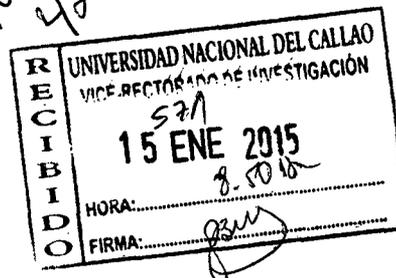
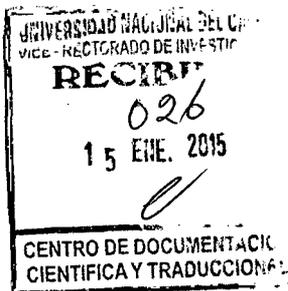


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ENE 2015

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA QUIMICA

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

**“DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA EL CONTROL DE  
LOS FACTORES EN ANÁLISIS QUÍMICO EN LAS  
MUESTRAS DE MINERALES DE ORO CON  
CONTENIDO DE ARSÉNICO”**

AUTOR: POLICARPO AGATON SUERO IQUIAPAZA

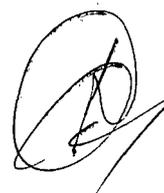
Periodo de ejecución: Del 01 de enero del 2013 al 31 de diciembre del 2014

RESOLUCIÓN No 160-2013-R

CALLAO-2014

## I. INDICE

1. INDICE	1
2. RESUMEN Y ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	5
4. MARCO TEÓRICO	8
4.1. MINERALES DE ORO Y ARSENOPIRITA	8
4.2. TRATAMIENTOS PREVIOS DE MINERALES DE ORO CON CONTENIDO DE ARSÉNICO	10
4.2.1. Descomposición piro química de sulfuro	11
4.2.2. Tostación de menas de oro	12
4.2.3. Tostación de menas con pirita y perotita	12
4.2.4. Tostación de menas con arsenopirita	13
4.2.5. Tostación de menas con contenido de estibina	14
4.3. EFECTOS DE OTROS METALES EN EL COMPORTAMIENTO METALÚRGICO DE ORO.	14
4.3.1. Minerales de plata	14
4.3.2. Minerales de arsénico y antimonio	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1. MATERIALES Y EQUIPOS	19
5.2. MUESTRAS	20
5.3. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS	20
5.4. DISEÑO DE EXPERIMENTO	21
5.5. CARACTERIZACIÓN DE MINERAL	22
6. RESULTADOS	26
6.1. PRESENTACIÓN DE DATOS	26
6.2. PROCESAMIENTO DE DATOS	26
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
8. REFERENCIALES	34
9. APÉNDICE	37
10. ANEXOS	40



## **TABLAS**

Tabla 6.1. Calcinación 20 minutos	27
Tabla 6.2. Calcinación 40 minutos	27
Tabla 6.3. Resultados a T=300°C	28
Tabla 6.4. Resultados a T=500°C	39
Tabla 6.5. Consolidado de resultados	30
Tabla 6.6. Tabla de respuestas para diseño factorial	30

## **FIGURAS**

Figura N° 4.1. Arsenopirita y cuarzo	8
Figura N° 4.2. Micrografía de minerales	9
Figura N° 4.3 Diagrama de Porbaix	16
Figura N° 4.3. Efectos de arsénico en extracción de oro	17
Figura N° 5.1. Esquema de presentación para diseño experimental	21
Figura N° 5.2 Esquema de diseño experimental para calcinación.	22

## **CUADROS**

Cuadro 4.1. Solubilidad de cobre en presencia de arsénico	16
Cuadro 5.1. Análisis físico de minerales	22
Cuadro 5.1. Cuadro de análisis de malla	25
Cuadro 5.1. Contenido de oro en fracciones malla +400 a -400	25



## II. RESUMEN

Para el presente trabajo de investigación, se ha usado resultados de análisis de concentrado bulk de la Minera Lira de Oro, del distrito de Compín, provincia de Otuzco, Región la Libertad, el tratamiento y análisis de mineral realizado por Banco Minero en Planta Huancay, debido a divergencias en resultados de análisis por vía seca de oro en los concentrados, se han realizado calcinación de muestras previa a la fusión y copelación, las pruebas se realizan durante 20 y 40 minutos, cada una a temperaturas de 300°C y 500°C, los análisis de rutina se realizan siempre en cada tratamiento de lote, se han trabajado con 10 lotes, con la muestra promedio de los 10 lotes se ha obtenido una muestra representativa llamado “compósito” con esto se realizan 10 réplicas. Consolidando los datos se realizó el diseño de análisis estadístico multivariada de comparación t student, se muestra la divergencia de resultados de análisis de oro en muestras calcinadas y sin calcinar, usando el diseño factorial de 2<sup>2</sup>, se muestra que el tiempo de calcinación de 40 minutos es relevante, sin embargo debe realizarse el análisis de arsénico y antimonio después de la calcinación, para que las conclusiones tengan mayor consistencia.

**Palabras clave:** Mineral de oro, arsénico, concentrado bulk, calcinación, vía seca.



## ABSTRACT

For this research, we have used the results of analyzes of concentrated bulk of Lira Gold Mining, Compín district, province of Otuzco, North La Libertad, mineral processing and analysis by Banco Minero in Plant Huancay, owing to differences in test results on a dry gold concentrates, there have been roasting prior to fusion and cupellation samples, tests are performed for 20 to 40 minutes each at 300 ° C and 500 ° C, routine tests are always performed in each treatment batch have worked with 10 lots with an average sample of 10 lots was obtained a representative sample called "composite" with this 10 replicates were performed. Consolidating data design statistical analysis multivariate comparison t student is done, the divergent results of analysis of gold calcined samples are shown and uncalcined using factorial design 2<sup>2</sup>, shown that the calcination time 40 minutes it is relevant, however the analysis of arsenic and antimony should be performed after calcination, so the findings are more consistent.

Keywords: Mineral gold, arsenic, concentrated bulk, calcination, dry processes.



### III. INTRODUCCION

La metalurgia es la ciencia que estudia la forma de extraer los metales de minerales con contenido metálico, y los prepara para una posterior obtención de productos terminados, para dar usos específicos en la industria. En el caso del oro, éste se encuentra en la naturaleza en los minerales, formados por especies mineralógicas complejas, mezcladas con grandes cantidades de materiales de deshecho o ganga y otras sustancias como arsénico, antimonio, fierro, etc.

El contenido de arsénico en algunas muestras de minerales de oro, afecta en la obtención de resultados adecuados en los análisis de vía seca o húmeda, lo cual conducen a resultados erróneas y esto a su vez repercute en las posteriores operaciones de tratamiento de estos minerales con contenido de oro.

Es así como adquiere una real importancia el departamento de control de calidad, a través de sus distintas áreas (laboratorio químico, laboratorio físico, preparación de muestras, control de peso). Junto a este control se destaca también el control a los productos, llamado control de certificación y peritaje.

El análisis químico de oro en minerales auríferos, se lleva a cabo a través de dos técnicas combinadas de acuerdo a la naturaleza de la muestra:

- Muestras procedentes de oro aluvial, el análisis se realiza por vía seca por fusión y copelación, por tener alta ley
- Muestras de peritas auríferas que generalmente tienen arsénico llamados arsenopiríticas auríferas, si es de baja ley se realiza por absorción atómica, se disuelve en medio ácido y se extrae con solvente orgánico.
- Muestras de sulfuros metálicos se realizan técnicas combinadas de: vía seca y/o vía húmeda seguida de absorción atómica, en muchos casos el oro se encuentra asociado a plomo y plata.

Las operaciones consisten para llevar a cabo el análisis químico cualquiera sea el método son:



- Muestreo
- Preparación de la muestra.
- Análisis por el método elegido y
- Evaluación del resultado.

Los resultados del análisis presentan una alta variabilidad, por lo que se sospecha que el método de análisis influye sobre éste, lo que redundaría en valores poco confiables.

Se hizo un estudio, enmarcado dentro de estos procesos de control, que corresponde al análisis químico de oro contenido en muestras con contenido de arsénico, para observar la variabilidad de los resultados. Los factores que potencialmente influyen sobre el resultado son:

- Granulometría o tamaño de partícula de la muestra.
- Temperatura de reacción.
- Tiempo de reacción.

Con el objeto de estudiar la influencia de estos factores sobre el resultado del análisis, se calcina la muestra tomando en cuenta los factores señalados y luego se evalúan los resultados obtenidos y se compara con otros métodos.

La hipótesis de la investigación es plantear un diseño experimental, para controlar los factores que controlan análisis de mineral de oro con contenido de arsénico, bajo la premisa de que existen muchas diferencias en los resultados de ensayos de oro en muestras donde hay presencia de arsénico.

El objetivo principal de la investigación es realizar un diseño experimental, para controlar los factores de variación más relevantes en la determinación de oro en las muestras de minerales con contenido de arsénico, para coadyuvar este objetivo es necesario, complementar con los siguientes objetivos específicos:

- a. Identificar los factores más relevantes para controlar el contenido de arsénico de muestras.
- b. Proponer un método de eliminación de arsénico, previo al análisis químico del contenido de oro.
- c. Evaluar y comparar los resultados del método elegido.



La importancia de esta investigación radica en el aporte académico de los estudiantes de metalurgia y personas vinculados al análisis de minerales en diferentes empresas, asimismo, se debe advertir que los trabajos experimentales hoy en día se puede enfocar de la mejor manera, ya que se disponen de instrumentos tecnológicos más avanzados y mejor implementados, pero en esencia el fundamento teórico de los procesos químicos no han cambiado mucho, el avance en los últimos es uso de tecnología altamente mecanizada y automatizada, asimismo los equipos de control de factores, son electrónicos con control digital lo que hace que los resultados tengan mayor precisión y se realizan en menor tiempo, sin embargo siempre existen problemas, debido a que la naturaleza de cada muestra varía por complejidad y lugar de procedencia.

La justificación de la investigación es que con la ejecución del presente Proyecto de Investigación, se debe desarrollar la posibilidad de implementar el uso adecuado de las técnicas de análisis apropiado, cuidando la contaminación del área de trabajo, en el laboratorio, la investigación tiene interés académico y aplicación en el campo de la metalurgia extractiva, debido a que en el Perú se ha ampliado el desarrollo de la minería extractiva, en los últimos 20 años.

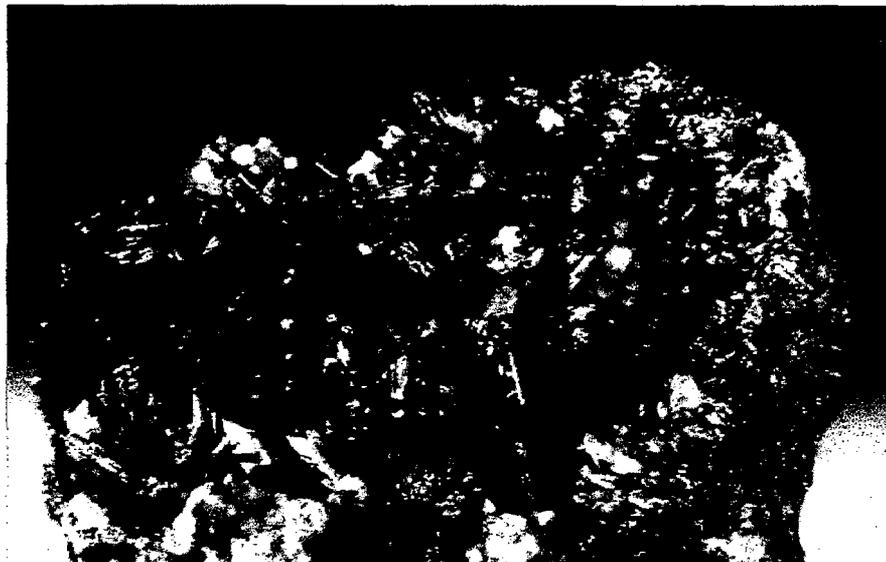


## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. MINERALES DE ORO Y ARSENOPIRITAS

La arsenopirita,  $\text{FeAsS}$ , es uno de los minerales sulfurosos más comunes que contiene arsénico. Con frecuencia este mineral se encuentra asociado con oro, las formas en que se encuentra asociado a la arsenopirita son diversas, las más comunes son, en fracturas que presenta el mineral, en vetas entre la arsenopirita y otro mineral, encapsulado en la matriz de  $\text{FeAsS}$  y formando una solución sólida con ésta. Datos experimentales obtenidos por Clark, mostraron que el oro se difunde fácilmente en la arsenopirita a temperaturas entre  $600^\circ\text{C}$  y  $700^\circ\text{C}$ . Esta observación proporciona una posible explicación de los diferentes modos de asociación entre oro y arsenopirita. De acuerdo con esto el oro el oro pudiera ser capturado en solución sólida a las altas temperaturas asociadas con la formación primaria de la arsenopirita. En el enfriamiento posterior de la masa del mineral la presencia de oro distorsionaría la red cristalina de la arsenopirita aumentando así la energía libre de los cristales.

