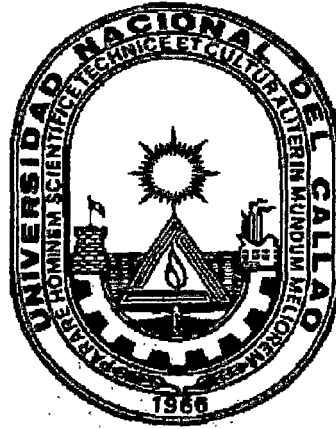


T/660.2/M 43

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL
CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**"ESTUDIO COMPARATIVO DE ANÁLISIS DE ORO
ENTRE LOS MÉTODOS VÍA SECA Y VÍA
HÚMEDA EN MINERALES CONCENTRADOS"**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR

MERCADO ESCALANTE JORGE LUÍS

ASESOR

ING° POLICARPO SUERO IQUIAPAZA

CALLAO – SETIEMBRE – 2013

PERÚ

A handwritten signature or mark, possibly a stylized 'M' or 'J', is located in the bottom left corner of the page.

D. P. = 15801
ID. Ef. = 38814

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por el Bachiller **MERCADO ESCALANTE JORGE LUÍS** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	PRESIDENTE
ING° RICARDO RODRÍGUEZ VILCHEZ	SECRETARIO
ING° ISABEL ADELAIDA GALLO REJAS	VOCAL
ING° POLICRPO SUERO IQUIAPAZA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis N° 02, Folio N° 54, Acta N° 238 de fecha **OCHO DE JULIO DE 2013**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU del 29 de abril de 2011 y Resolución N° 221-2012-CU del 19 de setiembre de 2012

ÍNDICE

	Pag
RESUMEN	01
INTRODUCCIÓN	03
1 EL PROBLEMA	04
1.1 ANTECEDENTES	04
1.2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	06
1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	07
1.3.1 ANTECEDENTES	07
1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN DE LA TESIS	07
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	07
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	08
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	08
1.6 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	09
1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL	09
1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	09
2 BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.1 TEORÍA SOBRE ANÁLISIS DE ORO EN MINERALES CONCENTRADOS POR VÍA SECA	10
2.1.1 DEFINICIÓN	10
2.1.2 MEZCLA FUNDENTE	10
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES QUE CONTIENEN ORO	18
2.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ORO	22
2.1.5 MÉTODOS DEL PROCESO DE VÍA SECA	23
2.2 TEORÍA DE ANÁLISIS DE ORO EN MINERALES CONCENTRADOS POR VÍA HÚMEDA	32
2.2.1 DEFINICIÓN	32
2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ANÁLISIS VÍA HÚMEDA	32
2.2.3 INFLUENCIA DE LOS REACTIVOS	39

	Pag	
2.3	TEORÍA PARA ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	41
2.3.1	METODOLOGÍA	41
2.3.2	COMPONENTES BÁSICOS DEL ESPECTROFOTÓ METRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	44
2.3.3	ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO	46
3	MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS	47
3.1	EQUIPOS	47
3.2	MATERIALES	51
4	PRUEBA EXPERIMENTAL	56
4.1	MÉTODO DE ENSAYO	56
4.2	DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS	59
4.2.1	ANÁLISIS DE ORO POR VÍA SECA	59
4.2.2	DIGESTIÓN DE ORO OBTENIDO POR VÍA SECA	67
4.2.3	ANÁLISIS DE ORO POR MÉTODO VÍA SECA CON FINALIZACIÓN POR ABSORCIÓN ATÓMICA (MÉTODO COMBINADO)	70
4.2.4	ANÁLISIS DE ORO POR LIXIVIACIÓN EN SOLUCIÓN CIANURADA	71
4.2.5	LIXIVIACIÓN CON AGUA REGIA, UTILIZANDO ÁCIDO PERCLÓRICO COMO OXIDANTE	72
4.3	DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTUDIO COMPARATIVO DE ANÁLISIS DE ORO ENTRE LOS MÉTODOS DE VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA EN MINERALES CONCENTRADOS DE SULFUROS POLIMETÁLICOS	73
4.4	DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA LA INVESTIGACIÓN	75
4.1.1	VARIABLES DEPENDIENTES	75
4.1.2	VARIABLES INDEPENDIENTES	75
4.5	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA	76
4.5.1	LEY DE ORO FINAL	76
4.5.2	TEORÍA DE ERRORES	77
4.5.3	PARÁMETROS DE DISPERSIÓN	79

