objetivos son los siguientes:

- Eliminar los residuos de mercurio en el efluente metalúrgico evitando la contaminación de la poza de regantes, cuya agua se utiliza en la agricultura, ganadería y demás actividades domésticas en el valle de Cajamarquilla.
- Desarrollar una tecnología de recuperación de mercurio.
- Uso del mercurio para la recuperación del oro en la unidad minera de San Antonio de Poto.

CAPITULO II : EL MERCURIO Y SUS EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

2.1 Contaminación

2.1.1 Contaminación ambiental.

- Contaminación es cualquier deterioro del medio ambiente causado por un exceso de residuos biológicos, industriales u otros factores externos.
- La contaminación es la introducción en un medio cualquiera de un contaminante, es decir, la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en el medio.
- La contaminación química se produce como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas, cuando se generan desperdicios biológicos o industriales que superan la capacidad del medio ambiente para absorberlos y proveerlas al ecosistema.

Desde principios de siglo existen personas preocupadas por el agotamiento de los recursos y por la superpoblación mundial. El hombre se preocupa principalmente por su bienestar material, para ello extrae del planeta todos los recursos que puede sin importarle mucho las consecuencias; solamente cuando los efectos adversos de la contaminación se hicieron palpables y dramáticos, el hombre empezó a preocuparse por las consecuencias de sus acciones.

Los países industrializados producen un mayor grado de contaminación por efectos de residuos industriales, pero los países subdesarrollados, sobre todo si están superpoblados, tienen alto grado de contaminación por otros efectos: falta de alcantarillado sanitario y acondicionamiento de los desechos sólidos, carencia de plantas de

tratamiento de aguas servidas, deficiente sistema de obtención de agua potable. La contaminación de los países subdesarrollados y en los países industrializados, afecta la salud del hombre y tiene también impacto sobre los recursos naturales.

La contaminación se puede controlar por varios métodos:

- a. Conociendo las leyes de la naturaleza y los efectos de nuestras acciones y tratando de vivir en armonía con la naturaleza.
- b. Limitando el consumismo y evitando el uso innecesario de bienes materiales (exceso de automóviles, de televisores, de ropa, de alimentos enlatados o sobre empaquetados, de alfombras y cortinas, uso excesivo del agua, de gasolina, electricidad) ya que el consumo desmedido de bienes ocasiona un agotamiento de los recursos naturales y un deterioro del ambiente.
- c. Usando la ciencia y la tecnología para contrarrestar los efectos de algunas de las acciones del hombre, mediante controles tecnológicos.
- d. Legislando, reglamentando y prohibiendo ciertas acciones perjudiciales al ambiente.
- e. Evitando el crecimiento poblacional e industrial desmedido.

2.1.2 Contaminación ambiental por mercurio

Las emisiones de mercurio en el aire, agua o tierra pueden venir en forma natural de los suelos, la vegetación, de incendios forestales, superficies de aguas, fuentes geológicas y otros, como fuentes antropogénicas.

Cuando los residuos metalúrgicos con mercurio no es controlado debidamente, es el mayor responsable de la contaminación de aguas y sedimentos en ríos y lagos, atmósfera, suelos, vegetación y peces. En forma directa o indirecta también afecta a los seres humanos, provocándoles una enfermedad, aguda o crónica que a veces alcanza niveles de envenenamiento, denominada mercurialismo.

Cuando se detecte la presencia de mercurio, se deben realizar muestreos sistemáticos que abarquen todos los sistemas posiblemente

contaminados, ya que algunos de ellos, cuando las concentraciones no son elevadas, no resultan medios de muestreo efectivos.

Se ha demostrado que este tipo de contaminación causa un impacto grande y duradero en el ambiente y que luego de producida aún cuando se controlen las fuentes de emisión, no siempre es posible restablecer el ecosistema original.

En el Perú en Madre de Dios, se encuentra la principal amenaza de contaminación por mercurio debido a la extracción aurífera en sus diferentes modalidades. En Cajamarca la población también está expuesta a la contaminación por presencia de metales pesados, entre ellos el mercurio utilizado en yacimientos auríferos y poli-metálicos.

El mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos por su capacidad de biomagnificación: es decir, sus efectos se acumulan y se transmiten de unas especies biológicas a otras.

2.1.2.1 Contaminación ambiental por mercurio en los alimentos.

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por el mercurio se produce mediante la biomagnificación de metilmercurio en la cadena alimenticia acuática. El metilmercurio en la biota tiene una vida media de un año. Con el tiempo se acumula en los organismos acuáticos en concentraciones y niveles más elevados. Se han realizado esfuerzos para determinar los mecanismos regulatorios para la ingesta de metilmercurio en los peces.

La mayor exposición de mercurio en la población se debe a los alimentos y a las amalgamas dentales. Los peces y productos derivados son la fuente dominante de exposición humana (e ingesta) debido a su alta retención de metilmercurio.

En una exposición significativa de vapor de mercurio elemental con una alta retención de mercurio puede ocurrir debido a las amalgamas dentales, dependiendo de la cantidad de curaciones. La exposición a compuestos inorgánicos de mercurio

ocurre principalmente de alimentos diferentes al pescado, con una baja retención de mercurio.

La mayoría del mercurio lanzado al aire sale de las chimeneas de los incineradores de basura y las plantas de electricidad. La contaminación del mercurio en el aire cae en los lagos y ríos, así como en el suelo. Baja hasta el fondo de los cuerpos de agua y se lo comen los peces y otros animales acuáticos. Los peces más grandes se comen a los más pequeños por lo que los peces mayores y los que se alimentan del fondo reciben la mayor contaminación de mercurio.. Desgraciadamente, algunos de los peces del océano y mariscos están contaminados con mercurio.

Las fábricas lo desechan y se depositan en el sedimento donde las plantas marinas lo absorben, Los organismos herbívoros que se alimentan de ellas a la vez que se contaminan lo transmiten a los peces de la zona y además animales de las cadenas alimenticias acuáticas como son las aves y mamíferos marinos. Este fenómeno que se mencionó anteriormente como biomagnificación se debe a que el mercurio que absorben los organismos vivos, ya sean plantas, peces u hombres, no se elimina sino que se va acumulando.

2.1.2.2 Contaminación ambiental por mercurio en el suelo

El mercurio, considerado como un metal pesado muy tóxico, se encuentra en el suelo, especialmente en zonas volcánicas.

Las principales fuentes de contaminación son la natural, debida a los desprendimientos o el desgaste de la corteza terrestre y, la causada por el hombre, también llamada antropogénica, siendo ésta la más abundante del total, en un 75%.

El mercurio también es utilizado en la extracción artesanal del oro, por algunas industrias de producción de pesticidas, y esta presente en la composición de algunos fármacos y cosméticos.

La minería metálica y su producción originan emisiones en el suelo, la contaminación por mercurio ha sido causada por su uso en las minas de oro.

La actividad minera también contamina los suelos, a través de las aguas de relave. De este modo, llegan hasta ellos ciertos elementos químicos como mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu), arsénico (As), plomo (Pb), etcétera. Por ejemplo: el mercurio que se origina en las industrias de cemento, industria del papel, plantas de cloro y soda, actividad volcánica, etcétera.

La mayor parte de las emisiones se convierte en residuos sólidos y su disposición final se realiza según las regulaciones sobre desechos tóxicos. La industria de hierro y acero y la de fertilizantes principalmente, deben enfrentarse con la disposición de residuos sólidos que contienen mercurio. Cuando los residuos industriales y productos que contienen mercurio no se reciclan, se envían a vertederos. Las baterías caseras han sido la mayor fuente de mercurio en productos usados o desechados.

2.1.2.3 Contaminación ambiental por mercurio en la atmósfera

Se calcula entre 5 000 y 10 000 toneladas las emisiones de mercurio que llegan anualmente a la atmósfera y de ellas entre 50 y 75 por ciento son producto de la actividad humana, especialmente la combustión de carbón en las centrales eléctricas.

Ese metal, una vez en la atmósfera o en el subsuelo, puede infiltrarse lentamente, contaminar las aguas subterráneas e intoxicar algunas especies marinas.

Los incineradores utilizados para quemar los desechos hospitalarios y municipales se han relacionado con serias amenazas a la salud pública y la contaminación del medio ambiente.

La "lluvia" de mercurio se deposita sobre la nieve y el hielo, lo que hace temer que en la época de deshielo las partículas de ese metal líquido vayan a parar al océano, donde pueden ser ingeridos por peces, ballenas y focas, y así entrar en la cadena alimenticia humana.

2.1.3 Efectos que produce la contaminación por mercurio

El mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos que afecta el sistema nervioso, incluyendo el cerebro. Aún en pequeñas porciones, la exposición al mercurio puede causar problemas con el lenguaje, la atención y la memoria. Los fetos y los niños pequeños son los más vulnerables a los daños al cerebro por el mercurio. Por lo tanto, es de suma importancia que las mujeres en edad de embarazo y los niños aprendan a evitar cómo ser envenenados. Hasta ahora, no ha habido suficiente educación pública sobre esto. Diez por ciento de las mujeres en este país ya tienen niveles de mercurio en su sangre que son lo suficientemente altos para causar riesgos a la salud de su feto si salen embarazadas. (Ref. 23 pag. 12)

El mercurio es bioacumulativo y tóxico a los riñones y al sistema nervioso. Al convertirse rápidamente a su forma orgánica en el medio ambiente, el mercurio interfiere con el desarrollo normal del cerebro. En los Estados Unidos, los niveles actuales de mercurio en el medio ambiente son suficientes como para forzar a 27 estados que avisen a las mujeres embarazadas y a las mujeres en edad reproductiva que no consuman pescado proveniente de aguas locales.

Los vapores de mercurio entran por vía respiratoria, se absorben por las membranas alveolares y pasan directamente al torrente sanguíneo. En forma de metilmercurio también se pueden absorber al consumir alimentos contaminados, como ocurrió con peces en Minamata, Japón. Se intoxicaron miles de personas, otras murieron y un número elevado de niños nació con defectos congénitos y alteraciones irreversibles del sistema nervioso central. En Irak hubo un envenenamiento masivo por consumo de pan hecho con granos tratados con metilmercurio como funguicida.

Los principales daños causados por el metal se presentan en el sistema nervioso central, y se manifiestan con temblores, alteraciones de la sensibilidad, pérdida de la memoria, hiperexcitabilidad, eretismo y disminución de los reflejos. Puede haber consecuencias a largo plazo, como daño renal, bronquitis, neumonitis intersticial, inflamación pulmonar,

sabor metálico, aumento en la salivación, inflamación de la mucosa bucal y de las encías, tos, dolores de pecho, diarrea, vómito y hemorragia.

Cuando una mujer embarazada se expone al metilmercurio a través del consumo de alimento contaminado, el feto puede presentar daños neurológicos irreversibles.

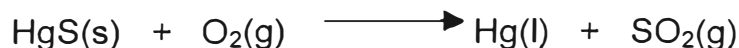
2.2 El mercurio

2.2.1 Características del mercurio

A temperatura ambiente, el mercurio es un líquido gris plateado que se congela a $-38,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ y hierve a $356,09\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a que su presión de vapor es bastante baja a temperatura ambiente y varía muy poco en un amplio intervalo de temperatura, el mercurio se usa comúnmente en los termómetros y en los barómetros. A pesar de su costo elevado, se usa industrialmente como disolvente de la plata y del oro y de ciertos metales activos como el sodio en algunos procesos electrolíticos.

El mercurio se encuentra ocasionalmente en estado libre o en amalgamas con los metales preciosos. Sin embargo, su estado natural es un mineral denso, de color café rojizo, llamado cinabrio (HgS) que se encuentra ampliamente distribuido en los Estados Unidos, México y Europa.

El mercurio se refina fácilmente, El cinabrio se concentra primero mediante el proceso de flotación. El concentrado se tuesta en el aire:



El mercurio liberado se destila de la ganga y se purifica por filtración, oxidación de sus impurezas y redestilación.

A temperatura ambiente, el mercurio reacciona con el azufre, con el sulfuro de hidrógeno y con los halógenos. Reacciona con el oxígeno a temperaturas superiores a $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mercurio tiene dos estados de oxidación, el mercurioso (I) y el mercúrico (II).

El cloruro de mercurio (II), HgCl_2 , llamado comúnmente sublimado corrosivo, es un veneno mortal y se usa como rodenticida en otras preparaciones similares. Debido a su mayor solubilidad, el cloruro

mercúrico puede fácilmente separarse del Hg_2Cl_2 por disolución. Según el **“Bureau of Mines”** de los Estados Unidos los usos más importantes del mercurio son: (Cuadro N° 1)

CUADRO N° 1 - Usos del mercurio

DESCRIPCION	PORCENTAJE %
Farmacéuticos	5
Preparaciones dentales	3
Agricultura (insecticidas, fungicidas, bactericidas.	22
En pinturas	2
En la preparación electrolítica del cloro y la soda caustica	12
Catálisis	2
Aparatos eléctricos	29
Instrumentos de control industrial	12
Amalgamación	1
Usos generales de laboratorio	2
Otros	10
Total	100

2.2.2 Reseña histórica del mercurio

El conocimiento del mercurio se remonta a la Pre-historia, referencias escritas a dicho metal se encuentran en los escritos del filósofo griego Aristóteles (384 – 322 A.C.) concernientes a su uso en ceremonias religiosas.

El ateniense Callias (415 A.C.) recuperó mercurio beneficiando al cinabrio.

En la China existen testimonios que mencionan la existencia de la pintura bermellón (cinabrio) y el metal líquido antes de Cristo.

Hasta el siglo XVI el consumo de mercurio fue reducido y principalmente en usos médicos y cosméticos.

Una gran demanda de mercurio se produjo a raíz del descubrimiento del procedimiento del patio por Bartolomé Medina, en

Pachuca (México) en 1557, para recuperar la plata por amalgación; el proceso se aplicó extensamente en México, Perú y otros países. La producción de la plata estaba en función de la disponibilidad del mercurio y de ahí la gran importancia de la famosa mina de mercurio Santa Bárbara, en Huancavelica.

En 1643 el mercurio ingresa a los usos científicos y tecnológicos cuando Torricelli fabricó el primer barómetro de mercurio para medir la presión atmosférica.

En 1720, Fahrenheit inventó el termómetro de mercurio. El mercurio fue reconocido como un verdadero metal en 1759 cuando el profesor Braune, en San Petersburgo (Rusia), tuvo éxito al congelar el metal a 40 °C bajo cero.

Antes de 1850 tres minas dominaban la producción mundial de mercurio Almadén (España) que arrancó 400 A.C. , Idria (Yugoslavia) que inició en 1470 y Santa Bárbara (Huancavelica – Perú) que comenzó a producir en 1566.

En 1954, la famosa mina Santa Bárbara reinició su explotación, después de un siglo de paralización.

De todos estos testimonios se deduce que la minería y metalurgia del mercurio se ha practicado cuando menos durante 2500 años de la historia del hombre.

2.2.3 Datos históricos y estadísticos en el Perú

2.2.3.1 Datos históricos

Como datos históricos tenemos los contratos a Asientos para la explotación de las minas de Huancavelica entre los siglos XVI y XVII, el primero de los asientos fue acordado en 1573, tras sólo una semana de expropiadas las minas y con la participación de tres mineros: Pedro de Contreras, Rodrigo de Torres Navarra y Juan de Sotomayor. En el Cuadro N° 2 se dan los datos relativos a la producción durante el periodo arriba mencionado.

CUADRO N° 2 : Asientos de explotación de las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII

Periodo	Virrey	N° Mineros	Producción Hg (Quintales)
1573 - 1574	Toledo	3	1500
1575 - 1576	Toledo	3	4000
1582 - 1586	Toledo	37	9000
1587 - 1590	Villar	42	7500
1591 - 1598	Cañete	57	6822
1599 - 1603	Velasco	13	4000
1604 - 1608	Velasco	13	2500
1618 - 1623	Esquilache	36	6600
1624 - 1630	Guadalcázar	-	4200
1631 - 1645	Chinchón	26	4200
1646 - 1683	Mancera	29	6820
1684 - 1744	Palata	44	7370

Fuente: (Ref. 30 pag. 6).

2.2.3.2 Importaciones de mercurio

CUADRO N° 3 : Importaciones de Mercurio

Año	kg Mercurio	Valor FOB US\$	Flete US\$	Seguro US\$	Valor CIF US\$
1994	19153	160109	9205	2289	171603
1995	15244	132441	6701	2215	141357
1996	27316	204449	8870	2593	215912
1997	44810	282017	18513	3895	304425
1998	25115	240644	14177	2946	257767
1999	67359	571670	21485	4291	597446
2000	11706	96561	4516	886	101963
2001	4161	26978	957	284	28219

Fuente: Boletín de la Sociedad Minera, Metalurgica y Geologica.

Nov - 2002 Lima - Perú .

2.2.3.3 Exportaciones de mercurio

Según los datos obtenidos en la Oficina de Estadísticas del Ministerio de Comercio, el Perú en el año 1986, exportó 100 kg de mercurio hacia Chile por un monto de US\$ 750 (valor FOB)

2.3 Procedencia de los concentrados de Zinc como materia prima

La materia prima utilizada en la refinera de zinc de Cajamarquilla procede de los distintos yacimientos del país, los cuales serán vistos con bastante detalle en este capítulo.

2.3.1 Concentrados de Zinc

El mineral principal de la materia prima es la esfalerita (ZnS) acompañado de galena, con gangas comunes como pirita y cuarzo y cantidades menores de calcita y rodocrosita.

A pesar de ser el mineral económico más abundante, la esfalerita era desechada en el pasado, pues no contenía plata y el precio del zinc era muy bajo para cubrir los gastos de transporte. CEMSA empezó a producir concentrado de zinc en 1950 continuando hasta el presente.

La esfalerita tuvo un periodo de deposición relativamente largo; la mayor parte se depositó al principio formando un material cristalino o granular de color rojizo a pardo oscuro. Una pequeña parte, de color rojizo o amarillento, se depositó al final, formando masas cristalinas en vetas o cristales en cavidades.

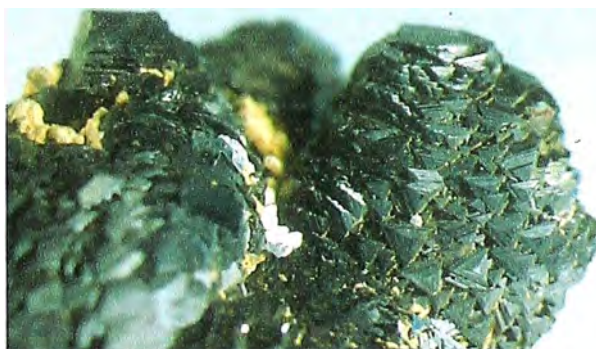


Figura N° 2 : Cristales de Esfalerita

CUADRO N° 4 : Estado Natural

YACIMIENTO	ESTADO NATURAL DE LOS MINERALES
Atacocha	Cuarzo, pirita, esfalerita, galena
Milpo	Galena, esfalerita, plata, silicatos, pirita, fluorita, calcita
Raura	Tennantita argentífera, galena, blenda, pirita, cuarzo, calcita
Santa Rita	Cuarzo, pirita, esfalerita
Recuperada	Cuarzo, pirita, galena, esfalerita, caolín, calcopirita, limonita
Contonga	Pirita, galena, esfalerita, limonita
Proaño	Arsenopirita, calcopirita, esfalerita, estibina, galena, magnetita, pirita, cuarzo, tetraedrita
Huampar	Cuarzo, pirita, galena, esfalerita, tetraedrita, calcopirita, baritina.
Chungar	Energita, galena, esfalerita
Paragsha	Galena, esfalerita
Volcán	Enargita, galena, esfalerita
Perubar	Cuarzo, pirita, galena, esfalerita.

Fuente: (Ref. 3, 4, 7, 10, 25 y 26)

2.3.2 Yacimientos en el Perú

Los yacimientos son los siguientes:

- | | |
|--------------|-------------|
| 1 Atacocha | 7 Proaño |
| 2 Milpo | 8 Huampar |
| 3 Raura | 9 Chungar |
| 4 Santa Rita | 10 Paragsha |
| 5 Recuperada | 11 Volcán |
| 6 Contonga | 12 Perubar |

2.3.2.1 Atacocha

El Distrito minero de Atacocha está ubicado a 15 km al N.E. de Cerro de Pasco, políticamente pertenece al departamento de Pasco y al Distrito de Yanacancha y está a 4000 m.s.n.m.

Geomorfológicamente se tiene la superficie Puna, la zona Cordillerana, y la zona Valles, se tiene las lagunas de origen glaciar de Lulicocha y Nahuelpum.

2.3.2.2 Milpo

Milpo se halla en la Cordillera Central dentro del grupo de montañas que forman el Nudo de Pasco a dos kilómetros al sur de Atacocha a 15 km al Este de Cerro de Pasco, y en el flanco Este de un gran sinclinal donde se alinean hacia el Norte los yacimientos de Atacocha y Machcan.

El área mineralizada tiene una longitud de un kilómetro en dirección Nor-Este, Sur-Este, y un ancho de 500 metros a una altura de 3 900 a 4 350 metros sobre el nivel del mar.

La geología de Milpo se encuentra favorecida por la intensa erosión que permite observar las características físicas de las rocas que constituyen el ambiente geológico del yacimiento.

2.3.2.3 Raura

La región de Raura se encuentra situada en la zona limítrofe entre los departamentos de Lima y Huánuco, específicamente entre el límite de las provincias de Cajatambo en el departamento de Lima y Dos de Mayo en el de Huánuco, aproximadamente a 60 km N 60° O del yacimiento minero de Cerro de Pasco y a 30 km al norte de la cuenca carbonífera de Oyón.

Raura esta unida al puerto marítimo de Huacho por una carretera de 165 km de longitud que pasa por los pueblos de

Churín, Sayán y Huaura. La comunicación entre Raura y La Oroya, centro metalúrgico del país, se hace a través de Lima debido a la ausencia de una ruta más directa.