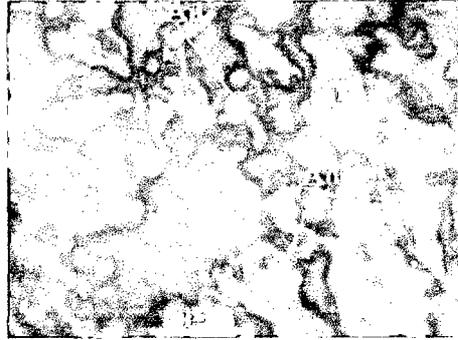
Figura N° 4.1. Arsenopirita y cuarzo



Fuente: Atlas petromineralogico of minerals and rocks of the Peru - Part I



Figura N° 4.2 (a) Micrografía de minerales metálicos



Fuente: Quiñones J. Lourdes at.al

Figura N° 4.2 (b)



Fuente: Quiñones J. Lourdes at.al

En la Figura 4.2 (a) Se observan partículas de oro (Au) intersticial entre los granos de cuarzo (qz), por su magnitud las partículas de oro, se convierten en refractarios porque a malla - 400 será imposible de liberarlos; sus tamaños son menores de 8 micras. La figura N° 4.2.(b) muestra la presencia de partículas de oro (Au) intersticial entre los granos de cuarzo, por su magnitud las partículas de oro, se clasifican en oro grueso y oro fino, lo cual es un problema metalúrgico, en primer término para seleccionar el método de recuperación y luego su grado de liberación; sus tamaños son mayores de 80 micras y partículas menores de 15 micras, 200X - Nícoles Paralelos, corresponde a la localidad de Quiruvilca - La Libertad. .

Posteriormente la migración del oro hacia los límites de grano y la cristalización minimizarían la energía libre del sistema. Esto también parece explicar la presencia frecuente de oro “invisible” en arsenopirita relativamente no fracturada.

La recuperación del oro presente en este tipo de mineralizaciones se dificulta por los métodos convencionales de extracción ya que al estar atrapado en la matriz de la

arsenopirita, no podrá ser liberado por molienda fina, quedándose en los jales sulfurosos, considerándoseles por esta razón minerales complejos o refractarios.

El procesamiento de estos minerales requiere de un pretratamiento para destruir la matriz sulfurosa y liberar al oro atrapado en ella. Este pretratamiento consiste en romper la estructura del cristal y liberar el oro al remover al azufre y al arsénico por medio de una oxidación.

En la actualidad se buscan alternativas al proceso de tostación por los problemas de contaminación ambiental que lo acompañan, causados éstos por la emisión de gases tóxicos de arsénico,  $As_2O_3$ , y dióxido de azufre,  $SO_2$ .

Actualmente los procesos hidrometalúrgicos se presentan como una buena alternativa en la oxidación de minerales refractarios, específicamente la oxidación acuosa, es una buena alternativa a tratamientos de tostación en el procesado de concentrados de arsenopirita.

#### 4.2. TRATAMIENTOS PREVIOS DE MINERALES DE ORO CON CONTENIDO DE ARSÉNICO

El oro se encuentra frecuentemente entrelazado o cubierto de pirita o de minerales sulfurosos, y la práctica usual, para extraer el oro de este tipo de mena refractaria, consiste en moler la mena, tanto como sea necesario o tostarla a temperaturas que sobrepasan los  $500\text{ }^{\circ}C$ , con la finalidad de oxidar a los sulfuros. Infortunadamente las operaciones de tostación, usualmente convierten en insoluble a una porción del oro. La oxidación acuosa bajo presión ofrece un método alternativo al de tostación para descomponer los sulfuros y deja un residuo a partir del cual el oro puede removerse más fácilmente mediante un tratamiento posterior con solución de cianuro.

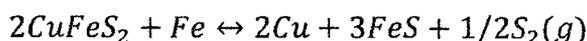
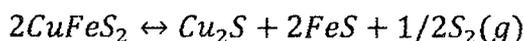
A temperaturas y presiones elevadas, algunos minerales sulfurosos se disuelven en el agua ante la presencia de oxígeno, y otros requieren de medios acuosos ácidos o básicos. Sin embargo, para todos ellos, es esencial la presencia de un reactivo catalizador oxidante si se desea tener una operación exitosa. La oxidación acuosa de minerales sulfurados se puede auxiliar con la presencia de hidróxido de amonio, acetato de amonio o permanganato de potasio. Se debe resaltar que la digestión ácida a presión es el proceso de oxidación acuosa con ciertas ventajas económicas.

#### 4.2.1. Descomposición piro química de sulfuros

En un análisis mineralógico de un concentrado, se observa que los sulfuros se constituyen principalmente por calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y digenita ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ). Por lo tanto, centramos el interés en el comportamiento de estas especies minerales.

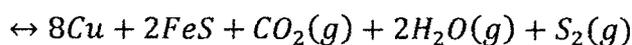
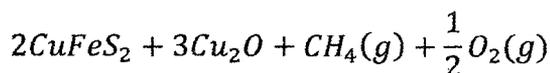
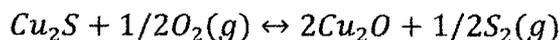
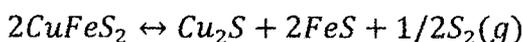
Es relevante señalar que, tanto la pirita como la covelina y la digenita se descomponen térmicamente con gran facilidad (sobre  $500\text{ }^\circ\text{C}$ ) en pirrotita ( $\text{FeS}$ ) y calcosina, respectivamente (7,8). El azufre gaseoso ( $\text{S}_2(\text{g})$ ), se puede recuperar del ambiente inerte por condensación, en estado sólido.

- a. Descomposición térmica de calcopirita y posterior adición de hierro.

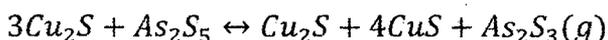
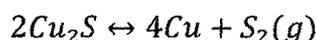
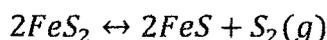
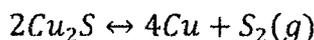


El cobre y calcosina pueden ser separados de la pirrotita por diferencia de densidad.

- b. Descomposición térmica de calcopirita y reacción posterior de la calcosina en ambiente controlado.



- c. Sólo descomposiciones térmicas y separación de escorias por densidad.



Los compuestos arseniatos se encuentran en cantidades despreciables; sin embargo, su efecto en la contaminación ambiental no lo es. Su toxicidad depende del componente activo ( $As^{3+} \gg As^{5+} \gg$  órgano arsénico), es bioacumulable en el ser humano, produciendo, entre otros, cáncer a la piel.

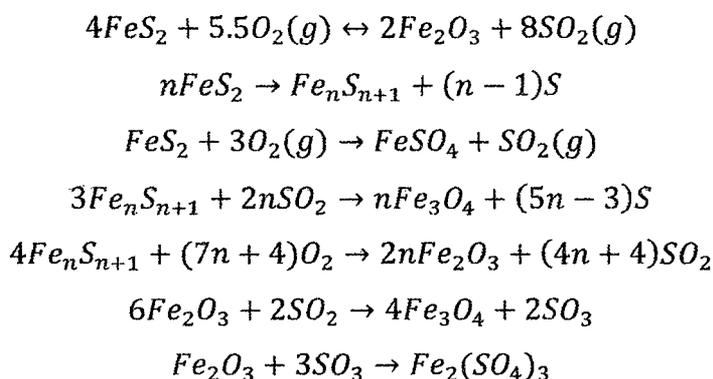
Los compuestos relevantes corresponden a enargita, «cobre gris» y arsenopiritas. En fundición, el 50% de ellos se va en gases, y el resto en escorias. Los productos comercializables son trióxido de arsénico y arsénico elemental.

#### 4.2.2. Tostación de menas de oro

La tostación es un proceso industrial para la conversión de sulfuros en sulfatos solubles, en solución ácida acuosa, permitiendo así la cianuración normal, después del lavado previo de residuos. No obstante la tostación en pequeña y mediana escala genera dióxido de azufre ( $SO_2$ ), no recuperable, el cual contamina el ambiente, existen normas de protección ambiental que restringen la realización. La tostación se efectúa cuando el oro está asociado íntimamente con minerales piríticos que dificultan la extracción de oro al nivel deseado; se hace esencial una tostación de la mena antes de la cianuración, para liberar el oro. Por ello muchos investigadores han escrito extensos artículos donde se describe, en forma comprensiva, la práctica de oxidación y reducción de los compuestos minerales.

#### 4.2.3. Tostación de menas conteniendo pirita y pirrotita

Según estudios realizados por Norwood, 1939(11), en la conversión de sulfuros (Pirita) de hierro a óxidos tienen a lugar las siguientes reacciones químicas:



La influencia de la temperatura y las presiones parciales de las diversas zonas del horno y de los gases son determinantes para alcanzar los mejores resultados. Es frecuente el uso de materiales piríticos como una fuente de calor y como un agente reductor.

Los resultados de las pruebas de tostación efectuados por Norwood, llevadas a cabo a diferentes temperaturas, concluyen que los residuos con alto contenido de oro serán cianurados.

También estableció que temperaturas iniciales de 450 a 550 °C favorecen la oxidación directa del  $\text{FeS}_2$  a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; mientras que temperaturas iniciales sobre 650 °C favorecen la eliminación completa de cualquier sulfato ferroso formado. Sin embargo, la determinación de las condiciones de temperaturas óptimas se complica por el hecho de que las menas, generalmente, contienen cierto número de minerales distintos a los sulfuros de hierro y que pueden catalizar reacciones o, de otro modo, afectar el comportamiento del producto.

Estudios llevados a cabo por Gill y por Schwab y Philinis, los indujeron a concluir que la velocidad de oxidación de la pirita está determinada no por el proceso químico, sino por la difusión de la fase gaseosa, y que la formación de sulfatos tiende a cerrar los poros del óxido de hierro producido, deteniendo, por lo tanto, la completitud de la reacción.

De aquí que la ausencia de porosidad de una calcina se atribuye a la oxidación incompleta por la formación del Ion sulfato (14).