	Pag	
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
5.1	DISCUSIÓN DE CADA CUADRO O PRUEBA EXPERIMENTAL	80
5.2	CUADRO COMPARATIVO EN LEYES DE ORO	81
5.3	CUADRO COMPARATIVO EN PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN LEY DE ORO, COMPARANDO LOS OTROS MÉTODOS RESPECTO AL MÉTODO A	82
5.4	EVALUACIÓN GRÁFICA DE LOS PATRONES Y ESTÁNDARES	83
5.4.1	EVALUACIÓN DE PATRONES Y ESTÁNDARES MÉTODO A	83
5.4.2	EVALUACIÓN DE PATRONES Y ESTÁNDARES MÉTODO B	86
5.4.3	EVALUACIÓN DE PATRONES Y ESTÁNDARES MÉTODO C	88
5.4.4	EVALUACIÓN DE PATRONES Y ESTÁNDARES MÉTODO D	90
5.4.5	EVALUACIÓN DE PATRONES Y ESTÁNDARES MÉTODO E	92
6	CONCLUSIONES	94
7	FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS	96
	APÉNDICE	98
	ANEXOS	124

DEDICATORIA

EL PRESENTE TRABAJO SE LO DEDICO EN UNA FORMA MUY ESPECIAL A MI QUERIDA ESPOSA HEYDI Y MI HIJO LIONEL ALONSO QUIENES SON MI MOTIVACIÓN EN LA VIDA. A MIS PADRES LUÍS JORGE y MARGARITA ANGÉLICA Y MIS HERMANOS POR SU CONSTANTE APOYO. A DIOS PORQUE SIEMPRE ME GUIARÁ EN LA VIDA POR LA SENDA DEL BIEN Y LA FELICIDAD

AGRADECIMIENTOS

EL AGRADECIMIENTO Y GRATITUD AL Mg. POLICARPO SUERO IQUIAPAZA, POCO DE LO QUE SÉ, SE DEB AL ESFUERZO PERSONAL Y ALOS CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIAS E IDEAS, QUE LLEGARON A TRAVÉS DE LOS SEÑORES CATEDRÁTICOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, DE LOS COMPAÑEROS DE TRABAJO YENNYFERT AGUILAR, KATHERINE CARRASCO, WENDY RAYGADA, VAYA MI AGRADECIMIENTO PARA TODOS ELLOS.

RESUMEN

La presente tesis trata sobre la aplicación de técnicas en el Análisis de Oro tanto por Vía Seca y Vía Húmeda.

El trabajo consiste en un estudio comparativo en resultados de ley de oro, tiempos de análisis de seis técnicas por vía química en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos en el Laboratorio MINLAB S.R.L.

Para el trabajo de investigación, el contenido es muy detallado ya que en el sustento teórico se busca y se ofrece detalladamente la parte química, la parte analítica y la parte estadística.

En la selección de técnicas de análisis a emplear para el estudio se evaluó cuidadosamente la disponibilidad de materiales, reactivos, equipos, muestras a emplear; de tal manera que durante el desarrollo de las pruebas experimentales no surjan eventos que interrumpan los objetivos planteados.

La evaluación gráfica, así como la evaluación estadística confirman que empleando las técnicas que implican fundición se obtienen resultados más eficientes en ley de oro que las técnicas que implican vía húmeda.

Las gráficas del capítulo 5, muestran el comportamiento de los patrones certificados y validados dentro del rango de incertidumbre para las técnicas que implican fundición.

Por otro lado, las técnicas que implican vía húmeda tienen un sesgo negativo hacia el límite inferior de la incertidumbre de los patrones certificados.

La evaluación estadística, la cual se muestra en las tablas del Capítulo Apéndice, permite ver los resultados de los %RSD. Para el caso de las técnicas que implican fundición vemos que los %RSD<5, lo cual está dentro de la tolerancia para este parámetro, caso contrario para las técnicas que implican vía húmeda se observan valores para los %RSD>5, lo cual está fuera de la tolerancia para este parámetro.

