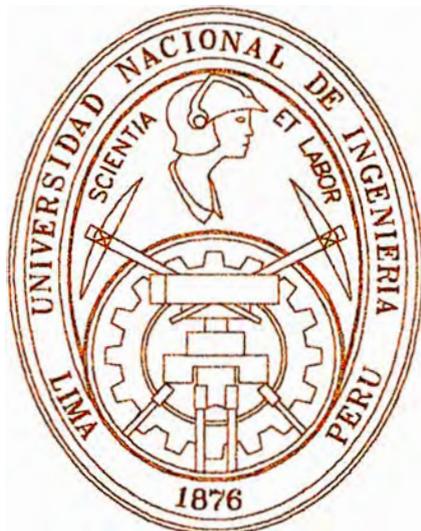


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**"ESTUDIO METALURGICO DE LA LIXIVIACION ALCALINA
DE CONCENTRADOS DE PLOMO – PLATA CON ALTOS
CONTENIDOS DE ANTIMONIO"**

INFORME DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

Noemí Patricia Duran Flores

Promoción 93-II

Lima - Perú

2001

DEDICATORIA

A mis Padres y hermanos por su constante apoyo y dedicación.

A mi Hija por que me alienta para seguir avanzando en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento, al Laboratorio **ALEX STEWART (ASSAYERS) DEL PERU S.R.L.**, en especial al Ing. Eustaquio Paredes Flores (Gerente General) por la oportunidad de haberme permitido desarrollar el trabajo de investigación .

Asimismo, a los profesores, Ing. Edgar Segura, al Ing. Oscar Silva Campos, por su apoyo en la culminación de este trabajo, finalmente al Director de la Escuela de Metalurgia: Ing. Julio Uza Teruya .

I N D I C E

	Pag
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1 Introducción	7
1.2 Objetivos del Estudio	8
CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL MINERAL EN ESTUDIO	
2.1 Antecedentes del Mineral	9
2.2 Estudio de Microscopia del Concentrado de plomo – plata	9
2.3 Valorización Económica del Concentrado de plomo – plata	12
CAPITULO III: FUNDAMENTO TEORICO	
3.1 Propiedades del Antimonio	15
3.2 Usos del Antimonio	16
3.1 Especies de Minerales que presentan contenidos de Antimonio	17
3.3.1 Sulfuros	17
3.3.2 Sulfosales	19
3.4 Lixiviación Alcalina	
3.4.1 Reacciones Químicas en la Lixiviación alcalina	26
3.4.2 Lixiviación de Antimonio con Sulfuro de sodio	26
3.4.3 Lixiviación de Antimonio con Hidróxido de sodio	27
3.4.3.1 Consideraciones Termodinámicas	27
3.4.3.2 Diagrama Eh – pH para el sistema Sb – S – H ₂ O	33

3.5	Precipitación del Antimonio de las soluciones cosecha ...	34
3.5.1	Empleando ácido sulfúrico	34
3.5.2	Empleando gas dióxido de carbono.....	35
3.6	Regeneración del Hidróxido de sodio por reacción con cal	35

CAPITULO IV: PRUEBAS EXPERIMENTALES

4. Pruebas Experimentales

4.1.	Caracterización del Concentrado	36
4.1.1	Mineralogía	36
4.1.2	Análisis químico del mineral	36
4.1.3	Gravedad específica	36
4.1.4	Análisis granulométrico del Concentrado.....	36
4.1.5	Distribución por mallas del Antimonio en el Concentrado	38
4.1.6	Distribución por mallas del Plomo en el Concentrado	38
4.1.7	Distribución por mallas de la Plata en el Concentrado	39
4.2	Pruebas Metalúrgicas	
4.2.1	PRUEBAS VARIANDO LA CONCENTRACION DEL REACTIVO ALCALINO	40
4.2.1.1	Pruebas de lixiviación variando la concentración de Hidróxido de sodio ...	40
4.2.1.2	Pruebas de lixiviación variando la concentración del Sulfuro de sodio	44
4.2.1.3	Pruebas de lixiviación empleando mezclas de Hidróxido de sodio y Sulfuro de sodio	49

4.2.1.3.1	Con 10% en peso de reactivos	49
4.2.1.3.2	Con 20% en peso de reactivos.....	53
4.2.1.3.3	Con 30% en peso de reactivos.....	58
4.2.1.3.4	Con 50% en peso de reactivos.....	62
4.2.1.3.5	Con 75% en peso de reactivos.....	66
4.2.1.3.6	Con 100% en peso de reactivos.....	70
4.2.1	PRUEBAS VARIANDO LA DILUCION ALCALINA	74
4.2.3	PRUEBAS VARIANDO LA TEMPERATURA	78
4.2.4	PRUEBAS VARIANDO EL TIEMPO DE AGITACION	81
4.2.5	PRUEBAS DE PRECIPITACION DEL SULFURO DE ANTIMONIO	87
4.2.5.1	Empleando ácido sulfúrico.....	87
4.2.5.2	Empleando gas dióxido de carbono	87
CAPITULO V:	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFIA		96

CAPITULO I

INTRODUCCION

I. INTRODUCCION

En la actualidad existe en nuestro país muchos yacimientos con altos contenidos de Plomo y Plata, pero que no pueden ser explotados por su alto contenido de Antimonio (Sb), que por ser castigados los concentrados, son antieconómicos.

Los métodos tradicionales de eliminación del Antimonio (Sb) en los concentrados de plomo y plata, estaban orientados a la aplicación de procesos Piro metalúrgicos, donde el concentrado era sometido al proceso de tostación oxidante, donde el Antimonio (Sb) debido a su bajo punto de vaporización era eliminado en los gases salientes del horno de tostación, donde debería ser recuperado empleando los Cotreles, para evitar que contamine el medio ambiente. Por ser muy complejo este proceso y por las exigencias ambientales que en la actualidad son más estrictas, estos procesos Piro metalúrgicos, no son recomendables.

En la actualidad en los Estados Unidos y Canadá se han realizados estudios de lixiviación alcalina en caliente empleando sulfuro de sodio en minerales donde existe la Tetraedrita $(Cu,Ag,Fe,Zn)_3(Sb,As)S_{3,25}$. En Chile se han realizado lixiviaciones empleando NaOH y Na₂S, lixiviano principalmente la Enargita (Cu_3AsS_4) .

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El presente estudio posee los siguientes objetivos:

- Aplicar procesos hidrometalúrgicos (lixiviación alcalina) para la extracción del antimonio contenido en concentrados de plomo – plata, en lugar de usar la pirometalurgia (tostación).
- Trabajar con dos reactivos alcalinos lixiviantes: Hidróxido de sodio y Sulfuro de sodio. La forma de empleo será:
 - Hidróxido de sodio
 - Sulfuro de sodio
 - Mezclas de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio.
- Las variables a probarse durante el trabajo experimental serían:
 - Concentración de los reactivos lixiviantes, cuando se aplican en forma independiente o durante su aplicación en mezclas de ambos reactivos.
 - La concentración de los reactivos lixiviantes estará en función de los porcentajes de peso empleado de los reactivos en relación con el mineral y las diluciones empleadas para las pruebas.
 - Otra variable a manejarse durante el desarrollo de las pruebas experimentales es la relación entre el sulfuro de sodio y el hidróxido de sodio ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$).
 - Se estudiará como variable a la dilución (relación líquido/sólido).
 - Se estudiará como variable a la temperatura.
 - Se ejecutará el comportamiento cinético de la disolución del antimonio (variación de la extracción del antimonio con el tiempo).
- Como complemento del estudio se investigara las alternativas de recuperar el antimonio como subproducto, mediante precipitación con dióxido de carbono (gas) ó ácido sulfúrico. Adicionalmente ver la posibilidad de regenerar el hidróxido de sodio.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DEL MINERAL EN ESTUDIO

2.1 Antecedentes del Mineral

El mineral en estudio es el concentrado de plomo- plata proveniente de la mina San Gregorio S.A.

La ubicación de la Mina es en el departamento de Pasco, entre la ciudad Cerro de Pasco y de la cordillera de la Viuda Negra.

La planta de flotación tiene una capacidad de 100 TMPD, con un circuito de chancado (primario y secundario) y un circuito de molienda (1 molino de bolas de 4' x 5') la cual trabaja en circuito cerrado con un clasificador de rastrillos.

El circuito de flotación consta de:

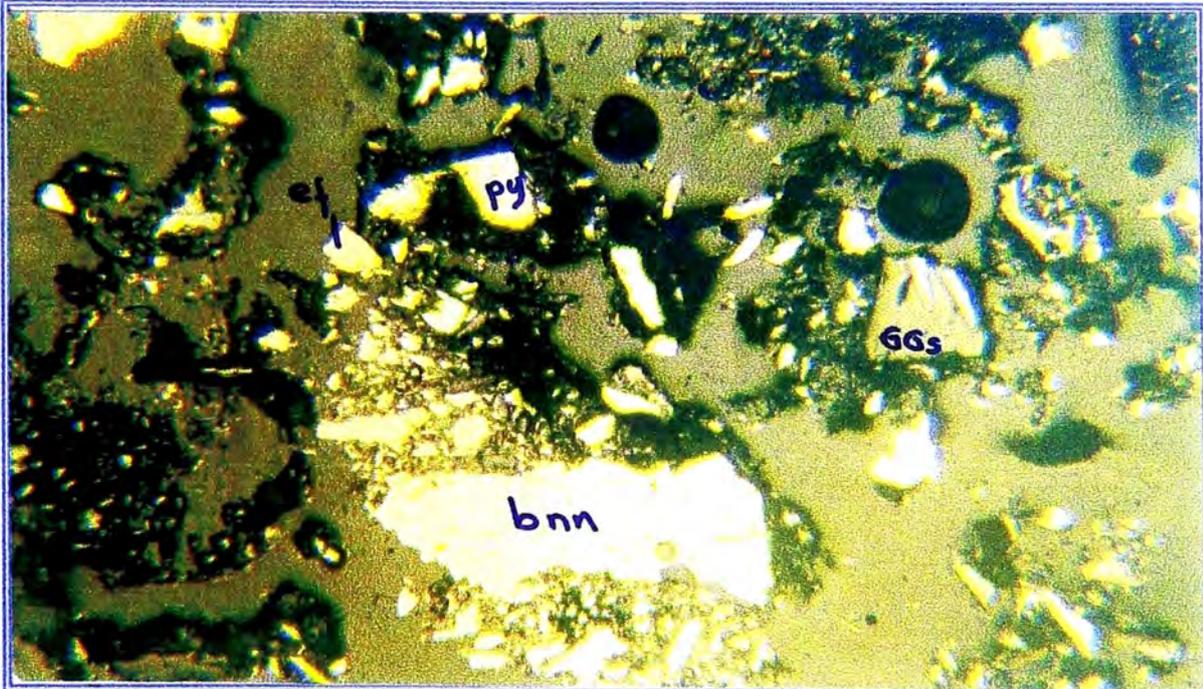
- 1 acondicionador de pulpa
- 3 celdas Agitair para la etapa rougher
- 3 celdas Agitair para la etapa scavenger
- 1 celda Agitair para la etapa cleaner.

La recuperación del concentrado se realiza en cochas de sedimentación.

2.2 Estudio de Microscopia del Concentrado de plomo - plata

La microscopía del concentrado en estudio se realizó empleando el microscopia de luz polarizada, para minerales opacos, con la finalidad de detectar las especies minerográficas y identificar la forma como se presenta el antimonio.

Con este objetivo se prepara una probeta, empleando resina y un equipo de preparación del molde, en frío.

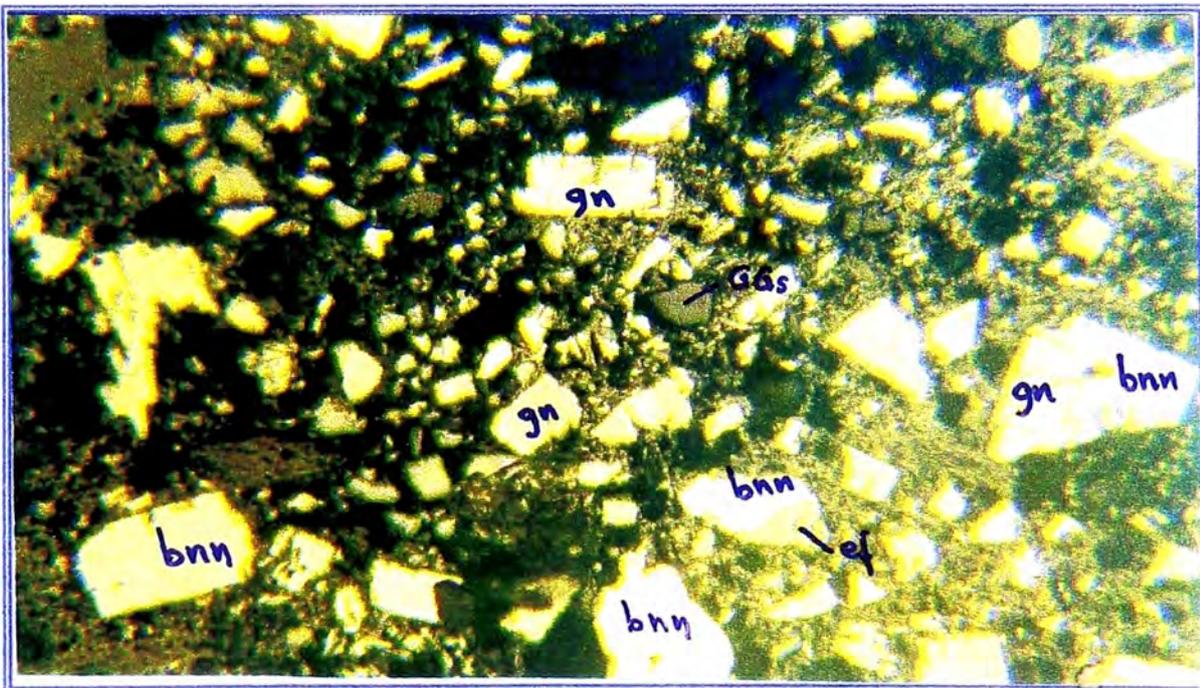


100 μ

FOTO N° 1

Sección pulida, nicols paralelos

Granos de bourmonita (bnn), granos de pirita (py), esfalerita (ef) y gangas (GGs).



100 μ

FOTO N° 2

Sección pulida, nicols paralelos

Granos de bourmonita (bnn), galena (gn), esfalerita (ef) y gangas (GGs).

Luego se procedió al pulido de la superficie de la briqueta, empleando lijas y material de pulido hasta obtener una superficie liza y una superficie homogénea.

Posteriormente se tomó fotos, para identificar las especies minerográficas.