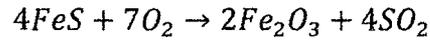
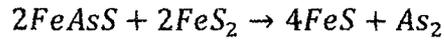
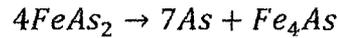
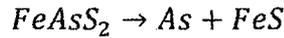
#### **4.2.4. Tostación de menas con Arsenopirita**

La tostación de un concentrado con predominancia de arsenopirita puede llevarse a cabo bajo condiciones controladas [4, 7, 8] mediante dos formas:

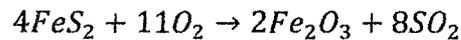
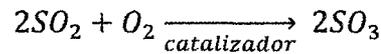
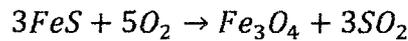
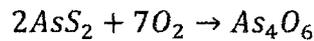
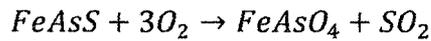
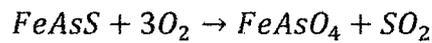
**a. Oxidación parcial por tostación.** Donde la mena se tuesta en un flujo de aire restringido y a una temperatura aproximada de 450 °C (dependiendo de las características particulares de la mena, la oxidación será sólo parcial). A estas condiciones de tostación, el arsénico se oxida para formar el óxido arsenioso altamente



volátil y se evita la formación del pentóxido de arsénico no volátil. El hierro de la mena también se oxida mayormente a magnética en lugar de hematita.



- b. Oxidación completa por tostación.** La mena se tuesta con abundante flujo de aire y a una temperatura superior de 650 °C, donde la mayor parte del arsénico puede removerse como un óxido arsenioso volátil, pero también puede formarse algo de arseniato férrico. Este puede actuar de modo similar que el sulfato ferroso.



#### 4.2.5. Tostación de menas conteniendo estibina

De los compuestos de antimonio, el más perjudicial a la cianuración es la estibina, por disolverse en ésta y la consiguiente formación de tioantimonitos y luego antimonitas. Claro comportamiento cianicida. Por ello se recomienda tostar la mena conteniendo la estibina en una atmósfera oxidante para provocar la volatilización en la forma de óxido y favorecer la formación del «vidrio de antimonio»,  $Ag_2O \cdot Sb_2O_3$  [17].

### 4.3. EFECTOS DE OTROS METALES EN EL COMPORTAMIENTO METALÚRGICO DE ORO.

#### 4.3.1. Minerales de Plata

La plata frecuentemente se produce con oro en cantidades económicamente significativas, por lo tanto, su comportamiento en las soluciones cianuradas es más



importante. La plata metálica se comporta de forma similar al oro en soluciones cianuradas acuosas y se disuelve anódicamente de la siguiente manera:



El diagrama Eh-pH para el sistema Ag-CN-H<sub>2</sub>O (Figura 6.15) indica la región de predominancia del complejo cianurado Ag (I) y muestra que el cianuro de plata insoluble, AgCN, se forma a bajo pH (<3.5). El área de predominancia de AgCN(s) se incrementa significativamente cuando el CN<sup>-</sup> se reduce, por ejemplo, de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> M, con consecuencias significativas para los sistemas de lixiviación. Sin embargo, las óptimas concentraciones de cianuro para la extracción de oro están muy por encima de aquellas concentraciones donde se pueden formar especies insolubles.

A concentraciones de cianuro muy altas, pueden formarse complejos de mayor orden (como  $Ag(CN)_3^{-2}$  y  $Ag(CN)_4^{-3}$ ); pero son de mínima importancia práctica. Se ha demostrado que la disolución de plata procede mediante un mecanismo de cuatro electrones con una reducción directa del oxígeno a iones de hidroxilo, comparado con el camino de dos electrones para el oro. Se piensa que la reducción del oxígeno en la superficie de plata incluye una difusión mixta además del proceso de transferencia de carga, incluyendo la adsorción de oxígeno en la superficie. El coeficiente de transferencia para la reducción de oxígeno en la plata es 0.25, comparado con 0.5 en oro. Bajo condiciones típicamente aplicadas para una óptima disolución de oro, la velocidad de disolución de la plata es considerablemente más baja que el oro, como se indica mediante las curvas corriente-potenciales. Por ejemplo, a una concentración de cianuro de 0.0025 M de NaCN y usando aire para proveer oxígeno, la densidad de corriente de disolución para la plata es aproximadamente la mitad que para la del oro. Sin embargo, la diferencia en la velocidad de disolución se reduce, mientras que la concentración de cianuro se incrementa; la muestra que las corrientes para el oro y la plata se aproximan estrechamente en concentraciones en exceso de 0.1 M de NaCN (es decir, 5 g/L).

Por consiguiente, las operaciones que tratan minerales que contienen una cantidad significativa de plata pueden utilizar concentraciones elevadas de cianuro para mejorar la extracción de plata



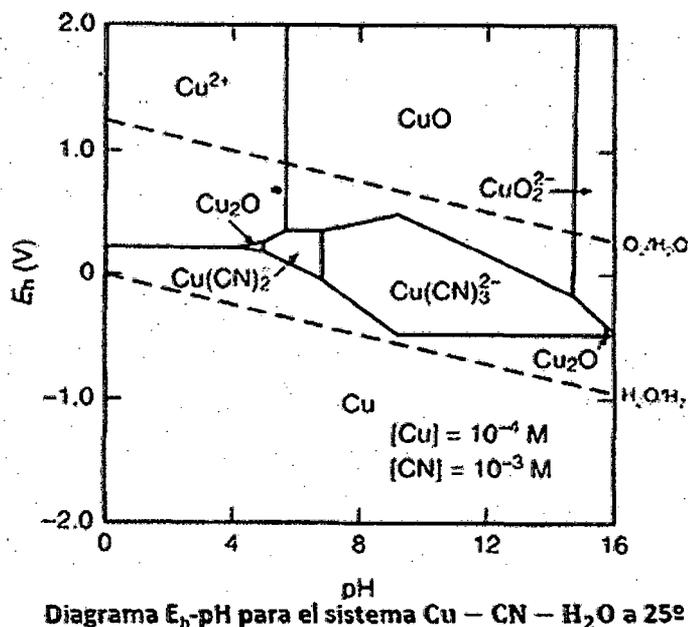
y para superar cualquier efecto retardante en la disolución del oro, causada por la competencia por cianuro. Un ejemplo de esto puede encontrarse en Coeur-Rochester (Nevada, Estados Unidos), donde ha sido utilizado de 0.06% a 0.08% de NaCN (es decir, 6 a 8 g/L) para tratar un mineral que contiene 0.3 g/t de oro y 45 g/t de plata. La recuperación de los dos metales es 80% y 50%, respectivamente.

**Cuadro No 4.1. Solubilidad de cobre en soluciones de 0.1% de NaCN**

Mineral		Porcentaje Total del Cobre disuelto	
		23°C	45°C
Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	94.5	100.0
Malaquita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	90.2	100.0
Calcosina	$\text{Cu}_2\text{S}$	90.2	100.0
Cobre metálico	$\text{Cu}$	90.0	100.0
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	85.5	100.0
Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	70.0	100.0
Energita	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$	65.8	75.1
Tetrahedrita	$4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	21.9	43.7
Crisocola	$\text{CuSiO}_3$	11.8	15.7
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	5.6	8.2

Fuente: Mineral Dressing Notes 23. New York: American Cyanamid Company. 1958

Figura N° 4.3. Diagrama de Pourbaix



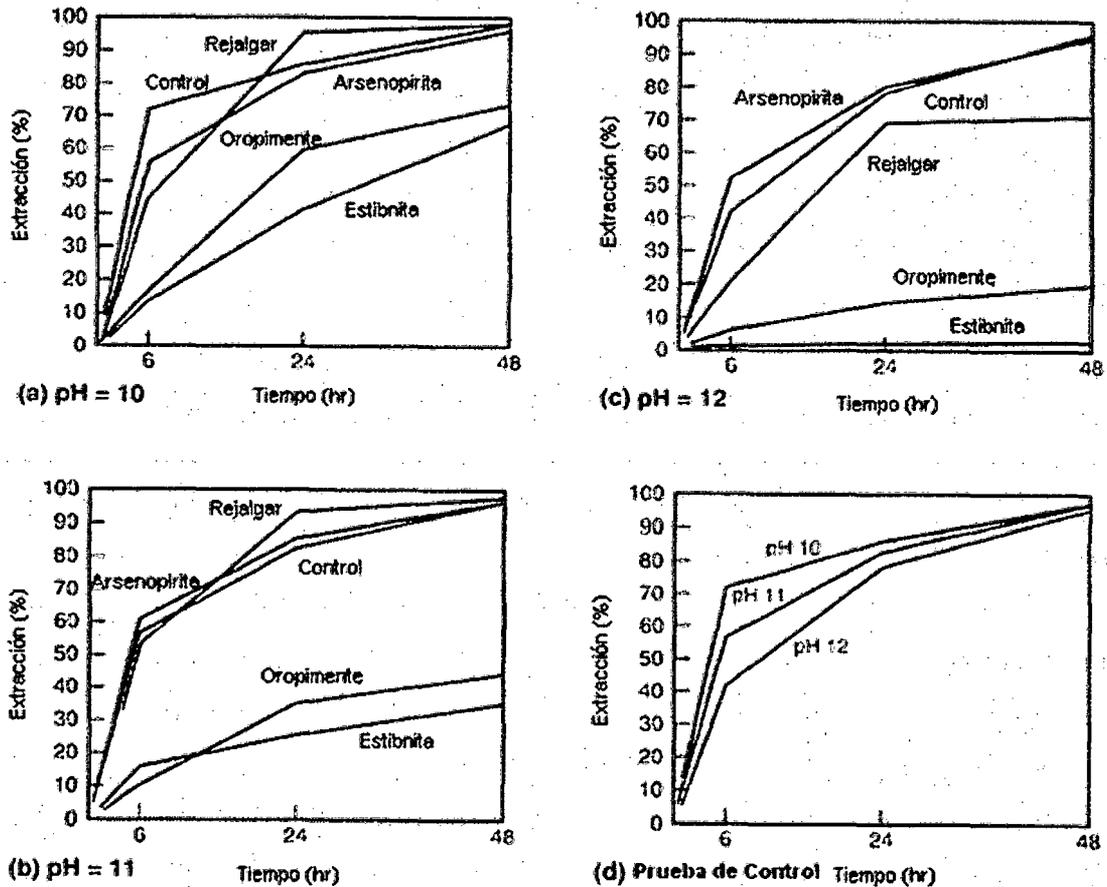
Fuente: Hamilton, E.M. 1920. Manual of Cyanidation. New York: McGraw-Hill



#### 4.3.2. Minerales de Arsénico y Antimonio

El arsénico y el antimonio no forman complejos estables con cianuro; por consiguiente, la presencia de cianuro en solución no afecta considerablemente las especies metálicas formadas. Bajo las condiciones aplicadas para la lixiviación del oro, los sulfuros de arsénico y antimonio se descomponen en arsenita y arsenato, y estibinita y estibinato, respectivamente, con la proporción de cada uno dependiendo de la composición de la solución y el pH mostrado para estados de oxidación más bajos en las siguientes ecuaciones:

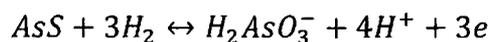
Figura N° 4.4. Efectos de arsénico y antimonio en extracción de oro



El efecto de los materiales de arsénico y antimonio en la extracción del oro mediante la cianuración a (a) pH 10, (b) pH 11, (c) pH 12 y (d) pruebas de control mostrando efectos de alcalinidad de la cal en la extracción de oro a falta de minerales arsénico y antimonio

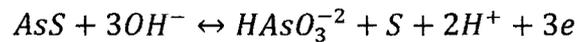
Fuente: Hamilton, E.M. 1920. Manual of Cyanidation. New York: McGraw-Hill

Por debajo de pH 11.5 aproximadamente:

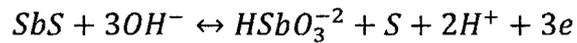


Y por encima de este valor:





La reacción para la estibinita (SbS) es similar, como sigue:



La disolución de dichos minerales tiene un efecto perjudicial en la extracción de oro (y plata), y en algunos casos, este efecto es severo. Se considera que este efecto se debe a la formación de una capa pasivante de arsénico o una capa de óxido de antimonio en la superficie del oro. La descomposición de dichos minerales está totalmente relacionada al pH con la solubilidad aumentando con el incremento del pH. Por ejemplo, a un pH 12, el oropimente, estibinita y rejalgar se disuelven considerablemente; mientras que a un pH 10, solo el oropimente se disuelve a una escala significativa.