Por último se acompaña las observaciones, conclusiones, bibliografía y anexos.

INTRODUCCION

El análisis de oro en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos, es una actividad muy aplicada en los laboratorios comerciales de nuestro país, el hecho de estudiar y comparar las técnicas utilizadas en el análisis de oro para este sector importante, nos permitirá identificar y cuantificar las diferencias, ventajas y desventajas que cada una presenta, motivando así la investigación en la búsqueda de optimización de cada técnica que esperamos sean acogidas por la gente ligada a esta actividad.

Durante muchos años se han venido aplicando diversos tipos de análisis de oro, la exigencia que se hace para este metal es rigurosa en cuanto a ley final, siendo intolerable errores en su ley. En los laboratorios de análisis, se opta muy poco al estudio comparativo de técnicas de análisis de oro; debido a falta de tiempo, falta de presupuesto, falta de interés, de las exigencias del cliente en cuanto al tiempo de entrega de sus resultados. Lo cual deja de lado la investigación.

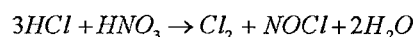
Determinando las variables o parámetros de cada técnica son aspectos que nos permitirán cuantificar la diferencia y eficiencia de cada método y también posibilidades de búsqueda de optimizar las técnicas de análisis.

1. EL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

Para Vía Húmeda

El descubrimiento en el Siglo VIII, por parte de Jabir Ibn Hayyan (720-813), del "agua regia", es decir, de una mezcla de ácido clorhídrico, (HCl), y de ácido nítrico, (HNO₃), como único solvente líquido capaz de disolver el oro (siendo que separadamente ninguno de estos ácidos puede lograrlo actuando solo), marca esa fecha como el inicio de la capacidad disolvente, basada en el cloro libre producido:



fue usado extensamente para extraer oro desde sus minerales hasta mediados de la década de 1890.

El proceso de cianuración para minerales de oro, desarrollado por Jhon Stewart MacArthur y los hermanos Robert y William Forest, que tuvo una importancia tremenda en la producción masiva de ese metal. Básicamente consistía en la disolución del oro contenido en minerales de bajas leyes con una solución alcalina diluida de cianuro de sodio; seguidamente el oro es fácilmente precipitado por cementación usando zinc como precipitante.

En la década de los 50, el aprovechamiento de la existencia de gas natural cercano a los lugares de uso, permitió el desarrollo de la lixiviación amoniacal a presión de concentrados sulfurados de níquel y

su recuperación por precipitación con gas hidrógeno, por Sherit-Gordon, en Fort Saskatchewan, Canadá; la aplicación de este proceso rápidamente se amplió, tanto en medio ácido como alcalino, a los concentrados sulfurados de otros metales (cobalto, zinc, cobre, etc.) a concentrados mixtos muy difíciles de separar (Co/Ni, Co/Ni/Cu, etc.), así como, posteriormente, ya a otros minerales de uranio y de tungsteno en los años 70 y de oro en los años 80.

Para Vía Seca

Sin embargo cuando estos minerales comenzaron a agotarse, a finales del Siglo XIX, los metalurgistas tuvieron que enfrentar minerales de más bajas leyes que requerían de una pre-concentración previa a su ingreso a los hornos de la fundición. Esta pre concentración necesariamente incorpora una etapa de chancado y molienda, para permitir la separación física de las partículas mineralizadas, particularmente cuando la concentración se hace por flotación. Con el mineral finamente molido, ya no se podían usar los antiguos altos hornos de tipo vertical, lo que dio origen a los hornos horizontales de reverbero, que requieren de fuentes externas de combustible para poder operar. A su vez, esto provocó un gran conflicto con el ambiente, pues los hornos de reverbero, además de consumir gran cantidad de energía externa, producen una intensa contaminación a través de los polvos y gases emitidos con los humos de fundición.

En la tabla N°31 del **Anexo 7.1** podemos citar algunos estudios comparativos sobre análisis de oro realizados a ciertas condiciones:

Actualmente la pequeña y mediana minería está dedicada al procesamiento de sulfuros polimetálicos (Pb, Cu y Zn; con contenidos de Au y Ag).