2.3.2.4 Santa Rita

Se encuentra ubicado en el departamento de Ancash, provincia de Recuay al norte de la quebrada Ichihuisca. Tiene afloramiento en superficie de 600 m. El rumbo y buzamiento es E-O 82° S. En superficie se nota la presencia de cuarzo, pirita, esfalerita. La estructura es bien definida.

2.3.2.5 Recuperada

Se encuentra también en el departamento de Ancash, al sur de la quebrada Pachacruri.

En esta mina hay una variedad de minerales tales como cuarzo, pirita, galena, esfalerita, calcopirita, caolín.

2.3.2.6 Contonga

Las minas de Contonga están situadas en el distrito de Yauli a 190 km de Lima.

En vista de la baja Ley y del pequeño tamaño de los clavos mineralizados, se considera que el área tiene sólo reservas limitadas. Tres vetas en los lados norte, oeste y sur de stock pueden merecer una exploración en profundidad.

2.3.2.7 Proaño

Esta región minera se encuentra a 80 – 85 km (en línea recta) al E – NE de la ciudad de Lima. Sus coordenadas geográficas son:

11°46" - 11°48' latitud sur.

76°20' - 76°22' longitud oeste de Greenwich, comprendiendo elevaciones entre 2 900 m. y 4 100 m sobre el nivel del mar. Políticamente pertenece al distrito de San Mateo, provincia de Huarochiri, departamento de Lima.

Las minas son de origen hidrotermal y se han emplazado en zonas de cizallamiento y fracturación.

2.3.2.8 Huampar

Este yacimiento se localiza a unos 75 km al NE de Lima en las cabeceras del valle Santa Eulalia.

Desde Lima se llega por carretera, ya sea ascendiendo por el valle de Santa Eulalia (140 km) o tomando la ruta de Marcapomacocha desde Casapalca.

Esta mina consiste de vetas de Ag-Pb-Zn en volcánicos terciarios.

Latitud :	11°33'03" S	Departamento :	Lima
Longitud	76°27'48" O	Provincia :	Huarochiri.
Elevación	4 400 m.s.n.m	Distrito:	Huanza.

2.3.2.9 Chungar

Se halla situado en el distrito de Marcapomacocha, que pertenece a la provincia de Yauli, departamento de Junín en plena cordillera de los Andes y al oriente de las divisiones continental, a unos 4 700 m.s.n.m.

2.3.2.10 Paragsha

Este yacimiento se ubica en el conglomerado de minas en Cerro de Pasco, y más de 4 000 m.s.n.m.

2.3.2.11 Volcán

Volcán Mines Co. se encuentra en Ticlio, zona que goza del clima frío característico de las punas y cumbres andinas superiores a los 4 000 m.s.n.m. El viaje desde Lima puede efectuarse tanto por carretera como en tren, tomando en este último caso el Ferrocarril Central del Perú.

2.3.2.12 Perubar

Está ubicado en el distrito de San Mateo, departamento de Lima, está a 2 900 m.s.n.m.

2.3.3 Características de la blenda (esfalerita)

La blenda (esfalerita), la mena más importante del zinc, es un mineral extremadamente corriente, y está asociado con la galena, pirita, marcasita, calcopirita, smithsonita, calcita y dolomita. Está especialmente distribuida en el centro del país (Junín, Pasco) en filones y depósitos en caliza de irregular situación. La blenda se encuentra también en filones en las rosas ígneas y en los depósitos metamorfosis de contacto.

Tiene un color blanco cuando es puro, y verde, cuando es casi puro. Corrientemente amarillo, castaño a negro, oscureciéndose con el aumento del contenido de hierro.

La blenda puede reconocerse por su brillo resinoso brillante y su exfoliación perfecta. Las variaciones oscuras pueden reconocerse por la raya castaño – rojizo. El sulfuro de zinc puro es infusible. Calentado sobre carbón, da olor de anhídrido sulfuroso y con la mezcla reductora presenta aureola de óxido de zinc.

En el Cuadro N° 5 se muestran las propiedades de los distintos minerales en estado natural.

CUADRO N° 5 : Propiedades del mineral

MINERAL	RAYA	COLOR	GRAV. ESP.	DUREZA	EXFOLIACION	SIST. CRISTALINO	PARTICULARIDADES
Cuarzo SiO ₂	-	Incoloro, blanco amatista	2.65	7	-	Romboédrico	Cristales con estriación horizontal sobre el prisma: terminados con pirámide
Pirita FeS ₂	Verdosa o Pardo negra	Amarillo latón pálido	5	6 – 6 ½	(0,1,1)	Cúbica	A menudo en piritoedros o cubos estriado. Masivo granular. El más común de los sulfuros.
Esfalerita ZnS o Blenda	Pardo claro	Pardo claro a oscuro	3.9 a 4.1	3 ½ - 4	Perfecta y dodecaédrica (0,1,1) seis direcciones	Isométrico	Cristales tetraédricos. Los ejemplares más oscuros son ricos en hierro
Galena PbS	Gris plomo	Gris plomo	7.5	2 ½	Cúbica perfecta (1,0,0)	Cúbica	No funde a la llama de la vela, pero se forma glóbulos metálicos de plomo en su superficie
Plata Ag.	Blanca de plata brillante	Blanco plata en superficie reciente	10.5	2 ½ - 3	-	Cúbica	Maleable, Corrientemente en granos irregulares. Pueden presentarse en grupos de cristales planos.
Fluorita CaF ₂	-	Incoloro, verde, violeta, rosado, amarillo	3.18	4	Octaédrica, cuatro direcciones de exfoliación (1,0,0,1)	Cúbica	Cristales cúbicos, a menudo con mezclas de penetración
Calcita CaCO ₃	-	Incoloro, blanco y tintes diversos	2.71	3	Romboédrica y en tres direcciones en ángulo oblicuo (1,0, 1, 1)	Romboédrica	Efervescente en ácido en frío. Aparece en grandes masas como caliza y mármol.
Tennantita Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	Negra o parda	Negro grisáceo a negro	4.6	3	Tetraédrica (1,1,1)	Tetraédrica	Se descompone por el ácido nítrico. Calcinado y humedecido con HCl, da la llama azul del cloruro de cobre

CUADRO N° 5 : Propiedades del mineral

(Continuación)

MINERAL	RAYA	COLOR	GRAV. ESP.	DUREZA	EXFOLIACION	SIST. CRISTALINO	PARTICULARIDADES
Caolín $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$	-	Incoloro, blanco	2.6	2 – 2 1/2	Perfecta, poco frecuente	Monoclínico	Compacto terroso se humedece da color arcilloso. Es la base de la mayor parte de las arcillas.
Calcopirita S_2CuFe	Negra, verdosa	Amarillo latón	4.1 a 4.3	3 ½ - 4	Diesfenoidal (1,1,2)	Tetragonal	Se descompone con ácido nítrico y da azufre, y con solución amoniacal un precipitado rojo castaño.
Limonita $FeO(OH)$	Pardo amarillento a ocre	Pardo oscuro a negro	4.37	5 - 5 ½	-	No tiene forma cristalina	En tubo cerrado, da agua y se transforma en Fe_2O_3
Arsenopirita $FeAsS$	Negra	Gris plomo	6.07	5 ½ - 6	(1,0,1)	Monoclínico	Generalmente masivo cristales seudo rómbicos
Estibina Sb_2S_3	Gris negra	Gris plomo	4.6	2	Exfoliación perfecta pinacoidal {0,100}	Ortorómbico	Funde fácilmente a la llama de una vela. Caracterizado por agregados cristalinos hojosos con estriaciones cruzadas.
Magnetita Fe_3O_4	Negra	Negra	5.18	6	Octaédrica (1,1,1)	Cúbico	Fuertemente magnética. Puede presentar fractura octaédrica.
Tetraedrita $S_3Sb_4(Cu,Fe,Zn,Ag)_{12}$	Negra	Gris de acero, se toma negro mate al aire.	4.7 a 5	3 – 4 ½	Tetraédrica (1,1,1)	Cúbico	Frecuentemente asociado a las menas de plata.
Baritina $BaSO_4$	-	Incoloro, blanco, azul, amarillo.	4.5	3 – 3 ½	Basal (0,0,1) en ángulo recto con la prismática {2,1,0}	Ortorómbico	Agregados de cristales planos o tabulares, brillo perlado sobre la exfoliación basal. Característico por su fuerte densidad.
Enargita S_4AsCu_3	Negro grisáceo	Negro gris	4.4	3	Prismática {1,1,0}	Ortorómbico	Generalmente en masas hojosas exfoliables. Asociado a otros minerales de cobre.

Fuente: (Ref. 3, 4, 7, 10, 25 y 26)

2.3.4 Análisis del concentrado

El análisis del producto según la procedencia del mineral se muestra en el Cuadro N° 6 siguiendo el orden establecido en el acápite 2.3.2.

CUADRO N° 6 - Análisis del producto

ELEMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zn %	55.070	56.450	56.200	56.980	56.110	51.520	48.430	54.870	56.890	49.270	56.440	54.060
Fe %	5.060	4.110	4.620	4.300	5.460	7.570	8.530	5.750	3.410	12.040	5.550	9.230
Pb %	1.070	1.420	0.830	0.720	1.970	1.070	1.640	0.880	0.900	2.100	1.080	0.500
Cu %	1.510	1.150	2.980	0.390	0.760	1.520	5.540	0.270	0.570	0.110	0.290	0.260
Cd %	0.270	0.320	0.180	-	0.320	0.220	0.190	0.320	0.080	0.150	0.080	0.280
CaO %	0.980	0.980	0.280	-	0.110	0.860	0.190	0.080	0.260	0.160	0.190	0.530
Mg %	0.200	0.070	0.070	0.100	0.080	0.130	0.050	0.040	0.080	0.050	0.170	0.090
As %	0.110	0.090	0.090	0.060	0.100	0.060	0.520	1.380	0.050	0.180	0.130	0.050
Sb %	0.030	0.040	0.030	0.060	0.040	0.020	0.050	0.070	0.030	0.040	0.040	0.020
Ni ppm	18.280	9.770	9.190	-	8.140	12.570	18.000	8.670	8.500	9.670	8.430	9.290
Co ppm	71.830	9.000	33.000	-	25.570	28.140	8.000	87.670	8.000	9.500	8.580	8.860
Tl ppm	12.150	9.380	8.000	16.000	9.000	9.710	18.000	9.670	10.500	20.770	10.220	12.860
Ge ppm	1.670	2.070	1.610	-	1.570	1.710	4.000	1.000	1.500	3.000	2.860	1.430
Mn %	0.560	0.880	0.610	-	0.100	0.520	0.340	0.180	0.390	0.090	0.370	0.180
SiO ₂ %	1.630	1.190	0.930	2.500	1.390	1.450	2.050	2.120	2.270	0.830	1.660	0.680
Al ₂ O ₃ %	0.140	0.120	0.090	0.500	0.150	0.160	0.310	0.250	0.390	0.200	0.021	0.180
Insol %	2.070	1.600	1.370	-	1.810	2.070	2.600	3.130	4.050	1.080	2.600	1.250
S total %	32.001	32.100	32.720	30.000	33.290	32.870	34.700	32.930	32.130	33.600	30.820	32.550
Bi %	0.034	0.016	0.021	-	0.003	0.044	-	0.003	0.008	0.015	0.003	0.003
In %	0.009	0.014	0.014	-	0.002	0.008	-	0.002	0.007	0.026	0.020	0.002
Ag oz/tc	2.660	5.840	4.380	-	2.780	3.510	10.000	4.040	2.240	4.990	4.090	0.570

1 Atacocha, 2 Milpo, 3 Raura, 4 Santa Rita, 5 Recuperada, 6 Contonga, 7 Proaño, 8 Huampar, 9 Chungar, 10 Paragsha, 11 Volcán, 12Perubar

FUENTE: Reporte mensual de análisis del Laboratorio de la Refinería de Cajamarquilla

2.3.5 Especificaciones del concentrado

Una vez que la materia prima procedente de los distintos yacimientos del país llega a la refinería de Cajamarquilla, es almacenada según su procedencia, previo análisis, para establecer luego un balance con todos los lotes recepcionados y así alimentar una mezcla homogénea al horno de tostación.

La mezcla ideal para la tostación debe cumplir con las siguientes especificaciones:

CUADRO N° 7 : Especificaciones del Concentrado

COMPOSICION	PORCENTAJE %
H ₂ O	8,32
Zn	52,97
Cu	0,80
Cd	0,19
Fe	7,66
Pb	1,55
Ag	4,34 Onz/T.C.
S Total	31.02

Fuente: Reporte estandarizado de Planta de Cajamarquilla

Cabe mencionar la necesidad de un contenido mínimo de humedad en el producto de la mezcla homogénea.

2.4 Proceso de producción de Zinc y Ácido Sulfúrico

Los procesos y operaciones a que es sometida los concentrados de la blenda en la refinería de Cajamarquilla su objetivo principal es de producir zinc, y ácido sulfúrico.

Un aspecto importante de realzar es la automatización e instrumentación que existe en Cajamarquilla para la ejecución y control de todas las operaciones.

De la columna de vacío se extrae los lodos residuales, que es la materia prima para recuperar el mercurio.

2.4.1 Etapas del proceso de los concentrados de Zinc



Figura N° 3 : Recepción de Concentrados de Zinc

a. Recepción de concentrados

La blenda procede de las distintas concentraciones con un tamaño de grano ya normalizado por la empresa, este material es recepcionado por lotes en pilones debidamente señalados según la procedencia del mineral.

Estas pilas de recepción se encuentran por debajo de la línea de ferrocarril de tal manera que al llegar el vagón a la pila correspondiente se efectúe la descarga abriendo la compuerta situada en el piso del vagón facilitando así la tarea.

En caso de que el material sea transportado en volquetes o camiones la descarga se realiza al costado de la pila correspondiente.

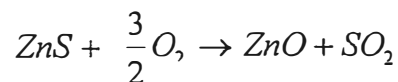
b. Homogenización de los concentrados

Una vez que el material proveniente de las distintas concentraciones se encuentra en Cajamarquilla, un cargador frontal saca material de pilas distintas en igual proporción para alimentar a una faja

transportadora que cuenta con un electroimán y separa todo material ferroso antes de depositar la blenda en tolvas donde se efectúa el pre-mezclado; luego el material es pesado y transportado a otras dos tolvas donde se completa el mezclado, y será nuevamente pesado antes de alimentar al horno.

c. Tostación

Frente al horno de tostación se localiza la oficina donde se encuentra el panel de control de todos los equipos de la planta. en este lugar dos operadores controlan y se toman datos de todos los parámetros. Desde las tolvas de alimentación se dosifica el ingreso del concentrado mediante un plato giratorio hacia el horno de lecho fluidizado, en donde se realiza la tostación de la blenda de acuerdo a la siguiente ecuación química.



Por el tope del horno salen los gases entre los que se encuentran el SO_2 , y por el fondo la calcina con un alto contenido de ZnO.

Caudal de calcina	:	12 240 t/h
% de recuperación calcina total	:	48%

d. Enfriamiento de los gases

Los gases que salen del tope son enfriados en el caldero por el cual se hace recircular agua tratada como refrigerante, obteniéndose de esta manera vapor sobrecalentado que posteriormente será utilizado en otros procesos de la refinería.

CALCINA RECUPERADA DEL CALDERO

% Recuperación calcina del total	:	19%
Caudal	:	4 845 t/h

PRODUCCION DE VAPOR

Caudal	:	26 m ³ /h	T ent.gas	:	947 °C
Presión	:	41 bar	T sal.gas	:	306 °C
Temp. Caldera	:	641 °C			
Temp. Vapor	:	350 °C			

Del mismo modo en el horno se recupera la calcina que ha sido arrastrada por los gases. Luego esta calcina recuperada es transportada hasta un enfriador giratorio para ser finalmente pulverizada en un molino de bolas.

e. Ciclones y electrofiltros

Los gases provenientes del caldero pasan a dos ciclones en los que se depositan polvos finos de calcina ricos en plata, luego continúan hacia dos electro-filtros secos que están en serie con los ciclones, encontrándose los gases en este punto a 280 °C.

CALCINA DE CICLONES

% Recuperación calcina del total : 30%
Caudal : 7 650 t/h

CALCINA DE ELECTROFILTROS

% Recuperación calcina del total : 3%
Caudal : 765 t/h

f. Columna de vacío

Los gases procedentes de la tostación tienen la siguiente composición volumétrica:

CUADRO N° 8 – Composición de Gases de Tostación

COMPOSICION	VOLUMEN (%)
SO ₂	9,5
O ₂	5,0
N ₂	85,5

FUENTE: Reporte estandarizado de los gases de salida del horno de tostación. conteniendo como impurezas polvos finísimos de calcina y gases como SO₃.

Estos gases son impulsados por un soplador para ingresar a la columna de vacío en contracorriente con una solución débil de ácido sulfúrico.

Esta columna cumple varias funciones, primeramente de enfriamiento de los gases que entran a 280 °C y salen a 62 °C; el contacto de la solución de ácido sulfúrico y de los polvos finos asegurarán la fijación y posterior deposición de las partículas sólidas en el fondo de la columna y que luego serán evacuados a un decantador para ser tratados y recuperar el mercurio.

2.4.2 Propiedades de los lodos de depuración

Los lodos de depuración se caracterizan principalmente por poseer un color gris oscuro, su peso específico es de 3,31 g/cm³ y un tamaño de partícula muy fino, distribuido mayormente en la malla -325, tal como se muestra a continuación.

CUADRO N° 9 – Tamaño de partículas de Lodos de Depuración

MALLA		(%) PESO
	+ 100	0,91
-100	+170	1,22
-170	+200	3,44
-200	+230	7,24
-230	+270	10,41
-270	+325	13,64
-325	+400	56,40
400		6,74

FUENTE: Reporte de control de muestra

De igual forma se ha determinado la composición química de los lodos del lavado de gases, y es como sigue:

CUADRO N° 10 – Composición química de lodos de lavado de gases

COMPOSICION	VOLUMEN (%)
Hg	18,60
Se	66,40
Te	120 *
Humedad	14,90
As	0,05
Sb	0,01
* partes por millón (ppm)	

FUENTE: Reporte de análisis de lodos

2.4.2.1 Planta de producción de ácido sulfúrico

La planta de ácido sulfúrico de Cajamarquilla tiene una capacidad de producción de 569 t/día de H₂SO₄ con una concentración comercial de 98,5%.

La planta ha sido diseñada para operar al 40% de su capacidad y luego volver a un intervalo entre 40 y 100% de diseño

Enfriamiento

Una vez que los gases han sido despojados de las impurezas suspendidas en él, habiendo sido al mismo tiempo lavados en la torre vacía deben ser sometidos a la siguiente operación de pre-tratamiento como es el enfriamiento.

La torre de enfriamiento desempeña una función principal, la cual es enfriar los gases. En adición una considerable limpieza de los gases ocurre durante esta etapa.

En la torre de enfriamiento, 420 m³/h de agua acidulada son bombeados a la parte superior de la torre a través de los enfriadores de grafito.

La torre de enfriamiento está rellena y su interior es irrigado desde la parte superior por dos tuberías independientes, cada una está provista de 9 pulverizadores de polipropileno.

La parte más baja de la torre sirve como tanque de circulación de la torre.

Debido a que el agua acidulada es retornada circulando a la parte superior de la torre, la concentración de las impurezas así como la acidez del agua se incrementa gradualmente.

1. Dimensiones de la torre de enfriamiento.

Diámetro	: 6,1 m
Altura del relleno	: 4,5 m

2. Flujos de la torre de enfriamiento.

a. Ingresan:

- Gases limpios humificados y lavados
- Agua acidulada a 35 °C
- Agua bruta
- Agua de enfriamiento que rebosa del techo de la torre vacía.

b. Salen:

- Gases fríos por el techo de la torre a 35 °C
- Agua acidulada de circulación del fondo de la torre.

Precipitación electrostática de neblina

Cuatro precipitadores electrostáticos son instalados después de la circulación en la torre de enfriamiento para remover la neblina formada en los gases, lo cual puede causar daños a los equipos situados posteriormente y al catalizador. Además, las partículas de polvo tales como arsénico son también eliminadas.

La neblina es formada en el sistema de purificación de gases siguiente a la tostación, donde el gas dióxido de azufre y el flujo de aire residual son lavados y enfriados. Además del SO₂, una pequeña fracción de trióxido de azufre y un gran volumen de vapor de agua está presente. Cuando los gases son enfriados rápidamente en la humidificación y en

las etapas de enfriamiento, el contenido de SO_3 y el agua reaccionan formando neblina.

Los precipitadores son instalados verticalmente e incluyen una cámara de entrada de gas en la parte más baja, una cámara de salida de gas en la parte alta y los haces de tubos entre ambos. Estos son fabricados de plomo laminado en un marco de estructura de acero en la parte exterior.

Después de los precipitadores electrostáticos van instalados unos captadores (Demister) fabricados de plomo laminado en una estructura de acero, estos captadores sirven para salvaguardar a los precipitadores electrostáticos contra succión excesiva, de otro modo los precipitadores pueden colapsar.

Secado de gases

La etapa de secado de gases es la última en la fase de pre-tratamiento de los gases de tostación.

Como se ha visto antes, los gases han sido lavados, enfriados y se le ha removido las partículas de polvo y la neblina ácida.

El secado de gases llega a ser esencial en esta etapa, de lo contrario puede ocurrir lo siguiente:

- Corrosión del equipo situado después del secado.
- Daños al catalizador del convertidor.

Los gases húmedos limpios y enfriados son arrastrados a la torre de secado bajo la succión de los sopladores.