Por consiguiente, el efecto perjudicial de estos minerales está considerablemente relacionado al pH; el control de pH es fundamental cuando se lixivian dichos minerales. Bajo condiciones de pH normalmente aplicadas para la lixiviación del oro, el efecto perjudicial de algunos de los minerales de arsénico y antimonio más comunes en la extracción de oro generalmente disminuye en el siguiente orden:

Estibinita >>> oropimente > arsenopirita > rejalgar

El efecto perjudicial de la estibinita (y probablemente también otros minerales sulfuros de antimonio y arsénico) pueden aliviarse en gran medida realizando la lixiviación a un pH bajo (es decir, pH 10) y mediante la adición de adecuadas sales de plomo (nitrato de plomo) en cantidades suficientes. En algunos casos, pueden requerirse adiciones de nitrato de plomo de 250 a 500 g/t.

Un proceso para la disolución y eliminación del antimonio desde el material aurífero refractario, antes de la lixiviación con cianuro ha sido propuesto para reducir el impacto negativo de la estibinita en la cianuración. Este proceso consideraba la lixiviación junto con una solución que contiene sulfuro de sodio e hidróxido de sodio, seguida por la electrodeposición directa del antimonio. El residuo sería lixiviado con cianuro para la extracción de oro, teniendo en cuenta los efectos descritos. Dicho enfoque solo sería posible para materiales que contienen concentraciones de antimonio muy grandes.



## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Para realizar los ensayos por vía seca, análisis granulométrico, preparación de muestras, se realizan en la misma planta concentradora, y otros análisis como: cobre, plomo, zinc, hierro, excepto el arsénico y antimonio que se realizaba en laboratorio central de Callao, que se reporta a planta.

#### a.-Equipos para análisis por vía seca de oro y plata

- Horno construido con materiales refractarios, para el oro se usa refractario grafito o carboflax con accesorios tanque de combustible y quemador.
- Compresor de aire
- Balanza analítica y balanza de capacidad de 5 kilogramos.
- Horno eléctrico para copelación de plata con contenido de oro
- Planchas de acero inoxidable para ataque, y sistema calefactor con campana de tiro.
- Accesorios para manipulación de crisoles.

#### b.- Materiales para análisis de oro y plata

- Litargirio (óxido de plomo)
- Fundentes: carbonato de sodio, nitrato de potasio, peróxido de sodio
- Escorificadores: materiales residuales de vidrio
- Crisoles para muestras de 30 gramos.
- Copelas para plata
- Accesorios para manipular reactivos.

#### c.- Materiales para disolución

- Ácido nítrico para disolver plata con contenido de oro.
- Amoniaco para neutralizar
- Vasos de precipitado

#### d.- Equipos para preparación de muestras:

- Molino de bolas, reductor de tamaño de tambor, pulverizador de disco o anillo.
- Ro-tap



- Tamices de diferentes números de malla.
- Morteros de acero inoxidable, para pequeñas muestras.

e.- Análisis de la ley de cabeza, se usa generalmente absorción atómica por servicios o laboratorio central, cuya precisión es confiables para leyes bajas.

f.- Para la calcinación de las muestras previo a fusión se usan crisoles especiales.

## 5.2. MUESTRAS.

Para el presente trabajo de investigación se ha utilizado muestras recepcionados en el laboratorio químico del ex Banco Minero del Perú, Planta Huancay, provincia de Otuzco, actual Región la Libertad, hasta 1991, la labor de esta institución era promocionar la pequeña y mediana minería con apoyo técnico y financiera en esta zona, en esta Planta realizaban su tratamiento de minerales de los pequeños y medianos mineros así como: Minera Lira de Oro, Minera Virú, Minera Malin, Minera Rocicler Batan Grande.

Para el presente trabajo sólo se ha trabajado con resultados obtenidos de la Minera Lira de Oro de la Provincia de Otuzco, propietario Luis Carhuayo Caballero, cuyas muestra de mineral de oro se caracterizan por su contenido de arsénico y antimonio en forma de arsenopirita y otros asociados a sulfuros polimetálicos, esto es común casi en la mayoría de las otra mineras mencionadas.

El laboratorio de la planta recepciona muestra sólida, luego registra y codifica con una referencia, se verifica el peso total que puede ser por ejemplo de 20 Kg., o recoge muestra de minerales en cancha para su procesamiento, donde la muestra que llega seca, es primeramente llevada a un tamaño uniforme mediante un reductor de tamaño para ser muestreada adecuadamente como el cuarteo en fracciones de 2 Kg. Adicionalmente se recibe de la misma mineralización una muestra en roca de un peso determinado para la realización de un estudio mineralógico.

## 5.3. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS

Las técnicas de análisis de minerales de oro y plata por vía seca, se basan en la teoría de la fisico química y análisis cualitativo y cuantitativo, existen procedimientos de análisis o manuales como el de Bugbee E.E., 1940; Hoffman E. y Clark J., 1999. (ver anexo)

Cada laboratorio tienen establecidos los protocolos de procedimientos de acuerdo al tipo de equipos que poseen, en la actualidad los controles son automáticos, cada laboratorio tienen certificación internacional.

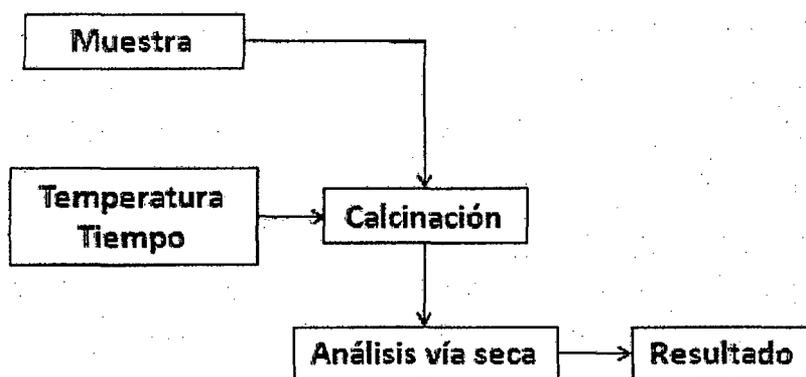
#### 5.4. DISEÑO DE EXPERIMENTO

La estructura del diseño está constituida por los factores tiempo temperatura de calcinación de la muestra y los niveles que se les asignan, en los tratamientos experimentales, son variables que se controlan a criterio, basado en resultados preliminares anteriores.

El variable objetivo, que se pretende viabilizar es obtener un resultado compatible con óptimo en el análisis de oro en minerales con contenido de arsénico, y que depende potencialmente de los factores. La respuesta es lo que se mide como resultado de la experimentación, no es controlada por el experimentador. Es una variable medida en escala numérica.

El efecto principal es la variación de análisis de oro con muestra previamente calcinada antes de ensayo normal, en la respuesta atribuida al cambio en un factor determinado, a través de sus distintos niveles. El efecto producido por la acción de un factor, influido por la presencia de otro. Es un efecto combinado de dos o más factores. Si no existe un efecto de interacción, se dice que los efectos de los factores son aditivos.

**Figura N° 5.1. Esquema de presentación para diseño experimental con previa calcinación**

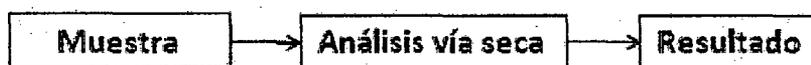


Para el tratamiento de datos es posible usar el diseño experimental, diseño factorial de dos factores y dos niveles, por la naturaleza de la investigación esto sólo serviría para efectuar un diagnóstico, estos diseños son extremadamente simples, para la validación de los resultados se debe usar, T student, que sirve para la prueba de hipótesis, bajo la premisa que la presencia de arsénico en minerales de oro interfiere en los análisis por vía seca.

Hipótesis nula :  $\bar{x}_1 - \bar{X}_2 = 0$  no interfiere

Hipótesis alterna :  $\bar{x}_1 \neq \bar{X}_2$  si, interfiere en los análisis de oro el arsénico.

**Figura N° 5.2. . Esquema de presentación para diseño experimental sin previa calcinación**



Para el tratamiento de datos para el diseño experimental, la figura N° 5.1, incluye factores de comparación de temperatura y tiempo de calcinación previa de la muestra, para comparar con los resultados de mostrados en la figura N° 5.2, que indica un tratamiento normal en los ensayos de vía seca de oro y plata.

### 5.5. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL.

En muestras representativas del mineral, se realizan los siguientes análisis y ensayos: análisis físicos, análisis químicos globales, análisis mineralógico (muestra en roca), análisis granulométrico, estandarización de curva de molienda, concentración gravimétrica en mesa, determinación de oro amalgamable, cianuración agitada con y sin deslamado, percolación en columna con deslamado previo, pruebas de sedimentación con y sin floculante, otros de acuerdo a las necesidades y la exactitud que requiere el caso, o se prepara adecuadamente para el ensayo al fuego.

**Cuadro No 5.1 Promedio de análisis de 10 lotes (mineral en cancha)**

Au (g/TM)	Ag(g/TM)	%Fe	%Cu	%Pb	%As	%Sb
3.156	2.241	9.251	1.838	2.557	0.202	1.13

**Fuente:** Muestras de Minera Lira de Oro. Laboratorio Banco Minero 1984-1989.Planta Huancay. La Libertad



## Análisis Mineralógico

**Cuadro N° 5.2 Análisis físico del mineral**

Mineral	Color	Morfología	Tamaño de Grano(mm)
Cuarzo	Blanco, transparente, rosado, gris	Cristales y agregados Granulosos y masivos	2 - 8
Pirita	Amarillo	Granos finos diseminados	1
Galena	Plomo oscuro, platoso, gris	Cristales rectangulares Y agregados	1-3
Calcopirita	Amarillo dorado	Granos y láminas	0.2
Covelita	Celeste-azulado	Granos finos	1
Limonita	Café negruzco	Agregados fibrosos y masivos estalactitas	1-5
Goetita	Plateada, negruzco	Agregados fibrosos y masivos estalactitas	1-5
Micas	Blanco transparente	Láminas pequeñas	1
Calcopirita	Amarillo verdoso cristales rectangulares	Agregados, fibrosos ramificados	1-5
Oxidos de cobre	Azules, marrones	Agregados y granos finos	2
Arcillas	Amarrillo claro	Material muy fino	>0.05
Oro libre	Amarillo intenso	Granos finos	0.05

**Fuente:** Laboratorio petrográfico de Banco Minero 1986

Los resultados, a través de muchos análisis por presencia de muestras con arsénico se ha presentado resultados incoherentes, por lo que se procede enviar muestras a otros laboratorios para contrastar los resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que el mineral contiene elementos adicionales al oro y plata, como: hierro y plomo, cobre en mayor cantidad, el resto de elementos analizados se encuentran en cantidades menores. El contenido de oro y plata es relativamente elevado.

El análisis mineralógico se realiza por observación macroscópica directa de una muestra en roca, para lo cual se requiere experiencia en la identificación de alguna especies



mineralógicas que puedan presentarse, para un examen más minucioso se utiliza un microscopio de alta resolución para identificar los cristales que presentan algunos minerales y formaciones mineralógicas de las rocas, que es determinante para decidir el tipo de técnica que debe aplicarse a la muestra, el microscopio debe contar mínimo con un objetivo 1X (10 aumentos).