En Lima podemos mencionar algunos laboratorios dedicados al análisis de oro por Vía Seca y Vía Húmeda, los cuales son: (Laboratorio SGS del Perú, Inspectorate Services, ALS Perú, Actlabs, Minlab S.R.L., Química Germánica, Alfred H. Knight del Perú, CERTIMIN, etc.)

1.2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En el análisis de oro en concentrados de sulfuros polimetálicos por Vía Húmeda a nivel de laboratorio se obtienen resultados diferentes por debajo de los resultados obtenidos por Vía Seca.

A pesar de los trabajos de investigación y desarrollo de técnicas en Vía Húmeda, no se encuentra aún, un método con mejores resultados que los obtenidos por Vía Seca a nivel de laboratorio para análisis de oro en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos.

Los factores que incentivan a realizar estudios comparativos entre los métodos de Vía Seca y Vía Húmeda, es cuantificar la diferencia entre los resultados obtenidos por ambos métodos, para luego estandarizar bajo qué condiciones y hasta que límites se debe de emplear cada método, ya que se producen los efectos mostrados en la Tabla 1 ubicada en el **Apéndice A.1**.

Ante las desventajas citadas, el presente estudio de investigación: "Estudio Comparativo en Análisis de oro entre los Métodos Vía Seca y Vía Húmeda en Minerales Concentrados de Sulfuros Polimetálicos", es una alternativa viable para un mejor desempeño en el análisis de oro.

1.3. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Problema General

- a) ¿Cuáles son los parámetros que se deben tener en cuenta para realizar el estudio comparativo en el análisis de oro entre los métodos vía seca y vía húmeda en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos?

1.3.1. Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles son los métodos utilizados para el estudio comparativo en el análisis de oro por vía seca y vía húmeda en concentrados polimetálicos?
- b) ¿Cuál es la diferencia observada entre resultados de análisis por vía seca y vía húmeda en concentrados polimetálicos?
- c) ¿Cuáles son las variables a modificar para minimizar las desventajas generadas por cada método?

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN DE LA TESIS

1.4.1. Objetivo General

- a) Realizar el estudio comparativo de análisis de oro entre métodos de vía seca y vía húmeda en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Evaluar los métodos en el análisis de oro entre Vía Seca (Fundición, copelación) y Vía Húmeda (lixiviación por cianuración, lixiviación por agua regia)
- b) Comparar las diferencias obtenidas entre cada método utilizado para el análisis de oro en concentrados polimetálicos.
- c) Determinar entre los métodos las variables a modificar para minimizar las desventajas que cada uno genera.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación, es del tipo experimental, con resultados veraces obtenidos en las diferentes pruebas realizadas en el laboratorio de análisis tanto por vía seca y vía húmeda, se justifica porque con el estudio comparativo planteado, se pueden minimizar las desventajas citadas como lo son, la demora en el tiempo de análisis, las altas inversiones, la contaminación por Pb o gases $[NO_2]$ al medio ambiente porque últimamente la competencia, los clientes y las

exigencias ambientales son cada vez más rigurosas y la tendencia es encontrar tecnologías limpias.

Además, con este estudio es posible motivar la búsqueda de nuevas técnicas que aún no se emplean en el laboratorio de análisis de oro en concentrados polimetálicos.

La investigación se proyecta en comparar discutir y disminuir las desventajas generadas por cada método.

1.6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

1.6.1. Hipótesis General

- a) El estudio comparativo en análisis de oro entre los métodos por vía seca y vía húmeda en minerales concentrados polimetálicos, permite encontrar los parámetros que se deben tener en cuenta para lograr la precisión en ambos resultados.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a) Los métodos utilizados para el estudio comparativo muestran la jerarquía en precisión de los resultados.
- b) Los resultados obtenidos entre métodos son evaluados para modificar las variables en el análisis de oro.

- c) Las variables a modificar para disminuir las desventajas entre métodos son primordialmente, la concentración de reactivos utilizados, el pH, el tiempo, y los volúmenes de dilución.

2. BASES TEORICAS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. TEORIA SOBRE ANÁLISIS DE ORO EN MINERALES CONCENTRADOS POR VÍA SECA

2.1.1. Definición

El proceso de análisis de oro en minerales concentrados por vía seca a nivel de Laboratorio sigue los mismos principios y fórmulas que se aplican a nivel industrial para obtener el doré a partir del precipitado proveniente del proceso Merrill Crowe (utilizando mezclas fundentes.