2.2.1 Especies de minerales

Del estudio se identificaron las siguientes especies de minerales.

MINERALES	FORMULA
Bournonita	Cu PbSbS_3
Galena	PbS
Pirita	FeS_2
Boulangerita	$\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$
Esfarelita	ZnS
Calcopirita	CuFeS_2
Arsenopirita	AsFeS_2
Jamesonita	$\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$
Enargita	Cu_3AsS_4
Zinkenita	PbSn_2S_4
Argidorita	$\text{Ag}_8(\text{Ge},\text{Sn})\text{S}_6$
Gangas	Gs

2.2.2 Descripción mineralógica y texturas

Bournonita.- Se presenta principalmente en granos anhedrales y en cristales prismáticos. El tamaño de los individuos oscila entre unidades

de micras hasta 200 um como máximo. Algunos granos se asocian a galena, otros presentan inclusiones de pirita y ganga.

Galena.- Se presenta en granos de tendencia cúbica y con formas irregulares.

Pirita.- Ocurre de manera dispersa, donde los cristales son subhedrales y anhedrales.

Boulangerita.- Es muy escasa y se presenta estrechamente asociada a bournonita.

Esfarelita.- En granos irregulares, algunos con inclusiones de calcopirita y/o pirita.

Calcopirita.- Ocurre principalmente asociada a las sulfosales y calcopirita.

Arsenopirita.- Es escasa y los cristales son de forma rómbicas o prismáticas.

Jamesonita.- Es muy escasa y ocurre entrelazada a las demás sulfosales.

Enargita.- Se presenta libremente y es escasa.

En la muestra se ha observado dos minerales cuyas propiedades ópticas coinciden con **Zinkenita** (PbSn_2S_4) y **Argirodita** ($\text{Ag}_8(\text{Ge},\text{Sn})\text{S}_6$)?.

Gangas.- Son abundantes pero son difíciles de identificar.

2.3 Valorización Económica del concentrado plomo - plata

La valorización económica del concentrado en estudio se realizó en dos etapas:

- Concentrado sin lixiviarse
- Concentrado lixiviado

A continuación se detalla la valorización del concentrado de plomo y plata.

VALORIZACION DEL CONCENTRADO DE PLOMO - PLATA CONCENTRADO SIN LIXIVIARSE

LEYES PAGABLES

Ag (oz/t)	Au (oz/t)	Pb (%)
106.39	0.00	24.43

LEYES PENALIZABLES

As (%)	Sb (%)	Bi (%)	Zn (%)	Hg ppm	H ₂ O (%)
0.97	16.52	0.00	7.31	0.00	4.50

COTIZACION

		PRECIO NETO
Pb	(US\$/t)	491.50
Ag	(US\$/oz)	5.15
Au	(US\$/oz)	256.24

PAGOS

		USA\$/TMS
Pb	$(24.43-1)/100*0.95*491.50$	109.401
Ag	$(106.39-2)*0.95*5.15$	510.728
Au		0.000

TOTAL	(USA\$/TMS)	620.129
--------------	--------------------	----------------

DEDUCCIONES: GASTOS POR TRATAMIENTO

	USA\$/TMS
MAQUILA (US\$/TM)	190.00
SUB-TOTAL	190.00

PENALIDADES

As	Limite permisible máximo:	0.30 %	2.00 US\$ / cada	0.10 %
Sb	Limite permisible máximo:	0.30 %	2.00 US\$ / cada	0.10 %
Zn	Limite permisible máximo:	4.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %
Bi	Limite permisible máximo:	0.10 %	2.00 US\$ / cada	0.01 %
Al ₂ O ₃	Limite permisible máximo:	2.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %
Hg	Limite permisible máximo:	50.00 ppm	10.00 US\$ / cada	50.00 ppm
H ₂ O	Limite permisible máximo:	10.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %

		USA\$/TMS
As	$(0.97-0.30)*2.00/0.10$	13.40
Sb	$(16.52-0.30)*2.00/0.10$	324.40
Zn	$(7.31-4.00)*3.00/1.00$	9.93
Bi	menor al limite permisible	
Al ₂ O ₃	menor al limite permisible	
Hg	menor al limite permisible	
H ₂ O	menor al limite permisible	
SUB-TOTAL		347.73

TOTAL DEDUCCIONES(USA\$/TMS)	537.73
-------------------------------------	---------------

VALOR DEL CONCENTRADO PLOMO (US\$/TM):	82.399
---	---------------

VALORIZACION DEL CONCENTRADO DE PLOMO - PLATA CONCENTRADO LIXIVIADO

LEYES PAGABLES

Ag (oz/t)	Au (oz/t)	Pb (%)
127.36	0.00	28.78

LEYES PENALIZABLES

As (%)	Sb (%)	Bi (%)	Zn (%)	Hg ppm	H ₂ O (%)
1.08	0.58	0.00	8.75	0.00	4.50

COTIZACION

Pb	(US\$/t)	PRECIO NETO 491.50
Ag	(US\$/oz)	5.15
Au	(US\$/oz)	256.24

PAGOS

Pb	(28.78-1)/100*0.95*491.50	USA\$/TMS 129.712
Ag	(127.36-2)*0.95*5.15	613.324
Au		0.000

TOTAL (USA\$/TMS)	743.036
--------------------------	----------------

DEDUCCIONES: GASTOS POR TRATAMIENTO

MAQUILA (US\$/TM)	USA\$/TMS 190.00
SUB-TOTAL	190.00

PENALIDADES

As	Limite permisible máximo:	0.30 %	2.00 US\$ / cada	0.10 %
Sb	Limite permisible máximo:	0.30 %	2.00 US\$ / cada	0.10 %
Zn	Limite permisible máximo:	4.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %
Bi	Limite permisible máximo:	0.10 %	2.00 US\$ / cada	0.01 %
Al ₂ O ₃	Limite permisible máximo:	2.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %
Hg	Limite permisible máximo:	50.00 ppm	10.00 US\$ / cada	50.00 ppm
H ₂ O	Limite permisible máximo:	10.00 %	3.00 US\$ / cada	1.00 %

		USA\$/TMS
As	(1.08-0.30)*2.00/0.10	15.60
Sb	(0.58-0.30)*2.00/0.10	5.60
Zn	(8.75-4.00)*3.00/1.00	14.25
Bi	menor al límite permisible	
Al ₂ O ₃	menor al límite permisible	
Hg	menor al límite permisible	
H ₂ O	menor al límite permisible	
SUB-TOTAL		35.45

TOTAL DEDUCCIONES(USA\$/TMS)	225.45
-------------------------------------	---------------

VALOR DEL CONCENTRADO PLOMO (US\$/TM):	517.586
---	----------------

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 PROPIEDADES DEL ANTIMONIO

Es un elemento de color blanco argéntico, de superficie cristalina, brillante y lustrosa, es muy quebradizo y puede pulverizarse fácilmente. Es mal conductor del calor y de la electricidad, forma aleaciones con la mayoría de los metales, incrementando en general, la fusibilidad, fragilidad y principalmente la dureza de éstos. La propiedad más importante que igualmente imparte a sus aleaciones es la de dilatarse al pasar al estado sólido, propiedad que es aprovechada para la preparación de piezas vaciadas ó fundidas de gran precisión.

Este metal no se altera en contacto con el aire a la temperatura ordinaria, pero si se calienta y se funde, arde con llama blanca verdosa, convirtiéndose en óxido, vapor blanco que se condensa en cristales al enfriarse. El ácido sulfúrico caliente y concentrado lo ataca y lo convierte en sulfato de antimonio, el ácido nítrico lo ataca formando óxido y ácido antimónico.

El siguiente **cuadro N° III-1**, nos muestra sus propiedades.

CUADRO N° III – 1

PROPIEDADES DEL ANTIMONIO	
Peso Atómico	121.76
Gravedad Específica	6.62
Punto de Fusión	630.00 °C
Punto de Volatilización	1440.00 °C

Coeficiente de Expansión (Lineal)	1129 x 10 ⁻⁶ 39 microhomios
Resistencia Específica	0.0444 cal/cm ² /cm/°C/seg.
Conductividad Térmica	3.0
Dureza (Escala de Mohs)	38.26 cal/gr
Calor de fusión	0.0493 cal/gr/°C

3.2 Usos del Antimonio

El metal puro prácticamente no tiene uso en la industria, pero si, diversos compuestos y aleaciones del mismo.

El uso más importante del antimonio aunque no en volumen de consumo es en la fabricación de tipos de imprenta.

Es usado en municiones, la acción del antimonio es la de endurecer el plomo y hacerla tan frágil que haga que esta reviente en fragmentos al explotar la granada.

Se emplea en el metal Babbit, empleado en revestimientos para chumaceras y como metal de antifricción en otros órganos de máquinas.

Se emplea en la industria del automóvil, en las baterías de acumuladores de plomo. Se emplea como agente endurecedor en revestimiento de plomo de los cables de teléfono.

El antimonio se emplea en las aleaciones para chapas y tuberías empleadas en la industria química y en los revestimientos de tejados, conductores de desagües, etc., en la industria de la construcción.

El antimonio se aplica también en la fabricación de tubos para envasar grasas, colores y sustancias plásticas, de metal para soldadura blanda y en la aleación gris de estaño y plomo, así como

también en la fabricación de ánodos, insolubles y de alta resistencia mecánica, empleados en ciertos procesos electrolíticos.

Los compuestos de antimonio tienen una gran variedad de aplicaciones y representan aproximadamente la sexta parte del consumo total de este metal.

3.3 ESPECIES MINERALES QUE PRESENTAN CONTENIDOS DE ANTIMONIO

3.3.1 SULFUROS

ANTIMONITA: Sb_2S_3

Sinónimos

estibina, estibnita

Composición química

Sb 71,4% ; S 28,6%. A veces se observan mezclas de As, Ag, y Au. El Au, Ag se encuentran como compuestos incluidos mecánicos.

Cristaliza

en el sistema romboico

Aspectos de los cristales: los cristales suelen ser prismáticos, columnares, aciculares con estriado vertical.

Agregados

también se encuentran en masas granulares, con frecuencias radiales, mas raramente en forma de fibra enmarañadas y como granos impregnados en cuarzo.

El color y la raya

son de color gris de plomo.

Brillo	metálico intenso en los planos de clivaje.
Dureza	2 – 2.5 frágil
Clivaje	bueno según { 010 } e imperfecto { 110 }
Peso específico	4,6
Características	los agregados se parecen, por su color y propiedades mecánicas a muchos sulfoantimonitos. En masa microgranulares y criptocristalinas así como en las pequeñas impregnaciones se distinguen infaliblemente de todo los minerales parecidos mediante su reacción con KOH al adicionar a una gota adquiere una coloración amarilla y después anaranjada después de retirar la gota queda una mancha roja. Se disuelve en HNO ₃ con desprendimiento de Sb ₂ O ₅ .
Origen y yacimiento	la masa fundamental de la antimonita es de origen hidrotermal. A menudo se encuentran asociados a la antimonita el cinabrio, la fluorita, el cuarzo, la calcita, la caolinita, la barita, etc.

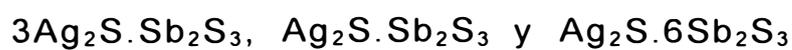
3.3.2 SULFOSALES

En esta clase figuran los compuestos complejos, parecidos a las sales por su constitución química se denominan sulfosales.

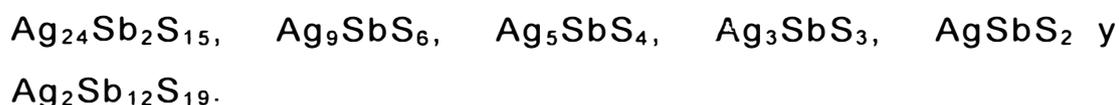
Los sulfoarsenitos (As_2S_3), sulfoantimonitos (Sb_2S_3), sulfobismutitos (Bi_2S_3) son muy sintomáticos que estos tres tipos tienen en la base los mismos metales: Cu, Ag y Pb es decir que las sulfosales más propagadas en la naturaleza son las sulfosales de cobre plata y plomo.

Toda la diversidad de las sulfosales se debe principalmente a que en tipos de compuestos cualitativamente iguales se determinan correlaciones entre sulfobases y sulfoanhídricos.

En el caso de los sulfoantimonitos se conocen los siguientes compuestos:



O respectivamente:



Todos estos compuestos perfectamente definidos que se encuentran en forma de cristales y poseen diferente estructura cristalina.

TETRAÉDRITA : $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ o $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Composición química:

Cu : 22 – 53 %	Hg : 0 – 17,0%	As : 0 – 20,0 %
Ag 0 - 18 %	Ni : 0 – 3.5 %	Sb : 0 – 29,2%
Zn 0 – 9 %	Co : 0 – 4,2 %	Bi : 0 – 4,5(13,07)%
Fe 0 - 13%	Mn : 0 – 1,5 %	S : 20,6 – 29,1%

De acuerdo a su composición se distinguen las siguientes variedades:

Freibergita : tetraédrita rica en plata

Sandbergita, tennantita: tetraédrica rica en zinc

Ferrotennantita: (hasta 13,08% de hierro) ferrotetraedrita

Cristaliza	en el sistema cubico
Color	es gris de acero hasta negro de hierro (en las variedades ricas de hierro es opaca)
Raya	es del mismo color a veces con un matiz pardusco o incluso rojo de guinda
Brillo	metálico o semimetálico
Dureza	3 – 4 frágil
Clivaje	no tiene
Características	tono pálido en la fractura y fragilidad la raya se espolvorea al ser rasgado con un cuchillo no deja huella brillante se descompone con el HNO ₃ desprendiendo S y Sb ₂ O ₃ .
Origen y yacimiento:	son minerales relativamente muy propagados en los diferentes tipos de yacimiento hidrotermales de cobre.

BURNONITA : Cu PbSbS₃

Sinónimo: bertonita

Composición química

C u : 13,0 %

Pb : 42,5 %

Sb : 24,7 %

S : 19,8 %

Impurezas : Fe hasta 8% , Ag hasta 3%, vestigios de zinc y manganeso.

Cristaliza en el sistema rómbico.

Color	gris de acero hasta gris de plomo muchas veces con reflejo pardo de latón ,es opaca.
Brillo	metálico
Raya	gris
Dureza	2,5 – 3 frágil
Clivaje	imperfecto según {010 }
Peso específico	5,7 – 5,9
Características	por sus características externas se parece algo a las tetraedritas pero posee un brillo más intenso. Se funde fácilmente al soplete en el carbón con carbonato de sodio, dando un regulo negro, el cual al eliminarse todo el plomo da difícilmente un regulo de cobre.
Origen y yacimiento:	se encuentra en yacimientos hidrotermales de menas de plomo y antimonio. Suelen aparecer asociados a la tetraédrica y la galena. destacándose a veces bajo la forma de aureolas en las líneas divisorias de dichos minerales. Se descomponen fácilmente en la zona de oxidación de los yacimientos a su cuenta pueden formarse la malaquita la cerusita y óxidos de antimonio.