Por ejemplo para una muestra, los resultados obtenidos son los siguientes:

Peso de muestra en roca analizado 250 g.

Tamaño de rocas: de 3 a 0.3 cm

De la tabla anterior se observa lo siguiente: La fase mineralógica presente en mayor cantidad es el cuarzo, los sulfuros constituyen una fase menor, entre estos se encuentran la pirita, la esfalerita, la calcopirita, la covelita. El mineral posee una cantidad importante de óxidos de hierro (hematita, limonita, goethita) a los cuales se encuentra asociado el metal precioso. Se observaron dos granos de oro en la muestra analizada (0,1 y 0,5 mm.).

Cabe señalar además que la muestra posee alto contenido de material extremadamente fino (arcillas), que en el caso de la muestra analizada, cubre toda la superficie de las rocas, lo que en posteriores tratamientos hidrometalúrgicos perjudica formando suspensiones o lamas, y para los análisis de minerales por vía seca requiere uso de escorificadores.

#### **Densidad real y densidad aparente**

Se requiere determinar para calcular una dilución efectiva, cuyo procedimiento muestra en anexos.

Densidad real =  $2.72 \text{ g/cm}^3$

Densidad aparente =  $1.48 \text{ g/cm}^3$

#### **Análisis granulométrico del mineral inicial.**

Se realiza el análisis granulométrico de la muestra inicial y se determina que tiene un **d80 = 790 mm**, como se puede observar en el gráfico No.1.

Los detalles del ensayo se encuentran en los cuadros posteriores, para análisis de malla sólo se requieren juego de tamices, tratándose de muestras pequeñas generalmente esta operación se realiza manualmente para evitar contaminación con otras muestras.



**Cuadro N° 5.3 Análisis de malla de la muestra**

No de malla	Abertura de malla µm	% volumétrico aproximado
-20 +40	-840 +420	2
-40 +50	-420 +297	40
-50 +70	-297 +210	30
-70 +80	-210 +105	10
-80 +100	-105 +177	4
-100 +140	-149 +105	6
-140 +170	-105 +88	3
-170 +230	-88 +63	2
-230 +325	-63 +44	1.5
-325 +400	-44 +37	1
-400	<38	0.5

Fuente: Realizado en Laboratorio Central de BMP 1986

Análisis químico de oro de las fracciones granulométricas inferior y superior a 400 mallas (38 µm) del mineral molido a malla 80 (d80=177µm) y malla 150 (d80=106 µm), ver anexo serie de tamiz y otros detalles. El contenido de oro en las fracciones superior e inferior a la malla No. 400 son los siguientes:

**Cuadro No. 5.4 Contenido de oro en fracciones + 400 mallas y - 400 mallas**

Mineral molido a	Muestra inicial	Fracción de tamaño superior a la malla N° 400 (+38 µm)			Fracción de tamaño inferior a la malla N° 400 (-38 µm)		
		% Peso	Contenido Au ((g/t))	% Recup. oro	% Peso	Contenido Au ((g/t))	% Recup. oro
d80 (µm)	Contenido Au (g/t)						
177	71.7	69.5	60.9	59.5	30.5	94.5	40.5
106	74.6	51.3	58.8	40.4	48.7	91.2	59.6

Fuente: Análisis realizado en Laboratorio Central BMP 1986

De acuerdo a los resultados de la tabla N° 5.3, se puede observar que el mineral contiene un porcentaje elevado de finos (inferior a 38 µm) después de la molienda, esto es 30,5 % en peso para el mineral molido a d80 = 177 µm y 48,7 % en peso para el mineral molido a d80=106 µm, debido que el mineral tiene en su composición cuarzo es necesario liberar el contenido de oro y otros metales, en casos especiales se trabajan con mortero y el tamiz correspondiente hasta llegar al tamaño de partícula deseado.



## VI. RESULTADOS

### 6.1. PRESENTACIÓN DE DATOS

Para medir los resultados se ha trabajado solo con los datos de la Minera Lira de Oro, porque se tiene una información completa y haber hecho mayor cantidad de tratamientos en la Planta Huancay entre 1984 a 1990, (ver Anexos N°4) se encuentran los datos de los análisis de la ley de cabeza (de entrada), por ejemplo para lote 1 el contenido de oro es 2.34 g/TM, plata 19.61 g/TM, arsénico es de 0.16% y antimonio 0.36%; (Cuadro N°4.1 de Anexo 4) en el siguiente cuadro cuando se concentra este mineral por flotación bulk (ver Cuadro N° 4.2 del anexo 4) los resultados del mismo lote 1 presenta los siguientes:

- Oro 17.73 g/TM
- Plata 73.45 g/TM
- Arsénico 0.664%
- Antimonio 2.135

De los cuadros de apéndice N° 2 y N°3 que corresponden a los análisis de concentrados calcinados por cada lote se muestran los resultados de ley de oro y plata y muestran diferencias entre los tiempos:  $t=20$  minutos y  $t=40$  minutos, y las correspondientes temperaturas de  $300^{\circ}\text{C}$  y  $500^{\circ}\text{C}$ , estos resultados son de los mismos lotes de los cuadros arriba mencionados.

### 6.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de los datos, se han usado los cuadros mencionados, que constan de 15 réplicas, con el promedio de muestras de los 10 lotes mencionados en los cuadros anteriores, se ha considerado 10 réplicas, seleccionando los que tienen menos desviación, para preparar una muestra promedio se sigue un procedimiento de muestreo, cada lote representa un peso del producto concentrado resultado de la flotación bulk, con esta muestra representativa llamado "compósito" se realizan las réplicas, no se ha realizado el análisis de arsénico cuyo costo es alto, con métodos de análisis existentes a la fecha de realización de pruebas, actualmente existen métodos instrumentales menos costosos y rápidos. Estos resultados se han consolidado y procesado y cuyos resultados



se muestran sólo el análisis de oro, para la plata los resultados son similares, no se han considerado por falta de algunos datos. De acuerdo al diseño experimental los resultados son los siguientes:

**Tabla N° 6.1 Calcinación durante 20 minutos**

PRUEBA	T1=300°C	T2=500°C	D	D <sup>2</sup>
1	25.256	25.337	-0.081	0.006561
2	24.983	25.221	-0.238	0.056644
3	25.034	25.423	-0.389	0.151321
4	25.25	25.624	-0.374	0.139876
5	25.153	25.214	-0.061	0.003721
6	25.342	25.542	-0.2	0.04
7	24.986	25.035	-0.049	0.002401
8	25.145	25.232	-0.087	0.007569
9	25.25	25.484	-0.234	0.054756
10	25.238	25.664	-0.426	0.181476
Suma	251.637	253.776	-2.139	0.644325
Promedio	25.164	25.378	-0.214	0.064

d <sup>2</sup> =	0.060
gl =	9.000
SD =	0.077
SD error =	0.026
t =	-8.294
t(0.05) =	2.262

Fuente: Elaboración propia 2014

Realizando la prueba estadístico T, en la tabla 6.1, muestra los resultados para los dos niveles de temperaturas de 300 y 500°C de calcinación del concentrado bulk, con 9 grados de libertad, cuya desviación es 0.077, considerando 95% de confiabilidad el t absoluto es 8.289 que es mayor t(0.05) que corresponde 2.262 (ver anexo tabla t student); en forma similar muestran los resultados par tiempo 40 minutos muestra en la tabla 6.2

**Tabla N° 6.2 Calcinación durante 40 minutos**

PRUEBA	T1=300°C	T2=500°C	D	D <sup>2</sup>
1	26.132	26.252	-0.120	0.014
2	25.945	25.970	-0.025	0.001
3	25.676	29.542	-3.866	14.946
4	25.897	26.247	-0.350	0.123
5	26.055	26.147	-0.092	0.008
6	26.158	26.343	-0.185	0.034
7	25.627	26.024	-0.397	0.158
8	26.100	26.138	-0.038	0.001
9	26.154	26.981	-0.827	0.684
10	26.095	26.235	-0.140	0.020
Suma	259.839	265.879	-6.040	15.989
Promedio	25.984	26.588	-0.604	1.599

d <sup>2</sup> =	1.562
gl =	9.000
SD =	0.395
SD error =	0.132
t =	-4.584
t(0.05) =	2.262

Fuente: Elaboración propia 2014



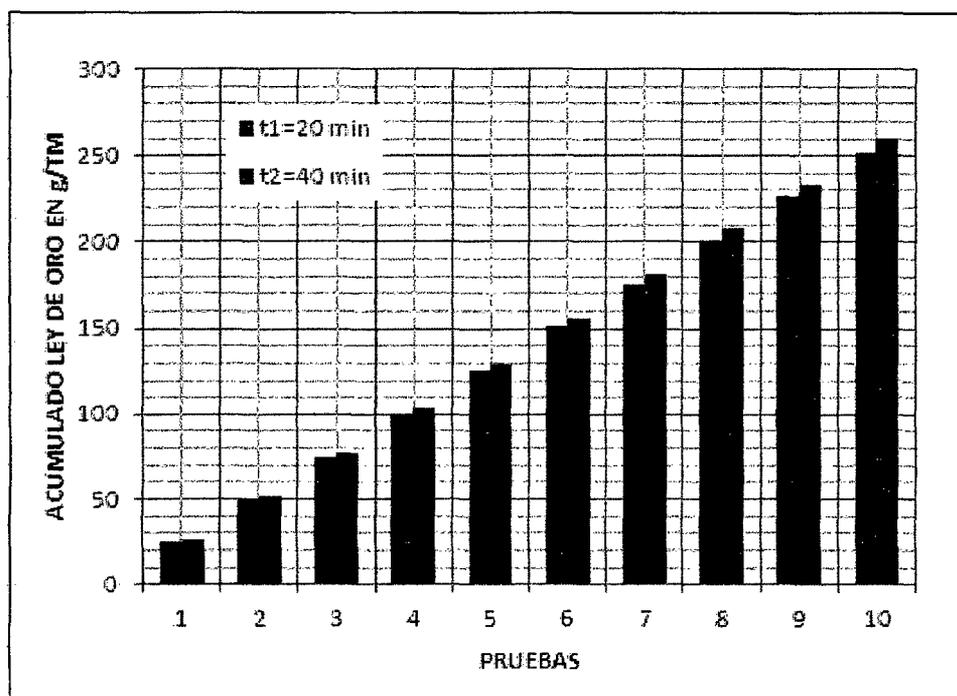
Tabla N° 6.3 Calcinação a temperatura de 300°C

PRUEBA	t1=20 min	t2=40 min	D	D^2
1	25.256	26.132	-0.876	0.76738
2	24.983	25.945	-0.962	0.92544
3	25.034	25.676	-0.642	0.41216
4	25.25	25.897	-0.647	0.41861
5	25.153	26.055	-0.902	0.8136
6	25.342	26.158	-0.816	0.66586
7	24.986	25.627	-0.641	0.41088
8	25.145	26.100	-0.955	0.91203
9	25.25	26.154	-0.904	0.81722
10	25.238	26.095	-0.857	0.73445
Suma	251.637	259.839	-8.202	6.87762
Promedio	25.164	25.984	-0.820	0.688

d^2 =	0.620
gl =	9.000
SD =	0.249
SD error =	0.083
t =	-9.878
t(0.05) =	2.262

Fuente: Elaboración propia 2014

Grafica N° 6.1. Calcinação a temperatura de 300°C



Fuente: Elaboración propia con tabla N° 6.3

Realizando la prueba estadístico T, en la tabla 6.3, a temperatura de 300°C muestra los resultados para los dos niveles de tiempo 20 y 40 minutos de calcinação del concentrado bulk, con 9 grados de libertad, cuya desviación es 0.249, considerando 95% de confiabilidad el valor de t absoluto es 9.878 que es mayor al valor de t(0.05)

que corresponde 2.262 (ver anexo tabla t student); para visualizar la diferencias se muestra la gráfica correspondiente los acumulados de t1 y t2 para esta temperatura (solver Excel).