El propósito de la fundición es retirar metales y otras impurezas del alto grado que se concentran, para producir una aleación de oro – plata que contiene típicamente los metales preciosos alrededor del 95%.

2.1.2. Mezcla Fundente

Es una mezcla de compuestos químicos, donde el reactivo principal, es el Litargirio (óxido de plomo), ya que este es el que va a generar el flujo necesario para la fundición del mineral. Además del litargirio, es muy importante la presencia de carbonato de sodio, bórax, sílice; ya que con ellos la mezcla fundente debe de tener las siguientes propiedades:

- La temperatura de fusión debe ser inferior a la de los metales a recuperar.

- La densidad en estado de fusión debe ser menor que la de los componentes del concentrado aurífero.
- Debe solubilizarse en el metal para que su acción química sea eficaz.
- Los óxidos formados no deben ser solubles en el baño metálico.
- En estado fundido, debe tener gran avidez por los óxidos metálicos base y otras impurezas.

Sobre las mezclas fundentes se tiene:

(a) **Litargirio**

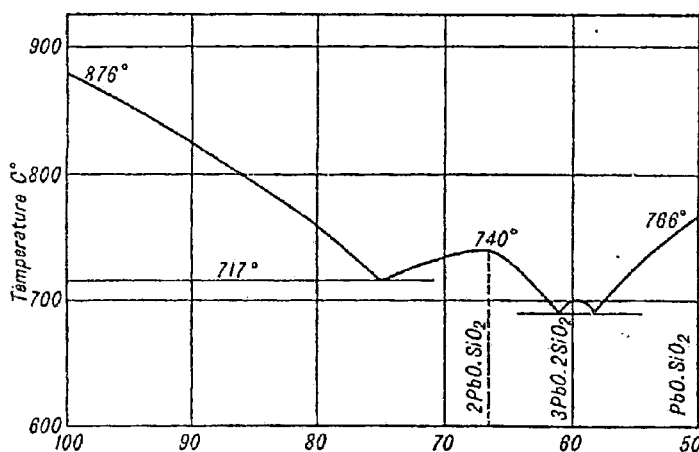
Es un flujo básico, fácilmente fusible. Actúa también como un agente oxidante y de desulfuración, y está reduciendo los suministros que son necesarios para la recogida del oro y la plata. Se funde a 883°C y contiene 92,8 por ciento de plomo.

Las mezclas de litargirio finamente pulverizado y sílice, que van desde $6PbO.SiO_2$ hasta $PbO.SiO_2$, comienzan a sinterizar a unos 700°C. Según Mostowitch el subsilicato, $4PbO.SiO_2$, es totalmente licuado a 726°C, el monosilicato, $2PbO.SiO_2$, forma un líquido viscoso a 724°C, pero no fluye fácilmente hasta que se calienta a 940°C. El bisilicato $PbO.SiO_2$, funde a 770°C, y forma mezclas eutécticas tanto más bajo y más alto en el fusible de sílice a temperaturas más bajas.



La curva del punto de congelación de una parte del sistema $PbO.SiO_2$ se muestra en la figura N° 1. Los puntos de fusión de los compuestos que se muestran no coinciden exactamente con los de Mostowitch. En comparación con bisilicato de sodio, que funde a $1018^\circ C$, el silicato de plomo correspondiente es decididamente más fusible. Esto explica por qué se acostumbra a establecer la presencia de litargirio en casi todas las escorias del ensayo.

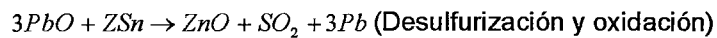
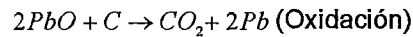
Figura 1: La curva del punto de congelación del sistema $PbO.SiO_2$



Fuente: "A textbook of fire assaying, pag. 11, Bugby, Edward Everett"

El litargirio tiene una fuerte afinidad por el sílice que, si la carga crisol no contiene suficiente sílice, el crisol en sí será atacado. Si se deja el tiempo suficiente, un agujero se pueden formar a través de él. El litargirio se oxida fácilmente su oxígeno si se calienta con carbón, hidrógeno, azufre, sulfuros metálicos, hierro, etc. Por lo tanto, actúa como un oxidante y, en presencia

de azufre, como agente de desulfuración. Ejemplos de estas reacciones se muestran a continuación:



El plomo es liberado entonces disponible para la recolección del oro y la plata.