PROUSTITA : Ag_3AsS_3

Composición química:

Ag 65,4 %

As 15,2 %

S 19,4 %

Cristaliza en el sistema trigonal

Color es rojo vivo parecido al del cinabrio
es traslúcida

Raya es roja viva

Brillo es adamantino intenso

Dureza 2 – 2,5

Características es difícil de distinguir de la
pirargirita por lo común es algo mas
clara que ella. La diferencia
principal radica en el contenido de
As y Sb.Se funde con facilidad al soplete
emana un olor a arsénico y forma
una eflorescencia de As_2O_3 y Sb_2O_3 ,
al regulo al añadir carbonato de
sodio en la llama reductora da una
perla de plata. Se disuelve en HNO_3 Origen y yacimiento: se encuentra en filones
hidrotermales de menas de plomo,
zinc y plata se halla así mismo entre
los minerales que se constituyen en
las ultimas fases de los procesos
hidrotermales a veces juntamente
con la pirargirita.

PIRARGIRITA: Ag_3SbS_3

Las propiedades físicas son muy parecidas a las que posee la proustita.

El color a la luz refleja es rojo oscuro hasta negro de hierro.

Raya es roja guinda oscura

Peso específico es 5,77 – 5,86

ESTEFANITA : Ag_5SbS_4 o $5\text{AgS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

El contenido de plata es del 68,5%

Color negro grisáceo

Raya negra

Brillo metálico

Dureza 2 – 2,5

Clivaje mediano

Peso específico 6,2 – 6,3

Se funde al soplete en el carbón, decrepitándose y formando una eflorescencia.

POLIBASITA : $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$ o $8(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Composición química:

Ag : 62,1 – 74,9 %

Cu : 3 – 10 %

Color es negro grisáceo

Raya negro con matiz rojizo

Peso específico : 6,27 – 6,33

Junto con las sulfosales de plata se encuentran en filones hidrotermales de baja temperatura.

BOULANGERITA: $Pb_5Sb_4S_{11}$ o $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$

Composición química:

Pb	55,4 %
Sb	25,7 %
S	18,9 %

El contenido de plomo oscila entre 54 y 58 % parte de el suele estar ligada a impurezas mecánicas de galena a veces contiene hasta 1% de cobre.

Cristaliza	en el sistema monoclinico
Color	gris de plomo hasta negro de hierro
Raya	negra grisácea con matiz pardusco
Brillo	metálico
Dureza	2,5 – 3
Clivaje	mediano
Peso especifico	6,23
Característica	suelen ser característicos los agregados de fibras delgadas y el matiz pardusco de la raya. Sin recurrir a los análisis químicos o los rayos X no se puede distinguirla con toda seguridad de los otros antimonitos de plomo que se encuentran con menos frecuencia. Se disuelve en HNO_3 y HCl caliente.
Origen y Yacimiento:	se encuentran en yacimientos hidrotermales de menas de plomo y zinc en compañía de sulfoantimonitos de plomo y cobre, de galena esfalerita, pirita mispiquel.

JAMESONITA : $Pb_4FeSb_6S_{14}$ o $4PbS.FeS.3Sb_2S_3$

Composición química :

No siempre corresponde a la formula química

Pb : 40 –50 %

Fe : hasta 10%

Sb : alrededor del 30%

S : alrededor del 20%

Como impurezas suelen observarse cobre zinc y plata.

Color	gris de plomo
Raya	negra grisácea en las caras se observa a veces un reflejo gris azulado
Brillo	metálico
Dureza	2 –3
Clivaje	mediano
Peso especifico	5,5 – 6,0
Características	a simple vista es imposible distinguirla de los demás sulfoantimonitos de plomo bajo formas aciculares. Para la identificación exacta son indispensables el análisis químicos y las investigaciones a los rayos X.
Origen y Yacimiento:	se encuentran relativamente pocas veces en yacimientos hidrotermales de menas de plomo y zinc asociado al cuarzo la galena a veces a la esfalerita y otros minerales en los huecos de las drusas.

3.4 LIXIVIACION ALCALINA

Dentro de las alternativas para eliminar el antimonio y arsénico contenido en minerales polimetálicos, se planteo las alternativas de disolución empleando como reactivos al sulfuro de sodio y al hidróxido de sodio. A continuación se detallan las diversas reacciones químicas que se producirían durante este proceso.

3.4.1 Reacciones Químicas en la Lixiviación alcalina

Reacciones con Sulfosales



Reacciones con Trisulfuro



M = Representa al As o Sb

3.4.2 Lixiviación de Antimonio con Sulfuro de sodio

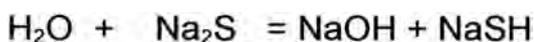
El proceso de lixiviación empleando como reactivo el sulfuro de sodio se realiza en solución acuosa caliente, con lo que se logra incrementar la velocidad de disolución del antimonio. Las reacciones predominantes son las siguientes:



De acuerdo a pruebas realizadas con sulfuro de sodio, se obtienen resultados eficientes de extracción del antimonio, la dificultad

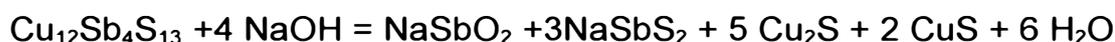
se presenta por el elevado consumo del reactivo, resultando antieconómico su aplicación a nivel industrial.

Cuando el sulfuro de sodio (Na_2S) se disuelve en agua y a la temperatura de trabajo de 90°C , esta se descompone en NaOH y sulfhidrato de sodio (NaSH), quedando la posibilidad de que el mineral aporte el azufre, se podría emplear como alternativa el hidróxido de sodio.

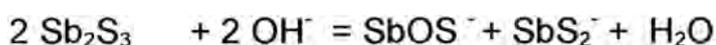


3.4.3 Lixiviación de Antimonio con Hidróxido de sodio

El procedimiento consiste en tratar la mena de antimonio con una solución concentrada y caliente de hidróxido de sodio durante un tiempo determinado, con una fuerte agitación. La reacción predominantes son las siguientes:



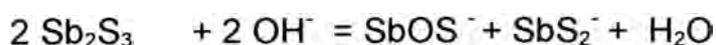
La reacción iónica sería:



El tratamiento va permitir pasar el antimonio a solución en forma de Oxithioantimoniato y Thioantimoniato, a partir de las cuales se va obtener, por medio de un agente precipitante, un sulfuro bastante puro.

3.4.3.1 Consideraciones Termodinámicas

En esta parte realizaremos la evaluación termodinámica de la reacción de disolución del Sb_2S_3 , para saber la ocurrencia de la reacción:



El **cuadro N° III – 2**, nos muestra los valores termodinámicos de las sustancias presentes en la reacción anterior.

CUADRO N° III - 2

SUSTANCIA	ΔH° (Kcal/mol)	$S^\circ_{298\text{ }^\circ\text{K}}$ Cal/grado/mol
Sb ₂ S ₃ (s)	-36.00	30.3
OH ⁻ (l)	-54.957	-2.52
H ₂ O(l)	-68.317	16.716
SbOS ⁻ (l)	-77.721	-13.30
SbS ₂ ⁻ (l)	-11.032	-6.60

Las ecuaciones termodinámicas a emplearse son:

$$\Delta G^\circ_T = \Delta H^\circ_T + T \Delta S^\circ_T$$

Donde:

$$\Delta H^\circ_T = \sum (H^\circ_T)_P - \sum (H^\circ_T)_R$$

$$\Delta S^\circ_T = \sum (S^\circ_T)_P - \sum (S^\circ_T)_R$$

Donde los subíndices:

T = Temperatura de cálculo: 298°K

P = Referido a productos

R= Referido a reactantes

Reemplazando valores tenemos:

$$\Delta H^\circ_T = - 11156.0 \text{ cal}$$

$$\Delta S^\circ_T = + 32.156 \text{ cal/grado}$$

Luego determinando $\Delta G^\circ_{298\text{ }^\circ\text{K}}$

$$\Delta G^\circ_{298\text{ }^\circ\text{K}} = - 11156.0 - 298(32.156) = - 20738 \text{ cal}$$

Al ser negativo el $\Delta G^\circ_{298\text{ }^\circ\text{K}}$, podemos asegurar que la reacción es posible desde el punto termodinámico, incluso en frío, y que la adición de calor es únicamente para acelerar la velocidad de reacción.

3.4.3.2 Diagrama Eh – pH para el sistema Sb – S – H₂O

Los diagramas Eh – pH, son conocidos como diagramas de POURBAIX, resume toda la información termodinámica

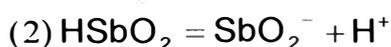
relativa a la estabilidad de sistemas de mineral simple en soluciones acuosas.

Para el entendimiento del estudio se construyó el diagrama para el sistema **Sb – S – H₂O**.

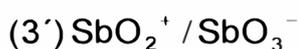
A continuación se detallan las reacciones empleadas y formulas empleadas para la construcción del diagrama.



$$\log\left(\frac{[\text{HSbO}_2]}{[\text{SbO}^+]}\right) = -0.87 + \text{pH}$$



$$\log\left(\frac{[\text{SbO}_2^-]}{[\text{HSbO}_2]}\right) = -11.00 + \text{pH}$$



$$\text{pH} = 0.27$$



$$E^\circ = 0.720 - 0.0591 \text{pH}$$



$$E^\circ = 0.704 - 0.1182 \text{pH}$$



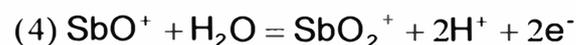
$$E^\circ = 0.678 - 0.0886 \text{pH}$$



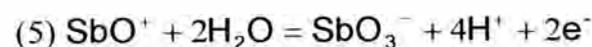
$$E^\circ = 0.353 - 0.0591 \text{pH}$$



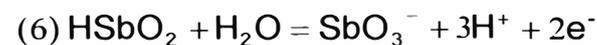
$$\log\left(\frac{[\text{SbO}_3^-]}{[\text{SbO}_2^+]}\right) = 0.54 + 2\text{pH}$$



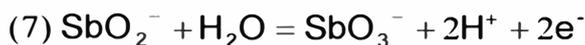
$$E^\circ = 0.720 - 0.0591 \text{pH} + 0.0295 \log\left(\frac{[\text{SbO}_2^+]}{[\text{SbO}^+]}\right)$$



$$E^\circ = 0.704 - 0.1182 \text{pH} + 0.0295 \log\left(\frac{[\text{SbO}_3^-]}{[\text{SbO}^+]}\right)$$



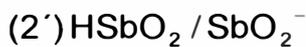
$$E^\circ = 0.678 - 0.0886 \text{pH} + 0.0295 \log\left(\frac{[\text{SbO}_3^-]}{[\text{HSbO}_2]}\right)$$



$$E^\circ = 0.353 - 0.0591\text{pH} + 0.0295 \log\left(\frac{[\text{SbO}_3^-]}{[\text{SbO}_2^-]}\right)$$



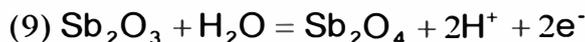
$$\text{pH} = 0.87$$



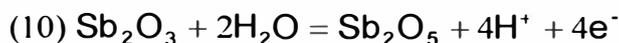
$$\text{pH} = 11.00$$



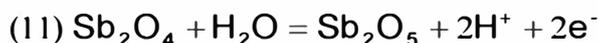
$$E^\circ = 1.152 - 0.0591\text{pH}$$



$$E^\circ = 0.863 - 0.0591\text{pH}$$



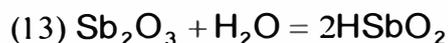
$$E^\circ = 0.671 - 0.0591\text{pH}$$



$$E^\circ = 0.479 - 0.0591\text{pH}$$



$$\log[\text{SbO}^+] = -3.05 - \text{pH}$$



$$\log[\text{HSbO}_2] = -3.92$$



$$\log[\text{SbO}_2^-] = -14.91 + \text{pH}$$



$$\log[\text{SbO}_2^+] = -4.70 - \text{pH}$$



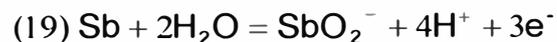
$$\log[\text{SbO}_3^-] = -4.16 + \text{pH}$$



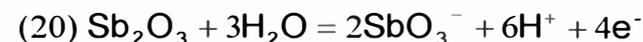
$$E^\circ = 0.212 - 0.0394 \text{pH} + 0.0197 \log[\text{SbO}^+]$$



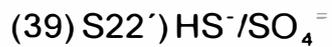
$$E^\circ = 0.230 - 0.0591\text{pH} + 0.0197 \log[\text{HSbO}_2]$$



$$E^\circ = 0.446 - 0.0788 \text{pH} + 0.0197 \log[\text{SbO}_2^-]$$



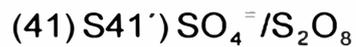
$$E^\circ = 0.754 - 0.0886 \text{pH} + 0.0295 \log[\text{SbO}_3^-]$$



$$E^{\circ} = 0.252 - 0.665 \text{ pH}$$



$$E^{\circ} = 2.123 - 0.0591 \text{ pH} - 0.0295 \log C$$



$$E^{\circ} = 2.01 - 0.0295 \log C$$

Con estas ecuaciones se procedieron a construir el diagrama de Pourbaix Sb – S – H₂O , **gráfico N° III – 1**, donde observamos que para que el Sb₂S₃ pase a solución, tenemos que llevar el medio lixiviante hasta un pH aproximadamente 10 (como mínimo), debemos tomar en cuenta que no trabajamos ni en medio oxidante ni reductor.

3.5 Precipitación del Antimonio de las Soluciones Cosecha

De acuerdo a los resultados obtenidos de estudios realizados en los Estados Unidos, se requiere de elevadas concentraciones de las bases (NaOH, Na₂S), lo que hace del proceso tenga un alto costo de operación. Una alternativa para reducir estos costos, es la recuperación del antimonio, empleando la precipitación.

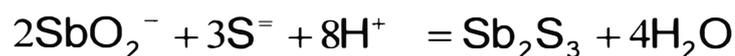
De acuerdo al gráfico Eh – pH, para el diagrama Sb-S-H₂O, para que se produzca la precipitación del antimonio en forma de Sb₂S₃, hay que reducir el pH a rangos ácidos.