Cuando opera la torre, la bomba descarga el ácido dentro de los distribuidores de ácido en la parte alta de la torre de los cuales el ácido es permitido descender por gravedad, irrigando el relleno interno de la torre. En el transcurso, el flujo ascendente de los gases húmedos son interceptados por el flujo en contracorriente del ácido en la superficie del relleno, con el consiguiente secado de gases.

Características de la torre de secado

La torre es un depósito cilíndrico con la parte superior cónica.

Dimensiones: Diámetro = 5,5 m

Altura = 10,5 m

Material : El depósito es fabricado de acero soldado mientras que la parte superior cónica es hecha de acero inoxidable. El acero de la estructura es revertido con ladrillos resistentes al ácido.

El relleno de la torre de secado lo constituye las sillas INTALOX # 2 y las sillas INTALOX # 3

FLUJO DE GAS EN LA TORRE DE SECADO

CARACTERISTICAS DEL GAS

Concentración	7,26%
Flujo	74,6 m ³ /h
Temperatura de entrada a la torre	35 °C
Temperatura de salida a la torre	50 °C
Presión de ingreso a la torre	- 200 mm CA
Velocidad	12,7 m/s

Intercambiadores Gas – Gas

Como estamos interesados en obtener gas SO₃, los gases de tostación son acondicionados en esta etapa para convertir el gas SO₂ a gas SO₃, tal acondicionamiento consiste en el calentamiento del flujo de gas a la temperatura de reacción del gas SO₂.

Hay seis intercambiadores de calor que operan en flujo a contracorriente, todos los intercambiadores son unidades de tubos y carcasa vertical construidos principalmente de acero al carbono.

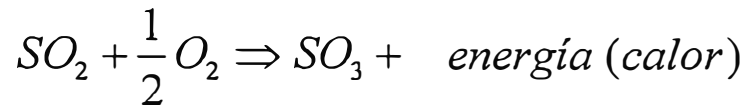
Se debe chequear periódicamente las válvulas de drenaje para asegurarse que la condensación salga.

Cualquier condensación indica que el arrastre de neblina del equipo "aguas arriba" es excesiva.

INTERCAMBIADORES DE CALOR GAS - GAS						
CARACTERISTICAS	1	2	3	4	5	6
LADO DE TUBOS						
Nro. de tubos	2,000	550	1,010	1,010	590	1,630
Diámetro mm	42.4	48.3	42.4	42.4	48.3	42.4
Arca superficial m ²	310	280	786	786	300	2,520
Longitud mm	2,000	3,500	6,000	600	3,500	1,200
Flujo de gas m ³ /h	74,665	34,379	34,637	38,130	37,846	66,919
% Volumétrico SO ₂	7	0.83	2.31	2.31	0.83	0.4
O ₂	8.71	5.56	6.36	6.36	5.66	5.87
N ₂	84.03	86.84	86.19	86.19	86.84	93.73
SO ₃	-	6.67	5.14	5.14	6.67	-
Presión absoluta mml-ig	89	843	863	863	843	790
Temperatura de entrada °C	90	496	589	589	496	80
Temperatura de salida °C	358	455	455	455	496	332
LADO DE LA CARCASA						
Flujo de gas m ³ /h	72,062	74,635	74,635	66,919	61,919	61,919
% Volumétrico, SO ₂	0.83	7.26	7.26	0.4	0.4	0.025
O ₂	7.14	-	-	-	-	0.385
N ₂	87.03	84.03	84.03	93.73	93.73	93.9
SO ₃	5.45	8.71	8.71	5.87	5.87	5.69
Presión absoluta mmHg	823	892	884	775	782	754
Temperatura de entrada °C	467	358	378	358	332	455
Temperatura de salida °C	208	378	444	443	358	208

Reactor Catalítico

En esta unidad el gas SO₂ contenido en el flujo principal de gas es convertido en gas SO₃.



La reacción es descrita como:

Exotérmica	:	La energía (calor) es liberada.
Heterogéneo	:	Envuelve varias fases.
Reversible	:	Puede ser desplazado hacia la derecha o en sentido inverso, dependiendo de las condiciones de reacción.

Como el gas está limpio, un volumen de SO₂ reacciona con medio volumen de oxígeno para producir sólo un volumen de SO₃.

El diseño y operación de la planta están centralizados en la reacción química heterogénea catalítica.

En el sistema SO₃/SO₂ las siguientes medidas son tomadas para maximizar la formación de SO₃:

- Remoción del calor.
- Incremento de la concentración del oxígeno
- Remoción del gas SO₃ formado.
- Elevar la presión del sistema.

Catalizador:

a. Tipo	:	Pentóxido de vanadio
b. Volumen	:	1ra cama 23,84 m ³
		2da cama 23,84 m ³
		3ra cama 24,52 m ³
		4ta cama <u>53,72 m³</u>
		125,00 m ³

La operación básica del convertidor consiste en regular la temperatura de ingreso de gases a cada cama. Las temperaturas del convertidor varían de una planta a otra, debido a las diferencias tales como la posición de

termocuplas. La determinación de la temperatura óptima del gas de ingreso a cada cama para conseguir la máxima eficiencia de conversión es materia de ensayos y errores.

Los gases de tostación limpios y secos son transportados por medio de los sopladores del proceso, a través del siguiente circuito:

1. Tubos del intercambiador
2. Lado de la carcasa del intercambiador
3. Lado de la carcasa del intercambiador
4. Primera cama del convertidor
5. Tubos del intercambiador
6. Segunda cama del convertidor
7. Tubos de los intercambiadores
8. Tercera cama del convertidor
9. Lado de la carcasa del intercambiador
10. Torre de absorción intermedia del gas
11. Tubos del intercambiador
12. Lado de la carcasa del intercambiador
13. Lado de la carcasa del intercambiador
14. Cuarta cama del convertidor
15. Lado de la carcasa del intercambiador
16. Torre de absorción final del gas.

Columna de Absorción

El gas SO_3 obtenido es enfriado y absorbido en ácido sulfúrico concentrado. El agua del proceso es añadida continuamente al ácido absorbente para mantener la más favorable concentración para la absorción de gas SO_3 .

Como el flujo del gas en esta etapa incluye vapor de ácido sulfúrico al cual puede condensar y formar ácido sulfúrico, la temperatura de salida de gases de la TORRE INTERMEDIA es prevenida para no descender por debajo del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico.

La torre de ABSORCIÓN FINAL esta provista de una chimenea de descarga a través de los cuales los gases residuales abandonan la planta.

Las torres de absorción son depósitos cilíndricos con tapas cónicas, similares a las torres de secado, y están designadas con los números C153 y C158.

Cada torre de absorción está provista de un jarro demister para la eliminación de neblina del flujo de gas que abandona la torre.

La neblina colectada en estos eliminadores es drenada volviendo a la torre.

El relleno de la torre son las sillas intalox similar a la de secado.

El SO_3 producido en el convertidor es absorbido en el ácido absorbente circulante.

Dos circulaciones similares están disponibles, es decir la absorción intermedia y final de gas; ambas están bajo la presión de los sopladores. Lo anterior es aplicable para la absorción del gas SO_3 producido en las tres primeras camas del convertidor. La absorción final del gas es asignada para la absorción de la porción residual de gases no convertidos así como también no absorbidos.

Cada circulación incluye una torre rellena, un eliminador de neblina, una bomba de circulación y un enfriador de agua del ácido.

Almacén de ácido sulfúrico

Una vez que el ácido ha sido producido, es enviado en forma continua al almacén después que es enfriado a través de un enfriador de ácido.

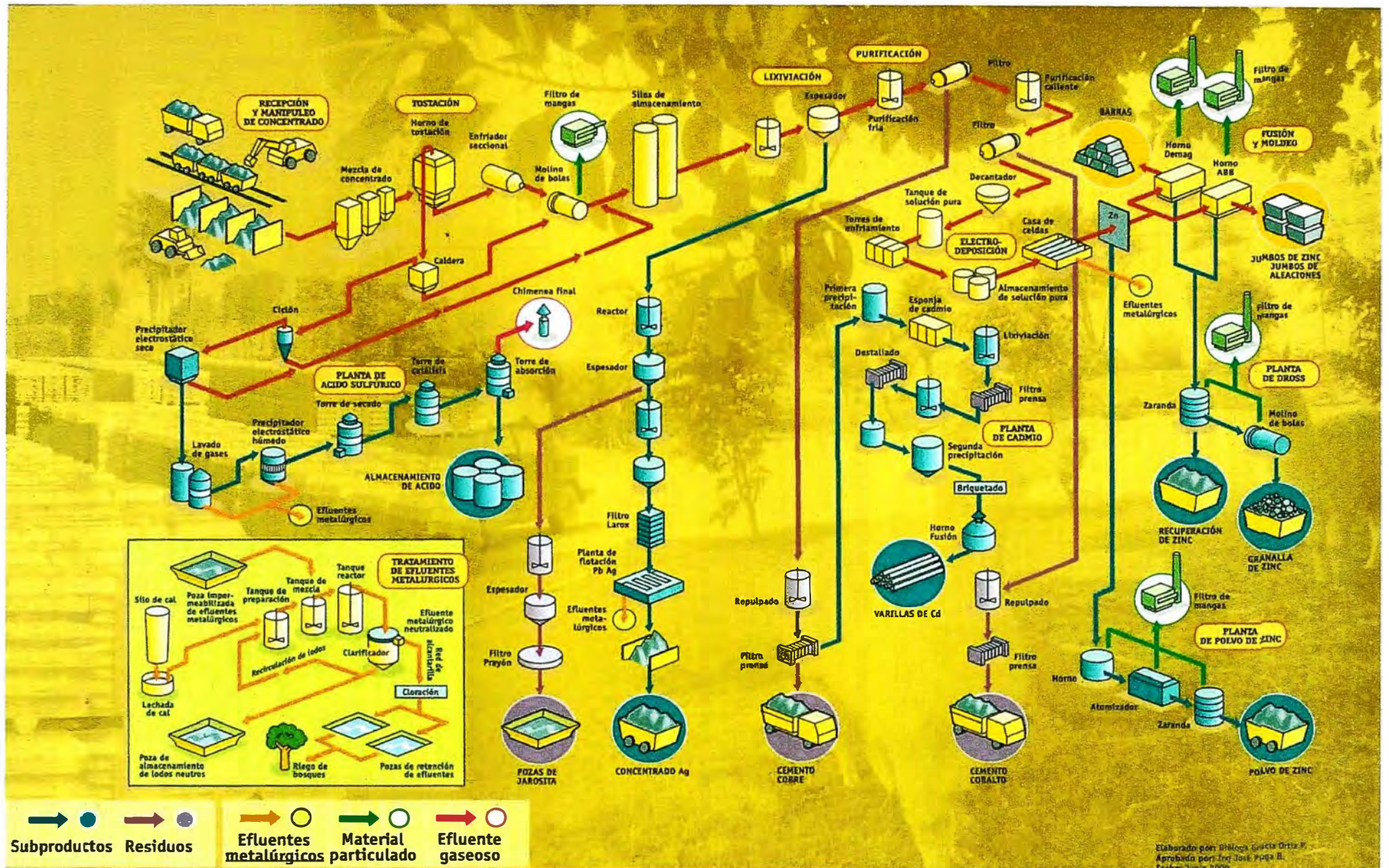


Figura N° 4 Diagrama de flujo - Cajamarquilla

CAPITULO III : SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

3.1 Seguridad industrial

3.1.1 Inspecciones

Inspección es una de las formas más antiguas y más ampliamente utilizadas para detectar y corregir las pérdidas potenciales, antes que estas ocurran. Las actividades de inspección y corrección, son permanentes que permiten comprender a los trabajadores que la compañía se preocupa por su seguridad y de su salud como algo de vital importancia.

Las inspecciones son necesarias porque nada se encuentra completamente fuera de peligro.

1. Las cosas se desgastan.
2. Las condiciones cambian.
3. La gente no es perfecta.
4. Los administradores tienen la responsabilidad moral y legal de tener que proveer un lugar de trabajo seguro y saludable a su personal.

Dos categorías generales de inspección corresponden a las inspecciones informales y a las inspecciones planeadas. Los dos tipos más importantes de esta última son: las "inspecciones generales planeadas" y las "inspecciones a partes, equipos y áreas críticas" y cada una juega un rol vital en los sistemas de inspección efectivos.

1. **Inspección informal.** Se realiza a medida que la gente realiza sus actividades regulares
2. **La Inspección general.** Es un paseo o caminata planificada a través de un área completa, un vistazo completo a todo y a cualquier cosa, en busca de exposiciones a pérdida.

3. Las inspecciones de partes, equipos y áreas críticas.

Se centran en los componentes de las maquinarias, los equipos, los materiales, las estructuras o áreas, con probabilidades de dar por resultado un problema grave o una pérdida, cuando se gasten, se dañen se maltraten se utilicen mal o se apliquen estos en forma inadecuada.

Los supervisores de primera línea realizan la mayor parte de las inspecciones generales planificadas. Sin embargo, la administración media y superior y en algunas ocasiones también los trabajadores, deberían participar en las inspecciones de los equipos. Las jefaturas superiores y media también deberían practicar "**visitas de seguridad**" y recorridos para observar, específica y especialmente los aspectos importantes de seguridad y de salud.

Las evaluaciones de "**orden y aseo**" son una parte vital de las inspecciones generales planeadas efectivas. Estas se concentran tanto en la limpieza como en el orden.

Las dos preguntas claves que se plantean los inspectores en relación a aquellos elementos que les merezcan dudas en cuanto a orden son:

1. ¿Es necesario este elemento?
2. ¿Se encuentra en su lugar adecuado?

Muchas autoridades profesionales de la administración están de acuerdo en que, "**si usted no puede manejar orden y aseo de su departamento, usted no puede administrar su departamento**".

Cada ejecutivo competente se debe preocupar de las partes, equipos y áreas críticas y de aquellas cosas que podrían causarles problemas mayores. El administrar el sistema para evitar las pérdidas causadas por estas partes y estos elementos implica el hacer un inventario de inspección de partes críticas, establecer las responsabilidades sobre la inspección y sobre la programación de ellos y evaluar las inspecciones.

Las etapas y actividades de las inspecciones se pueden resumir en:

1. Preparar

- a. Comience con una actitud positiva
- b. Planifique la inspección.
- c. Prepare listas de verificación.
- d. Sepa qué buscar.
- e. Revise los informes de las inspecciones anteriores
- f. Provéase de instrumentos y materiales

2. Inspeccionar

- a. Utilice planes de la planta y listas de verificación
- b. Enfatique lo positivo.
- c. Busque los artículos que no se ven o que se encuentran fuera del camino.
- d. Tome las medidas temporales necesarias.
- e. Describa las medidas y ubique con claridad cada artículo.
- f. Clasifique los peligros.
- g. Informe los elementos que parezcan innecesarios
- h. Determine las causas básicas de las condiciones y actos subestándares

3. Desarrollar Acciones Correctivas

- a. Estime la gravedad potencial de la pérdida.
- b. Evalúe la probabilidad de ocurrencia de pérdida.
- c. Pondere varias alternativas de control.
- d. Evalúe el grado probable de control a lograr.
- e. Determine el costo del control.
- f. Justifique el control recomendado, si aparecen gastos mayores.

4. Tomar Medidas de Seguimiento

- a. Emita órdenes de trabajo.
- b. Controle el presupuesto de recursos.
- c. Garantice acciones oportunas.
- d. Evalúe el progreso de la actividad.
- e. Verifique la efectividad de los controles que se aplican.
- f. Otorgue el más amplio reconocimiento cuando corresponda.

5. Preparar Informes de Inspección

- a. Escriba con claridad.
- b. Enumere los elementos en un orden consecutivo.
- c. Clasifique cada peligro.
- d. Deje espacio para agregar las causas básicas y las acciones correctivas para cada elemento.
- e. Use códigos para los elementos ya considerados en los informes anteriores, para las acciones intermedias tomadas y para las acciones correctivas que se han completado.
- f. Otórguele énfasis al reconocimiento.
- g. Presente copias y mantenga archivos.

3.1.2 Protección personal

Cuando se encuentra un peligro, no debe escatimarse esfuerzos para eliminarlo o controlarlo aplicando recursos de ingeniería. Cuando esto no sea posible, será necesario tratar de aislar el proceso o bien poner resguardos al peligro. Los equipos de protección personal deben considerarse únicamente como un último recurso. Debe recordarse, que en general, las leyes laborales indican que es necesario asegurarse, en la medida de lo posible, de que todo trabajador goce de condiciones de trabajo seguras y saludables. Sin embargo, el uso prudente de los equipos de protección personal pueden a veces simplificar, en gran medida, los trabajos en caso de desperfectos u otras emergencias.

Es necesario que el empresario proporcione a cada uno de sus trabajadores un lugar de trabajo libre de peligros reconocidos que puedan causar muerte o lesión física grave a aquellos y cumpla con las normas ocupacionales de seguridad y salud promulgadas por la ley vigente.

CONTROL DE LOS PELIGROS

Las personas que deben trabajar en los lugares donde los peligros no se pueden eliminar ni controlar en su origen, y cuando las ropas comunes de trabajo no brinden una protección suficiente, deberán usar

equipos de protección personal, las cuales, de ser necesario deben proteger a la persona desde la cabeza hasta los pies.

A continuación indicamos lo que se debe hacer si se desea tener un programa eficaz a raya con la seguridad en el vestir y con los equipos de protección personal:

- Familiarizarse con las normas vigentes sobre la salud en el trabajo.
- Capacitarse para reconocer el peligro.
- Familiarizarse con los mejores equipos de seguridad para esos peligros.
- Conocer los procedimientos para adquirir los equipos.
- Conocer las técnicas para la conservación y limpieza de los equipos.
- Exigir eficazmente a que los trabajadores usen siempre su equipo.

I. PROTECCION VISUAL

La mayoría de las lesiones son causadas por objetos que salen despedidos, como partículas provenientes de metales o piedras, clavos o areniscas abrasivas. La siguiente es una lista sobre las causas principales de lesiones a los ojos:

- Objetos que salen despedidos.
- Piedras abrasivas (partículas despedidas).
- Sustancias corrosivas.
- Rayos nocivos provenientes de la luz o del calor
- Salpicaduras de metales.
- Irradiaciones irritantes o gases venenosos.

Clases de equipo.- El elemento protector consiste en lentes tratados térmicamente o por procesos químicos, plástico o vidrio filtrantes de la luz. Entre los equipos de protección visual se incluyen los siguientes:

- Cubre gafas.
- Gafas protectoras.

- Gafas con protección lateral.
- Gafas de copa.
- Gafas contra químicos.
- Gafas para polvos.
- Gafas de minero.
- Gafas de fundidor.

II. PROTECCION FACIAL

Muchas clases de equipos de protección personal resguardan la cara contra golpes débiles, salpicaduras químicas o de metales, radiaciones calóricas u otros peligros:

- Caretas protectoras.
- Máscaras del metalizador.
- Máscara del soldador.
- Gafas para soldar.
- Capuchas antiácidas.
- Capuchas con suministro de aire

III. PROTECCIONES DE PIES Y PIERNAS

Los zapatos de seguridad están reforzados con una puntera de acero, deben tener planta de jébe antideslizante y la humedad del agua no debe traspasar hacia el pie; deben acomodarse perfectamente a los pies del usuario.

Las perneras o polainas protegen totalmente las piernas, ya que las envuelven desde el tobillo hasta la rodilla y poseen una solapa en la parte inferior para proteger el empeine del pie. Las personas que trabajan con metales fundidos usan esta clase de protección. Las perneras deben ser fáciles de sacar en caso de emergencia.

IV. PROTECCION PARA LA CABEZA

La cabeza del trabajador debe ser protegida de impactos, proyección y caída de objetos. Esta protección la brinda un casco

especialmente diseñado que cubre la cabeza del usuario y lo protege de los impactos, evitándole lesiones a la cabeza, cuello y espalda.

La protección para la cabeza también deberá tener resistencia a la abrasión, y en algunos casos, deberá poseer propiedades dieléctricas para proteger en ciertas tareas donde predominen los riesgos de electrocución.

V. PROTECCION AUDITIVA

Cada día se presta mayor atención en la industria al problema del ruido excesivo, siendo un problema complejo se requiere del esfuerzo conjunto de la gerencia, la supervisión, el personal de seguridad, la ingeniería y el servicio médico. Lo ideal sería eliminar el ruido desde la misma fuente de origen.

La protección auditiva reduce los niveles de ruido en el oído interno y puede ser clasificada en: tapones auditivos y orejeras.

VI. PROTECCION RESPIRATORIA

Los equipos de protección respiratoria deben ser considerados como elementos de emergencia o de uso ocasional. Lo primero que debe considerarse en donde hay contaminantes es eliminarlos en su fuente de origen o aislar el proceso

Selección del respirador.- Los contaminantes aéreos van desde una sustancia relativamente inofensiva hasta vapores, polvos, nieblas, emanaciones irritantes y gases tóxicos que pueden ser extremadamente perjudiciales. En lugares en donde es necesario utilizar equipos de protección debe determinarse perjudicial y la magnitud de peligro evaluado, con esta información se puede seleccionar el equipo que deberá proteger contra este peligro en particular.

1. Respiradores purificadores de aire.
 - A. Máscaras antigas
 - B. Respiradores con cartucho químico
 - C. Respiradores con filtros para partículas
 - D. Respiradores combinados
2. Respiradores de suministro de aire atmosférico

- A. Máscaras de manguera
- B. Respiradores de línea de aire
- C. Respiradores para soplar con abrasivo
- D. Respiradores autocontenidos

CINTURONES DE SEGURIDAD

Los cinturones y arneses de seguridad unidos a cuerdas salvavidas deben ser usados por quienes trabajan a niveles elevados.