La reacción con el carbono comienza por debajo de 500°C, y es rápido a 600°C.

La reducción de CO se inicia por debajo de 200°C.

El litargirio empieza a volatilizarse a 800°C, que es considerablemente por debajo de su punto de fusión.

Los silicatos de plomo no renuncian fácilmente a su ventaja a los agentes de reducción de carbono y azufre. Cuanto mayor sea la proporción de sílice, menos fácil es el silicato disuelto. Para que todo el plomo pueda ser extraído en primer lugar, debe ser puesto en libertad por el uso de un flujo más fuerte de base.

Hoffman dice, "de hierro metálico se descomponen todos los silicatos de plomo fusible a fuego de color rojo brillante, siempre y cuando se añada suficiente para formar un monosilicato".

Normalmente el litargirio comercial contiene una pequeña cantidad de plata, que van desde 0.2 onzas a 1.0 onzas o más

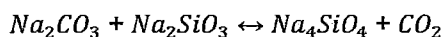
por tonelada. Una variedad casi sin plata está hecha de plomo Missouri, dando un tratamiento de zinc, en cuanto al proceso de Parkesy, a continuación copelación. Nunca es seguro asumir, sin embargo, que litargirio es de plata libre hasta que se haya tenido tanto por el análisis. Cada nuevo lote recibido, por tanto, se mezclan cuidadosamente para que sea uniforme, y se analiza. El análisis de litargirio debe estar libre de bismuto, ya que se reducirá durante la fusión y, debido a su lenta tasa de oxidación, se centrará en el papel principal en copelación, dando finalmente a los resultados irregulares de plata.

(b) Carbonato de sodio

Es un flujo de base muy potente, el más barato disponible para fines de ensayo, el carbonato de sodio anhidro puro funde a 852°C, cuando esta fundido es muy fluido y puede mantener en suspensión una gran proporción de finos, infusibles, y el material inactivo como el carbón o ceniza de hueso. El carbonato comercial normal de este país, es obtenido mediante el proceso Solvay, desde el bicarbonato, es fácil de obtener en estado puro.

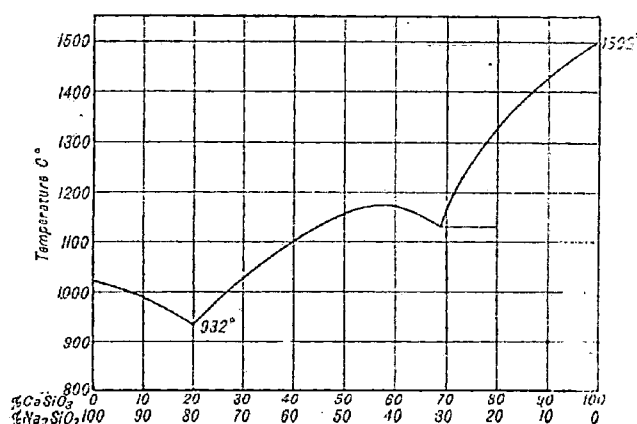
Se tiende a absorber agua del aire y, por tanto, insuficiente para su uso en algunos climas. La variedad conocida por el comercio como el 58 por ciento de ceniza de soda densa se ha encontrado particularmente satisfactorio para los propósitos del análisis, y es poco afectado por la humedad atmosférica.

Cuando el carbonato de sodio se calienta a unos 950° C, se somete a una ligera disociación con la consecuente evolución de una pequeña cantidad de dióxido de carbono. El análisis de carbonato de sodio que se han refundido muestra que contiene alrededor de 0,4 por ciento de álcali libre. Cuando la sílice se agrega a la fusión de carbonato de este álcali libre primero desaparece y luego tiene lugar una reacción entre la sílice y carbonato de sodio y una cierta cantidad de dióxido de carbono está implicada. La cantidad involucrados es directamente proporcional a la cantidad de sílice añadida y a la temperatura. Niggi demostró que el sistema $Na_2CO_3 - SiO_2$, para una temperatura y presión constantes de CO_2 , alcanza un estado de equilibrio, que la condición se puede expresar por la ecuación:



Encontró que con el fin de desplazar a todo el CO_2 , por lo menos un molde SiO_2 por cada mol de Na_2O hay que añadir. Las combinaciones ácidas menores de bisilicato retienen CO_2 indefinidamente. El bisilicato funde a unos 1018°C.