Existen 2 formas de realizar la precipitación:

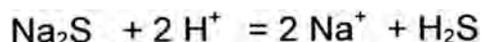
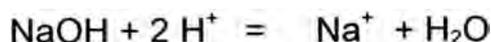
- Empleando ácido sulfúrico
- Empleando gas dióxido de carbono

3.5.1 Empleando Acido Sulfúrico

Una de las formas de reducir la alcalinidad a rangos neutros para producir la precipitación del antimonio en forma de sulfuro es empleando ácido sulfúrico, como nos muestra la siguiente reacción.



Parte del ácido sulfúrico se consumirá en la neutralización de las bases:



Este proceso es recomendable cuando se controla adecuadamente el consumo de las bases, de tal forma, que no se pierdan por medio de la neutralización, a rangos que afecten económicamente el proceso.

3.5.2 Empleando gas dióxido de Carbono

Otro de los reactivos precipitantes del antimonio de las soluciones cosechadas del proceso de lixiviación alcalina es el dióxido de carbono (CO₂), su selección se debe:

- Porque precipita el Sb como Sb₂S₃
- El NaOH forma el carbonato de sodio, que viene a ser la materia prima para la regeneración del NaOH.

La reacción de precipitación es la siguiente.



La precipitación se realiza a temperatura ambiente, sin necesidad de calor.

3.6 Regeneración del Hidróxido de sodio por reacción con cal

La solución barren de la precipitación del antimonio, contiene al carbonato de sodio, la cual puede ser regenerado a NaOH, empleando para ello la cal. Este proceso consiste en adicionar a la solución barren cal, con un pequeño exceso de la cantidad estequiométrica requerida. La reacción que se produce es la siguiente:



De la información revisada, está reacción se acelera a 50°C y es óptima a 85°C. De resultados experimentales se obtiene una recuperación del NaOH superiores al 98%.

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL

4. PRUEBAS EXPERIMENTALES

El trabajo de Investigación a realizarse, tiene como objetivo experimentar el proceso de lixiviación alcalina, para concentrados de plomo – plata con altos contenido de antimonio.

Usando como variables: La concentración del reactivo lixivante, dilución, temperatura y tiempo de agitación. Adicionalmente se realizará la caracterización del mineral.

4.1. Caracterización del Concentrado

4.1.1 Mineralogía

El concentrado en estudio presenta en orden de abundancia, presente en el material en estudio:

MINERALES	FORMULA
Boumonita	Cu PbSbS_3
Galena	PbS
Pirita	FeS_2
Boulangerita	$\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$
Esfarelita	ZnS
Calcopirita	CuFeS_2
Arsenopirita	AsFeS_2
Jamesonita	$\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$
Enargita	Cu_3AsS_4
Zinkenita	PbSn_2S_4
Argidorita	$\text{Ag}_8(\text{Ge, Sn})\text{S}_6$
Gangas	Gs

4.1.2 Análisis químico del mineral

Se realizó el análisis químico del concentrado de cabeza y del relave de una de las pruebas de lixiviación, para observar el efecto del proceso de lixiviación alcalina en el concentrado.

En el **cuadro Nº IV – 1**, podemos observar que al reducir el contenido de antimonio, se ha producido un incremento en las leyes de plata y de plomo en el concentrado, obteniéndose un concentrado comerciable.

CUADRO Nº IV – 1

	CABEZA	RELAVE
Sb (%)	16.52	0.58
Pb (%)	24.43	28.78
Ag (oz/t)	106.39	127.36
Zn (%)	7.31	8.75
Cu (%)	0.52	0.62
As (%)	0.97	1.08
Fe (%)	11.76	7.64
S (%)	17.65	16.88
SiO₂ (%)	11.80	12.80
INSOLUBLES (%)	19.28	20.22

4.1.3 Gravedad específica

La gravedad específica del concentrado fue determinado por el método del **PICNOMETRO**.

$$G.e = 4.00 \text{ gr/cc}$$

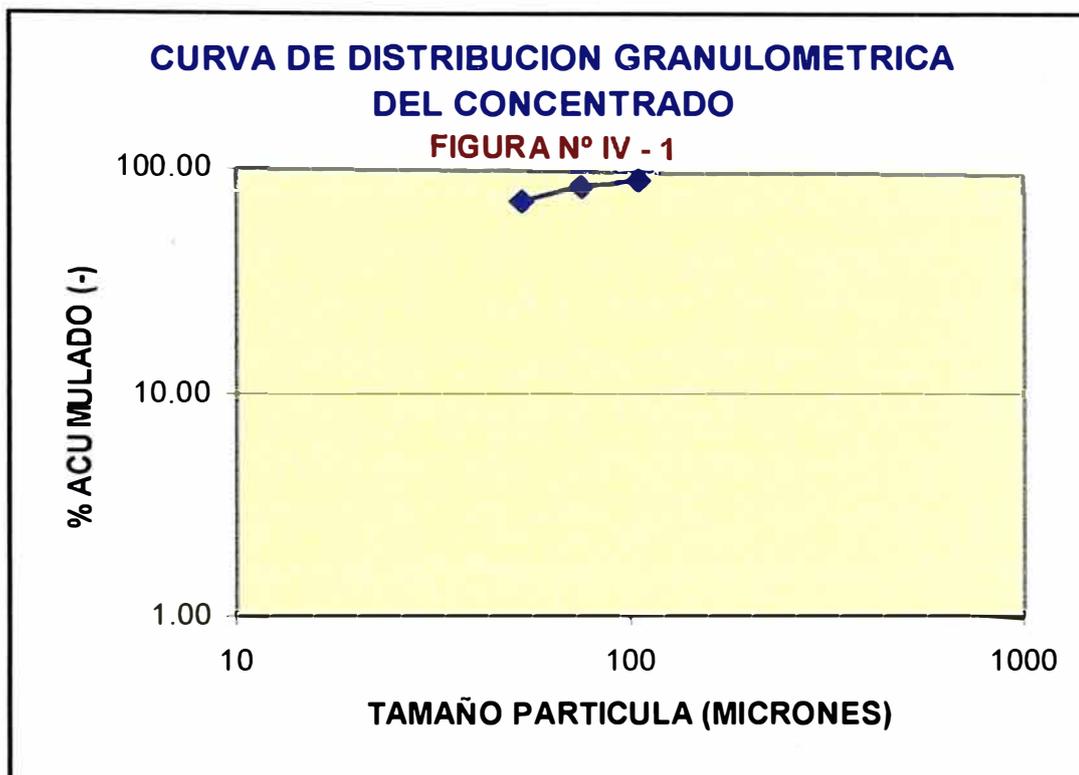
4.1.4 Análisis Granulométrico del concentrado

A continuación en el **Cuadro Nº IV – 2** y **Gráfico Nº IV - 1**, se detalla el análisis granulométrico del concentrado y la curva de distribución granulométrica.

CUADRO Nº IV - 2

ANALISIS GRANULOMETRICO POR MALLAS Y DISTRIBUCION DEL ANTIMONIO

MALLAS	TAMAÑO DE PARTICULA (micrones)	% PESO	% ACUM. (+)	% ACUM. (-)
+ 150M	105	8.30	8.30	91.70
+ 200M	75	6.30	14.60	85.40
+ 325M	53	12.40	27.00	73.00
- 325M		73.00	100.00	0.00
TOTAL		100.00		



4.1.5 Distribución por Mallas del Antimonio en el concentrado

A continuación en el **Cuadro N° IV – 3**, se presenta la distribución del antimonio por mallas.

CUADRO N° IV – 3

DISTRIBUCION POR MALLAS DEL ANTIMONIO EN EL CONCENTRADO

MALLAS	TAMAÑO DE PARTICULA (micrones)	% PESO	DISTRIBUCION DEL Sb (%)			
			LEY Sb(%)	PARCIAL	ACUM. (+)	ACUM. (-)
+ 150M	105	8.30	9.74	5.01	5.01	94.99
+ 200M	75	6.30	14.08	5.49	10.50	89.50
+ 325M	53	12.40	15.52	11.92	22.42	77.58
- 325M		73.00	17.16	77.58	100.00	0.00
TOTAL		100.00	16.15	100.00		

4.1.6 Distribución por Mallas del Plomo en el concentrado

A continuación en el **Cuadro N° IV – 4**, se presenta la distribución del plomo por mallas.

CUADRO N° IV - 4

DISTRIBUCION POR MALLAS DEL PLOMO EN EL CONCENTRADO

MALLAS	TAMAÑO DE PARTICULA (micrones)	% PESO	DISTRIBUCION DEL Pb (%)			
			LEY Pb(%)	PARCIAL	ACUM. (+)	ACUM. (-)
+ 150M	105	8.30	20.10	6.91	6.91	93.09
+ 200M	75	6.30	23.12	6.03	12.94	87.06
+ 325M	53	12.40	24.19	12.43	25.37	74.63
- 325M		73.00	24.68	74.63	100.00	0.00
TOTAL		100.00	24.14	100.00		

4.1.6 Distribución por Mallas de la Plata en el concentrado

A continuación en el Cuadro N° IV – 5, se presenta la distribución de la plata por mallas.

CUADRO N° IV – 5

DISTRIBUCION POR MALLAS DE LA PLATA EN EL CONCENTRADO

MALLAS	TAMAÑO DE PARTICULA (micrones)	% PESO	DISTRIBUCION Ag (%)			
			LEY Ag (oz/t)	PARCIAL	ACUM. (+)	ACUM. (-)
+ 150M	105	8.30	206.87	15.72	15.72	84.28
+ 200M	75	6.30	200.62	11.57	27.29	72.71
+ 325M	53	12.40	144.83	16.44	43.72	56.28
- 325M		73.00	84.22	56.28	100.00	0.00
TOTAL		100.00	109.25	100.00		

4.2 PRUEBAS METALURGICAS

4.2.1 PRUEBAS VARIANDO LA CONCENTRACION DEL REACTIVO ALCALINO

Con el objetivo de determinar la concentración óptima del reactivo adecuado, de acuerdo a la bibliografía consultada se selecciono las siguientes alternativas de pruebas de lixiviación:

- Pruebas de lixiviación variando la concentración de Hidróxido de sodio.
- Pruebas de lixiviación variando la concentración de Sulfuro de sodio.
- Pruebas de lixiviación empleando mezclas de hidróxido de sodio y Sulfuro de sodio.

Con esta finalidad las otras variables: Temperatura, tiempo, granulometría, dilución, se mantendrá constante, pero con valores que no incidan en la selección del reactivo lixiviante y su concentración.

A continuación se muestran el detalle de las pruebas experimentales, donde se presentan los balances metalúrgicos.

4.2.1.1 PRUEBAS DE LIXIVIACION VARIANDO LA CONCENTRACIÓN DE HIDROXIDO DE SODIO

Prueba de Lixiviación N°1

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr.
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de NaOH	:	10% (W/W)
Consumo de NaOH	:	100 kg/TM

El Cuadro N° IV - 1, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -1.- Prueba de lixiviación con 10% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	150.00	300.00	3.60
Relave (gr)	49.25	16.32	8037.60	96.40
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.68	8337.60	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°2

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de NaOH	:	20% (W/W)
Consumo de NaOH	:	200 kg/TM

El Cuadro N° IV - 2, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 2.- Prueba de lixiviación con 20% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VO L	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	420.00	840.00	9.94
Relave (gr)	48.55	15.68	7612.64	90.06
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.91	8452.64	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°3

Condiciones:

Peso de mineral : 50 gr

Dilución (L/S) : 4/1

Temperatura : 90°C

Tiempo de agitación : 6 horas

Concentración de NaOH : 30% (W/W)

Consumo de NaOH : 300 kg/TM

El Cuadro N° IV - 3, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV- 3.- Prueba de lixiviación con 30% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	640.00	1280.00	15.12
Relave (gr)	48.05	14.96	7188.28	84.88
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.94	8468.28	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°4

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Concentración de NaOH	50% (W/W)
Consumo de NaOH	500 kg/TM

El **Cuadro N° IV - 4**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 4.- Prueba de lixiviación con 50% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	810.00	1620.00	19.77
Relave (gr)	48.05	13.68	6573.24	80.23
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.39	8193.24	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°5

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de NaOH	:	75% (W/W)
Consumo de NaOH	:	750 kg/TM

El **Cuadro N° IV - 5**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 5.- Prueba de lixiviación con 75% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1320.00	2640.00	32.16
Relave (gr)	46.40	12.00	5568.00	67.84
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.42	8208.00	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°6

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Concentración de NaOH	100% (W/W)
Consumo de NaOH	1000 kg/TM

El **Cuadro N° IV - 6**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 6.- Prueba de lixiviación con 100% de NaOH

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1440.00	2880.00	36.38
Relave (gr)	46.30	10.88	5037.44	63.62
Cab. Calculada (gr)	50.00	15.83	7917.44	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

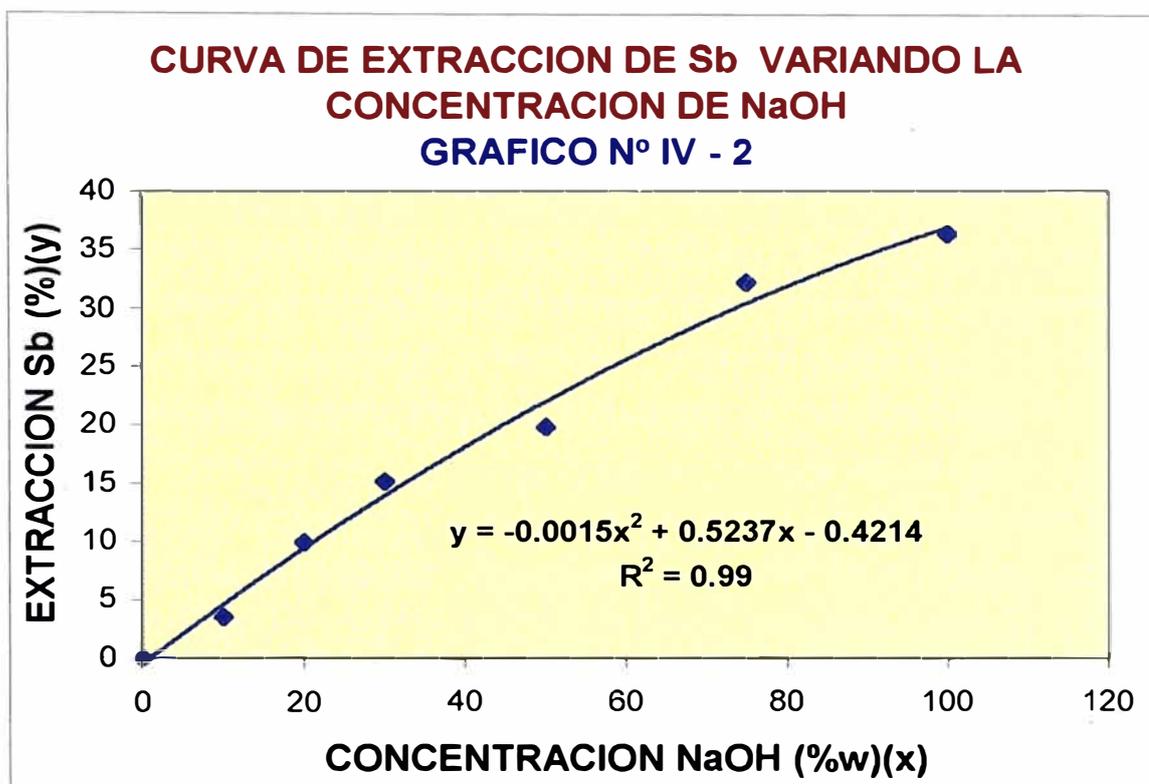
RESUMEN DE LAS PRUEBAS

El **Cuadro N° IV - 7**, nos presenta el resumen de las pruebas de lixiviación con hidróxido de sodio.