VII. PROTECCION DE DEDOS, PALMAS Y MANOS

Los dedos y manos están expuestos a cortaduras, escoriaciones, contusiones y quemaduras. A pesar de que los dedos son difíciles de proteger (ya que son necesarios para realizar prácticamente cualquier trabajo) hay algunas formas de evitarles muchas lesiones comunes, mediante el uso del equipo protector adecuado, entre los que pueden citarse:

1. Guantes de asbesto
2. Guantes de malla metálica
3. Guantes de caucho
4. Guantes de caucho, neopreno o vinilo
5. Guantes de cuero
6. Guantes de cuero de vaca curtido al cromo

VIII. PROTECCION CONTRA RADIACION IONIZANTE

La radiación ionizante que es peligrosa debido a sus graves efectos biológicos, no necesita ser temida si se la respeta y se toman las medidas de precaución apropiadas.

Entre algunos de los equipos de protección especializados que se necesitan para manejar esta energía se incluye guantes de caucho y equipos de protección respiratoria aprobados. En ninguna oportunidad, deben usarse ropas contaminadas en sectores exentos de contaminación.

Control de radiación - Se controlará continuamente a los trabajadores para asegurarse de que no se exponen a la radiación. Deberán usarse dosímetros radiográficos mientras trabajan los cuales se revelarán y

reemplazarán a intervalos regulares, según sea el nivel de radiación al cual están expuestos.

ROPAS SEGURAS PARA EL TRABAJO

Las ropas de trabajo comunes pueden considerarse seguras si se encuentran limpias, en buen estado de conservación y aptas para el trabajo. Las ropas de seguridad están diseñadas específicamente para trabajos peligrosos en los cuales las ropas comunes no brindan una protección suficiente para evitar lesiones leves, por ejemplo escoriaciones, quemaduras y rasguños.

Materiales para ropas protectoras:

- Telas aluminizadas
- Asbesto
- Tela de algodón resistente al fuego
- Lona
- Materiales impermeables
- Cuero
- Lona impermeable
- Lana
- Fibras sintéticas (orlón, dinel, vineón)
- Fibra de vidrio

3.1.3 Adiestramiento en seguridad

El adiestramiento es sólo una manera de influir sobre el comportamiento humano. La seguridad en el trabajo se fomenta con el ejemplo del empleador que no regatea esfuerzos para crear unas condiciones seguras de trabajo; con el desarrollo de procedimientos seguros de trabajo; con la enseñanza efectiva de los procedimientos; e insistiendo en que estos procedimientos se cumplan. Se favorece la seguridad dando a conocer los hechos relativos a las causas que provocan accidentes y las medidas preventivas.

Un programa de adiestramiento bien organizado no sólo servirá para adiestrar a los trabajadores, sino que contribuirá también a modificar estas influencias de forma que complementen los efectos de adiestramiento.

Cualquier programa efectivo de prevención de accidentes y control de peligros ocupacionales para la salud se basa siempre en un adecuado desempeño del trabajo: cuando se enseña a los trabajadores a realizar bien su tarea, la harán con seguridad.

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE ADIESTRAMIENTO

Al confeccionar un programa de adiestramiento es preciso considerar las necesidades de adiestramiento, los objetivos del programa, las líneas generales y los materiales del curso, y los métodos de formación.

NECESIDADES DE ADIESTRAMIENTO

Los programas de adiestramiento son necesarios:

- a. Para formar a los trabajadores nuevos
- b. Cuando se introduce nuevos equipos o procesos
- c. Como revisión o actualización de los procedimientos
- d. Cuando es necesario mejorar el rendimiento de los trabajadores.

Objetivos del programa

Los programas de adiestramiento deben basarse en objetivos claramente definidos que determinen su ámbito y guíen la elección y preparación de los materiales.

ADIESTRAMIENTO EN SEGURIDAD PARA SUPERVISORES

La tarea inmediata de evitar los accidentes y controlar los peligros que el trabajo pueda suponer para la salud recae sobre el supervisor, no porque le haya sido arbitrariamente así, sino porque la seguridad y el control de la producción son parte de sus funciones.

Responsabilidad del supervisor.- Tanto como si la empresa cuenta con un programa de seguridad como si no, el supervisor tiene sobre sí estas responsabilidades principales:

1. Establecer métodos de trabajo
2. Instruir en el trabajo
3. Asignar tareas a los trabajadores
4. Supervisar el trabajo de su personal
5. Mantener el equipo y el lugar de trabajo

- I. Que sean bien comprendidos y rigurosamente seguidos es esencial para conseguir una operación ordenada y segura. Es frecuente que un método sólo sea declarado peligroso después de producirse un accidente. Es responsabilidad del supervisor el de establecer procedimientos seguros.
- II. Haciendo el necesario hincapié en los aspectos de seguridad ayudará a eliminar una de la causas más frecuentes de accidentes: la falta de conocimiento o habilidad
- III. Siempre que un supervisor asigna un trabajo, la seguridad, así como la buena ejecución, exige de él la certeza de que el trabajador está calificado para realizarlo y comprende a fondo el método de trabajo.
- IV. La supervisión de los trabajadores en el trabajo es necesaria aunque se haya establecido un método seguro de trabajo y los haya instruido éste.
- V. Mantener el equipo y el lugar de trabajo ayuda al supervisor a prevenir los accidentes y a mejorar la eficiencia.

Los supervisores deben aceptar sus responsabilidades

Estas cinco funciones no sólo constituyen una parte normal de trabajo del supervisor, sino que, de no pasarse totalmente por alto las líneas de organización y autoridad, nadie sino él puede ejercerlas. Como todas ellas se encuentran íntimamente ligadas con la seguridad, es lógico que ésta se incluya entre las responsabilidades del supervisor.

Objetivos del adiestramiento de los supervisores en seguridad

Antes de emprender el adiestramiento de los supervisores en seguridad es necesario comprender y expresar en forma explícita los objetivos de dicho adiestramiento.

Los objetivos de adiestramiento de los supervisores en seguridad, expresados en términos generales, pueden ser todos o parte de los siguientes:

- I. Interesar a los supervisores en el programa de prevención de accidentes de la compañía.

- II. Dejar bien sentado que el supervisor es la persona clave en la prevención de accidentes.
- III. Conseguir que los supervisores comprendan la naturaleza de sus responsabilidades relacionadas con la seguridad.
- IV. Facilitarles información sobre las causas los accidentes y peligros ocupacionales para la salud, así como sobre los métodos de prevención.
- V. Darles una oportunidad para considerar los problemas actuales de la prevención de accidentes y desarrollar soluciones basadas en su propia experiencia y en la de otros.
- VI. Ayudarles a adquirir mayores conocimientos sobre las actividades de seguridad.
- VII. Ayudarles a realizar el trabajo de seguridad en sus propios departamentos.

ADIESTRAMIENTOS DE LOS NUEVOS TRABAJADORES

El adiestramiento en seguridad comienza en el momento del ingreso, antes de que el nuevo trabajador comience su trabajo. Un programa efectivo de adiestramiento en seguridad incluirá una introducción en la empresa cuidadosamente preparada y presentada.

Orientación inicial

Cada trabajador necesita aprender, para tener un buen comienzo en el adiestramiento en seguridad, las siguientes cosas:

- I. La gerencia está verdaderamente interesada en evitar accidentes
- II. Los accidentes pueden ocurrir, pero es posible evitarlos.
- III. Se desea y espera que cada trabajador informe a, su supervisor sobre las condiciones inseguras que descubra.
- IV. Ningún trabajador deberá acometer ningún trabajo que le parezca inseguro.
- V. Si el trabajador sufre una lesión por leve que ésta fuere, deberá reportar inmediatamente a su supervisor.
- VI. El trabajador está obligado a cumplir todas las reglas de seguridad del reglamento que se le explica.

VII. Recibirá instrucciones en relación al área de trabajo donde se desempeñará.

VIII. Obligación de utilizar el equipo de protección personal.

Introducción preliminar.-

Debe prepararse y presentarse teniendo muy en cuenta el efecto que puede tener sobre los nuevos trabajadores. Las instrucciones verbales deben impartirse con gran seriedad e interés, y con una actitud de buena voluntad y amistosa cooperación.

El trabajador debe comprender que el supervisor es responsable del adiestramiento en el trabajo y que este adiestramiento incluirá los procedimientos de seguridad.

Buena supervisión: instrucción y disciplina consecuente.-

Un programa de adiestramiento consecuente debe incluir la función supervisora como parte de la instrucción en el trabajo.

Si el supervisor observa que los trabajadores pretenden abreviar el trabajo o salirse de los métodos de seguridad establecidos debe corregirlos de inmediato. De no hacerse así, el método equivocado pronto se convierte en costumbre.

La persona "predispuesta a accidentes".-

La mayoría de definiciones coinciden con la idea de que determinadas personas con ciertos rasgos de personalidad están más expuestas a sufrir accidentes.

Cuando se dice de alguien que es "propenso a accidentes" se pretende señalar que ciertas características psicológicas que posee le predisponen a sufrir accidentes.

3.1.4 Uso de equipo de protección personal

Evitar el contacto repetido o prolongado con la piel mediante el uso de equipo de protección apropiado como bata, lentes de seguridad, guantes y, si la cantidad en el ambiente es alta, deben usarse además, respiradores adecuados. Es necesario, tener un buen sistema de ventilación. En el caso de trabajar constantemente con este metal o sus compuestos, es necesario portar detectores.

En áreas de trabajo donde se manejan grandes cantidades de mercurio, es necesario el uso de uniformes desechables (se evita la contaminación de ellos y la absorción por piel), máscaras desechables para absorber los vapores y recipientes que contengan el mercurio y sus derivados, bien aislados. Además, los pisos deben ser de materiales no porosos y lavarse regularmente con disoluciones diluidas de sulfuro de calcio. Los trabajadores deben lavarse diariamente y hacerse examinar periódicamente, incluyendo en el examen, análisis de sangre y orina.

Existen materiales sintéticos como policloruro de vinilo, poliuretano, hule de nitrilo, Viton, hule butílico y neopreno, los cuales son resistentes al mercurio y se usan para la elaboración de equipo de seguridad como guantes, delantales y botas.

Para trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sales de mercurio, debe usarse propipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

3.1.5 Peligros de seguridad y salud

Peligro de fuego y explosiones:

A pesar de que el mercurio metálico es un material no inflamable, debe tenerse especial cuidado en los incendios que lo involucren, pues los vapores de mercurio son venenosos.

Peligro a la salud:

Tanto el mercurio metálico, como sus sales orgánicas, e inorgánicas son venenos protoplásmicos, fatales para humanos, animales y plantas. Los mas tóxicos son los compuestos orgánicos y de ellos, los derivados alquilados.

Los factores que determinan los efectos tóxicos en humanos, son la velocidad y la cantidad absorbida, las propiedades fisicoquímicas de los compuestos y la susceptibilidad del individuo. El mercurio y sus compuestos pueden ingresar al cuerpo a través de la piel y los tractos gastrointestinal y respiratorio. En el caso del mercurio metálico la principal forma de entrar al organismo es en forma de vapor, la cantidad que se absorbe a través de la piel es mínima.

Los compuestos inorgánicos de mercurio, después de que han ingresado al organismo, son absorbidos y disociados por los fluidos

corporales y la sangre, siendo distribuidos al plasma y eritrocitos. Los aril-compuestos y los alcoxi derivados se descomponen en iones mercurio y sufren el mismo proceso mencionado arriba. En cambio, los derivados alquilados se encuentran más en células sanguíneas que en plasma, probablemente por su gran estabilidad y su solubilidad peculiar. Estos compuestos afectan el sistema nervioso central y se acumulan en el cerebro, siendo eliminados más lentamente del organismo que las sales inorgánicas y los aril y alcoxi derivados,

Los compuestos alquilados tienen una vida media de eliminación de 50-60 días mientras que para los demás compuestos se tiene un valor de 30-60 días. Estos valores dependen de la naturaleza del compuesto, la dosis, el modo y la velocidad de entrada al organismo, como ya se mencionó.

Las sales solubles en agua producen severos efectos corrosivos en la piel y membranas mucosas, provocando náusea severa, vómito, dolor abdominal, diarrea con sangre, daño a los riñones y la muerte puede ocurrir en los siguientes 10 días.

Una exposición crónica provoca inflamación de la boca, salivación excesiva, pérdida de los dientes, daño a los riñones temblores musculares, espasmos de las extremidades, cambios de personalidad, depresión e irritabilidad.

Generalmente los compuestos de mercurio presentan bajas presiones de vapor, por lo que no contribuyen a la presencia de vapores tóxicos en áreas de trabajo, lo que si sucede con el mercurio metálico.

El vapor o neblina de este metal irrita los ojos, las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Puede causar reacciones alérgicas y disturbios del sistema nervioso.

Inhalación: Esta es la principal ruta de entrada al organismo de mercurio elemental, ya que vaporiza a temperatura ambiente y es absorbido por los pulmones. De aquí, es rápidamente absorbido y distribuido por la sangre. Aproximadamente 1% del metal absorbido se almacena en el cerebro de mamíferos, donde puede permanecer por mucho tiempo, el resto se transporta a hígado y riñones donde es secretado a través de la bilis y la orina.

La inhalación de una concentración alta causa edema pulmonar agudo y neumonitis intersticial, la cual, puede ser fatal o generar tos persistente. Otros efectos son: salivación, dolor abdominal, dolor en el pecho, náusea, vómito y diarrea. Se ha observado que conejos expuestos a una concentración de 28,8 mg/m³ por 4 horas sufren daños severos en cerebro, hígado, riñones, corazón y colon.

Los síntomas de daños crónicos son: cambios en el comportamiento como depresión e irritabilidad, temblores y pérdida de apetito y peso. Los cambios de comportamiento son mas marcados en trabajadores expuestos a niveles arriba de 0,05 mg/m³ mientras que los temblores se presentan a esta concentración y menores. Una vez que la exposición se evita, los signos de daño neurológico pueden presentarse de vez en cuando, pero en la mayoría de los casos se agravan con el tiempo. También pueden pelarse las manos y pies en exposiciones crónicas sin embargo, esto es menos común.

Contacto con ojos: Los irrita.

Contacto con la piel: El mercurio se absorbe a través de la piel (en cantidades mínimas) causando los síntomas ya mencionados. Se ha informado de dermatitis por contacto y sensibilidad a este metal en estudiantes de odontología. En estudios con voluntarios se observó que la velocidad de entrada de los vapores de mercurio a través de la piel fue de 2,2% de aquella absorbida por pulmones, por lo que el peligro por absorción por la piel es mínimo.

Ingestión: En estudios con ratas solo se observó una pequeña cantidad de metal absorbido después de la ingestión.

Carcinogenicidad: A pesar de que se le asoció a problemas de glioblastomas, en estudios recientes se han tenido resultados negativos en cuanto a la carcinogenicidad del mercurio en humanos y animales de laboratorio.

Mutagenicidad: Se han observado resultados positivos de compuestos inorgánicos y orgánicos de mercurio en estudios con *Drosophilla melanogaster*. En cuanto a humanos, se han reportado resultados positivos y negativos de aberración cromosomal, por lo que no es claro el efecto de este producto.

Peligros reproductivos: Se ha observado que el mercurio traspasa la placenta, en estudios con monos expuestos a vapores del metal. También se han reportado, en mujeres ocupacionalmente expuestas al mercurio, complicaciones en el embarazo, en el parto, bebés de bajo peso, disturbios en la menstruación, abortos espontáneos y en el caso de incidencia, malformaciones en el feto. En ratas se han encontrado, además, defectos en el cráneo de fetos provenientes de madres expuestas de manera crónica a vapores de mercurio.

También los compuestos órgano-mercurados han provocado efectos embriotóxicos y teratogénicos

3.1.6 Almacenamiento

Nunca deben usarse pisos de madera, no deben existir fisuras, pues en ellas puede quedar mercurio después de un derrame.

Los contenedores deben tener un recipiente bajo ellos que sea capaz de retener el producto en caso de que el primero se rompa. Además deben contener una capa de agua, en lugares a prueba de fuego y aislados de acetileno, amoníaco y ácidos.

REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:

Transporte marítimo:

Código IMDG: 8191

Clase: 8

Marcaje: corrosivo

Transporte aéreo:

Código ICAO/IATA 2809

Clase: 8

Marcaje: corrosivo

Cantidad máxima en vuelos comerciales y de carga: 35 kg

FUENTE: (Ref. 27 – pag 15)

3.2 Higiene industrial

3.2.1 Acciones de emergencia

3.2.1.1 Primeros auxilios

En todos los casos, la ropa contaminada debe ser almacenada para su descontaminación posterior y la víctima debe permanecer en observación.

Uno de los antídotos usados en este caso de intoxicación es el Dimercaprol, sin embargo debe suministrarse por personal calificado pues, un exceso, puede ser mortal.

Inhalación: Transportar a la persona lesionada a un área bien ventilada. Si la respiración se ha detenido, proporcionar respiración artificial. Si la respiración es dificultosa, proporcionar oxígeno. Mantener a la víctima sentada, abrigada y en reposo. Pueden presentarse convulsiones y pérdida de la conciencia.

Ojos: Lavarlos inmediatamente con agua corriente, por lo menos durante 15 minutos. Asegurándose de abrir los párpados. No utilizar lentes de contacto al trabajar con este producto.

Piel: Lavar la zona afectada con agua y jabón. Eliminar la ropa contaminada, si es necesario. Otra opción es lavar con jabón ligeramente alcalino y una pasta de azufre y agua. Para asegurarse que no existen residuos del metal, puede utilizarse una disolución de sulfuro de sodio y rociada sobre el área afectada, la aparición de una coloración café oscuro o rojiza es señal de presencia de mercurio. El mercurio residual, puede eliminarse con vinagre y después, lavar con agua oxigenada para eliminar el olor a sulfuro de hidrógeno.

Ingestión: Lavar la boca con agua. No provocar el vómito. Si la víctima está consciente dar a beber agua. Si se encuentra inconsciente, tratar como en intoxicación por inhalación.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICION, EL PACIENTE DEBE SER TRANSPORTADO AL HOSPITAL TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

3.2.1.2 Control de fuego

Enfriar los contenedores afectados con grandes cantidades de agua. El agente extinguidor dependerá del tipo de material que se queme, ya que el mercurio no se quema o lo hace con dificultad. Usar agua para bajar el vapor, evitando que llegue a fuentes de agua y drenaje, pues los vapores de mercurio son muy tóxicos. Toda el agua contaminada debe almacenarse para su tratamiento posterior.

Las mismas acciones se llevan a cabo en el caso de que estén involucradas sales en estado sólido o como disoluciones de mercurio. En general, ni las disoluciones, ni los sólidos son inflamables o arden con dificultad, sin embargo pueden generarse vapores tóxicos al calentarse.

3.2.1.3 Fugas y derrames

Debe utilizarse el equipo de seguridad adecuado como bata, guantes, lentes de seguridad y cubierta de zapatos. En caso de que la cantidad derramada sea grande, deberán usarse respirador y detectores de vapores de mercurio.

En el caso de derrames de mercurio metálico, lo importante es evitar que el mercurio derramado se evapore. Para ello existen dos formas de tratarlo: convertirlo en compuestos insolubles en agua y amalgamándolo.

En el primer caso, lo más común es convertirlo a sulfuro de mercurio, espolvoreando azufre sobre el metal derramado. En el caso de la amalgamación, se mezcla con polvo de metales los cuales se mencionan más adelante o bien, los productos comerciales disponibles para este efecto.

De manera general, debe mantenerse el material derramado, alejado de fuentes de agua y drenajes, para lo cual construir diques que lo contenga. Debe ventilarse el área y evacuarla.

En el caso de derrames pequeños existen diferentes métodos para recoger el material:

- a. El metal se puede recoger al mezclarlo con cinc metálico en polvo o granulado, el cual se rocía con una disolución diluida de ácido sulfúrico formando una pasta. Esta pasta es especialmente útil para recuperar el metal de fisuras o hendiduras. Una vez seca la pasta se barre y se coloca en bolsas especiales para su posterior tratamiento.
- b. Cubriéndolo con una mezcla 50:50 de azufre e hidróxido de calcio en agua. Se deja por 12 horas, se recoge el sólido y se lava con agua la zona afectada. Puede usarse azufre solo.
- c. Mediante succión con goteros y recogerlo en una bolsa de plástico. Desde luego esto solo se podrá hacer en caso de que el derrame sea solo de unas gotas como sucede cuando se rompen termómetros. En estos casos también debe descontaminarse el vidrio involucrado, por ejemplo con una disolución al 20 % de sulfuro o tiosulfato de sodio.
- d. Existen productos comerciales que contienen fierro entre otros materiales, que amalgama el mercurio derramado, de esta forma se recoge con un imán cubierto con una bolsa de plástico la cual sirve también, para almacenar el producto derramado.

También existen en el mercado lámparas especiales de halógeno para detectar pequeñas partículas del metal que no se detecten a simple vista.

Para recoger derrames mayores, deben usarse limpiadores al vacío especiales y después lavar con disoluciones diluidas de sulfuro de calcio. También pueden usarse los productos comerciales mencionados arriba, aunque se recomienda contactar con personal especializado que oriente sobre la atención de la emergencia.

Existen varias opciones para adsorber los vapores de mercurio provenientes de reactores o tanques de almacenamiento:

- a. Con carbón activado, el cual no es muy eficiente pero puede regenerarse
- b. Mediante carbón activado que contiene azufre, sin embargo este no puede regenerarse
- c. Mediante el uso de dispositivos que contienen oro o plata, con los cuales el mercurio se amalgama fácilmente, una vez saturados, el mercurio se recupera fácilmente por calentamiento de estos dispositivos. También pueden utilizarse otros metales como cobre y cinc.

Un problema grave es la recuperación de mercurio de líquidos, una opción involucra el uso de carbón activado impregnado con plata. El líquido que contiene mercurio se pasa a través de una cama de este polvo, la cual se encuentra sobre soportes de níquel o polietileno. Otro método consiste en pasar la disolución por resinas de intercambio iónico del tipo de sales cuaternarias de amonio.