Figura 2: Curva del punto de Congelación del bisilicato de sodio.



Fuente: "A textbook of fire assaying, pag. 9, Bugby, Edward Everett"

El efecto fundente de carbonato de sodio se muestra en la figura Nº 2 de la curva del punto de congelación del calcio bisilicato y sodio bisilicato en serie. Entre el punto de fusión del sodio bisilicato, 1018°C, y la de calcio bisilicato de 1502°C, se encontró indicios de una fase eutéctica que contiene un 20 por ciento de $CaCO_3$ que fundió a 932°C. Se puede concluir de ello que, si tenemos de piedra caliza con el flujo de sodio y sílice solo, hay que añadir cuatro moles de Na_2CO_3 por cada mol de $CaCO_3$, junto con sílice suficiente para un bisilicato. La adición de bórax reduce la temperatura de fusión de la mezcla.

(c) Bórax

Es un activo, fácilmente fusible, es de flujo ácido. Se funde en su propia agua de cristalización, a partir de los más bajos de color rojo visible, y se convierte en anhidro en un color rojo intenso. Si se utiliza en grandes cantidades, tienden al rebose de parte de

la carga, sobre todo si no se mezcla perfectamente con la carga. En pequeñas cantidades, sin embargo, disminuye la temperatura de la formación de escoria y promueve una fusión tranquila y ordenada.

El bórax se utiliza a menudo como una cubierta para fusiones en crisol. Cuando se usa correctamente es para evitar la pérdida mecánica de mineral fino que da lugar con frecuencia cuando un gran volumen de gas escapa rápidamente a una temperatura inferior a la de fusión incipiente. El Bórax, que contiene, el 47 por ciento de agua, pierde aproximadamente el doble de bórax que el bórax anhidro necesario.

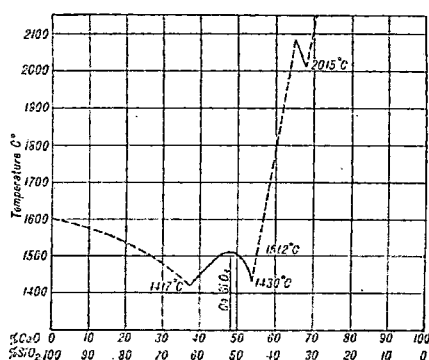
(d) Sílice

El sílice, SiO_2 , es un reactivo ácido y el más fuerte disponible. Se combina con los óxidos de metal para formarlos silicatos, que son la base de casi todas las escorias. Se utiliza como fundente cuando el mineral es deficiente en sílice y sirve para proteger a los crisoles y escorificadores de la acción corrosiva del litargirio. Se debe tener cuidado para evitar el exceso de sílice, ya que gran parte de ella causará problemas y pérdidas al convertirse en escoria metales preciosos o por la formación de mate. La sílice se funde a unos $1750^{\circ}C$, en un líquido muy viscoso. Debe ser obtenido en forma pulverizada. El efecto de la sílice en la

fusión se muestra en la curva de acompañamiento del punto de congelación de la serie de cal-sílice de la figura N° 3. La serie muestra tres fases eutécticas y compuestas de los.

La combinación con el punto de fusión más baja es la eutéctica con un 37 por ciento de CaO que funde a 1417°C. Otra eutéctica que contiene un 54 por ciento de CaO se funde a 1430°C. Quien se extiende entre ellos es el compuesto de calcio bisilicato, correspondiente a la fórmula $CaSiO_3$, que funde a 1512°C. Un segundo compuesto, que corresponde a la fórmula Ca_2SiO_4 , el calcio silicato, se funde a 2080°C. Un rápido vistazo a esta curva es suficiente para sugerir la conveniencia de tratar de hacer aproximadamente una escoria bisilicato cuando se analizan los minerales que contienen considerables cal.