CUADRO N° IV – 7

CONCENTRACION NaOH (% W)	EXTRACCION Sb (%)
0	0
10	3.6-
20	9.94
30	15.12
50	19.77
75	32.16
100	36.38

El **gráfico N° IV -2**, nos muestra la curva de extracción de antimonio a diversas concentraciones de NaOH.



4.2.1.2 PRUEBAS DE LIXIVIACION VARIANDO LA CONCENTRACIÓN DE SULFURO DE SODIO

Prueba de Lixiviación N°7

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Concentración de Na₂S	10% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	100 kg/TM

El **Cuadro N° IV - 8**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 8.- Prueba de lixiviación con 10% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	430.00	860.00	10.36
Relave (gr)	47.70	15.60	7441.20	89.64
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.60	8301.20	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°8

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de Na₂S	:	20% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	:	200 kg/TM

El **Cuadro N° IV - 9**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 9.- Prueba de lixiviación con 20% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	800.00	1600.00	18.66
Relave (gr)	48.30	14.44	6974.52	81.34
Cab. Calculada (gr)	50.00	17.15	8574.52	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°9

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Concentración de Na₂S	30% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	300 kg/TM

El Cuadro N° IV - 10, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV-10.- Prueba de lixiviación con 30% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	950.00	1900.00	22.09
Relave (gr)	47.20	14.20	6702.40	77.91
Cab. Calculada (gr)	50.00	17.20	8602.40	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°10

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de Na₂S	:	50% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	:	500 kg/TM

El Cuadro N° IV - 11, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV-11.- Prueba de lixiviación con 50% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1450.00	2900.00	32.57
Relave (gr)	47.80	12.56	6003.68	67.43
Cab. Calculada (gr)	50.00	17.81	8903.68	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°11

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Concentración de Na₂S	75% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	750 kg/TM

El Cuadro N° IV - 12, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -12.- Prueba de lixiviación con 75% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2600.00	5200.00	58.54
Relave (gr)	45.35	8.12	3682.42	41.46
Cab. Calculada (gr)	50.00	17.76	8882.42	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°12

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Concentración de Na₂S	:	100% (W/W)
Consumo de Na ₂ S	:	1000 kg/TM

El Cuadro N° IV - 13, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -13.- Prueba de lixiviación con 100% de Na₂S

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3950.00	7900.00	88.08
Relave (gr)	46.10	2.32	1069.52	11.92
Cab. Calculada (gr)	50.00	17.94	8969.52	100.00

(*) Ley de solución en mg/lt.

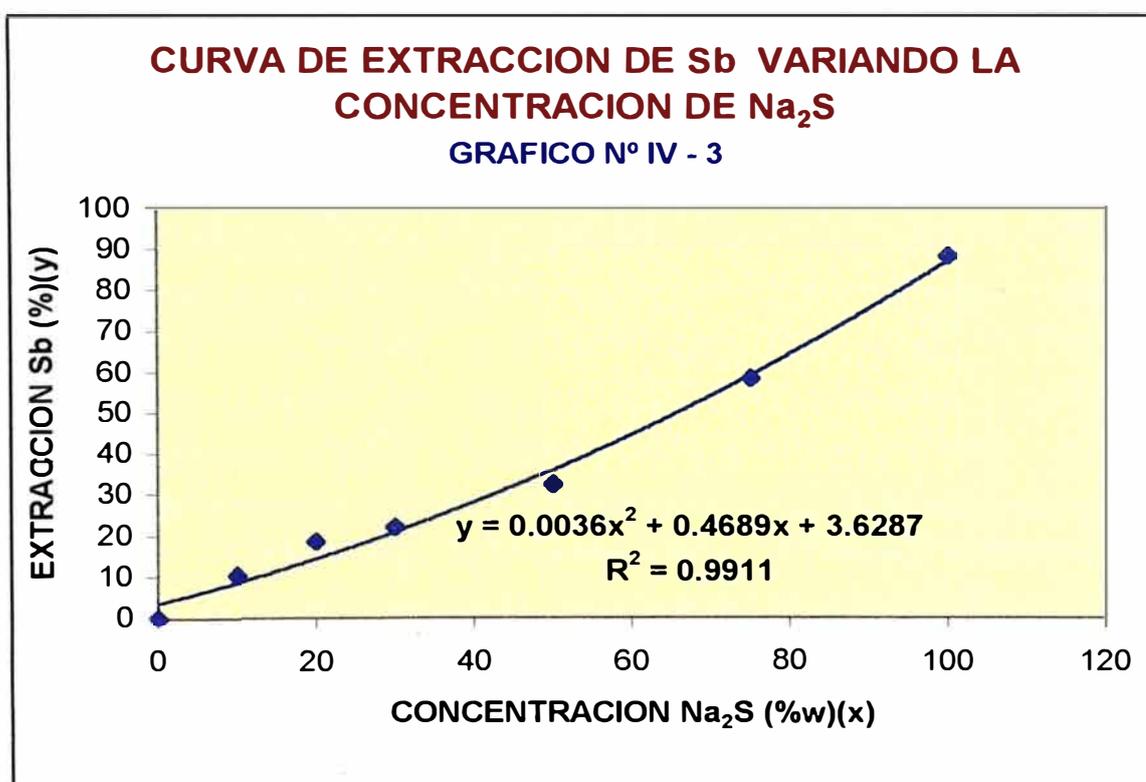
RESUMEN DE LAS PRUEBAS

El **Cuadro N° IV - 14**, nos presenta el resumen de las pruebas de lixiviación con sulfuro de sodio.

CUADRO N° IV – 14

CONCENTRACION Na₂S (% W)	EXTRACCION Sb (%)
0	0
10	10.36
20	18.66
30	22.09
50	32.57
75	58.54
100	88.08

El **gráfico N° IV – 3**, nos muestra la curva de extracción de antimonio a diversas concentraciones de Na₂S.



4.2.1.3 PRUEBAS DE LIXIVIACION EMPLEANDO MEZCLAS DE HIDROXIDO DE SODIO Y SULFURO DE SODIO

4.2.1.3.1 Pruebas de Lixiviación con 10% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N°13

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/1

El **Cuadro N° IV - 15**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -15.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	264.80	529.60	6.46
Relave (gr)	47.00	16.32	7670.40	93.54
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°14

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	2/1

Cuadro N° IV - 16, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -16.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	311.80	623.60	7.60
Relave (gr)	47.00	16.12	7576.40	92.40
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°15**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	3/1

El **Cuadro N° IV - 17**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV -17.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	293.00	586.00	7.15
Relave (gr)	47.00	16.20	7614.00	92.85
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°16**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/2

El **Cuadro N° IV - 18**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV -18.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	283.60	567.20	6.92
Relave (gr)	47.00	16.24	7632.80	93.08
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°17

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/3

El **Cuadro N° IV - 19**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 19.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	246.00	492.00	6.00
Relave (gr)	47.00	16.40	7708.00	94.00
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N°18

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	2/3

El **Cuadro N° IV - 20**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 20.- Prueba de lixiviación con 10% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	147.59	295.18	3.60
Relave (gr)	47.85	16.52	7904.82	96.40
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

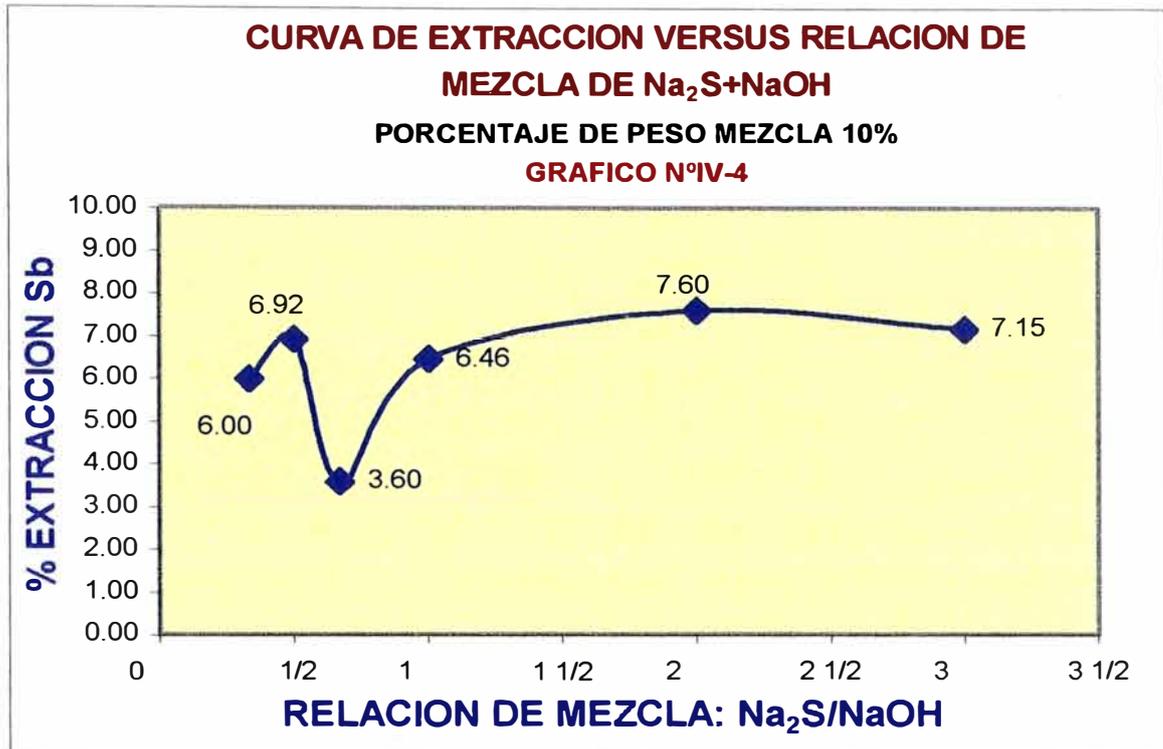
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 21** y el **gráfico N° IV - 4**, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 10% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 21

PRUEBAS CON 10% (MEZCLA Na ₂ S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA (Na ₂ S/NaOH)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	6.46
2:1	7.60
3:1	7.15
1:2	6.92
1:3	6.00
2:3	3.60



4.2.1.3.2 Pruebas de Lixiviación con 20% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N°19

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$:	1/1

El Cuadro N° IV - 22, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 22.- Prueba de lixiviación con 20% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), con: $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 1/1$

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	594.65	1189.31	14.50
Relave (gr)	46.49	15.08	7010.69	85.50
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 20

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **2/1**

El **Cuadro N° IV - 23**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 23.- Prueba de lixiviación con 20% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/1

PRODUCTOS	PESOVOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	497.60	995.20	12.14
Relave (gr)	47.40	15.20	7204.80	87.86
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 21

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **3/1**

El **Cuadro N° IV - 24**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 24.- Prueba de lixiviación con 20% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	497.66	995.32	12.14
Relave (gr)	47.65	15.12	7204.68	87.86
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 22**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/2

El **Cuadro N° IV - 25**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 25.- Prueba de lixiviación con 20% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	488.31	976.62	11.91
Relave (gr)	47.15	15.32	7223.38	88.09
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 23**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/3

El Cuadro N° IV - 26, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 26.- Prueba de lixiviación con 20% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	428.96	857.92	10.46
Relave (gr)	47.80	15.36	7342.08	89.54
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 24

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	2/3

El Cuadro N° IV - 27, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 27.- Prueba de lixiviación con 20% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	401.14	802.28	9.78
Relave (gr)	47.30	15.64	7397.72	90.22
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

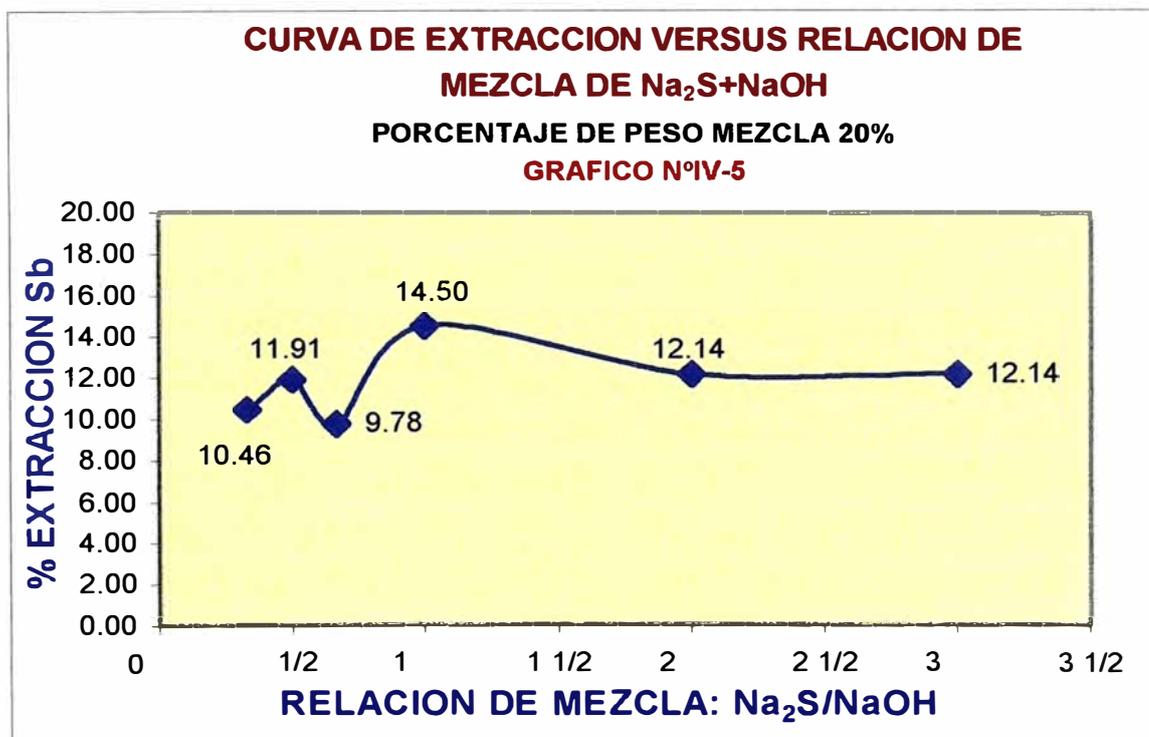
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 28** y el **gráfico N° IV - 5**, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 20% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 28