Por otro lado, en el caso de derrame en tierra, el mercurio derramado se queda en la superficie, pero se recomienda excavar mas profundamente para asegurarse de recoger todo el material contaminado. El mercurio puede recuperarse, posteriormente por destilación o usando agentes amalgamadores a base de fierro. En este último caso la tierra se suspende en agua y se usa un magneto para agitarla, recuperándose el material derramado. También en este caso se puede usar el imán cubierto por una bolsa de plástico, como se

mencionó arriba. Es necesario hacer pruebas a la tierra para asegurarse que se eliminó todo el mercurio derramado.

Para el caso de sales de mercurio:

Si el derrame es de compuestos de mercurio, cubrir con arena usando de 10 a 20 veces la cantidad.

En el caso de derivados orgánicos de mercurio, es mejor utilizar un sistema lavador de gases para recogerlos. Una opción eficiente y económica es utilizar disoluciones acuosas de hidróxido, hipoclorito o sulfuro de sodio, los cuales se recirculan a través del sistema lavador de gases hasta que la disolución se satura.

De manera general: no tocar, ni caminar sobre el material derramado y contener el derrame

Si el derrame es de disoluciones, utilizar arena u otro absorbente no combustible y después de recoger el material, almacenarlo en un lugar seguro. Si el derrame es grande, entonces deben de construirse diques para contenerlo e, igualmente, absorberlo.

Si el derrame es de sales en estado sólido: recoger el material derramado con palas y colocarlo en recipientes secos, evitando que se levante polvo.

En todos los casos, el material contaminado debe ser tratado adecuadamente, pues debe recordarse que tanto el metal como sus compuestos son altamente tóxicos.

3.2.1.4 Desechos

Siempre debe utilizarse el equipo de protección adecuado como son: bata, lentes de seguridad, guantes de hule y, si la cantidad es grande, un respirador adecuado para vapores de mercurio.

El mercurio elemental puede ser recuperado y rehusado.

Para el caso de sales solubles en agua: disolver el material en agua y acidular la disolución. Precipitar el mercurio en forma de

sulfuro y después neutralizar para asegurar la precipitación completa. El sólido se filtra, se trata y se manda a confinamiento. El filtrado debe tratarse con hipoclorito de sodio para eliminar el exceso de sulfuros y después desecharlo al drenaje.

Si las sales son insolubles, se procesan adecuadamente y se mandan a confinamiento.

CAPITULO IV : TECNOLOGIA DEL PROCESO

4.1 Procesos de obtención del mercurio metálico

La Refinería de Cajamarquilla se encuentra en la quebrada de Jicamarca, el proceso empieza con los concentrados de zinc que llegan a la Planta por vía férrea o camión, donde son almacenados, luego son mezclados y transportados mediante fajas a la Planta de Tostación, donde son tratados en un horno de lecho fluidizado que transforma los concentrados (ZnS) en calcina (ZnO), en el horno se produce los gases que contienen anhídrido sulfuroso (SO_2), los cuales luego de ser enfriados y limpiados fluyen hacia la Planta de Ácido donde se produce ácido sulfúrico, y la parte sólida es la calcina que pasa al proceso de lixiviación.

Los efluentes de la Planta son: efluentes líquidos y efluentes gaseosos, de los efluentes líquidos tenemos los efluentes metalúrgicos, efluentes no metalúrgicos.

De la Torre Vacía, de la Torre de Enfriamiento, Electrofiltros Húmedos obtenemos efluentes metalúrgicos o llamado lodos de depuración húmeda, para nuestro estudio será la materia prima.

Después de tratar la tecnología del proceso, el control de calidad realiza pruebas a nivel de laboratorio, encontrándose que existe una gran cantidad de mercurio metálico, obteniéndose el siguiente reporte:

Hg %	Se %	SiO %	Humedad %
22	60,8	0,81	16,39

Se utiliza los reactivos Na_2S y NaOH en las siguientes dosificaciones:

Na_2S gr/l	22	21	20	19	18
NaOH gr/l	6	4	2	1,8	1,6

Previamente se preparan las disoluciones a diferentes concentraciones, para una disolución de 1,8 gr/L, un vaso de 500 ml (de capacidad) se disponen 200 ml de agua y se agrega solución de NaOH al 50 % en peso.

A esta solución adicionamos Na_2S 22 gr, agitándose hasta que la solución sea homogénea

A la solución preparada adicionamos 50 gr de lodos para un batch.

La solución es lixiviada 4 horas con agitación continua (agitador magnético), a 80 °C en baño maría (de agua).

Durante esta etapa la solución lixivante al comienzo adopta un color verdoso, según va transcurriendo el tiempo va cambiando de color, a color vino.

Cuando se ha realizado la mayor extracción de Hg. se torna incoloro con formación de espuma blanca, esto ocurre generalmente después de las 4 horas de lixiviación y un máximo de 16 horas.

La cementación del mercurio metálico se realiza al agregar poco a poco a la solución lixiviada aluminio metálico en forma de viruta o planchitas durante 2 horas, y así evitamos también los rebales y las perdidas de mercurio ya que es esta etapa el aluminio origina una reacción exotérmica..

La cementación del mercurio dura de 6 a 12 horas, observándose en la solución el paso de incolora a color vino, luego separamos la solución con los sólidos formados, lavamos los sólidos con agua agitando con una bagueta

eliminando la solución oscura dejando en los fondos el mercurio metálico, el residuo de la lixiviación que queda es acumulado para una nueva extracción del mercurio.

A continuación se describe el proceso de obtención del mercurio a nivel de laboratorio realizado en Cajamarquilla a partir de los lodos procedentes de la torre de vacío

- Se toma una muestra de 50 g de lodo mercuriales y se depositó en un vaso de 500 mL para efectuar un proceso batch.
- En otro vaso de igual volumen al anterior se preparó 200 mL de líquido lixivante compuesto por sulfuro de sodio con una concentración de 210 g/L y soda cáustica de 18 g/L de concentración, e inmediatamente esta mezcla de soluciones fue vertida en el vaso con lodo mercurial para proceder a la lixiviación durante cuatro horas como mínimo, agitación constante y calentamiento en baño maría a una temperatura de 80 °C para facilitar la disolución del mercurio. Durante la lixiviación la mezcla adquiere inicialmente un color verdoso, luego un color vino y finalmente cuando ya ha concluido la extracción de mercurio se observa una mezcla incolora con espuma blanca.
- Luego se separa la solución incolora para agregarle aluminio en virutas y lograr la cementación del mercurio metálico; se debe tener especial cuidado en no agregar de golpe el aluminio por producirse una reacción exotérmica con desperdicio de solución debido a la ebullición violenta y la consiguiente pérdida de mercurio metálico.
- La cementación del mercurio dura 24 horas, al cabo del cual, la solución se torna de color vino.
- En este momento la solución sobrenadante que contiene Se^{2+} es separada a otro vaso de 500 mL. y el mercurio recuperado debe ser lavado varias veces con agua y agitación constante para eliminar la solución oscura adherida y quedar el mercurio libre de impurezas.
- Las aguas de lavado serán evacuadas del sistema para su tratamiento en un depósito destinado para efluentes.

4.2 Operaciones unitarias en el proceso de producción

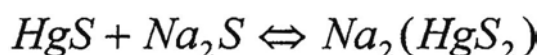
4.2.1 Transporte de lodos a la tolva de almacenamiento

Se deberá disponer de una faja transportadora para la evacuación de los lodos de la torre vacía hacia la nueva planta de tratamiento y recuperación de mercurio.

4.2.2 Lixiviación

El objetivo de la lixiviación es extraer el mercurio contenido en los lodos de depuración, utilizando para tal efecto el sulfuro de sodio y el hidróxido de sodio.

El agente lixivante sobre el HgS es el sulfuro de sodio, ya que se ha comprobado la formación del complejo incoloro muy estable $Na_2(HgS_2)$ soluble en agua, de acuerdo a la siguiente ecuación:



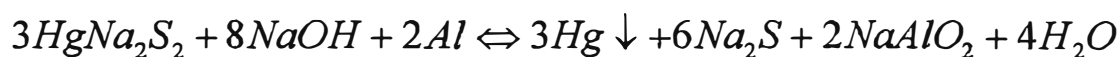
La función principal del hidróxido de sodio es la de inhibir la hidrólisis del ión sulfuro.

4.2.3 Decantación

Tiene por objeto asentar el material inerte que ha quedado sin disolver y separar el líquido sobrenadante que contiene el mercurio disuelto para continuar su tratamiento.

4.2.4 Precipitación

La precipitación del mercurio se lleva a cabo agregando virutas o barras de aluminio al líquido anteriormente decantado.



A partir de agregar aluminio a la cementación de mercurio dura 24 horas.

4.2.5 Sedimentación

El mercurio debido a su alta gravedad específica se deposita en el fondo del recipiente sin mayores contratiempos, propiedad que se aprovecha para separar el mercurio cementado del resto de la solución.

4.2.6 Lavado

Una vez evacuada la solución que acompaña al mercurio sedimentado se procede a lavar éste elemento con agua a fin de eliminar la solución adherida.

4.3 Selección de equipos

CANTIDAD	DESCRIPCION
01	<ul style="list-style-type: none">Faja transportadora (para el transporte de lodos).
01	<ul style="list-style-type: none">Tolva de almacenamiento para los lodos mercuriales, construido de acero comercial.
01	<ul style="list-style-type: none">Tanque de fibra de vidrio para la solución de soda cáustica, provisto de agitador
01	<ul style="list-style-type: none">Tanque de acero inoxidable para efectos de la lixiviación, provisto de un agitador.
01	<ul style="list-style-type: none">Elevador de cangilones hacia la tolva de lodos.
01	<ul style="list-style-type: none">Tanque de acero comercial para precipitar el mercurio con aluminio (espesador).
01	<ul style="list-style-type: none">Bomba centrífuga
01	<ul style="list-style-type: none">Tanque de fibra de vidrio para la solución de sulfuro de sodio, provista de un agitador.
01	<ul style="list-style-type: none">Tanque de lavado de mercurio

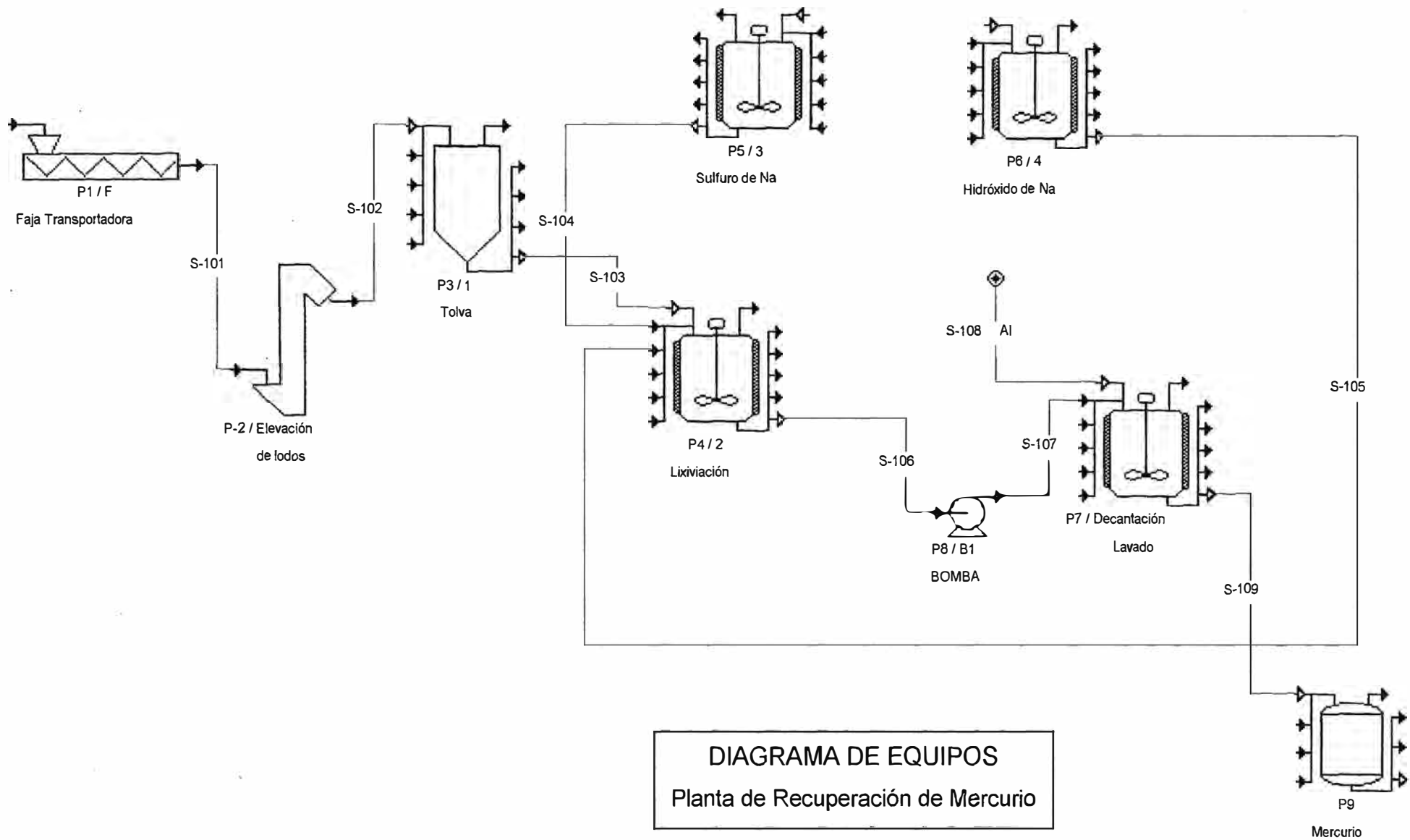


Figura N° 5 :- Diagrama de equipos

4.4 Métodos de obtención del mercurio

Hay muchos métodos de obtención de mercurio, de acuerdo al origen de la materia prima, todos ellos muy importantes ya que finalmente se recupera una substancia imprescindible para la metalurgia del oro.

a. Planta de beneficio de la mina Santa Bárbara Brocal.

Esta es la planta de beneficio de mercurio más importante del país por ser la que más aporta en la producción total a nivel nacional.

Describiremos brevemente el proceso:

El mineral de cinabrio (HgS) procedente de la tolva de gruesos es chancado a 2 ½", transportado y pesado, cae a la tolva de finos, siendo alimentados a los hornos por un tubo accionado por una leva excéntrica.

El mineral es quemado en los hornos rotatorios a la temperatura de sublimación del cinabrio (580 °C); las temperaturas a través del horno van de 700 °C en la zona próxima al quemador a 300 °C en el final del horno; el horno gira a una velocidad de una vuelta en 40 segundos, lo que permite estar al mineral dentro del horno 45 minutos, tiempo suficiente para que casi todo el cinabrio se descomponga.

Todo el circuito trabaja al vacío, a presiones negativas regulado en parte por el ventilador, por el aire adicional que ingresa al horno, por la cantidad y velocidad de los gases, y por el tiro natural de la chimenea.

El control de presiones negativas para el horno en la cámara de polvos puede variar de 0,1 a 0,42 pulgadas de agua.

El mineral quemado cae a la tolva de escorias, las escorias son transportadas en carros mineros a los echaderos.

El vapor de mercurio Hg, producido en el horno al descomponerse el HgS por el calor y la oxidación, el SO₂ proveniente de $\text{HgS} + \text{O}_2 = \text{SO}_2 + \text{Hg}$ junto con el polvo fino del mineral y los gases de combustión: CO₂, CO, O₂, SO₂, viajan todos juntos a través del horno, debido al vacío del circuito, llegando al final del horno y a las cámaras de polvo, en donde chocan con una serie de baffles, para ir dejando el polvo, siguen hacia el colector de polvo tipo sirocco (-2 a -5 pulgH₂O), donde es separado gran parte del polvo continuando los gases

por el ventilador hacia los condensadores, donde se enfrían condensándose la mayor parte del mercurio, que se colecta en la parte interior de los condensadores, los gases continúan hacia la cámara de gases, donde por pérdida de velocidad, se condensa lo último de mercurio, siguiendo los gases de la combustión a través del canal de humos hacia la chimenea.

El lavado de los condensadores se efectúa cada dos días, los lodos mercuriales son mezclados con cal viva en las teteras donde el mercurio adquiere coalescencia. Con los lodos mercuriales se sigue un proceso de lavado – secado – lavado – secado. Lavado con agua, secado con cal para recuperar la mayor parte del mercurio. Los últimos residuos, de los lodos mercuriales, regresan al horno.

El mercurio líquido es sometido a un baño de bencina, para extraerle la grasa, la cal, la suciedad; luego pesado y embotellado.

b. Proceso de beneficio del cinabrio

Este segundo método se está llevando a cabo en “*El Brocal*” a nivel de planta piloto y consiste de las siguientes etapas.:

- **Flotación:** Para la concentración del cinabrio.
- **Lixiviación:** disolución del cinabrio con soluciones de sulfuro de sodio.
- **Electrólisis:** para la obtención del mercurio metálico

Este último proceso es bastante satisfactorio por la alta eficiencia de recuperación así como por la economía del proceso.

El principal inconveniente del primer método es la interferencia provocada por el antimonio y el arsénico que producen precipitados dificultosos de Sb_2O_3 y As_2O_3 en los tubos de condensación, dichos precipitados dificultan la coalescencia del mercurio, impidiendo su recuperación.

Cabe anotar la relevancia de la tecnología propuesta en el presente trabajo de tesis porque se aprovecha un lodo residual para recuperar el mercurio evitando costos de materia prima, así como por el bajo requerimiento de energía.

CAPITULO V : DISEÑO DE PLANTA

5.1 Descripción del proceso

El proceso elegido para la recuperación de mercurio es esencialmente por lotes y se tiene programado tratar mensualmente 417 kg de lodos.

Como etapa previa al proceso se acarrean los lodos procedentes de la torre vacía hacia la tolva de almacenamiento empleando primeramente un coche de transporte hasta el pie del elevador de cangilones y también se preparan las soluciones lixiviantes en sus tanques correspondientes, el hidróxido de sodio con una concentración de 18 g/L y el sulfuro de sodio con 210 g/L

El lodo recepcionado en la tolva al igual que las soluciones de sulfuro de sodio y soda cáustica son alimentados al tanque de lixiviación para la disolución del mercurio, estos tanques cuentan con agitadores y están arreglados en cascada con la tolva situada justamente sobre el lixivador, éste último tiene además un sistema de calentamiento a 80°C con vapor.

Iniciada la lixiviación la solución tiene un color verdoso, luego color vino y al cabo de 5 horas, cuando se ha completado la disolución se torna incolora con espuma blanca, es en este momento cuando la mezcla es enviada con una bomba centrífuga autocebante al tanque de precipitación donde por adición paulatina de virutas de aluminio precipita el mercurio. Esta reacción es muy exotérmica con ebullición violenta, por lo que el aluminio se irá agregando poco a poco en un lapso de 2 horas. Después de agregar el aluminio deben transcurrir 24 horas para la cementación del mercurio, en este momento se evacua la solución sobrenadante que contiene el sulfuro de sodio regenerado por el aluminio, y finalmente el mercurio es lavado con agua en otro tanque para quitarle la solución adherida y envasarlo posteriormente en botellas.

5.2 Balance de materia

La cantidad de lodos de la torre de vacío es de 5000 kg/año por lo que se tratará 417 kg de lodos por mes.