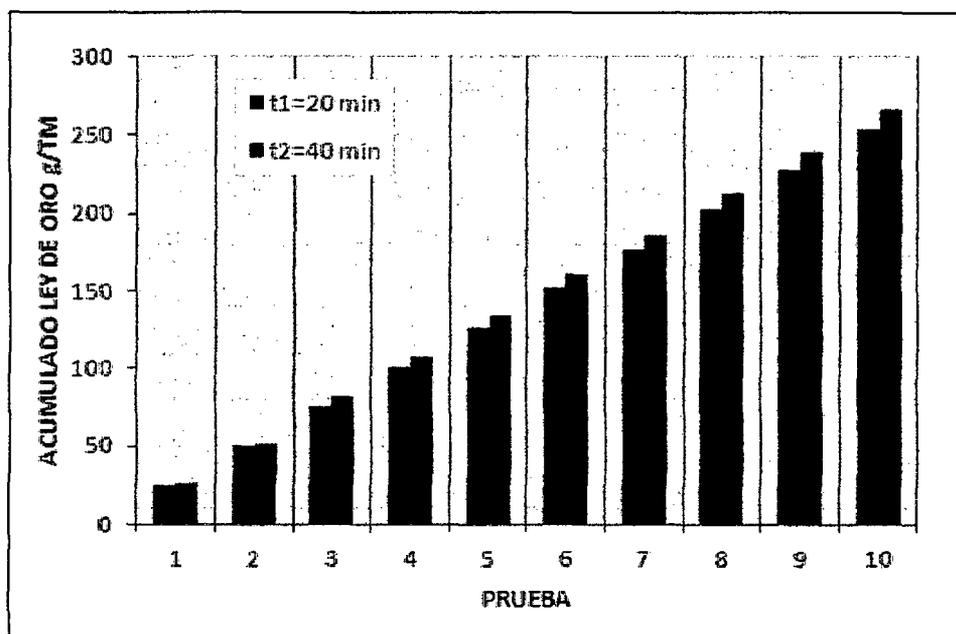
**Tabla N° 6.4 Calcinación a temperatura de 500°C**

PRUEBA	t1=20 min	t2=40 min	D	D <sup>2</sup>
1	25.337	26.252	-0.915	0.837225
2	25.221	25.970	-0.749	0.561001
3	25.423	29.542	-4.119	16.96616
4	25.624	26.247	-0.623	0.388129
5	25.214	26.147	-0.933	0.870489
6	25.542	26.343	-0.801	0.641601
7	25.035	26.024	-0.989	0.978121
8	25.232	26.138	-0.906	0.820836
9	25.484	26.981	-1.497	2.241009
10	25.664	26.235	-0.571	0.326041
Suma	253.776	265.879	-12.103	24.63061
Promedio	25.378	26.588	-1.210	2.463

d <sup>2</sup> =	2.317
gl =	9.000
SD =	0.481
SD error =	0.160
t =	-7.544
t(0.05) =	2.262

Fuente: Elaboración propia 2014

**Gráfica N° 6.2. Calcinación a temperatura de 500°C**



Fuente: Elaboración propia con tabla N° 6.4

En la misma forma la tabla 6, a temperatura de 500°C muestra los resultados para los dos niveles de tiempo 20 y 40 minutos de calcinación del concentrado bulk, con 9

grados de libertad, cuya desviación es 0.481, considerando 95% de confiabilidad el valor de  $t$  absoluto es 7.544 que es mayor al valor de  $t(0.05)$  que corresponde 2.262 (ver anexo tabla  $t$  student); para visualizar la diferencias se muestra la gráfica correspondiente los acumulados de  $t_1$  y  $t_2$  para esta temperatura (solver Excel).

**Tabla N° 6.5. Consolidación de resultados análisis de oro**

t	x1	x0	D	D^2	
20 min	25.164	23.628	1.536	2.359296	d^2 = 3.777
	25.378	23.628	1.75	3.0625	gl = 3.000
40 min	25.984	23.628	2.356	5.550736	SD = 0.972
	26.588	23.628	2.96	8.7616	SD error 0.561
	<b>103.114</b>	<b>94.512</b>	<b>8.602</b>	<b>19.734</b>	t = 3.833
	<b>25.779</b>	<b>23.628</b>	<b>2.151</b>	<b>4.634</b>	t(0.05) = 3.182

Fuente: Elaboración propia de tablas 6.1 a 6.4

En la tabla 6.5 la columna  $x_0$  corresponde al análisis de concentrado bulk donde la ley de oro es 23.628 g/TM sin someter a calcinación, para cada tiempo en los dos niveles de temperatura, para cuatro réplicas con 3 grados de libertad se obtiene  $t > t(0.05)$ .

### Resultados de Diseño Factorial

**Tabla N° 6.6. Tabla de respuesta para de diseño factorial**

Componente	Identidad	Temperatura		Tiempo		Interacción	
	1	A		B		AB	
a1b1	24.397	24.397		24.397			24.397
a2b1	24.466		24.466	24.466		24.466	
a1b2	25.011	25.011			25.011	25.011	
a2b2	25.294		25.294		25.294		25.294
Total	99.168	49.408	49.76	48.863	50.305	49.477	49.691
Verificación			99.168		99.168		99.168
Factor	1	-1	1	-1	1	-1	1
Neto	99.168		0.352		1.442		0.214
Divisor	4		2		2		2
Efecto	24.792		0.176		0.721		0.107
Rango			2		1		3

Fuente: Elaboración propia

### DENOMINACION DE FACTORES

#### Temperatura

a1= 300°C

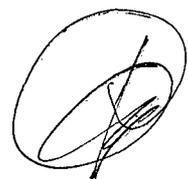
a2= 500°C

#### Tiempo

b1= 20 minutos

b2= 40 minutos

La elaboración de la tabla 6.6, que se llama tabla de respuestas, de un diseño de  $2^2$ , que para un análisis al nivel de diagnóstico, valga la aclaración, para un análisis al detalle se requiere una información muy importante que es el de análisis de arsénico, sin embargo esta nos permite razonablemente analizar los resultados. Jorge Galbiati Riesco, Diseño Factorial. 2005.



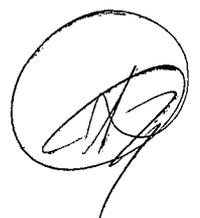
## VII. DISCUSION DE RESULTADOS

1. En la caracterización de un mineral de oro que tiene contenido de arsénico, este tipo de minerales se presenta asociado a sulfuros, como la arsenopirita, la galena, calcopirita, donde el oro se encuentra asociado a la galena en forma de sulfuros a la plata, como oro libre a la arsenopirita y cuarzo, para el análisis de este tipo de minerales se requiere de un grado de molienda (Cuadro 5.3 y 5.4) donde el contenido metálico se libere del mineral, especialmente del cuarzo.
2. Para el análisis del diseño, sólo se ha utilizado los cuadros 4.3 y 4.4 del anexo 4, que corresponde a concentrados bulk de 10 lotes, corresponden a la calcinación a tiempo de 20 y 40 minutos cada una a temperaturas de 300°C y 500°C, estos cuadros se han elaborado con los informes existentes del Laboratorio de Banco Minero de 1984 a 1990; de la combinación de factores con 10 réplicas usando el método estadístico T, que se muestran en las tablas 6.1 a 6.4, donde la desviación estándar es bastante bajo de las 10 réplicas, el valor absoluto de  $t > t(0.05)$  en todos los casos, lo que evidencia que la variación de tiempo y temperatura de calcinación es relevante en los valores que se obtienen en el análisis de oro.
3. La tabla 6.5, es la consolidación de las tablas anteriores, donde  $x1$  representa réplicas variando temperatura y tiempo de calcinación,  $x0$  representa el resultado de análisis de oro del concentrado bulk, sin someter a calcinación, donde la desviación es un valor insignificante, por lo que se ha considerado un valor constante de 23.628 g/TM, donde la desviación estándar es 0.972 y el error 0.561,  $t > t(0.05)$  esto evidencia que la calcinación, hace variar los resultados.
4. En la tabla N°6.6, se muestra los resultados del análisis de diseño factorial  $2^2$ , dos factores y dos niveles, donde muestra que el factor tiempo es más relevante que corresponde a rango 1, y la temperatura es rango 2, la interacción de temperatura y tiempo es rango 3. Si se incrementa temperatura obviamente el plomo y otros metales formarían aglomeradas, lo que no conviene; exponiendo a



mayor tiempo se obtendría mejores resultados; sin embargo el diseño de  $2^2$ , no permite afirmar sus resultados en forma contundente, faltaría incorporar a los resultados el análisis de arsénico después de la calcinación.

5. De las tablas N° 6.3 y 6.4 se obtienen las gráficas las diferencias de resultados del análisis de oro entre los tiempos 20 y 40 minutos para temperaturas 300°C y 500°C respectivamente, lo que nos permite visualizar con mayor claridad estas diferencias.
6. Finalmente se concluye el diseño factorial de  $2^2$ , permite un diagnóstico aproximado, se debe trabajar con los resultados de análisis de arsénico, para que los resultados tengan mayor solidez, se ha usados resultados de concentrado bulk, porque el valor de arsénico es mayor a la ley de cabeza, porque tanto el antimonio como el arsénico se encuentran como sulfuros, por lo tanto se concentran.



## VIII. REFERENCIALES

1. Adams M. D.. Advances in Gold Ore Processing. M. D. Adams. Australia, Elsevier. 1. (2005)
2. Aksoy B. S., Yasar B., Natural hydrophobicity of native gold flakes and their flotation under different conditions. Processing of Complex Ores, Pergamon Press, N.Y. (1989).
3. Benavides, Máximo D. y Rojo, Julio. (2002). Aplicación de Ultrasonido en CIP para minerales Auríferos. Venezuela, Univ. ExperimentalPolitécnica.
4. Brierly, C. L. and Briggs, A. P. (1997). Minerals Biooxidation/Bioleaching: guide to developing an Economically Viable Process. PDAC Annual Metting. Toronto, Canada, March.
5. Bugbee, E.E., "A Textbook of Fire Assaying", John Wiley & Sons, 1940.
6. Chávez E. B. S., Recuperación del Au-Ag de unos Jales con Matriz Pirítica y Arsenopirítica. Facultad de Minas, Metalurgia y Geología. Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Tesis de Licenciatura, (2006), pp. 1-98.
7. Escamilla M. d. C. O., Caracterización Mineralógica de una Mena de Alto Oro. San Luis Potosí, Instituto de Metalurgia (2010).
8. Eric L. Hoffman & John R. Clark, "Manuel Fire Assaying and Alternative Methods", Golden, Colorado 80403, U.S.A., 1999.
9. Fulton, C.H. andDietrich, W.J., "Manual of Fire Assay", McGraw Hill, 1929.Gilbert, S. R. (1988). et al. Comparative economic of bacterial oxidation and Roasting



10. Galbiati Riesco J. “Diseño de Experimentos Aplicados a Procesos Industriales”  
Cali Colombia 2008.
11. Habashi, F. (1985). «Extractive Metallurgy». Vol.II
12. Juarez García J. Villatoro Velásquez J., López Lugo E. “Estadística Inferencial Aplicada” México D.F. 2002.
13. Ms. Leonardo Cornejo Figueroa y PH. D. David J. Spottimonnd “Aspectos Fundamentales del Proceso de Cianuración de Oro”, Vol. 41 Revista Minerale N°174, 1984.
14. Mihovilovic, Boris Y Kilt, P. (1996). Descomposición Térmica para Beneficio de los Minerale.
15. Minerale Sulfurados. , Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial.
16. Mihovilovic, Boris. (1995). Uso del Sistema Cu-Fe-S y Otros para beneficio de los minerale sulfurados de cobre chilenos. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial.
17. Milton E., Wadsworth. (1986). Procesos Hidrometalúrgicos–Rate Processes of Extractive Metallurgy. México, Editorial Trillas S.A.
18. Minlab S.R.L, “Manual de Técnicas de análisis por Vía Húmeda”.
19. Norwood, A. F. (1939). Roasting and Treatment of Auriferous Flotation Concentrate. Australas. inst. Min. And Met. Proc. N116, pp 391 – 412.