PRUEBAS CON 20% (MEZCLA Na ₂ S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA (Na ₂ S/NaOH)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	14.50
2:1	12.14
3:1	12.14
1:2	11.91
1:3	10.46
2:3	9.78



4.2.1.3.3 Pruebas de Lixiviación con 30% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N° 25

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **1/1**

El **Cuadro N° IV - 29**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 29.- Prueba de lixiviación con 30% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1038.10	2076.20	25.32
Relave (gr)	45.70	13.40	6123.80	74.68
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 26

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **2/1**

El **Cuadro N° IV - 30**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 30.- Prueba de lixiviación con 30% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1087.76	2175.52	26.53
Relave (gr)	46.20	13.04	6024.48	73.47
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 27**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	3/1

El **Cuadro N° IV - 31**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 31.- Prueba de lixiviación con 30% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	882.89	1765.78	21.53
Relave (gr)	46.49	13.84	6434.22	78.47
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 28**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/2

El **Cuadro N° IV - 32**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 32.- Prueba de lixiviación con 30% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	974.30	1948.60	23.76
Relave (gr)	45.30	13.80	6251.40	76.24
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 29**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/3

El **Cuadro N° IV - 33**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 33.- Prueba de lixiviación con 30% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	819.17	1638.34	19.98
Relave (gr)	45.95	14.28	6561.66	80.02
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 30**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	2/3

El **Cuadro N° IV - 34**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 34.- Prueba de lixiviación con 30% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), con: $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/3$

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	972.00	1944.00	23.71
Relave (gr)	46.00	13.60	6256.00	76.29
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

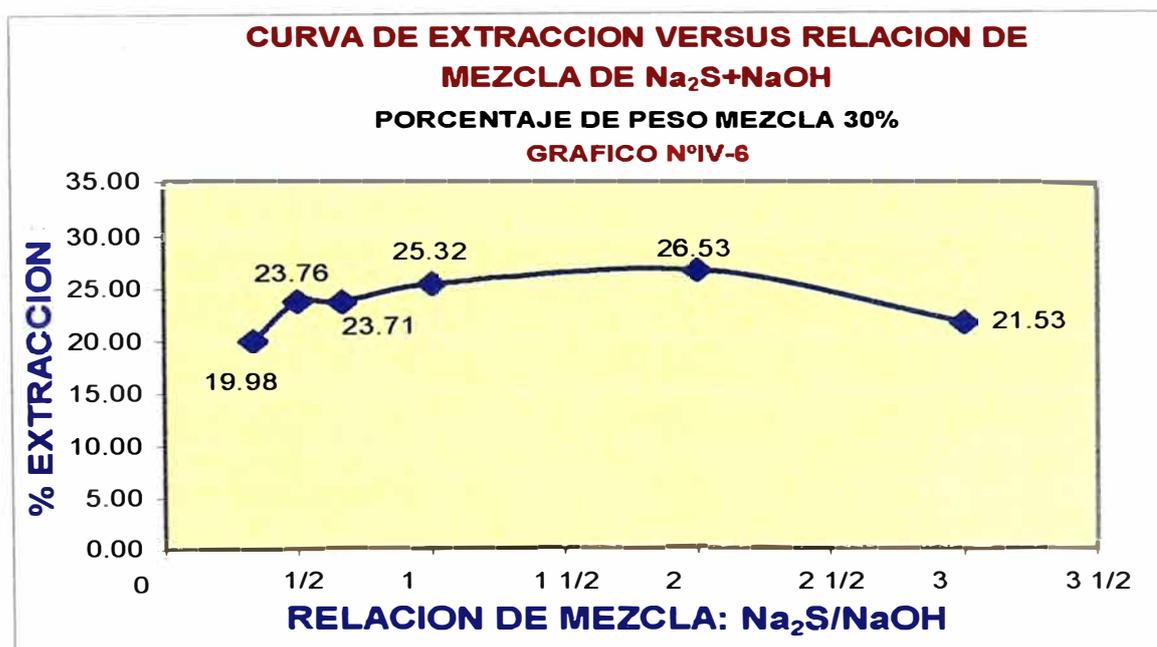
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 35** y el **gráfico N° IV - 6**, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 30% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 35

PRUEBAS CON 30% (MEZCLA $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	25.32
2:1	26.53
3:1	21.53
1:2	23.76
1:3	19.98
2:3	23.71



4.2.1.3.4 Pruebas de Lixiviación con 50% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N° 31

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **1/1**

El **Cuadro N° IV - 36**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 36.- Prueba de lixiviación con 50% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1717.07	3434.14	41.88
Relave (gr)	45.65	10.44	4765.86	58.12
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 32

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas

Relación Na₂S/NaOH **2/1**

El **Cuadro N° IV - 37**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 37.- Prueba de lixiviación con 50% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1876.14	3752.28	45.76
Relave (gr)	44.30	10.04	4447.72	54.24
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 33

Condiciones:

Peso de mineral : 50 gr
 Dilución (L/S) : 4/1
 Temperatura : 90°C
 Tiempo de agitación : 6 horas
Relación Na₂S/NaOH : 3/1

El **Cuadro N° IV - 38**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 38.- Prueba de lixiviación con 50% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1635.68	3271.36	39.89
Relave (gr)	45.30	10.88	4928.64	60.11
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 34

Condiciones:

Peso de mineral : 50 gr.
 Dilución (L/S) : 4/1
 Temperatura : 90°C
 Tiempo de agitación : 6 horas
Relación Na₂S/NaOH : 1/2

El **Cuadro N° IV - 39**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 39.- Prueba de lixiviación con 50% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1828.57	3657.14	44.60
Relave (gr)	43.85	10.36	4542.86	55.40
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 35

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/3

El **Cuadro N° IV - 40**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 40.- Prueba de lixiviación con 50% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1557.80	3115.60	38.00
Relave (gr)	44.60	11.40	5084.40	62.00
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 36

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	2/3

El **Cuadro N° IV - 41**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 41.- Prueba de lixiviación con 50% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), con: $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/3$

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	1840.70	3681.40	44.90
Relave (gr)	44.30	10.20	4518.60	55.10
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

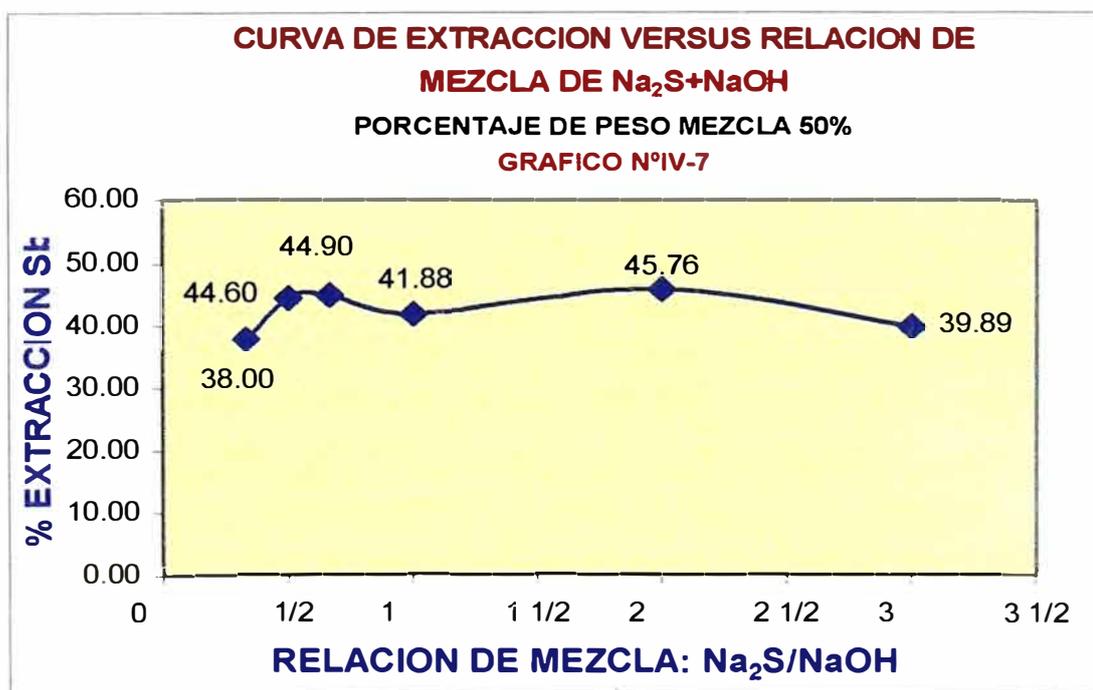
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El cuadro N° IV – 42 y el gráfico N° IV - 7, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 50% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 42

PRUEBAS CON 50% (MEZCLA $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	41.88
2:1	45.76
3:1	39.89
1:2	44.60
1:3	38.00
2:3	44.90



4.2.1.3.5 Pruebas de Lixiviación con 75% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N° 37

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/1

El **Cuadro N° IV - 43**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 43.- Prueba de lixiviación con 75% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2914.08	5828.16	71.08
Relave (gr)	43.60	5.44	2371.84	28.92
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 38

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 44**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 44.- Prueba de lixiviación con 75% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3431.20	6862.40	83.69
Relave (gr)	41.80	3.20	1337.60	16.31
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 39**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	3/1

El **Cuadro N° IV - 45**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 45.- Prueba de lixiviación con 75% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3205.40	6410.80	78.18
Relave (gr)	42.60	4.20	1789.20	21.82
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 40**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6horas
Relación Na₂S/NaOH	1/2

El **Cuadro N° IV - 46**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 46.- Prueba de lixiviación con 75% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2598.50	5197.00	63.38
Relave (gr)	42.90	7.00	3003.00	36.62
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 41

Condiciones:

Peso de mineral : 50 gr
 Dilución (L/S) : 4/1
 Temperatura : 90°C
 Tiempo de agitación : 6 horas

Relación Na₂S/NaOH : 1/3

El **Cuadro N° IV - 47**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 47.- Prueba de lixiviación con 75% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2273.45	4546.90	55.45
Relave (gr)	44.55	8.20	3653.10	44.55
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 42

Condiciones:

Peso de mineral : 50 gr
 Dilución (L/S) : 4/1
 Temperatura : 90°C
 Tiempo de agitación : 6 horas

Relación Na₂S/NaOH : 2/3

El **Cuadro N° IV - 48**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 48.- Prueba de lixiviación con 75% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$),
con: $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/3$

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2494.20	4988.40	60.83
Relave (gr)	43.40	7.40	3211.60	39.17
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

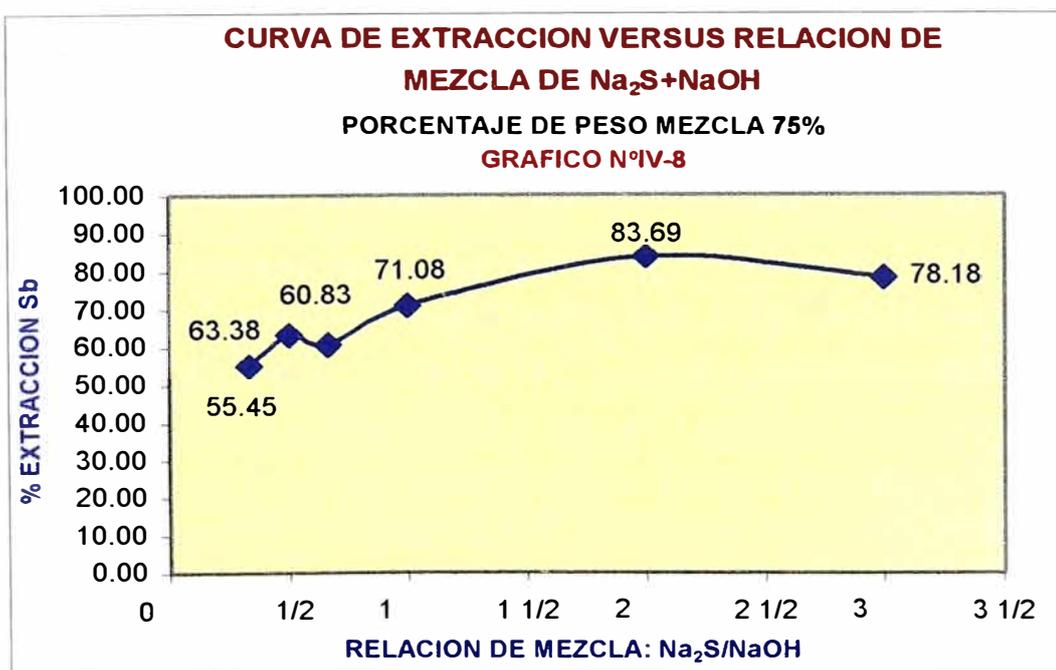
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 49** y el **gráfico N° IV - 8**, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 75% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 49

PRUEBAS CON 75% (MEZCLA $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	71.08
2:1	83.69
3:1	78.18
1:2	63.38
1:3	55.45
2:3	60.83



4.2.1.3.5 Pruebas de Lixiviación con 100% en peso de Mezcla

Prueba de Lixiviación N° 43

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	1/1

El **Cuadro N° IV - 50**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N°IV - 50.- Prueba de lixiviación con 100% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3663.90	7327.80	92.55
Relave (gr)	44.50	1.96	872.20	10.64
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	103.19

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 44

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 51**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 51.- Prueba de lixiviación con 100% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3834.33	7668.66	93.52
Relave (gr)	42.85	1.24	531.34	6.48
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 45**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	3/1

El **Cuadro N° IV - 52**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 52.- Prueba de lixiviación con 100% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH =3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3782.32	7564.64	92.25
Relave (gr)	41.80	1.52	635.36	7.75
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 46**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/2

El **Cuadro N° IV - 53**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 53.- Prueba de lixiviación con 100% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/2

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3099.36	6198.72	75.59
Relave (gr)	42.40	4.72	2001.28	24.41
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 47**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	1/3

El **Cuadro N°IV - 54**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N°IV - 54.- Prueba de lixiviación con 100% de (Na₂S + NaOH), con: Na₂S/NaOH = 1/3