Lodos en base seca:

$$417 \text{ kg} * 0,85 = 354,4 \text{ kg lodo seco/mes}$$

Mercurio total:

$$354,4 \text{ kg} * 0,186 = 65,9 \text{ kg Hg/mes}$$

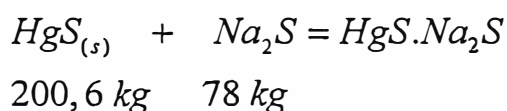
De acuerdo a datos experimentales la eficiencia de recuperación es de 83,2%, por lo que se tiene:

Mercurio recuperado:

$$65,9 \text{ kg} * 0,832 = 54,8 \text{ kg Hg/mes}$$

5.2.1 Cálculos del sulfuro de sodio (Na₂S) requerido

El requerimiento de sulfuro de sodio se determina de acuerdo a la estequiometría de la siguiente reacción:



$$\text{Na}_2\text{S} = 65,9 \text{ kg Hg} * \frac{78 \text{ kg Na}_2\text{S}}{200,6 \text{ kg Hg}} = 25,62 \text{ kg Na}_2\text{S} \quad \text{puro}$$

En el mercado se encuentra al 60% de pureza. Necesitamos de:

$$\text{Na}_2\text{S} = \frac{25,62}{0,60} = 42,7 \text{ kg Na}_2\text{S} \quad \text{al 60\%}$$

Para garantizar la disolución de mercurio, se considera un 10% de exceso de Na₂S

$$\text{Na}_2\text{S} = 42,7 \text{ kg} * 1,1 = 46,97 \frac{\text{kg Na}_2\text{S}}{\text{mes}}$$

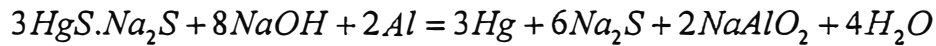
Como este sulfuro estará contenido en una solución de 210 g/l la cantidad de agua necesaria será:

$$H_2O = \frac{46,97 \text{ kg } Na_2S}{210 \text{ kg } Na_2S / m^3 \text{ de } H_2O} = 0,224 \text{ m}^3 \text{ de } H_2O$$

$$H_2O = 224 \frac{l}{mes}$$

5.2.2 Soda cáustica y aluminio requerido

Estos reactivos se calculan en base a la siguiente ecuación química:



Soda cáustica:

$$NaOH = 65,9 \text{ kg Hg} * \frac{320 \text{ Kg NaOH}}{601,8 \text{ kg Hg}} = 35 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{mes}} \text{ puro}$$

En el mercado se encuentra al 98% de pureza necesitamos de:

$$NaOH = \frac{35}{0,98} = 35,71 \text{ kg NaOH al } 98\%$$

La cantidad de agua necesaria para la disolución de NaOH es de 1100 l (dato asumido de acuerdo a la prueba experimental con la que se obtuvo un 83,2% de recuperación del mercurio).

$$\text{Agua total} = 224 \text{ l} + 1100 \text{ l} = 1324 \text{ l}.$$

Aluminio:

$$Al = 65,9 \text{ kg Hg} * \frac{54 \text{ kg Al}}{601,8 \text{ kg Hg}} = 5,9 \frac{\text{kg Al}}{\text{mes}}$$

Para obtener una buena cementación del mercurio se agrega un exceso de 50% de Al.

$$Al = 5,9 \text{ kg} * 1,5 = 8,8 \text{ kg Al/mes}$$

Esquema del Balance de Masa por Lotes

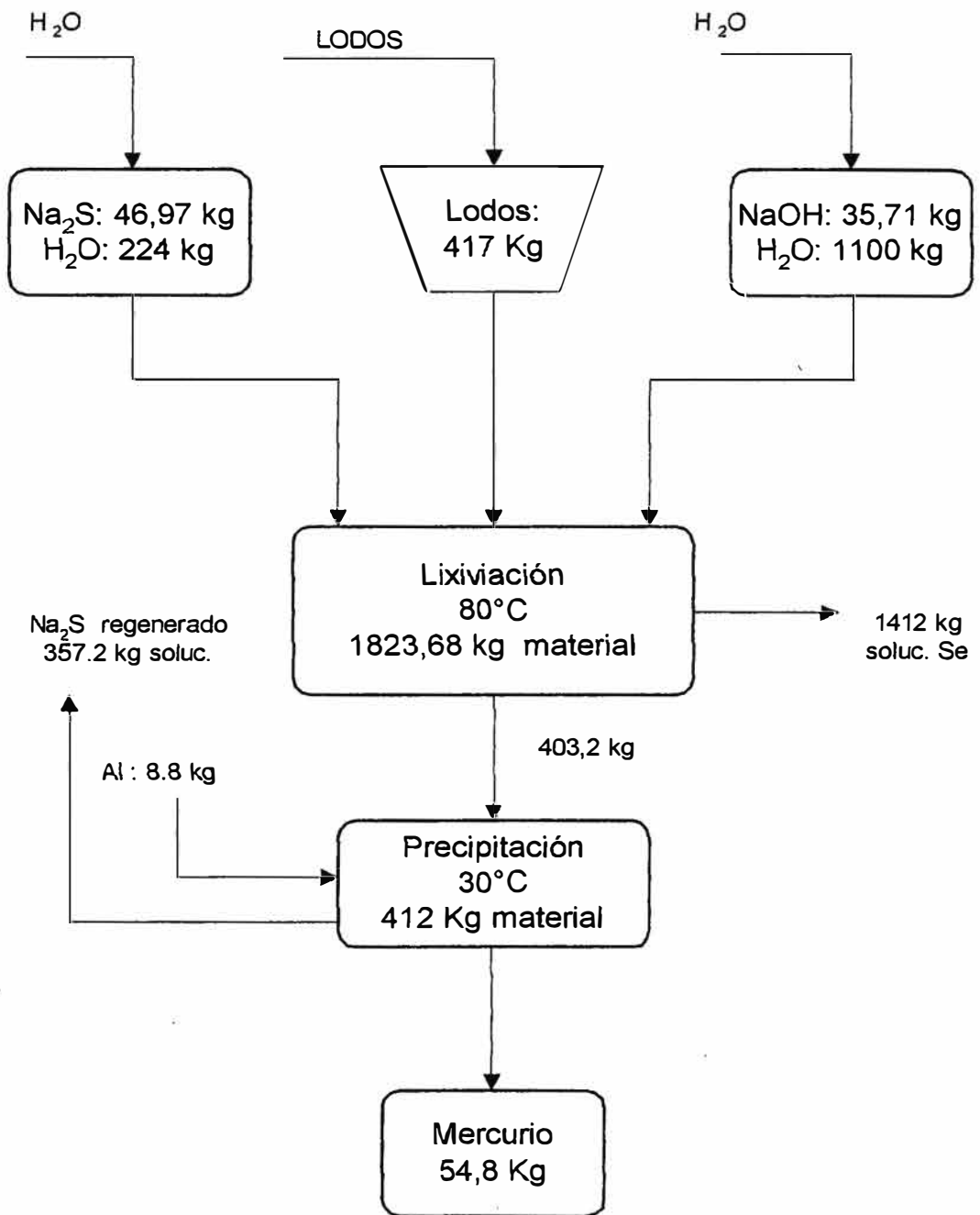


Figura N° 6 : Esquema del Balance de Masa por Lotes

5.3 Balance de energía

En este acápite evaluaremos la cantidad de energía necesaria para calentar el lote completo durante la lixiviación.

Para estimar la capacidad calorífica media de los lodos se asume que está compuesto fundamentalmente por mercurio, selenio y humedad, además se ha considerado una base de cálculo de 100 g para calcular la fracción molar de cada uno de estos componentes.

Tabla 5.3.1 FRACCION MOLAR Y CAPACIDAD CALORIFICA

Composición	% Peso	Masa (g)	n (moles)	Fracc. Molar	Cp (cal/mol K)
Hg	18,6	18,6	0,093	0,053	6,61
Se	66,4	66,4	0,840	0,475	4,53
Humedad	15,0	15,0	0,833	0,472	18,00
TOTAL	100,0	100,0	1,766	1,000	

$$Cp_{(lodos)} = 6,61 * 0,053 + 4,53 * 0,475 + 18 * 0,472$$

$$Cp_{(lodos)} = 11,00 \text{ cal / mol K}$$

Substanc.	Masa (g)	n (moles)	Fracc. Molar	Cp (cal/mol K)
Na ₂ S	46,97	0,606	0,0080	18,0
NaOH	35,71	0,893	0,0119	31,3
H ₂ O	1324,00	73,560	0,9801	18,0
TOTAL	1406,68	75,055	1,0000	

$$Cp_{(solu.)} = 18 * 0,0080 + 31,3 * 0,0119 + 18 * 0,9801$$

$$Cp_{(solu.)} = 18,16 \text{ cal / mol K}$$

Calor de Disolución de NaOH y Na₂S:

Considerando el calor de disolución de NaOH a 20 °C ΔH = -33.418 kcal, y el calor de disolución de Na₂S a 20 °C ΔH = 16.995 kcal tendremos un ΔH de la solución lixivante igual a -16.423 kcal (ref. 14)

Número de moles-kg en el lodo:

$$\text{moles - kg} = 417 \text{ kg} * \frac{1,766 \text{ mol - g}}{100 \text{ g lodo}} * \frac{1000 \text{ g lodo}}{1 \text{ kg lodo}} * \frac{1 \text{ kg - mol}}{1000 \text{ mol - g}}$$

$$\text{moles - kg lodos} = 7,36 \text{ kg - mol}$$

Tabla 5.3.3 CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA GLOBAL

Componen.	n (moles)	Fracc. Molar	Cp (cal/mol K)
Lodos (M - 1)	7,36	0,089	11,00
Solvente (M -	75,06	0,911	18,16
TOTAL	82,42	1,000	

$$C_{P_{(global)}} = 11 * 0,089 + 18,6 * 0,911$$

$$C_{P_{(global)}} = 17,52 \text{ cal / mol K}$$

CALOR NECESARIO: $Q = Q_{global} + Q_{disolución}$

$$Q = 17,52 \frac{\text{cal}}{\text{mol kg - K}} * 82,42 \text{ mol - kg} * (373 - 293) \text{ K} + 16423 \text{ cal}$$

$$Q = 131 493 \text{ cal}$$

5.4 Diseños de equipos principales

5.4.1 Transporte de lodos mercuriales (materia prima)

01 Elevador de cangilones

Eleva la materia prima hasta la tolva de alimentación al lixivador.

El elevador será tipo descarga centrífuga y los cangilones montados sobre una cadena con un espaciamiento de 0,5 m entre uno y otro cangilon para evitar la interferencia en la carga y la descarga.

Elevación de centros : 3,0 m
Tamaño de cangilon : 0,15 * 0,12 * 0,10
Capacidad : 0,5 t/h
Material : Fierro fundido.
Motor eléctrico de 1,5 HP (Ref. 14)

5.4.2 Disolución de mercurio

01 Tanque de Lixiviación

Para efectuar el diseño de lixiviador se efectuarán los siguientes cálculos:

Densidad de lodos:

Tabla 5.4. 1 DENSIDAD MEDIA DE LODOS

Componen.	Fracc. Molar (X_i)	Densidad (ρ_i)	(X_i) / (ρ_i)
Hg	0,186	13,6	0,0137
Se	0,664	4,8	0,1383
Humedad	0,150	1,0	0,1500
TOTAL			0,3020

$$\frac{1}{\rho} = \sum_{i=1}^3 \frac{x_i}{\rho_i}$$

(Principios Básicos de los Procesos Químicos Felder pag. 177

Ref. 4)

De la tabla 5.4. 1: $\frac{1}{\rho} = 0,302$

$$\rho = 3,31 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 5.4.2 DENSIDAD MEDIA DEL LOTE

Componente	Peso (kg)	Fracc. Molar (X_i)	Densidad (ρ_i)	(X_i) / (ρ_i)
Lodo	417,00	0,23	3,31	0,069
Na ₂ S	270,97	0,15	1,05	0,143
NaOH	1135,71	0,62	1,02	0,608
TOTAL	1823,68	1,00		0,820

$$\text{Densidad lote lixiv.} = \frac{1}{0,82} = 1,22 \text{ g / cm}^3$$

$$V_{\text{lote}} = \frac{1823,68 \cdot 10^3}{1,22} = 1494820 \text{ cm}^3 = 1494,82 \text{ m}^3$$

$$V_{TK} = \frac{1,49}{0,75} \text{ m}^3 = 1,99 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{\pi \Phi^2 H}{4}$$

$$H = 1,5\Phi \rightarrow V = \frac{1,5}{4} \pi \Phi^3$$

Dimensiones del lixiviador: $\Phi = 1,2 \text{ m}$ (diámetro del Tk)

$H = 1,8 \text{ m}$ (altura Tk)

$$\text{Considerando: } \frac{\Phi_{Tk}}{\Phi_{imp}} = 2,5$$

Φ_{Tk} = Diámetro del tanque

Φ_{imp} = Diámetro del impulsor

$$\Phi_{imp} = \frac{1,2}{2,5} = 0,48 \text{ m}$$

Velocidad del impulsor: 150 rpm

Viscosidad = 1,0 cp (valor asumido tomando en consideración el mayor porcentaje de agua).

$$N_{Re} = \frac{10,75 \cdot \rho \cdot RPM \cdot (\Phi_{imp})^2}{\mu} \quad (\text{ref. 14})$$

Φ_{imp} = Diámetro del impulsor en pulgadas.

$$N_{Re} = \frac{10,75 * 1,22 * 150 * (18,9)^2}{1,0}$$

$$N_{Re} = 7,02 * 10^5$$

A este N_{Re} le corresponde el Número de Potencia $N_p = 0.65$

Luego la potencia del motor para el agitador será:

$$P = 3,25 * 10^{-3} * N_p * \rho * \left(\frac{RPM}{60}\right)^3 * \left(\frac{\Phi_{imp}}{12}\right)^5$$

$$P = 0,40 \text{ HP}$$

Considerando pérdidas debido a las transmisiones se requerirá de un motor de 1,0 HP

El tanque de lixiviación estará construido de acero inoxidable y será puesto en cascada con los tanques de preparación de las soluciones de Na_2S y NaOH , adecuadamente instalados sobre plataformas construidas de ángulos de $2 \frac{1}{2}$ de acero comercial, además todo este sistema contará con una escalera de servicio.

5.4.3 Envío de la solución lixiviada

01 Bomba Centrífuga

Bomba centrífuga para el envío de la solución lixiviada hacia el tanque de precipitación, se ha escogido esta bomba debido a que se trata de un fluido de baja densidad.

Balance de energía mecánica total entre el punto 1 (superficie libre del agua en el depósito) y el punto 2 (salida de la cañería).

$$W_0 = z_2 - z_1 + \frac{V_2^2}{2\alpha g_c} - \frac{V_1^2}{2\alpha g_c} + p_2 v_2 - p_1 v_1 + \sum F \quad \text{.. (ref. 20)}$$

Los puntos 1 y 2 fueron tomados donde la velocidad lineal es despreciable con respecto a la velocidad media lineal de circulación por la cañería, por lo tanto:

$$\frac{V_2^2}{2\alpha g_c} = 0 \quad y \quad \frac{V_1^2}{2\alpha g_c} = 0$$

$p_1 = p_2 =$ presión atm., $v_1 = v_2$ porque el agua es fluido incomprensible, $p_2 v_2 = p_1 v_1 = 0$

La diferencia de altura entre la superficie libre del agua del depósito y el lugar de la descarga, en el tanque, es de 13 pies (4 m) y la longitud de la cañería de 26 pies (8 m).

En el sistema ha considerado una válvula de compuerta y tres codos estándar de 90°, el flujo volumétrico de agua es de 50 gpm..

Velocidad media en la cañería de dos pulgadas:

$$V_m = 4,77 \text{ pies / s}$$

$$\text{viscosidad} = 1,0 \text{ cp} = 0,000672 \text{ lb/pie-s}$$

$$\text{densidad} = 1,22 \text{ g/cm}^3 = 76 \text{ lb/pie}^3$$

$$N_{Re} = 93058$$

Tubería de acero comercial: $\epsilon = 0,00015$

$$\frac{\epsilon}{\phi} = \frac{0,00015 * 12}{2,07} = 0,00087$$

Factor de fricción $f = 0,0055$

$L_e =$ total por válvula y accesorios:

$$L_e = \frac{7 * 2,07}{12} + \frac{3 * 32 * 2,07}{12} = 17,8 \text{ ft}$$

Pérdidas por fricción debidas al flujo en la cañería y todos los accesorios por unidad de masa:

$$\sum F = 2,0 \text{ pie} * \frac{\text{lb}f}{\text{lb}m}$$

Del balance de energía mecánica total resulta:

$$W_0 = (z_2 - z_1) + \sum F = 13 + 2 = 15 \text{ pie} * \frac{\text{lb}f}{\text{lb}m}$$

Eficiencia de la bomba = 0,40

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ pies} * \frac{\text{lb}_f}{\text{lb}_m}$$

$$P = 0,58 \text{ HP}$$

Para una estimación de diseño resultaría adecuado un motor de $\frac{3}{4}$ HP.

5.4.4 Precipitación del mercurio

El tanque de precipitación será del mismo tamaño que el tanque de lixiviación, para evitar pérdidas de material debido a la ebullición violenta por adición de las virutas del aluminio.

Dimensiones:	Altura = 1,8 m
	Diámetro = 1,2 m
Material :	Acero comercial

Este mismo tanque servirá para el lavado de mercurio con agua.

5.4.5 Provisión de vapor

En vista de que la planta de tratamiento de mercurio estará anexa a la refinería de zinc de Cajamarquilla, el vapor requerido para la lixiviación será proveído por esta misma refinería.

5.5 Diseños de equipos secundarios

5.5.1 Almacenamiento de lodos

01 Tolva

Se dispondrá de una tolva para el almacenamiento intermedio y la alimentación de materia prima al tanque de lixiviación

La tolva estará situada justamente sobre el lixiviador tendrá forma de tronco piramidal con una compuerta en la parte inferior para la dosificación del material.

Utilizando el dato de densidad de lodos calculado en 5.4.2 determinamos el volumen de los mismos.

$$V \text{ lodos} = 126 \text{ L}$$

Suponiendo que los lodos ocuparan el 75% del volumen de la tolva tenemos:

$$V \text{ tolva} = 168 \text{ L} = 0,168 \text{ m}^3$$

Siendo las bases de la tolva áreas cuadradas de 0,2 m y 0,8 m por lado, la altura se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 + A_2})h \quad \dots \text{ (ref. 14)}$$

$$\text{Altura de la tolva} = 0,6 \text{ m}$$

5.5.2 Disolventes de lixiviación

01-Tanque de Na₂S

Tanque cilíndrico en posición vertical construido de fibra de vidrio para la preparación de la solución de sulfuro de sodio, estará provisto de un agitador de hélice para la disolución del Na₂S.

Tabla 5.5.1 DENSIDAD DE LA SOLUCION DE Na₂S

Componente	Peso (kg)	Fracc. Molar (x _i)	Densidad (ρ _i)	(x _i) / (ρ _i)
Na ₂ S	46,97	0,173	1,86	0,093
H ₂ O	224,0	0,827	1,00	0,827
TOTAL	270,97	1,000		0,920

$$\bar{\rho} = 1,09 \text{ g / cm}^3$$

$$\text{Volumen de la solución} = 249 \text{ l} = 0,249 \text{ m}^3$$

Volumen del tanque:

$$V = \frac{\pi \Phi^2 H}{4}$$

$$H = 1,5\Phi \rightarrow V = \frac{1,5}{4} \pi \Phi^3$$

Dimensiones del tanque: $\Phi = 0,66 \text{ m}$ (*diámetro del Tk*)

$H = 1,00 \text{ m}$ (*altura Tk*)

Debido a que se trata de una solución diluida el motor del agitador será de 0,5 HP.

01-Tanque de NaOH

Tanque cilíndrico en posición vertical construido de fibra de vidrio para la preparación de la solución de hidróxido de sodio, estará provisto de un agitador de hélice para la disolución del NaOH.

Tabla 5.5.2 DENSIDAD DE LA SOLUCION DE NaOH

Componente	Peso (kg)	Fracc. Molar (x)	Densidad (ρ_1)	(x) / (ρ_1)
NaOH	35,71	0,0314	2,13	0,0147
H ₂ O	1100,00	0,9686	1,00	0,9686
TOTAL	1135,71	1,0000		0,9833

$$\bar{\rho} = 1,017 \text{ g / cm}^3$$

$$\text{Volumen de la solución} = 1117 \text{ l} = 1 \text{ 117 m}^3$$

Volumen del tanque:

$$V = \frac{\pi \Phi^2 H}{4}$$

$$H = 1,5\Phi \rightarrow V = \frac{1,5}{4} \pi \Phi^3$$

Dimensiones del tanque: $\Phi = 1,08 \text{ m}$ (*diámetro del Tk*)

$H = 1,62 \text{ m}$ (*altura Tk*)

Se requiere de un motor de 0,5 HP para el agitador.

CAPITULO VI : INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO

6.1 Inversión

Resulta posible fabricar productos de similar calidad aunque el capital necesario y los gastos en que se incurre pueden variar considerablemente con la ubicación de la planta y los equipos seleccionados.

Tomando en consideración este hecho luego de haber realizado el estudio técnico para la recuperación de mercurio a partir de los lodos residuales en la refinería de Cajamarquilla nos encontramos ante tres alternativas para efectuar la inversión y construir la planta de tratamiento:

- a. Construir una planta totalmente independiente de la refinería.
- b. Construir la planta dentro de las instalaciones de la citada refinería, empleando equipos nuevos.
- c. Construir la planta dentro de la refinería de Cajamarquilla empleando equipos usados que estén fuera de servicio.

De adoptar la primera alternativa para la inversión se tendría que afrontar un fuerte desembolso por la adquisición de activos fijos tales como terreno, construcción de edificaciones, equipamiento de la planta (maquinaria y equipos), instalación de servicios, incrementándose aun mas el costo de producción por tener que pagar fletes para transporte de lodos hasta la planta de purificación y contratar personal técnico así como mano de obra no calificada, dando como resultado una tasa de retorno no atractiva para el inversionista.

Al optar por la segunda alternativa se evita algunos gastos porque ya no se tendría que invertir en compra de terreno, instalaciones de servicios ni pago de flete por transporte de lodos, sin embargo el costo por adquisición de maquinarias y equipos totalmente nuevos hace que el retorno de la inversión, presente algunas desventajas frente a la tercera. alternativa que siguiendo la política de minimización de gastos y necesidades del proyecto y aprovechamiento de todas las posibilidades resulta la más atractiva, pues en este caso no solamente se ahorra en adquisición de terreno, transporte de

lodos, instalación de servicios sino también en equipos fuera de servicios existentes en la planta, principalmente tanques de fibra de vidrio que se podrían aprovechar para el tratamiento de lodos.

De esta manera el financiamiento del proyecto lo asumirá la propia refinería de Cajamarquilla, primero aprovechando los equipos existentes y los servicios ya instalados, y después aportando la propia empresa el resto del capital necesario, tal como indica la tercera alternativa.

6.2 Financiamiento

Una vez que hemos estudiado y analizado los diferentes problemas vinculados a la formulación del proyecto procederemos a la determinación del financiamiento más adecuado, que conlleve una optimización del retorno del proyecto, en consecuencia es preciso definir la empresa que cuente efectiva o virtualmente con los fondos de financiamiento, realice las obras proyectadas y dirija las faenas de producción.

Es claro que los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto son escasos. Por lo tanto, antes de definir el financiamiento óptimo tenemos que asegurar la minimización de las necesidades de éste a través del aprovechamiento de todas las posibilidades, ventajas, franquicias, etc. que lleven en definitiva a reducir al mínimo las necesidades de recursos.

Partiendo de estas premisas nos encontramos ante dos opciones diferentes para financiar el proyecto:

- a. Financiamiento externo (crédito de proveedores, préstamos bancarios de corto y largo plazo y arriendos financieros o leasing).
- b. Financiamiento interno o con recursos propios.

Las fuentes de financiamiento externo o ajenas se caracterizan por proveer recursos "frescos", que pueden ser bancos comerciales, nacionales o internacionales, fundaciones para el desarrollo, organismos estatales como COFIDE, compañías de leasing y otros.