20. Pecina-Trevino E. T., Uribe-Salas A., Nava-Alonso F., "Effect of dissolved oxygen and galvanic contact on floatability of galena and pyrite with Aerophine 3418A.", *Minerals Engineering*, 16, 359-367 (2003).
  
21. *Pyrometallurgy*. New York, NY 10276, Gordon and Breach Science Publishers.
  
22. Salas, Olivert. (1992). Eva et al. Procedimiento para el tratamiento de minerales sulfurados previo a la extracción de oro por cianuración. Cuba, Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica.
  
23. Shepard, O.C. and Dietrich, W.F., "Fire Assaying", McGraw Hill, 1940.
  
24. Shuey R.Y., *Semiconducting Ore Minerals*, Elsevier Pub. Co., U.S.A., 205-220 (1975).
  
25. Tiburcio Munive, Encinas Romero et al. (2002). Pretratamiento por Electrooxidación de Minerales Refractarios. Universidad de Sonora, Dpto. Química y Metalurgia.
  
26. Totsuo, Toshinyuki Sakai. (1956). *Metallurgy of Antimonial Ores bearing gold and silver*. J.



## IX. APENDICE

### APENDICE N° 1

#### Análisis de mineral por lotes (Ley de cabeza)

Lote	Ley de minerales						
	Au (g/TM)	Ag(g/TM)	% Fe	% Cu	% Pb	% As	% Sb
1	2.34	19.61	7.26	1.23	3.05	0.16	0.36
2	2.55	20.91	8.34	1.83	2.12	0.19	0.44
3	3.67	23.58	9.33	1.05	3.01	0.17	0.45
4	2.42	18.37	10.34	2.47	2.21	0.23	0.53
5	4.41	27.32	11.34	2.83	3.04	0.24	0.63
6	3.33	22.21	8.35	1.04	1.94	0.21	0.54
7	2.34	18.36	9.35	1.84	1.56	0.18	0.50
8	3.31	20.91	10.34	2.43	2.54	0.22	0.49
9	3.92	29.88	11.24	2.32	3.08	0.25	0.50
10	3.27	22.93	6.80	1.34	3.02	0.18	0.48

Fuente: Análisis realizado Planta Huancay, Lira de oro. 1984-1989

### APENDICE N° 2

#### Análisis de concentrado sin calcinación

Lote	Leyes de concentrados			
	Au (g/TM)	Ag(g/TM)	% As	% Sb
1	17.73	73.45	0.664	2.135
2	19.32	78.31	0.775	2.556
3	27.80	88.31	0.721	2.682
4	18.33	68.80	0.941	3.150
5	33.41	102.32	0.996	3.624
6	25.23	83.18	0.871	3.228
7	17.73	68.76	0.758	2.968
8	25.08	78.31	0.899	2.728
9	29.70	111.91	1.034	2.968
10	24.77	85.88	0.747	2.890

Fuente: Análisis realizado Planta Huancay, Lira de oro. 1984-1989

**APENDICE N° 3**

**Análisis de concentrado calcinado**

**Tiempo: 20 minutos**

Lote	Temperatura: 300°C		Temperatura: 500°C	
	Au (g/TM)	Ag(g/TM)	Au (g/TM)	Ag(g/TM)
1	18.182	74.564	18.428	74.716
2	19.582	79.507	19.483	79.352
3	28.516	89.659	28.901	89.842
4	18.803	69.849	19.058	69.991
5	32.442	103.880	33.456	98.321
6	25.874	84.450	26.224	84.622
7	18.182	69.811	18.428	69.953
8	26.520	79.507	24.066	79.669
9	30.458	113.614	30.870	99.564
10	25.408	87.188	25.751	87.365

Fuente: Análisis realizado Planta Huancay, Lira de oro. 1984-1989

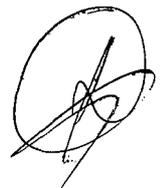
**APENDICE N° 4**

**Análisis de concentrado calcinado**

**Tiempo: 40 minutos**

Lote	Temperatura: 300°C		Temperatura: 500°C	
	Au (g/TM)	Ag(g/TM)	Au (g/TM)	Ag(g/TM)
1	18.648	75.700	18.900	75.854
2	20.080	81.031	20.356	80.882
3	29.247	91.025	29.542	90.812
4	19.286	70.913	19.546	71.057
5	32.946	101.438	33.723	105.677
6	26.538	85.736	26.896	85.911
7	18.648	70.874	19.024	71.019
8	27.420	80.718	27.568	80.882
9	31.239	108.460	30.981	108.769
10	26.059	88.516	26.412	88.695

Fuente: Análisis realizado Planta Huancay, Lira de oro. 1984-1989



**APENDICE N° 5**

**Resultados de Flotacion de Minerales Planta Huancay -Compin- La Libertad**

PRODUCTOS	PESO (T.M.)	Peso %	LEYES %				g/TM	
			Cu	Pb	AS	Sb	Au	Ag
Cabeza	50.000	100	1.841	2.56	0.202	0.491	3.143	43.25
Conc. BulK	6.253	12.506	13.23	18.53	0.84	2.95	23.83	323.73
Relave	43.747	87.494	0.11	0.17			0.25	2.32
Cabeza Calc	50.000	100						

Fuente: Análisis realizado Planta Huancay, Minera Lira de oro resultado de un lote. 1984-1989

**APENDICE N° 6**

**Recuperaciones de oro y plata por flotación bulk P. Huancay**

Producto	Entrada TM	Concentrado TM	Recuperacion %
Cu	0.921	0.827	89.87
Pb	1.280	1.159	90.52
As	0.055	0.053	95.50
Sb	0.246	0.184	75.14
Au (gr.)	157.150	149.009	94.82
Ag (gr.)	2162.500	2024.284	93.61

Fuente: Datos de rendimiento de Flotación bulk de Planta Huancay Minera Lira de oro 1984

## X. ANEXOS

### ANEXO N° 1

#### GLOSARIO DE MINERALOGÍA DE LOS MINERALES AURÍFEROS

**a. Electrum**

El oro a menudo ocurre aleado con la plata y cuando el contenido de plata esta entre 25-55% el mineral es llamado Electrum, este tipo de mineral en Puno es conocido como oro platoso, teniendo un color plomo.

**b. Teluros de Oro**

La química de los teluros de oro es relativamente compleja con una serie de minerales identificables. La forma más común de los teluros son: Silvanita, Calaverita, Petzita.

**c. Pirita**

La Pirita es el mineral sulfurado más comúnmente asociado con el oro. Es muy común en todo el mundo y se ubica en cuerpos de mineral sulfurado.

**d. Minerales de Carbonaseis**

Los componentes de carbón absorben el oro disuelto en mayor o menor grado, durante la lixiviación con cianuro de sodio. Estos minerales requieren un pre-tratamiento de oxidación previo a la cianuración.

**e. Minerales Auríferos**

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

Aleaciones Naturales

Oro argentífero (Electrum)(Au, Ag)

Oro Cuprífero (Cuproaururo)(Au, Cu)

**f. Flotación buk**

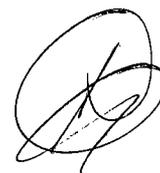
Se concentran todos los sulfuros metálicos, cuyo producto es una mezcla polimetálico.

### ANEXO N° 2

#### Glosario de tipos de yacimientos Auríferos

**1. Vetas y filones de cuarzo aurífero.**

Las vetas de cuarzo con mineralización de oro nativo y otros metales de menor importancia ocurre en dos unidades geológicas principales:



- En el Batolito Occidental Andino especialmente en una parte media (aérea de Nazca, Ocoña).
- En el paquete de rocas paleozoicas y rocas intrusivas vecinas que constituyen la Cordillera Oriental.

## **2. Deposito Epitermales**

Son las vetas hidrotermales de cuarzo, carbonatos, baritina y fluorita, que contienen oro nativo y telururos de oro y cantidades variables de plata. Constituyen vetas emplazadas en espacios abiertos y la gran parte se encuentra en rocas volcánicas muy alteradas de edad terciaria.

## **3. Placeres**

Compuestos de arena no consolidadas o semi-consolidadas y de gravas, las que contienen pequeñas cantidades de oro nativos y otros minerales pesados. La mayor parte son depósitos fluvio-glaciales y glaciales; ocurren a lo largo de valles y cauces actuales o terrazas y flujos preexistentes.

## **4. Placeres Fósiles**

Estos son depósitos formados en épocas geológicas muy antiguas. Todos los ejemplos conocidos son pre-cambrianos y han sido litificados hasta convertirse en conglomerados formando parte del basamento, están compuestos por cuarzo, pirita y minerales micáceos.

### **ANEXO N° 3**

#### **METODO DE ANALISIS DE ORO VIA SECA**

##### **OBJETIVOS:**

El presente método será utilizado para determinar Oro en muestras de producción, taladros BHD, sistemáticos, mineral roto y muestras oxidadas, cuyas concentraciones de Oro sea mayor de 5000 ppb.

##### **PRINCIPIO DEL METODO**

Consiste en fundir la muestra con la mezcla fundente, concentrando el oro y la plata en el regulo de plomo, luego es copelado oxidando el plomo, al Doré se disgrega con Acido Nitrico al 15%, obteniéndose el botón de Oro para que finalmente sea calcinado y luego Pesado.

## **APARATOS Y EQUIPOS**

- Horno a Petróleo Diesel
- Horno Eléctrico DFC 810-B CERAMICS FURNACE.
- Ultra micro Balanza SARTORIUS SE-2. Precisión 0.0001 mg
- Plato de Calentamiento THERMOLYNE TIPO-2200.
- Equipos complementarios de Fundición
- Balanza Electrónica METTLER-TOLEDO AB204-S, precisión 0.001 g.

## **MATERIALES Y REACTIVOS**

- Crisoles refractarios de 30 gr.
- Copelas N°8B.
- Crisoles de Porcelana de 30 cc.-79MF/7°
- Material usual de Laboratorio.
- Litargirio (PbO) con contenido de plata menores a 0.003%(trazas).
- Nitrato de Plata 99.8%.
- Carbonato de sodio anhidro grado técnico liviano.
- Bórax anhidro comercial
- Harina de trigo común.
- Patrones Certificados y Internos de trabajo.

## **PROCEDIMIENTO**

1. Previamente limpiar los crisoles de 30g., enumerar de acuerdo al código de cada muestra y colocarlos en forma ordenada en la sección pesada de muestras.
2. Colocar la bolas de plásticos conteniendo el flux 7x10x1.5 (90g.Aproximadamente) en el crisol de arcilla de 30gr.
3. Pesar 30g de muestra pulverizada de: Produccion, Taladros BDH, Mineral Roto y Muestreo Sistemático.
4. Homogenizar bien la mezcla.
5. Cubrir la mezcla homogeneizada con 20g. de Bórax aprox.
6. Llevar los crisoles al horno de fundición a una temperatura de 900°C por un periodo de 10 minutos, luego subir la temperatura a 1050°C durante una hora.