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2461.88	4923.76	60.05
Relave (gr)	43.80	7.48	3276.24	39.95
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 48**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	4/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na₂S/NaOH	:	2/3

El **Cuadro N° IV - 55**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 55.- Prueba de lixiviación con 100% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), con: $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/3$

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3218.00	6436.00	78.49
Relave (gr)	44.10	4.00	1764.00	21.51
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

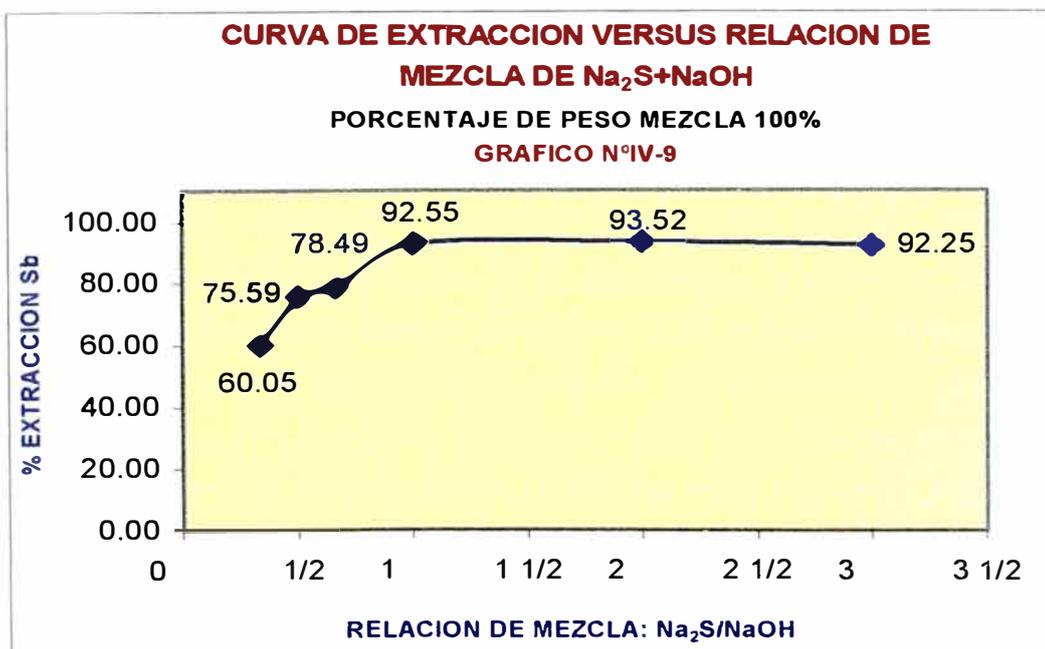
(*) Ley Calculada a partir del relave y cabeza analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El cuadro N° IV – 56 y el gráfico N° IV - 9, nos presenta el resumen de las pruebas empleando mezclas de sulfuro de sodio con hidróxido de sodio con un 100% en peso de reactivo respecto al mineral.

CUADRO N° IV – 56

PRUEBAS CON 100% (MEZCLA $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	92.55
2:1	93.52
3:1	92.25
1:2	75.59
1:3	60.05
2:3	78.49



4.2.2 PRUEBAS VARIANDO LA DILUCION ALCALINA

Prueba de Lixiviación N° 49

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	1/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 57**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 57.- Prueba de lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:1/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3917.67	7835.34	96.41
Relave (gr)	42.90	0.68	291.72	3.59
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.25	8127.06	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 50

Condiciones:

Peso de mineral	100 gr
Dilución (L/S)	2/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 58**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 58.- Prueba de lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:2/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	100.00	16.40	16400.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	7485.44	14970.88	91.29
Relave (gr)	81.20	1.76	1429.12	8.71
Cab. Calculada (gr)	100.00	16.40	16400.00	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 50**Condiciones:**

Peso de mineral	:	70 gr
Dilución (L/S)	:	3/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 59**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

N° IV - 59.- Cuadro Prueba de lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:3/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	70.00	16.40	11480.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	5145.12	10290.24	89.64
Relave (gr)	57.20	2.08	1189.76	10.36
Cab. Calculada (gr)	70.00	16.40	11480.00	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 51**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	4/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 60**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 60.- Prueba de lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:4/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3620.64	7241.28	88.31
Relave (gr)	42.80	2.24	958.72	11.69
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 52**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	5/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 61**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 62.- Prueba de lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:5/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3532.88	7065.76	86.17
Relave (gr)	41.70	2.72	1134.24	13.83
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 53**Condiciones:**

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	6/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El Cuadro N° IV - 63, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 63.- Prueba de lixiviación con 85% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), con dilución: 6/1

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	2980.64	5961.28	72.70
Relave (gr)	42.40	5.28	2238.72	27.30
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

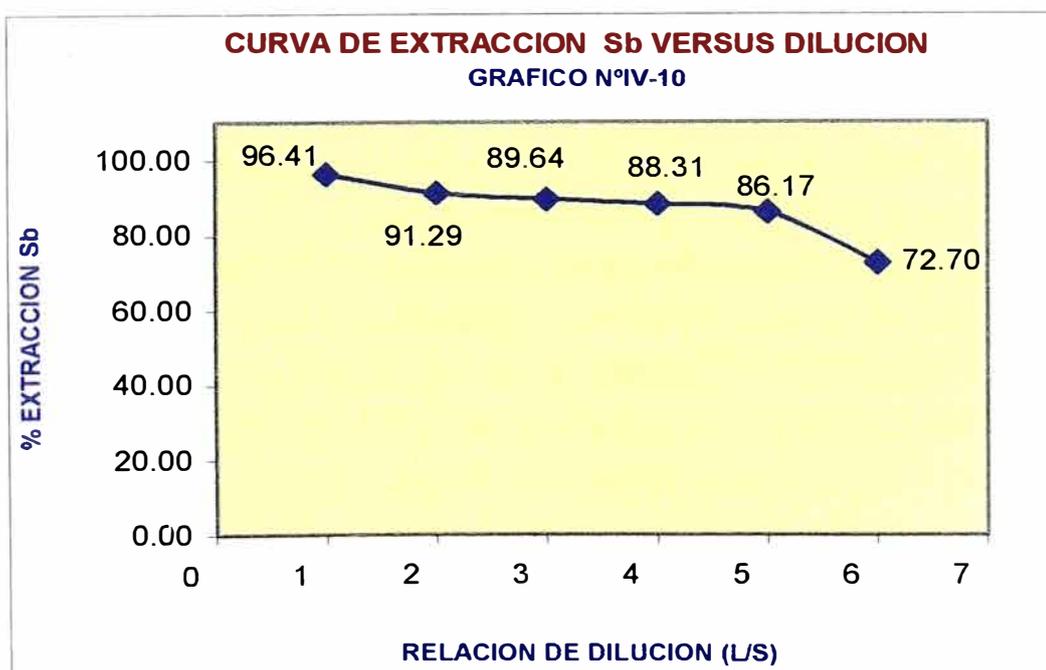
(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El cuadro N° IV – 64 y el gráfico N° IV - 10, nos presenta el resumen de las pruebas variando la dilución.

CUADRO N° IV – 64

DILUCION	EXTRACCION DE Sb (%)
1/1	96.41
1/2	91.29
1/3	89.64
1/4	88.31
1/5	86.17
1/6	72.70



4.2.3 PRUEBAS VARIANDO LA TEMPERATURA

Prueba de Lixiviación N° 54

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	1/1
Temperatura	50°C
Tiempo de agitación	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 65**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 65.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución: 1/1, a T = 50°C.

PRODUCTOS	PESOVOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3829.40	7658.80	93.40
Relave (gr)	41.00	1.32	541.20	6.60
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 55

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	60°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 66**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 66.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución: 1/1, a T = 60°C.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3912.05	7824.10	95.42
Relave (gr)	39.99	0.94	375.91	4.58
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.01	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 56

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	70°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 67**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 67.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución: 1/1, a T = 70°C.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3932.72	7865.44	95.92
Relave (gr)	39.80	0.84	334.32	4.08
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8199.76	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 57

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	80°C
Tiempo de agitación	:	6 horas
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 68**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 68.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), con dilución:1/1, a T = 80°C.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3957.44	7914.88	96.52
Relave (gr)	39.60	0.72	285.12	3.48
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

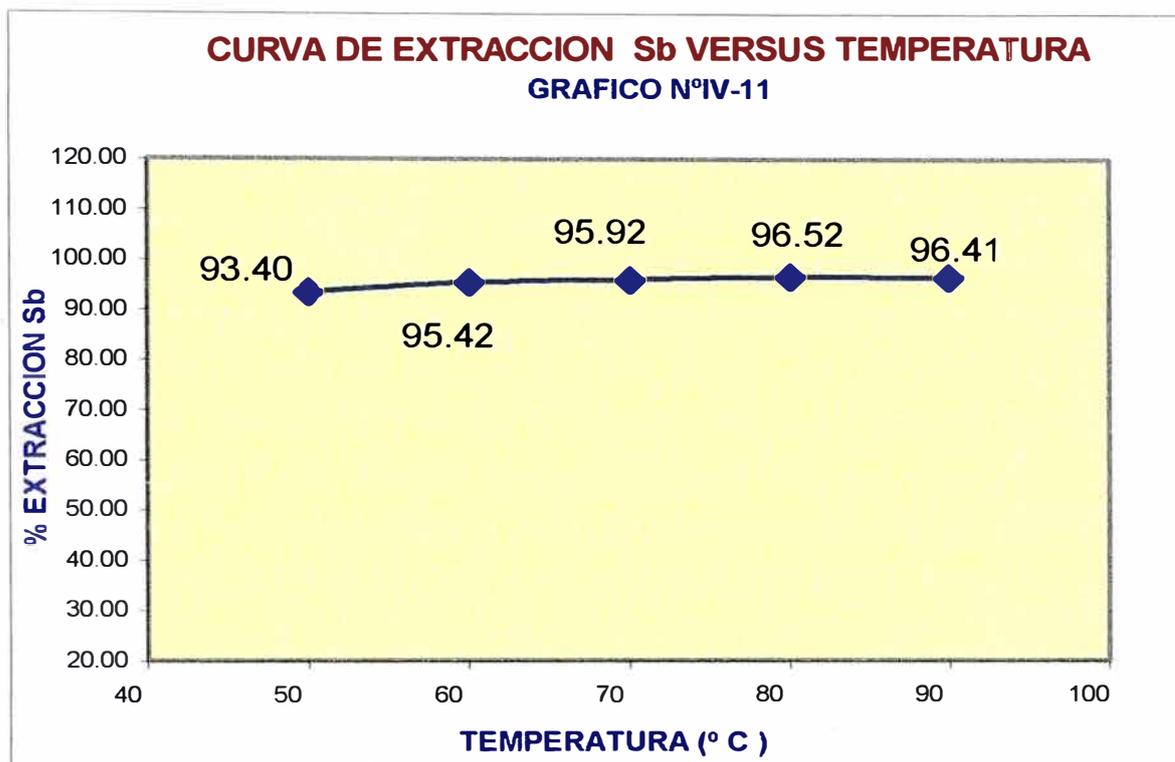
(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 69** y el **gráfico N° IV - 11**, nos presenta el resumen de las pruebas variando la Temperatura.

CUADRO N° IV – 69

TEMPERATURA (°C)	EXTRACCION DE Sb (%)
50	93.40
60	95.42
70	95.92
80	96.52
90	96.70



4.2.4 PRUEBAS VARIANDO EL TIEMPO DE AGITACION

Prueba de Lixiviación N° 58

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	10 minutos
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 70**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 70.- Lixiviación con 85% (Na₂S + NaOH), dilución: 1/1, T=90°C, t =10 min.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3938.90	7877.80	96.05
Relave (gr)	39.50	0.82	323.90	3.95
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8201.70	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 59

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	20 minutos
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 71**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALÚRGICO

Cuadro N° IV - 71.- Lixiviación con 85% (Na₂S + NaOH), dilución: 1/1, T=90°C, t =20 min.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3936.10	7872.20	96.09
Relave (gr)	39.50	0.81	319.95	3.91
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.38	8192.15	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 60

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	30 minutos
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 72**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 72.- Lixiviación con 85% (Na₂S + NaOH), dilución: 1/1, T=90°C, t =30 min.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3949.20	7898.40	96.40
Relave (gr)	39.30	0.75	294.75	3.60
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.39	8193.15	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 61**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	1 hora
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 73**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 73.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH), dilución: 1/1, T=90°C, t =1 hr.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3934.00	7868.00	96.62
Relave (gr)	39.30	0.70	275.10	3.38
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.29	8143.10	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 62**Condiciones:**

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	2 hora
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 74**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 74.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH),
dilución: 1/1, T=90°C, t =2 hr.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3964.00	7928.00	96.64
Relave (gr)	39.35	0.70	275.45	3.36
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.41	8203.45	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 63

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	3 hora
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 75**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 75.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH),
dilución: 1/1, T=90°C, t =3 hr.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3965.00	7930.00	96.74
Relave (gr)	39.30	0.68	267.24	3.26
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.39	8197.24	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 64

Condiciones:

Peso de mineral	50 gr
Dilución (L/S)	1/1
Temperatura	90°C
Tiempo de agitación	4 hora
Relación Na ₂ S/NaOH	2/1

El **Cuadro N° IV - 76**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 76.- Lixiviación con 85% de (Na₂S + NaOH),
dilución: 1/1, T=90°C, t =4 hr.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3966.50	7933.00	96.79
Relave (gr)	39.25	0.67	262.98	3.21
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.39	8195.98	100.00

(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

Prueba de Lixiviación N° 65

Condiciones:

Peso de mineral	:	50 gr
Dilución (L/S)	:	1/1
Temperatura	:	90°C
Tiempo de agitación	:	5 hora
Relación Na ₂ S/NaOH	:	2/1

El **Cuadro N° IV - 77**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 77.- Lixiviación con 85% de ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$),
dilución: 1/1, $T=90^\circ\text{C}$, $t = 5 \text{ hr}$.