Estas fuentes generan distintos tipos de crédito a los que es difícil acceder en periodos recesivos y de iliquidez, como esta es la situación actual del mercado de capitales en nuestro país, resulta sumamente difícil obtener créditos

a largo plazo y a tasas de interés convenientes por lo que descartamos la primera posibilidad de financiamiento.

Siendo Cajamarquilla una empresa sólidamente constituida, cuenta con recursos propios que provienen de las operaciones comerciales de la propia empresa, a través de la retención de las utilidades para reinvertirlas en nuevos proyectos tal como el que proponemos, por lo que la misma compañía afrontará con la inversión de capital para la implementación de la planta. El aporte será cediendo parte de sus activos fijos tales como terreno, equipos en desuso disponibles, así como también racionalizando su personal para efectuar las operaciones programadas mensualmente y finalmente dando el resto de capital requerido.

CAPITULO VII : EVALUACIÓN ECONOMICA

Una actividad permanente en el ámbito empresarial, lo constituye el análisis de la situación económica y financiera de la misma, a partir de la cual se adoptan decisiones que contribuyen a mejorar su desempeño y con ello maximizar sus beneficios.

Para alcanzar el objetivo antes mencionado se utilizan los pronósticos financieros: a corto plazo destinados fundamentalmente a la elaboración de presupuestos de efectivo y los de largo plazo que se concentran en el crecimiento futuro de las ventas y los activos, así como el financiamiento de dicho crecimiento.

Todo lo expuesto evidencia que un buen análisis financiero debe detectar la fuerza y los puntos débiles de un negocio, en particular en el proceso de evaluación de la rentabilidad de proyectos de inversión que, al margen de su clasificación la cual puede diferir entre diferentes autores, se caracterizan por la ocurrencia de flujos financieros en el transcurso del tiempo, resultan indispensables para la entidad pues incluyen aspectos tales como reemplazo de equipos; sustitución de proyectos; diseño de nuevos productos o servicios y expansión hacia otros mercados, para escoger aquellos que contribuyan a lograr un incremento neto del capital.

En nuestro caso analizaremos tres alternativas

A. Primera alternativa:

Instalación de la Planta de recuperación fuera de Cajamarquilla

La evaluación económica se hará en base a datos proporcionados por los fabricantes de materia prima y suministros locales.

B. Segunda alternativa:

Instalación de la Planta de recuperación dentro de la refinería, utilizando equipos nuevos.

C. Tercera alternativa:

Instalación de la Planta en Cajamarquilla, utilizando equipos dados de baja.

7.1 Costo total de inversión

7.1.1 Capital fijo

Vemos que la inversión del costo de capital fijo asciende a \$88 004 dólares donde los costos directos representan aproximadamente el 73% de la inversión con \$64 236 dólares y los costos indirectos el 27% con \$23 768 dólares, para la alternativa A. Según el cuadro vemos que la inversión del costo de capital fijo asciende a \$41 972 dólares donde los costos directos representan aproximadamente el 73% de la inversión con \$30 636 dólares y los costos indirectos el 27% con \$11 336 dólares, para la alternativa B. Y por último para la alternativa C, según el cuadro vemos que la inversión del costo de capital fijo asciende a \$29 381 donde los costos directos representan aproximadamente el 73% de la inversión con \$ 21 446 y los costos indirectos el 27% con \$7 935,. según el cuadro.

	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
	\$	%	\$	%	\$	%
Capital Fijo	88 004	100	41 972	100	29 381	100
Costos directos	64 236	73	30 636	73	21 446	73
Costos indirectos	23 768	27	11 336	27	7 935	27

7.1.2 Capital de trabajo

Considerando que el capital de trabajo es el 15% del costo total de la inversión del capital vemos que asciende a \$15 530. La evaluación para la alternativa A es la siguiente:

$$\text{Capital de Trabajo} = 88004 * \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,85 \end{pmatrix}$$

En forma similar para las otras alternativas tenemos:

	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
	\$	%	\$	%	\$	%
Capital Fijo	88 004	85	41 972	85	29 381	85
Capital de Trabajo	15 530	15	7 407	15	5 185	15
Inversión Total de Capital	103 534	100	49 379	100	34 566	100

7.2 Costo total del producto

7.2.1 Costo de producción

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
	\$	\$	\$
Materia Prima	3 993	3 408	3 408
Mano de obra y supervisión	6 000	2 700	2 700
Servicios auxiliares	3 000	3 000	3 000
Mantenimiento y reparación	1 760	840	840
Suministros para la operación	352	170	170
Gastos de laboratorio	1 200	270	270
Total Costos Directos de Producción	16 305	10 388	10 388
B. Gastos fijos			
Depreciación	8 800	4 197	2 938
Impuestos locales	880	420	294
Seguros	440		
C. Gastos generales de planta	3850	1 770	1 770
TOTAL COSTO DE PRODUCCION	30 275	16 775	15 390

7.2.2 Gastos generales

El costo de producción de mercurio en una planta independiente de Cajamarquilla (Alternativa A) es excesivamente elevado, pues casi duplica el precio promedio de mercurio en el mercado (\$ 14.0), por lo que se haría, prácticamente imposible la recuperación del capital invertido.

CUADRO N° 11 – Alternativas de Evaluación Económica

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
	\$	\$	\$
A. Gastos de administración	1 155	531	531
B. Gastos de administración y marketing	990	400	400
C. Gastos de investigación y desarrollo	1 980	800	800
D. Gastos de financiación	10 350	988	691
Total Gastos Generales	14 475	2 719	2 422
Costo Total de Producción	44 750	19 494	17 812
de 1972 kg de Hg / año			
COSTO UNITARIO DE MERCURIO	22,70	9,89	9,03
\$ / kg de Hg			

Por lo tanto descartamos la Alternativa A para los siguientes cálculos.

7.3 Utilidad neta

A manera de ejemplo, se efectúa el cálculo de la utilidad neta para el primer año de producción, mostrándose en la tabla los valores correspondientes a los subsiguientes años, considerando una inflación anual de 5% en los precios y un precio de venta de \$14 kg

Ingreso primer año:

$$1972 \text{ kg} * 14 \text{ \$ / kg} = \text{US\$ } 27608$$

Costo total de producción primer año:

$$1972 \text{ kg} * 9,885 \text{ \$ / kg} = \text{US\$ } 19494$$

Utilidad bruta primer año:

$$27608 - 19494 = \text{US\$ } 8114$$

Renta Neta primer año: (antes de impuesto) = UB – Depreciación

$$8114 - 4197 = \text{US\$ } 3917$$

Impuestos 30%

$$3917 * 0,30 = \text{US\$ } 1175$$

Utilidad neta primer año:

$$3917 - 1175 = \text{US\$ } 2742$$

Utilidad Neta

Año	Utilidad Neta B \$	Utilidad Neta C \$
1	2,742	4,801
2	3,026	5,143
3	3,324	5,503
4	3,637	5,881
5	3,966	6,278
6	4,311	6,695
7	4,674	7,133
8	5,054	7,592
9	5,454	8,075
10	5,873	8,581

7.4 Flujo de caja

A continuación se presenta el flujo de caja para el período de vida útil del proyecto, después de pagar impuestos.

Flujo de caja

Año	Flujo de Caja B \$	Flujo de Caja C \$
0	(49,379)	(34,566)
1	6,939	7,739
2	7,223	8,081
3	7,521	8,441
4	7,834	8,819
5	8,163	9,216
6	8,508	9,633
7	8,871	10,071
8	9,251	10,530
9	9,651	11,013
10	17477 *	16704 *

* = Ingreso en el año 10 + Capital Trabajo + Deprec.

$$\text{FNF} = \text{U. Neta} + \text{Depreciación} - \text{INV}$$

7.5 Valor presente neto

Es uno de los criterios de evaluación de inversiones, también conocido como Valor Actual Neto (VAN) y viene a ser la suma actualizada con la Tasa de Descuento (TD) de los Flujos Netos de Fondos (FNF's) de todo el horizonte de planeamiento, los parámetros del VPN son la TD y el año al cual se actualizan los FNF's, generalmente el año cero. Este criterio de evaluación de inversiones mide la rentabilidad absoluta (expresada en unidades monetarias), fija la prioridad u orden de mérito cuando se dispone de varias alternativas y también es utilizado para determinar el tamaño o escala óptima de un proyecto.

La fórmula para el cálculo del VPN es similar a la empleada en matemática financiera para calcular el valor presente, en lugar de utilizar la tasa de interés se emplea la Tasa de Descuento. La ecuación 7.5 proporciona el VPN calculado al año cero

$$VPN_{0,TD} = \sum_{j=0}^N \frac{FNF_j}{(1+TD)^j} \quad \dots \text{ ec. (7.5)}$$

Donde : $j = \text{Año}$

$FNF = \text{Flujo Neto de Fondos}$

$TD = \text{Tasa de Descuento}$

Criterio: Los proyectos serán rentables si $VPN > 0$ y los mejores proyectos serán aquellos que tengan el más alto VPN

Para el caso de la Alternativa B tenemos:

TASA _B =	0%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
VAN _B =	\$42 059	\$18 984	\$12 063	\$3 470	(\$7 300)	(\$15 000)	(\$20 656)

Para el caso de la Alternativa C tenemos:

TASA _C =	0%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
VAN _C =	\$65 682	\$40 730	\$33 216	\$23 865	\$12 102	\$3 655	(\$2 573)

Observando vemos que los proyectos son rentables para $VPN > 0$ de acuerdo a la tasa de descuento para una tasa entre 10 y 15% se hace igual a cero para la alternativa B lo mismo ocurre entre 20 y 25% para la alternativa C, como se observa en la figura, pero si trabajamos con una misma tasa de corte por ejemplo del 5% vemos que el VAN_B es de \$18 984 y el VAN_C es de \$40 730 respectivamente luego $VAN_C > VAN_B$ en este caso escogeríamos la alternativa C

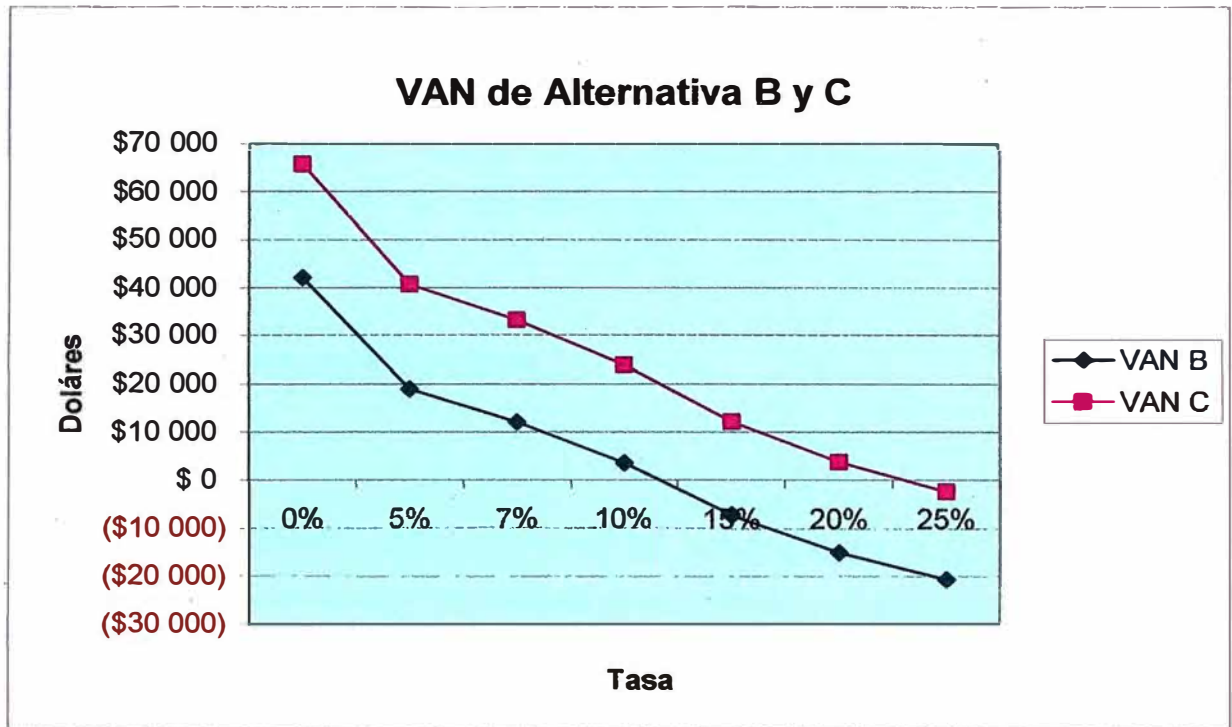


Figura N° 7 : Comparación de alternativas B y C

7.6 Tasa de retorno

Para evaluar la rentabilidad del proyecto se utilizará el método del flujo de fondos.

Al término del período de vida útil, el flujo de fondos del proyecto, compuesto sobre la base de la entrada al finalizar cada año, será:

$$S = 6939(1+i)^9 + 7223(1+i)^8 + 7521(1+i)^7 + 7834(1+i)^6 + 8163(1+i)^5 + 8508(1+i)^4 + 8871(1+i)^3 + 9251(1+i)^2 + 9651(1+i)^1 + 17477$$

.... (ec. 7.6.1)

El símbolo S representa el valor futuro de los réditos del proyecto teniendo en cuenta el valor de reventa al finalizar el proyecto y el capital de trabajo, esta suma debe ser igual al valor futuro de la inversión inicial con un interés compuesto de tasa i.

$$S = 49379(1+i)^{10} \quad \dots \text{ (ec. 7.6.2)}$$

Igualando las ec. 7.6.1 y 7.6.2 y utilizando el método de prueba y error para obtener i es decir la tasa de interés del flujo de fondos descontados tenemos:

$$i = 0,1143$$

$$\text{Tasa de retorno} = 11,43\%$$

Para la alternativa C en forma similar, determinamos la tasa de retorno. Al término del período de vida útil, el flujo de fondos del proyecto, compuesto sobre la base de la entrada al finalizar cada año, será:

$$S = 7739(1+i)^9 + 8081(1+i)^8 + 8441(1+i)^7 + 8819(1+i)^6 + 9216(1+i)^5 + 9633(1+i)^4 + 10071(1+i)^3 + 10530(1+i)^2 + 11013(1+i)^1 + 16704$$

.... (ec. 7.6.3)

$$S = 34566(1+i)^{10} \quad \dots \text{ (ec. 7.6.4)}$$

Igualando las ec. 7.6.3 y 7.6.4 y utilizando el método de prueba y error para obtener i es decir la tasa de interés del flujo de fondos descontados tenemos:

$$i = 0,2276$$

$$\text{Tasa de retorno} = 22,76\%$$

Por lo tanto $TIR_C > TIR_B$ escogemos la alternativa C

CAPITULO VIII : OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Observaciones

1. El contenido de mercurio entre 0,044 ppm a 0,167 ppm en vegetales, carnes rojas, pescados, es letal para el consumo humano; debido a la verificación de estos parámetros en los productos procedentes de la zona de Cajamarquilla, es que se ha desarrollado el presente proyecto, tendiente a evitar la contaminación.
2. A partir del año 1981 es que se agudizaron los problemas de contaminación por mercurio en el efluente metálico, habiendo procedido por este motivo a la recolección de los lodos mercuriales en las paradas de planta para su posterior tratamiento.
3. La exposición aguda al mercurio, a niveles altos, causa una irritación severa del aparato respiratorio, trastornos digestivos y un daño renal marcado; el mercurialismo crónico, la forma de intoxicación más frecuente causada por exposición ocupacional, se caracteriza por trastornos neurológicos psíquicos, anorexia, pérdida de peso y estomatitis. La absorción del mercurio inorgánico a través de la piel probablemente se agrega a los efectos tóxicos por inhalación de sus vapores.

8.2 Conclusiones

1. El método escogido para la recuperación de mercurio a partir de los lodos residuales de la refinería de Cajamarquilla es el más conveniente, dada la disponibilidad de materiales y equipos en esta planta.
2. Por el estudio técnico realizado y la cantidad de lodos existentes, la totalidad de mercurio recuperado anualmente asciende a 1972 kg, material que beneficiará al país por el ahorro de divisas en importaciones.
3. De las tres posibles alternativas planteadas para la puesta en ejecución del presente proyecto se ha visto por conveniente llevar a cabo la tercera alternativa por tener un mayor VAN y mayor TIR, construyendo la planta de tratamiento de mercurio dentro de las instalaciones de la refinería de zinc.
4. La localización de la planta de recuperación de mercurio en Cajamarquilla, traerá los siguientes beneficios para la zona:
 - Eliminar totalmente los residuos de Hg en el efluente metalúrgico y evitar la contaminación por esta sustancia en la poza de regantes que utiliza dicha agua en la agricultura, consumo de animales y actividades domésticas del referido valle.

8.3 Recomendaciones

1. Las impurezas contenidas en el sulfuro de sodio ha ocasionado interferencias, provocando sobrecargas de flujo, es por ese motivo que los reactivos a usar han de ser de la mejor calidad, libre de materias extrañas.
2. Debe tenerse cuidado de no desechar la solución de sulfuro de sodio regenerado durante la cementación del mercurio metálico.
3. Así mismo se recomienda realizar un estudio técnico-económico para evaluar la viabilidad de recuperar el selenio

contenido en estos lodos, hecho que al resultar positivo favorecerá a un mejor aprovechamiento de los recursos, redundando en un mayor beneficio para la empresa y el país.

4. Es necesario optimizar aún más la recuperación de mercurio, aumentando la eficiencia de lixiviación, para lo cual se propone volver a tratar los residuos de la disolución con la mezcla de Na_2S y NaOH aumentando así el rendimiento.
5. El mercurio metálico se vaporiza fácilmente a temperatura ambiental y el vapor no tiene propiedades indicadoras, por lo que es necesario que todo trabajador de la planta de recuperación tenga que pasar exámenes médicos periódicos, así mismo se les proveerá y exigirá el uso de ropa impermeable, guantes, protectores faciales y otras vestimentas protectoras adecuadas que se necesitan para evitar cualquier posibilidad de que el trabajador se ponga en contacto con el mercurio

CAPITULO IX : BIBLIOGRAFÍA

1. ASFAHL, C. Ray. "Seguridad Industrial y Salud". Editorial Prentice Hall. México. 2000
2. BLAKE, Roland P. "Seguridad Industrial". Editorial Diana México. 1975
3. COLINBAUX, Paul. "Ecología. Introducción a la Ecología". Editorial Limusa. Mexico.
4. FELDER, Richard M. ROUSSEAU, Ronald W. "Principios Básicos de los Procesos Químicos". Edición en Español. Editorial el Manual Moderno S.A., México, 1982.
5. FLORIA, Pedro Mateo. "Gestión de la Higiene Industrial en la Empresa". Editorial Peruvian Book Central. Lima 1996
6. GALÁN HUERTOS, Emilio "Mineralogía Aplicada". Editorial Sintesis España pag. 218 – 248
7. GONZÁLES, Ángel. "Minerales Estudio y Reconocimiento". Editorial Omega. España. pag. 49 - 206
8. HUNT, David. JOHNSON, Catherine. "Sistema de Gestión Medio Ambiente". Editorial Mc. Graw – Hill. Colombia 1998.
9. KERN, Donald Q. "Procesos de Transferencia de Calor". Decimoséptima Impresión. Editorial Mc. Graw-Hill México. 1984.
10. LETAYF, Jorge. GONZÁLES, Carlos. "Seguridad Higiene y Control Ambiental". Editorial Mc. Graw - Hill México 1993
11. Mc CABE, Warren L. SMITH, Julian C.. "Operaciones Básicas de Ingeniería Química" Edición en Español. Volumen I. Editorial Reverté S.A., Barcelona. 1973.
12. NICHOLS, Donad A. REYNOLDS, Clark W. "Economía Nueva". Editorial Interamericana México 1978
13. ODUM, Howard T.. "Ambiente, Energía y Sociedad". Editorial Blume España 1986
14. PERRY, Robert H. CHILTON, Cecil H. "Biblioteca del Ingeniero Químico". Segunda Edición en Español. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1984.
15. PETERS, Max S. TIMMERHAUS, Klaus D. "Diseño de Planta y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos", Segunda Edición, Editorial Géminis S.R.L., Buenos Aires. 1978.