7. Retirar el crisol del horno realizando un movimiento circular para una mejor aglomeración de Plomo y golpear sobre la superficie de la mesa metálica
8. Verter el contenido del crisol en la lingotera previamente limpia y completamente seca.
9. Dejar enfriar unos 15 minutos, retirar la escoria de la lingotera, golpeando con un martillo para liberar el regulo de plomo que debe tener 30g aprox. y darle la forma de un cubo y colocar sobre los crisoles conservando la codificación inicial y luego copelar.
10. Las copelas previamente serán puestas en el horno por un tiempo de 20 minutos a 860°C.
11. Colocar el cubo de plomo sobre las copelas con una tenaza y cerrar la puerta del Horno, y cuando el plomo se haya fundido entreabrirlo para que entre una corriente de aire y así oxidar el Plomo.
12. La copelación debe durar aproximadamente 45 minutos, el punto final de la copelación es notorio, sucede cuando aparece el relampagueo de plata tipo spray, proceder a retirar la copela del horno y dejar enfriar 20 minutos.
13. Codificar las copelas de acuerdo al número de cada crisol y extraer los dorés (oro/plata) con una pinza especial, limpiando su base con una brocha y laminar con martillo para su respectiva PARTICION.
14. Colocar el doré en un crisol de porcelana, disgregar con 10ml de ácido nítrico (1:6) ó 15% y llevar a la plancha por el espacio de 20 minutos a 100°C, luego elevar la T° 200°C durante 40 minutos, el punto final es cuando ya no hay Reaccion Quimica.
15. Decantar la solución y lavar unas 6 veces con agua desionizada caliente libre de cloruros, luego lavar con hidróxidos de Amonio 1:6 y finalmente lavar con agua tres veces.
16. Secar el crisol en la plancha por 5 minutos, luego calcinarlo en el HORNO ELECTRICO hasta que el crisol tome color rojo naranja 5 minutos aprx.).
17. Enfriar bien los crisoles de porcelana y pesar el botón de oro en la ULTRAMICRO BALANZA SARTORIUS SE-2, registrando el peso en los formatos de trabajo.

**EXPRESION DE RESULTADOS:**

$$Au = (P1/P) \times 1000$$



$$Au = 33.33xP1$$

Donde:

- Au : Contenido de oro en gramos por Tonelada Metrica (g/TM)  
 P1 : Peso en miligramos del botón de oro.  
 P : Peso en gramos de la muestra. (30 gr).

ANEXO N° 4

DISTRIBUCION ACUMULATIVA T STUDENT

n	p								
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.990	0.995	0.9995
1	1.0005	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.061	1.386	1.836	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	0.866	1.071	1.337	1.746	2.120	2.584	2.921	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.540	2.861	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.477	2.779	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
35	0.682	0.852	1.052	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.591
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
45	0.680	0.850	1.048	1.301	1.680	2.014	2.412	2.690	3.520
50	0.680	0.849	1.047	1.299	1.676	2.008	2.403	2.678	3.496
55	0.679	0.849	1.047	1.297	1.673	2.004	2.396	2.669	3.476
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
70	0.678	0.847	1.045	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	3.435
80	0.678	0.847	1.044	1.293	1.665	1.990	2.374	2.638	3.416
90	0.678	0.846	1.043	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	3.402
100	0.677	0.846	1.042	1.290	1.661	1.984	2.364	2.626	3.390
200	0.676	0.844	1.039	1.286	1.653	1.972	2.445	2.601	3.340
300	0.676	0.843	1.038	1.285	1.650	1.968	2.437	2.592	3.323
400	0.676	0.843	1.038	1.284	1.649	1.966	2.434	2.588	3.315
500	0.676	0.843	1.037	1.284	1.648	1.965	2.432	2.586	3.310
1000	0.675	0.842	1.037	1.283	1.647	1.962	2.427	2.581	3.301
∞	0.67449	0.84162	1.03643	1.28155	1.64485	1.95996	2.32630	2.57582	3.29053

FUENTE: Tablas Estadísticas. Díaz Busto, Pedro. Edit. San Marcos. Lima-Perú 2008



ANEXO N° 5.a

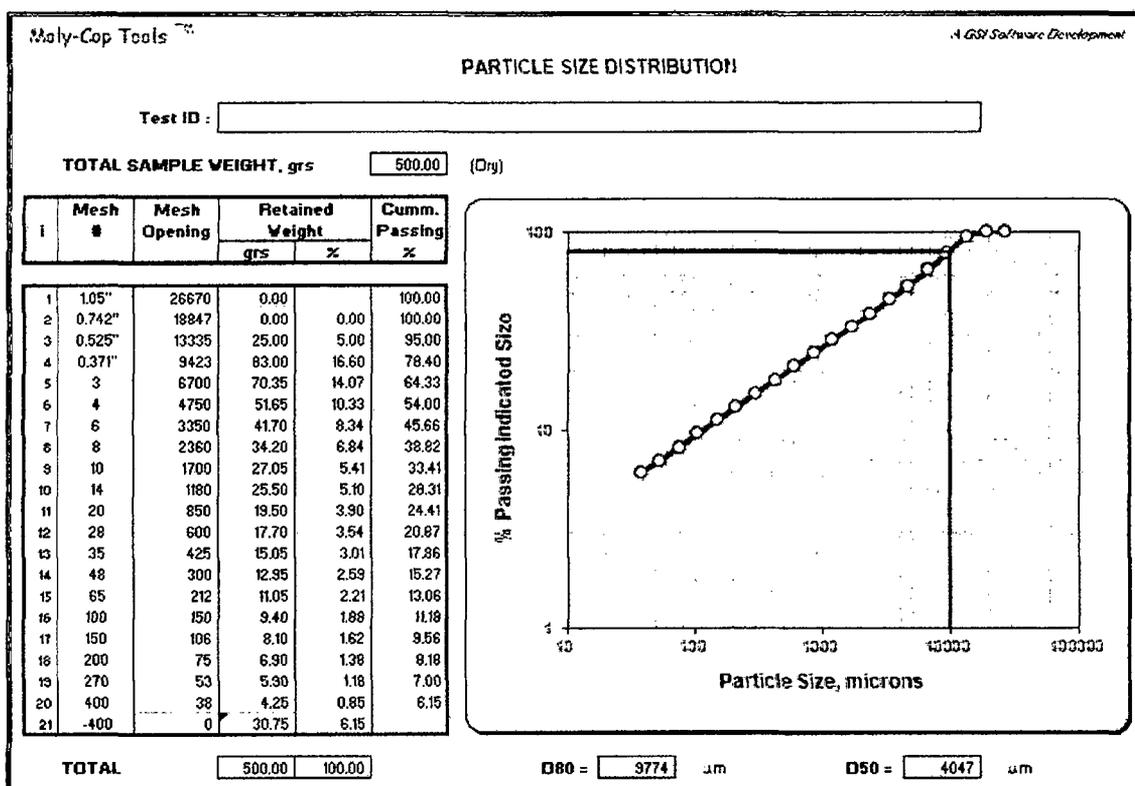
Moly-Cop Tools <sup>TM</sup> A GSI Software Development

**STANDARD SCREEN SERIES**

TYLER STANDARD SCREEN 1910				U.S. BUREAU OF STANDARDS A. S. T. M. E 11-87			INTERNATIONAL ISO 565	
MESH		OPENING			OPENING		OPENING	WIRE
Basic	Secondary	inches	mm		inches	mm	mm	mm
	7	0.1104	2.8031	7	0.1114	2.8284	2.83	1.100
8		0.0928	2.3571	8	0.0936	2.3784	2.38	1.000
	9	0.0780	1.9821	10	0.0787	2.0000	2.00	0.900
10		0.0656	1.6667	12	0.0662	1.6818	1.68	0.810
	12	0.0552	1.4016	14	0.0557	1.4142	1.41	0.725
14		0.0464	1.1786	16	0.0468	1.1892	1.19	0.650
	16	0.0390	991	18**	0.0394	1000	1000	0.580
20		0.0328	833	20	0.0331	841	841	0.510
	24	0.0276	701	25	0.0278	707	707	0.450
28		0.0232	589	30	0.0234	595	595	0.390
	32	0.0195	496	35	0.0197	500	500	0.340
35		0.0164	417	40	0.0166	420	420	0.290
	42	0.0138	350	45	0.0139	354	354	0.247
48		0.0116	295	50	0.0117	297	297	0.215
	60	0.0098	248	60	0.0098	250	250	0.180
65		0.0082	208	70	0.0083	210	210	0.152
	80	0.0069	175	80	0.0070	177	177	0.131
100		0.0058	147	100	0.0058	149	149	0.110
	115	0.0049	124	120	0.0049	125	125	0.091
150		0.0041	104	140	0.0041	105	105	0.076
	170	0.0034	88	170	0.0035	88	88	0.064
200*		0.0029	74	200	0.0029	74	74	0.053
	250	0.0024	62	230	0.0025	63	63	0.044
270		0.0021	52	270	0.0021	53	53	0.037
	325	0.0017	44	325	0.0017	44	44	0.030
400		0.0015	37	400	0.0015	37	37	0.025
				450	0.0013	32	31	0.028
				500	0.0010	25	26	0.025
				635	0.0008	20	22	0.020

\* Reference Screen : 200 Mesh. Basic Series 2\*0.5 Ratio; Secondary Series 2\*0.25 Ratio.  
 \*\* Reference Screen 18 Mesh. Basic Series 2\*0.25 Ratio.

## ANEXO 5.b. Distribución de partículas ara tamices.



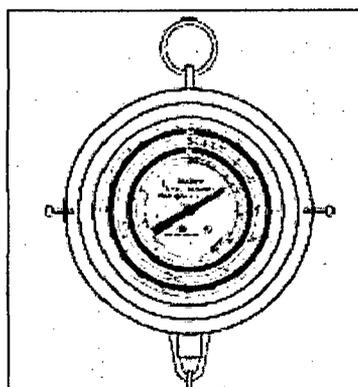
Fuente: A GSI Software Development.

## ANEXO N° 6. Determinación de densidad

### Balanza Marcy.

La balanza Marcy está constituida principalmente por una balanza graduada provista de un recipiente metálico capaz de contener un volumen fijo de 1000 cm<sup>3</sup>. La balanza debe ser colgada de manera tal que quede suspendida libremente en el espacio.

Este instrumento es el más utilizado para el control de las pulpas, muy aplicado en la metalurgia.



**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿De qué manera debe presentar el diseño de experimento para el control de los factores para el tratamiento de minerales de oro con contenido de arsénico?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> ¿Cómo se puede identificar los factores más relevantes para controlar el contenido de arsénico de muestras?</p> <p>¿Cuál sería el método de eliminación de arsénico, previo al análisis químico del contenido de oro?</p> <p>¿De qué manera se puede evaluar y comparar los resultados del método elegido?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Realizar el diseño de experimento para el control de los factores para el tratamiento de minerales de oro con contenido de arsénico.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> Identificar los factores más relevantes para el tratamiento de minerales con contenido de arsénico.</p> <p>Establecer el método de eliminación de arsénico, previo al análisis químico del contenido de oro.</p> <p>Evaluar y comparar los resultados del método elegido.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> Con el diseño de experimento para el control de los factores en el tratamiento de análisis químico del mineral de oro con contenido de arsénico, se obtendrá mejores resultados.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b> Se debe identificar los factores más relevantes que influyen en el tratamiento de minerales de oro con arsénico.</p> <p>Estableciendo un método adecuado de eliminación de una parte arsénico en los análisis químicos, se debe obtener mejores resultados.</p> <p>Evaluando los resultados del método aplicado, se debe encontrar la diferencia en los resultados.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE (Y):</b> Diseño de experimento para obtener un resultado de mayor aceptación.</p> <p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b> Características de la muestra y contenido de arsénico en la muestra, Tipo de tratamiento de la muestra. Factores para el tratamiento para el análisis de muestra.</p>