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EXTRACCION (%)
Cabeza (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00
Solución (lt) (*)	2.00	3972.90	7945.80	96.90
Relave (gr)	41.00	0.62	254.20	3.10
Cab. Calculada (gr)	50.00	16.40	8200.00	100.00

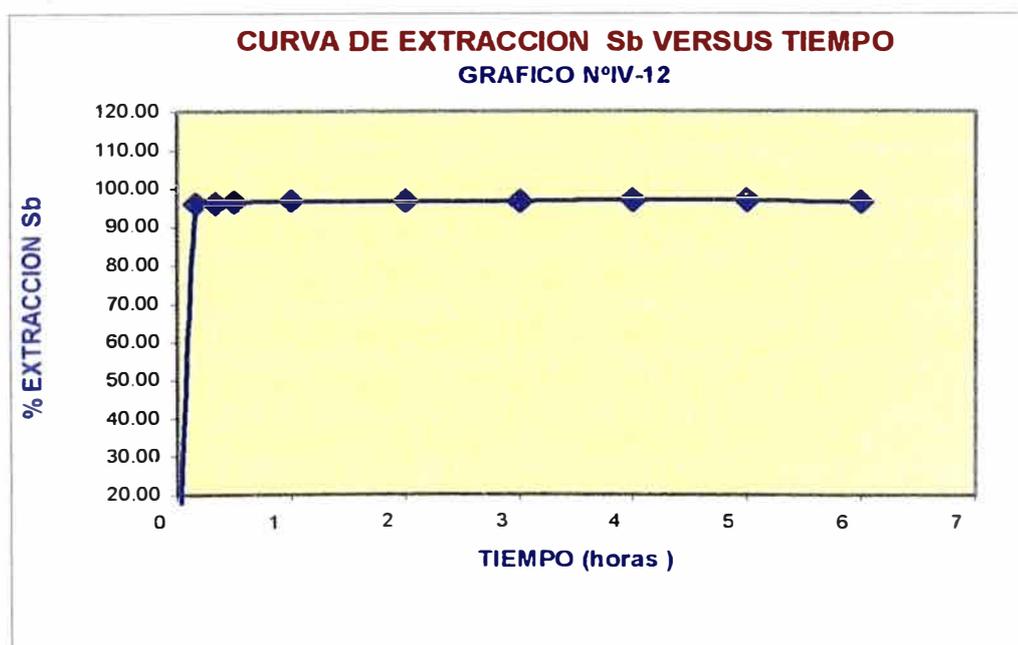
(*) Ley analizada de solución en mg/lt.

CUADRO DE RESUMEN

El **cuadro N° IV – 78** y el **gráfico N° IV - 12**, nos presenta el resumen de las pruebas variando la Temperatura.

CUADRO N° IV – 78

TIEMPO DE AGITACION	EXTRACCION DE Sb (%)
10´	96.05
20´	96.09
30´	96.40
1 hr	96.62
2 hr	96.64
3 hr	96.74
4 hr	96.79
5 hr	96.90
6 hr	96.95



4.2.5 PRUEBAS DE PRECIPITACION DEL SULFURO DE ANTIMONIO

A continuación se detallan las pruebas de precipitación para recuperar el antimonio disuelto en las pruebas de lixiviación alcalina.

4.2.51. Empleando ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico al reducir el pH a rangos ácidos, produce la precipitación del antimonio en forma de Sb_2S_3 .

Las condiciones de la prueba se muestran a continuación:

Condiciones:

Volumen de solución	:	2 litros
Ley de solución	:	3972.9 mg Sb/lit
Consumo de H_2SO_4	:	50 kg/TM de mineral
Ley de solución Barren	:	25.26 mg Sb/lit

El **Cuadro N° IV - 79**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 79.- Prueba de Precipitación del Antimonio empleando ácido sulfúrico

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EFICIENCIA DE PRECIPITACION (%)
Solución (lit) (*)	2.00	3972.90	7945.80	99.36
Precipitado (gr)	11.50	68.65	7895.28	
Solución Barren (lit) (*)	2.00	25.26	50.52	

(*) Ley de solución en mg/lit.

4.2.51. Empleando gas dióxido de Carbono

El dióxido de Carbono al reduce al antimonio, produciendo su precipitación en forma de Sb_2S_3 .

Las condiciones de la prueba se muestran a continuación:

Condiciones:

Volumen de solución	:	2 litros
Ley de solución	:	3972.9 mg Sb/lit
Consumo de $CaCO_3$:	25 kg/TM de mineral
Ley de solución Barren	:	12.25 mg Sb/lit

El **Cuadro N° IV - 80**, nos presenta el Balance metalúrgico obtenido.

BALANCE METALURGICO

Cuadro N° IV - 80.- Prueba del Precipitación del Antimonio empleando gas dióxido de carbono

PRODUCTOS	PESO/VOL	LEYES (%)	FINOS (mg)	EFICIENCIA DE PRECIPITACION (%)
Solución (lt) (*)	2.00	3972.90	7945.80	99.85
Precipitado (gr)	11.50	68.99	7933.55	
Solución Barren (lt) (*)	2.00	6.13	12.25	

(*) Ley de solución en mg/
lt.

CAPITULO V

OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 OBSERVACIONES

- El concentrado en estudio presenta en orden de abundancia, las siguientes especies minerográficas:

MINERALES	FORMULA
Bourmonita	$Cu PbSbS_3$
Galena	PbS
Pirita	FeS_2
Boulangerita	$Pb_5Sb_4S_{11}$
Esfarelita	ZnS
Calcopirita	$CuFeS_2$
Arsenopirita	$AsFeS_2$
Jamesonita	$Pb_4FeSb_6S_{14}$
Enargita	Cu_3AsS_4
Zinkenita	$PbSn_2S_4$
Argidorita	$Ag_8(Ge,Sn)S_6$
Gangas	Gs

De los análisis químicos del mineral de cabeza y el relave tenemos:

	CABEZA	RELAVE
Sb (%)	16.52	0.58
Pb (%)	24.43	28.78
Ag (oz/t)	106.39	127.36

El contenido de 16.52% Sb en la cabeza es un valor alto, que hace del concentrado antieconómico.

El 0.58% Sb en el relave, nos demuestra la alta eficiencia de disolución del relave.

El plomo y la plata sufren un incremento en el relave.

La gravedad específica del mineral es de 4.00 gr/cc, valor alto por su contenidos de plomo.

El concentrado empleado en el estudio posee una granulometría de 85.54% - 200 mallas, valor que nos garantiza un alto grado de liberación de las especies mineralógicas. (Ver cuadro N° IV – 2).

El contenido del antimonio en el concentrado es de 89.59% -200 mallas. Valor adecuado para procesos de lixiviación. (Ver cuadro N° IV – 3).

➤ El contenido del plomo en el concentrado es de 87.06% -200 mallas. . (Ver cuadro N° IV – 4).

El contenido de la plata en el concentrado es de 72.71% -200 mallas. Valor adecuado para procesos de lixiviación. (Ver cuadro N° IV – 5).

PRUEBAS METALURGICAS

PRUEBAS VARIANDO LA CONCENTRACION DEL REACTIVO ALCALINO

HIDRÓXIDO DE SODIO

Las pruebas de lixiviación alcalina variando la concentración de hidróxido de sodio, la cual se resume a continuación:

CONCENTRACION NaOH (% W)	EXTRACCION Sb (%)
0	0
10	3.6
20	9.94
30	15.12
50	19.77
75	32.16
100	36.38

Se observa que aún empleando concentraciones del 100% en peso del hidróxido de sodio, la extracción del antimonio es de 36.38% como valor máximo. Valor bajo para procesos de lixiviación.

SULFURO DE SODIO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina variando la concentración de sulfuro de sodio, se muestra a continuación:

CONCENTRACION Na ₂ S (% W)	EXTRACCION Sb (%)
0	0
10	10.36
20	18.66
30	22.09
50	32.57
75	58.54
100	88.08

Se observa que para concentraciones del 100% en peso del sulfuro de sodio, la extracción del antimonio es de 88.08% como valor máximo. Valor moderado para procesos de lixiviación.

MEZCLAS DE SULFURO DE SODIO Y HIDRÓXIDO DE SODIO

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 10% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 10% en peso, donde se varia la relación Na₂S/NaOH, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 10% (MEZCLA Na ₂ S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA (Na ₂ S/NaOH)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	6.46
2:1	7.60
3:1	7.15
1:2	6.92
1:3	6.00
2:3	3.60

Dentro de las pruebas observamos que la relación de $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (7.60%). Pero el valor de esta extracción es muy bajo para procesos de lixiviación.

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 20% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 20% en peso, donde se varia la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 20% (MEZCLA $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	14.50
2:1	12.14
3:1	12.14
1:2	11.91
1:3	10.46
2:3	9.78

Dentro de las pruebas observamos que la relación de $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 1/1$, donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (14.50%). Pero el valor de esta extracción es muy bajo para procesos de lixiviación.

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 30% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 30% en peso, donde se varia la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 30% (MEZCLA Na ₂ S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA (Na ₂ S/NaOH)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	25.32
2:1	26.53
3:1	21.53
1:2	23.76
1:3	19.98
2:3	23.71

Dentro de las pruebas observamos que la relación de Na₂S/NaOH = 2/1, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (26.53%). Pero el valor de esta extracción es muy bajo para procesos de lixiviación.

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 50% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 50% en peso, donde se varia la relación Na₂S/NaOH, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 50% (MEZCLA Na ₂ S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA (Na ₂ S/NaOH)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	41.88
2:1	45.76
3:1	39.89
1:2	44.60
1:3	38.00
2:3	44.90

Dentro de las pruebas observamos que la relación de Na₂S/NaOH = 2/1, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (45.76%). Pero el valor de esta extracción es muy bajo para procesos de lixiviación.

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 75% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 75% en peso, donde se varia la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 75% (MEZCLA Na_2S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	71.08
2:1	83.69
3:1	78.18
1:2	63.38
1:3	55.45
2:3	60.83

Dentro de las pruebas observamos que la relación de $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (83.69%). Pero el valor de esta extracción es moderado para procesos de lixiviación.

PRUEBAS CON CONCENTRACIONES EN 100% EN PESO

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 100% en peso, donde se varia la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$, se muestra a continuación:

PRUEBAS CON 100% (MEZCLA Na_2S + NaOH)	
RELACION DE MEZCLA ($\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH}$)	EXTRACCION DE Sb (%)
1:1	92.55
2:1	93.52
3:1	92.25
1:2	75.59
1:3	60.05
2:3	78.49

Dentro de las pruebas observamos que la relación de $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (93.52%). El valor de esta extracción es aceptable para procesos de lixiviación.

PRUEBAS VARIANDO LA DILUCION ALCALINA

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 85% en peso, donde se usa la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, donde se varia la dilución se muestra a continuación:

DILUCION	EXTRACCION DE Sb (%)
1/1	96.41
1/2	91.29
1/3	89.64
1/4	88.31
1/5	86.17
1/6	72.70

De las pruebas observamos que la relación de Dilución = 1/1, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (96.41%). El valor de esta extracción es aceptable para procesos de lixiviación.

PRUEBAS VARIANDO LA TEMPERATURA

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 85% en peso, donde se usa la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, Dilución = 1/1, donde se varia la Temperatura se muestra a continuación:

TEMPERATURA (°C)	EXTRACCION DE Sb (%)
50	93.40
60	95.42
70	95.92
80	96.52
90	96.70

De las pruebas observamos que la Temperatura de 90° C, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (96.70%). El valor de esta extracción es aceptable para procesos de lixiviación.

PRUEBAS VARIANDO EL TIEMPO DE AGITACION

El resumen de las pruebas de lixiviación alcalina a una concentración 85% en peso, donde se usa la relación $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$, Dilución = 1/1, T = 90 °C, donde se varia el tiempo de agitación se muestra a continuación:

TIEMPO DE AGITACION	EXTRACCION DE Sb (%)
10´	96.05
20´	96.09
30´	96.40
1 hr	96.62
2 hr	96.64
3 hr	96.74
4 hr	96.79
5 hr	96.90
6 hr	96.95

De las pruebas observamos que el tiempo de agitación de 6 horas, es donde se obtiene la mayor extracción del antimonio (96.95%). El valor de esta extracción es aceptable para procesos de lixiviación.

PRUEBAS DE PRECIPITACIÓN DEL SULFURO DE ANTIMONIO

- La prueba de precipitación empleando como reactivo al ácido sulfúrico, nos da una eficiencia de precipitación del 99.36%, con un concentrado de sulfuro de antimonio de 68.65% Sb.
- La prueba de precipitación empleando como reactivo el gas de anhídrido carbónico , nos da una eficiencia de precipitación del 99.85%, con un concentrado de sulfuro de antimonio de 68.99% Sb.

VALORIZACION DEL CONCENTRADO

De la valorización del concentrado con y sin lixiviar se obtiene:

	US\$/TM
SIN LIXIVIARSE	82.399
LIXIVIADO	517.586

De los datos anteriores podemos apreciar que el valor del concentrado se eleva considerablemente al eliminar el antimonio.

5.2 CONCLUSIONES

- El antimonio presente en el concentrado se encuentra dentro de las sulfosales (Bournonita, Boulangerita, Jamesonita).
- La lixiviación con hidróxido de sodio como único reactivo, no es eficiente para el tipo de mineral en estudio.
- La lixiviación con sulfuro de sodio, nos muestra resultados moderados de disolución de antimonio, por lo que no sería adecuado aplicarla.
- Los mejores resultados de lixiviación alcalina se obtuvo empleando mezclas de sulfuro de sodio y hidróxido de sodio. La relación de mezcla de acuerdo a las pruebas experimentales realizadas es de $\text{Na}_2\text{S}/\text{NaOH} = 2/1$.
- Para las pruebas de lixiviación empleando las mezclas a diversos porcentajes de peso, se concluye que el de mejor eficiencia es el de 100% en peso. Pero con el objetivo de reducir los consumos de reactivos se selecciono la de 80% en peso (Valor promedio).
- Las pruebas variando la dilución, nos da mejores resultados en bajas diluciones, por lo que se selecciono la relación de dilución: 1/1.
- La temperatura de operación estaría en el intervalo de 80 –90 °C.

- De la prueba de cinética, se concluye que el mineral posee una alta velocidad de disolución, ya que a 10 minutos ya estamos en extracciones sobre el 96% de antimonio.
- La precipitación del antimonio es eficiente empleando ácido sulfúrico o gas dióxido de carbono, la diferencia es que el sulfúrico destruye los reactivos alcalinos, mientras que el CO₂, puede permitir regenerar el hidróxido.
- En conclusión el antimonio del concentrado es eficiente disuelto en soluciones alcalinas, donde se emplean mezclas de sulfuro y hidróxido de sodio, la dificultad es que el consumo de estos reactivos es alto, por lo que hace del estudio antieconómico, para su aplicación a nivel industrial.

5.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar trabajando en la reducción del consumo de reactivos, pero con cuidado de no bajar la eficiencia de extracción del antimonio.
- La recuperación del antimonio y la regeneración de los reactivos alcalinos puede compensar los fuertes consumos de reactivos, por lo que se debe trabajar en este objetivo.
- Se recomienda el uso de la cal para elevar el pH a rangos alcalinos, para luego emplear el hidróxido y el sulfuro de sodio, de esta forma reducir los consumos de reactivos.