16. PIERCE, James B.. "Química de la materia". Cuarta reimpression. Litográfica Ingramex S.A., México. 1978.
17. PITAS, D. R.. SISSOM, L.E. "Transferencia de Calor". Edición Española. Editorial Mc. Graw-Hill Latinoamericana S.A. Bogotá. 1977.
18. SAMAMÉ BOGGÍO, Mario. "El Perú Minero"..Editorial Talleres Tomo V, Lima 1981
19. SAPAG CH , Nassir., SAPAG CH., Reinaldo. "Preparación y Evaluación de Proyectos". Tercera Edición. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1989.
20. STREETER, Victor L. "Mecánica de los Fluidos". Cuarta Edición. Librería Editorial Stella. Bogotá. 1978.
21. TARQUÍN, Anthony J., BLANK, Leland T. "Ingeniería Económica", Tercera Edición. Editorial Mc. Graw-Hill, Bogota 1991
22. TREYBAL, Robert E. "Operaciones de Transferencia de Masa". Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1980.
23. TYLER MILLER, Jr. G. "Ecología y Medio Ambiente". Editorial Iberoamericana México 1994.
24. WATSON HOUGEN, K. M., R. A. Ragate. "Principios de los Procesos Químicos". Parte I. Séptima Edición, Editorial Reverté S.A. Barcelona. 1978.
25. CORNELIUS, S. Hurlbut, CORNELIS, Klein. "Manual de Mineralogía de Dana". Editorial Revertè S.A. España pag 279 - 455
26. Fundación Mafre. "Manual de Higiene Industrial". Editorial Mafre S.A. España 1996.
27. Manual de entrenamiento para operar la planta de ácido sulfúrico. refinería de zinc de Cajamarquilla. Lima. 1988.
28. MOLLFULLEDA BORRELL, Joaquin. "Manuales del Coleccionista - Minerales Descripción y Aplicación" Editorial Omega España pag. 40 – 661
29. Revista de la Sociedad Minera Metalúrgica y Geológica - Nov 2002 Lima – Perú.
30. Boletín de la Sociedad Minera "El Brocal". Santa Bárbara, Huancavelica. 1960.
31. Compendio de Preparación y Evaluación de Proyectos de las Naciones Unidas. 1980

CAPITULO X : APENDICE

SOC MINERA REF DE ZINC CAJAMARQUILLA SA

- **RUC:** 20261677955
- **Razón Social:** SOC MINERA REF DE ZINC CAJAMARQUILLA SA
- **Nombre Comercial:** REFINERIA DE CAJAMARQUILLA SA
- **Tipo Empresa:** Sociedad Anonima
- **Fecha Constitución:** 01 / Febrero / 1995
- **Actividad Comercial:** Fab. Productos de Met. Preciosos.
- **CIU:** 27203

-
- **Dirección Legal:** Carretera Car. Central 9.5: Cajamarquilla
 - **Referencia:** Carr.central Km.9.5 Desvio A Huachipa
 - **Distrito / Ciudad:** Lurigancho
 - **Departamento:** Lima
 - **Telefonos:** 4941942 / 4941924 / 4942465 / 3511383

Representantes Legales de SOC MINERA REF DE ZINC CAJAMARQUILLA SA

- **Gerente Operaciones:** Málaga Lasanta Miguel Virgilio
- **Grte.administrativo:** Fernández Maldonado Castro Jorge Arnaldo
- **Sup.finz Y Contab.:** Monteagudo Gamarra Wilver Efren
- **Gerente:** Ce Savio José
- **Gerente:** Rodriguez Gaizo Jorge Paulo
- **Gerente:** Nogueira Leal Paulo
- **Administrador:** Cortez Tejada Raul Alberto
- **Tesorero:** Orsi Alza Luis Salvador
- **Gerente General:** Antunes Servio Tulio

ALTERNATIVAS DE EVALUACION ECONOMICA

Primera alternativa:

Instalación de la Planta de recuperación fuera de Cajamarquilla

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO \$US
Coche de transporte	1	400
Elevador de cangilones	1	1400
Tolva de lodos	1	500
Tanque de fibra de vidrio para sol NaOH	1	600
Tanque de fibra de vidrio para sol Na ₂ S	1	500
Tanque de lixiviación	1	5000
Bombas centrífugas autocebantes	2	1200
Tanque de precipitación	1	1000
Tanque de lavado de mercurio	1	500
Caldero	1	10000
Costo Total de Equipo		21100

INVERSION DE CAPITAL FIJO

A. COSTOS DIRECTOS (CD)

Adquisición de equipos	21100
Instalación incluyendo aislación y pintura	8440
Instrumentación y controles instalados	5908
Cañerías y tuberías instaladas	6541
Instalaciones de servicio y mejoras del terreno	11605
Obras civiles	4642
Terreno	6000
Total Costos Directos	64236

B. COSTOS INDIRECTOS (CI)

Ingeniería y supervisión	6424
Gastos de construcción y honorarios del Contratista	8351
Eventuales	8993
Total Costos Indirectos	23768

INVERSION DE CAPITAL FIJO (CD + CI) 88004

CAPITAL DE TRABAJO 15530

INVERSION TOTAL DE CAPITAL 103534

Costo total del producto

A. Costos directos de producción

Materia prima	Cantidad kg / año	Costo anual US\$
- Lodos residuales	15000	585
- Sulfuro de sodio 60%	1692	1353
- Soda cáustica 50%	2520	1260
- Aluminio	318	795
Mano de obra y supervisión		6000
Servicios auxiliares		3000
Mantenimiento y reparación		1760
Suministros para la operación		352
Gastos de laboratorio		1200
Total Costos Directos de Producción		16305

B. Gastos fijos

Depreciación	8800
Impuestos locales	880
Seguros	440

C. Gastos generales de planta

3850
30275

Gastos generales

A. Gastos de administración	1155
B. Gastos de administración y marketing	990
C. Gastos de investigación y desarrollo	1980
D. Gastos de financiación	<u>10350</u>
Total Gastos Generales	14475

Costo Total de Producción 44750
de 1972 kg de Hg/año

COSTO UNITARIO DE MERCURIO \$22,7 kg de Hg

Segunda alternativa:

Instalación de la Planta de recuperación dentro de la refinería, utilizando equipos nuevos.

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO \$US
Coche de transporte	1	400
Elevador de cangilones	1	1400
Tolva de lodos	1	500
Tanque de fibra de vidrio para sol NaOH	1	600
Tanque de fibra de vidrio para sol Na ₂ S	1	500
Tanque de lixiviación	1	5000
Bombas centrífugas autocebantes	2	1200
Tanque de precipitación	1	1000
Tanque de lavado de mercurio	1	500
Costo Total de Equipo		11100

INVERSION DE CAPITAL FIJO

A. COSTOS DIRECTOS (CD)

Adquisición de equipos	11100
Instalación incluyendo aislación y pintura	4440
Instrumentación y controles instalados	3108
Cañerías y tuberías instaladas	3441
Instalaciones de servicio y mejoras del terreno	6105
Obras civiles	2442
Total Costos Directos	30636

B. COSTOS INDIRECTOS (CI)

Ingeniería y supervisión	3064
Gastos de construcción y honorarios del Contratista	3983
Eventuales	4289
Total Costos Indirectos	11336

INVERSION DE CAPITAL FIJO (CD + CI) 41972

CAPITAL DE TRABAJO 7407

INVERSION TOTAL DE CAPITAL 49379

Costo total del producto

A. Costos directos de producción

Materia prima	Cantidad kg / año	Costo anual US\$
- Lodos residuales	15000	
- Sulfuro de sodio 60%	1692	1353
- Soda caústica 50%	2520	1260
- Aluminio	318	795
Mano de obra y supervisión		2700
Servicios auxiliares		3000
Mantenimiento y reparación		840
Suministros para la operación		170
Gatos de laboratorio		270
Total Costos Directos de Producción		<u>10388</u>

B. GASTOS FIJOS

Depreciación	4,197
Impuestos locales	420

C. GASTOS GENERALES DE LA PLANTA	<u>1,770</u>
	16,775

Gastos generales

A. Gastos de administración	531
B. Gastos de administración y marketing	400
C. Gastos de investigación y desarrollo	800
D. Gastos de financiación	988
Total Gastos Generales	<u>2719</u>

Costo Total de Producción	19494
de 1972 kg de Hg / año.	

COSTO UNITARIO DE MERCURIO **\$ 9,885 kg de Hg**

Utilidad Neta

Año	Venta \$	Costo de Producción \$	Utilidad Bruta \$	Depreciación \$	Renta Neta \$	Impuestos 30% \$	Utilidad Neta \$
1	27,608	19,494	8,114	4,197	3,917	1,175	2,742
2	28,988	20,469	8,520	4,197	4,323	1,297	3,026
3	30,438	21,492	8,946	4,197	4,749	1,425	3,324
4	31,960	22,567	9,393	4,197	5,196	1,559	3,637
5	33,558	23,695	9,863	4,197	5,666	1,700	3,966
6	35,236	24,880	10,356	4,197	6,159	1,848	4,311
7	36,997	26,124	10,874	4,197	6,677	2,003	4,674
8	38,847	27,430	11,417	4,197	7,220	2,166	5,054
9	40,790	28,802	11,988	4,197	7,791	2,337	5,454
10	42,829	30,242	12,587	4,197	8,390	2,517	5,873

Producción anual de Hg = 1972 kg
 Precio Venta Hg \$ / kg 14
 Venta primer año = \$ 27608
 Consideramos un incremento de 5% anual en las ventas

Costo Unitario de Producción = 9.9 \$/kg Hg
 Costo Total de Producción = \$ 19494

Depreciación = 4,197

Flujo de Caja

Año	Inv	Cap Trabajo	U. Neta	Depre	FNF
0	41,972	7,407			(49379)
1			2742	4197	6939
2			3026	4197	7223
3			3324	4197	7521
4			3637	4197	7834
5			3966	4197	8163
6			4311	4197	8508
7			4674	4197	8871
8			5054	4197	9251
9			5454	4197	9651
10			5873 *	11604 &	17477

FNF = U. Neta + Depreciación - INV

* = Ingreso en el año 10

& = Capital de trabajo + Dep.

Tercera alternativa:

Instalación de la Planta en Cajamarquilla, utilizando equipos dados de baja.

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO \$US
Coche de transporte	1	280
Elevador de cangilones	1	980
Tolva de lodos	1	350
Tanque de fibra de vidrio para sol NaOH	1	420
Tanque de fibra de vidrio para sol Na ₂ S	1	350
Tanque de lixiviación	1	3500
Bombas centrífugas autocebantes	2	840
Tanque de precipitación	1	700
Tanque de lavado de mercurio	1	350
Costo Total de Equipo		7770

INVERSION DE CAPITAL FIJO

A. COSTOS DIRECTOS (CD)

Adquisición de equipos	7770
Instalación incluyendo aislación y pintura	3108
Instrumentación y controles instalados	2176
Cañerías y tuberías instaladas	2409
Instalaciones de servicio y mejoras del terreno	4274
Obras civiles	1709
Total Costos Directos	21446

B. COSTOS INDIRECTOS (CI)

Ingeniería y supervisión	2145
Gastos de construcción y honorarios del contratista	2788
Eventuales	3002
Total Costos Indirectos	7935

INVERSION DE CAPITAL FIJO (CD + CI)	29381
CAPITAL DE TRABAJO	5185
INVERSION TOTAL DE CAPITAL	34566

Costo total del producto

A. COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION

Materia prima	Cantidad kg / año	Costo anual US\$
- Lodos residuales	15000	
- Sulfuro de sodio 60%	1692	1353
- Soda caústica 50%	2520	1260
- Aluminio	318	795
Mano de obra y supervisión		2700
Servicios auxiliares		3000
Mantenimiento y reparación		840
Suministros para la operación		170
Gatos de laboratorio		270
Total Costos Directos de Producción		10388

B. GASTOS FIJOS

Depreciación	2938
Impuestos locales	294

C. GASTOS GENERALES DE LA PLANTA

1770
15390

En este caso los costos directos producidos son iguales que en el caso de la segunda alternativa

Gastos generales

A. Gastos de administración	531
B. Gastos de administración y marketing	400
C. Gastos de investigación y desarrollo	800
D. Gastos de financiación	691
Total Gastos Generales	2422
Costo Total de Producción	17812
de 1972 kg de Hg / año	
COSTO UNITARIO DE MERCURIO	\$ 9,03 kg de Hg

Utilidad Neta

Año	Venta \$	Costo de Producción \$	Utilidad Bruta \$	Depreciación \$	Renta Neta \$	Impuestos 30% \$	Utilidad Neta \$
1	27,608	17,812	9,796	2,938	6,858	2,057	4,801
2	28,988	18,703	10,286	2,938	7,348	2,204	5,143
3	30,438	19,638	10,800	2,938	7,862	2,359	5,503
4	31,960	20,620	11,340	2,938	8,402	2,521	5,881
5	33,558	21,651	11,907	2,938	8,969	2,691	6,278
6	35,236	22,733	12,502	2,938	9,564	2,869	6,695
7	36,997	23,870	13,128	2,938	10,190	3,057	7,133
8	38,847	25,063	13,784	2,938	10,846	3,254	7,592
9	40,790	26,316	14,473	2,938	11,535	3,461	8,075
10	42,829	27,632	15,197	2,938	12,259	3,678	8,581

Flujo de Caja

Flujo de caja

Año	Inv	Cap Trabajo	U. Neta	Depre	FNF
0	29,381	5,185			(34566)
1			4801	2,938	7739
2			5143	2,938	8081
3			5503	2,938	8441
4			5881	2,938	8819
5			6278	2,938	9216
6			6695	2,938	9633
7			7133	2,938	10071
8			7592	2,938	10530
9			8075	2,938	11013
10			8581 *	8123 &	16704

FNF = U. Neta + Depreciación - INV

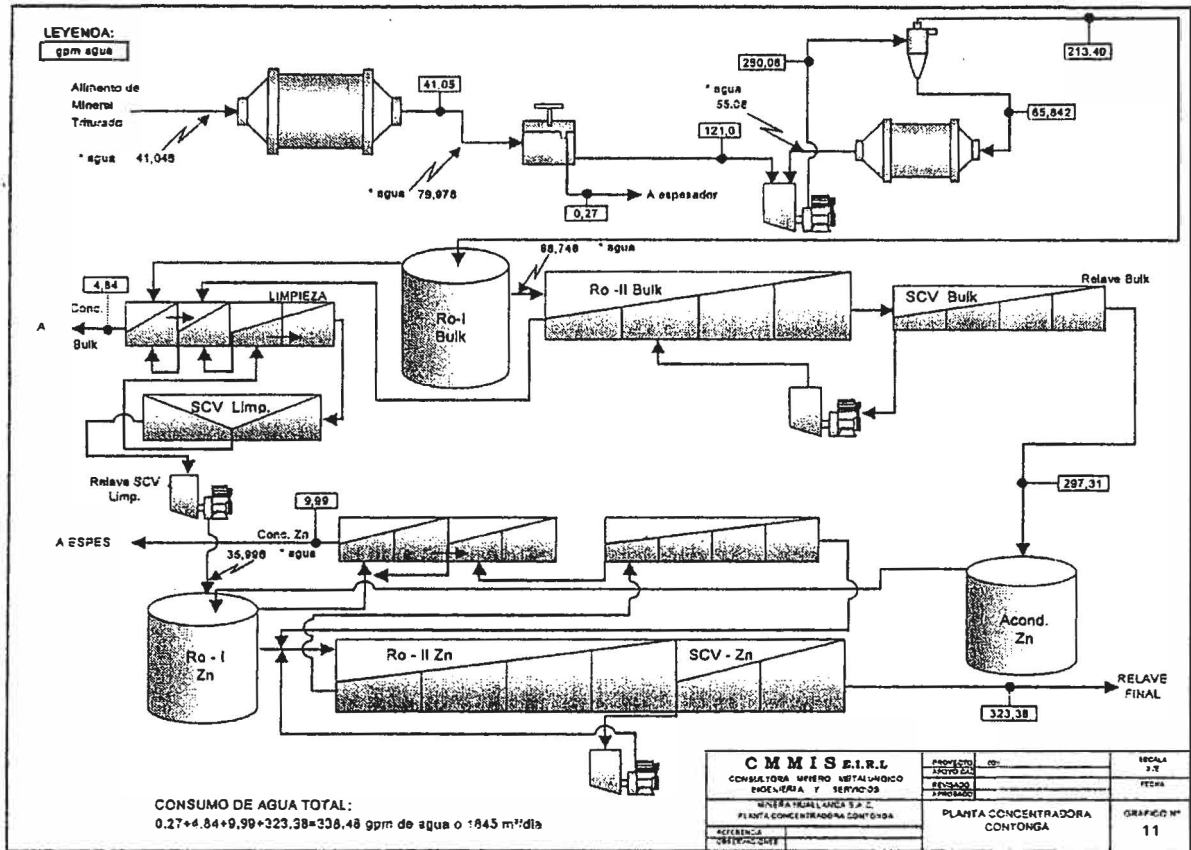
* = Ingreso en el año 10

& = Capital de trabajo + Dep.

TASA _B =	0%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
VAN _B =	\$42 059	\$18 984	\$12 063	\$3 470	(\$7 300)	(\$15 000)	(\$20 656)
TIR _B =	11.43%						

TASA _C =	0%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
VAN _C =	\$65 682	\$40 730	\$33 216	\$23 865	\$12 102	\$3 655	(\$2 573)
TIR _C =	22.76%						

DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE HIDRICO DEL CIRCUITO DE MOLIENDA Y FLOTACION PROYECTADO



Determinación de los Calores de Disolución de NaOH



T C	deltaH kcal	deltaS cal/K	deltaG kcal	K	E vs. SHE V
10	-33.345	2.41	-34.027	1.85E+26	1.477
15	-33.382	2.282	-34.039	6.60E+25	1.477
20	-33.418	2.158	-34.05	2.44E+25	1.478
25	-33.454	2.036	-34.061	9.32E+24	1.478
30	-33.49	1.917	-34.071	3.67E+24	1.478
35	-33.525	1.8	-34.08	1.49E+24	1.479
40	-33.561	1.685	-34.089	6.20E+23	1.479
45	-33.596	1.573	-34.097	2.66E+23	1.48
50	-33.632	1.463	-34.104	1.17E+23	1.48
55	-33.667	1.355	-34.111	5.25E+22	1.48
60	-33.702	1.249	-34.118	2.42E+22	1.48
65	-33.737	1.145	-34.124	1.14E+22	1.481
70	-33.772	1.042	-34.129	5.48E+21	1.481
75	-33.807	0.941	-34.134	2.69E+21	1.481
80	-33.842	0.841	-34.139	1.35E+21	1.481
85	-33.877	0.742	-34.143	6.86E+20	1.482
90	-33.912	0.645	-34.146	3.56E+20	1.482
95	-33.947	0.548	-34.149	1.88E+20	1.482

Formula	FM g/mol	Conc. wt-%	Amount mol	Amount g	Volume l or ml
Na	22.99	56.066	1	22.99	23.701 ml
H2O	18.015	43.934	1	18.015	19.646 ml
NaOH	39.997	97.541	1	39.997	18.778 ml
H(+a)	1.008	2.458	1	1.008	0 ml
e-	0.001	0.001	1	0.001	0 ml

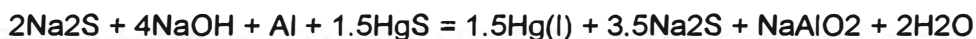
Determinación de los Calores de Disolución de Na₂S



T C	deltaH kcal	deltaS cal/K	deltaG kcal	K	Log(K)
10	17.538	-6.599	19.407	1.05E-15	-14.98
15	17.259	-7.577	19.442	1.79E-15	-14.747
20	16.995	-8.485	19.482	2.98E-15	-14.526
25	16.743	-9.339	19.527	4.84E-15	-14.315
30	16.499	-10.15	19.576	7.69E-15	-14.114
35	16.261	-10.928	19.628	1.20E-14	-13.922
40	16.027	-11.681	19.685	1.82E-14	-13.739
45	15.796	-12.413	19.745	2.72E-14	-13.565
50	15.567	-13.128	19.809	4.00E-14	-13.398
55	15.339	-13.828	19.877	5.77E-14	-13.239
60	15.113	-14.511	19.947	8.19E-14	-13.087
65	14.888	-15.183	20.022	1.15E-13	-12.941
70	14.662	-15.846	20.099	1.58E-13	-12.802
75	14.435	-16.503	20.18	2.14E-13	-12.669
80	14.206	-17.154	20.264	2.87E-13	-12.542
85	13.977	-17.8	20.352	3.80E-13	-12.42
90	13.745	-18.442	20.442	4.97E-13	-12.303
95	13.511	-19.082	20.536	6.43E-13	-12.192

Formula	FM g/mol	Conc. wt-%	Amount mol	Amount g	Volume l or ml
Na ₂ S	78.04	68.414	1	78.04	42.047 ml
H ₂ O	18.015	31.586	2	36.03	39.292 ml
NaOH	39.997	70.127	2	79.994	37.556 ml
HS(-a)	33.068	28.989	1	33.068	0 ml
H(+a)	1.008	0.884	1	1.008	0 ml

Calculo del calor de reacción de la ec.



T C	deltaH kcal	deltaS cal/K	deltaG kcal	K	Log(K)
10	-110.671	12.336	-114.164	1.33E+88	88.125
15	-110.603	12.574	-114.226	4.39E+86	86.643
20	-110.536	12.803	-114.289	1.63E+85	85.212
25	-110.471	13.024	-114.354	6.77E+83	83.831
30	-110.407	13.236	-114.42	3.13E+82	82.495
35	-110.346	13.438	-114.486	1.60E+81	81.204
40	-110.285	13.631	-114.554	9.01E+79	79.955
45	-110.227	13.816	-114.623	5.56E+78	78.745
50	-110.17	13.995	-114.692	3.75E+77	77.574
55	-110.114	14.167	-114.763	2.75E+76	76.439
60	-110.059	14.333	-114.834	2.18E+75	75.338
65	-110.005	14.494	-114.906	1.87E+74	74.271
70	-109.952	14.649	-114.979	1.72E+73	73.235
75	-109.9	14.8	-115.052	1.70E+72	72.23
80	-109.848	14.946	-115.127	1.79E+71	71.253
85	-109.798	15.089	-115.202	2.01E+70	70.304
90	-109.748	15.227	-115.278	2.41E+69	69.382
95	-109.699	15.361	-115.354	3.05E+68	68.485

NaAlO₂

Extrapolated from

300 K

Formula	FM g/mol	Conc. wt-%	Amount mol	Amount g	Volume l or ml
Na ₂ S	78.04	22.554	2	156.079	84.094 ml
NaOH	39.997	23.119	4	159.988	75.112 ml
Al	26.982	3.899	1	26.982	9.993 ml
HgS	232.65	50.428	1.5	348.975	42.714 ml
	g/mol	wt-%	mol	g	l or ml
Hg(l)	200.59	43.479	1.5	300.885	22.232 ml
Na ₂ S	78.04	39.47	3.5	273.138	147.165 ml
NaAlO ₂	81.97	11.845	1	81.97	0 ml
H ₂ O	18.015	5.207	2	36.03	39.292 ml

Grafica de t vs. ΔH