Figura 3: Curva del punto de Congelación de la sílice.



Fuente: "A textbook of fire assaying, pag. 5, Bugby, Edward Everett"

2.1.3. Características de los minerales que contienen oro.

(a) Minerales cuarcíferos.

Pertenecen a este grupo los minerales en los cuales predominan la sílice y los silicatos.

Se usa como flujo de fundición para 20 g de muestra:

Litargirio	80 g
Carbonato de sodio	30 g
Almidón	02 g

(b) Minerales ferruginosos

Pertenecen a este grupo todos aquellos minerales en los que predomina el hierro, tanto oxidados como en formas de piritas.

Si se encuentra formando piritas se calcinan previamente para expulsar el azufre. Se usa como flujo de fundición para 20 gramos de muestra.

Litargirio	80 g a 150 g
Sílice	30 g
Carbonato de sodio	20 g
Almidón	02 g
Bórax	25 g
Cubierta de fundición:	
Cloruro de sodio	15 g
Bórax	15 g

Si el mineral contiene mucho cuarzo, se disminuye la sílice en el flujo.

(c) Minerales cupríferos

A este grupo pertenecen los minerales que contienen cobre, ya sea oxidado o en forma de piritas. Si contiene piritas el mineral (sulfuro de cobre) o bien sustancias volátiles como arsénico, antimonio, etc. Se calcinan fuertemente.

Si las leyes de cobre son inferiores a 12% se puede usar el flujo indicado para los minerales cuarcíferos o ferruginosos según que predomine el cuarzo o el hierro, respectivamente.

Los minerales que contienen porcentajes de cobre entre 12% y 30% se funden con el siguiente flujo:

Litargirio	200 g
Sílice	30 g
Carbonato de sodio	20 g
Almidón	02 g
Bórax	25 g
Cubierta de fundición:	
Cloruro de sodio	15 g
Bórax	15 g

Antes de poner ésta cubierta estándar, que es usada en las diversas fundiciones, se recomienda, en el caso de tratarse de minerales que contengan estos altos porcentajes de cobre, cubrir la mezcla del mineral y el flujo con la siguiente mezcla:

Bicarbonato de calcio	6 partes
Sílice	02 g

Bórax

02 g

Esta mezcla actúa como un buen escorificador del cobre, eliminándose así gran parte de este metal en la escoria. Este metal dificulta mucho el proceso de copelación.

Con esta mezcla escorificadora se cubre con un espesor de una pulgada, y a continuación se agrega la cubierta de fundición estándar.

Si el mineral contiene más de 30% de cobre, se escorifica el botón auro – argentífero que se obtiene al final de la fusión. Se puede evitar esta escorificación del botón de plomo, tomando menos cantidad del mineral, es decir unos 10 gramos en vez de 20 gramos, para esta menor cantidad se usará el mismo flujo.

(d) Minerales complejos

A este grupo pertenecen los minerales que contienen compuestos de arsénico, de antimonio, galena, óxidos o carbonatos de calcio y magnesio, bismuto, telurio, selenio, zinc, manganeso, etc.

Sometiendo la muestra a una calcinación fuerte, se elimina el arsénico, antimonio, azufre, etc. El resto de impurezas fijas se transforman en óxidos respectivos.

El flujo de la fundición tiene que estar de acuerdo con la naturaleza de las impurezas que se trata a eliminar en la escoria.

Generalmente, basta con variar las cantidades de litargirio y de bórax, ya que estas sustancias disuelven el mayor número de óxidos metálicos.

Cuando los minerales contienen galena, no se calcina debido a su bajo punto de fusión, para oxidarlo se le agrega nitrato de potasio. La calcinación fuerte de que hemos hablado se efectúa sobre una fuente refractaria, en la que se coloca, pesada previamente, 20 gramos de muestra a analizar, y se somete a la llama fuerte de un mechero o soplete – primus, teniendo cuidado de remover cada cierto tiempo la masa, a fin de que la calcinación sea más completa. Para evitar que la muestra se adhiera a la fuente refractaria, se cubre con tiza para lo cual basta rayar completamente su fondo, se ha terminado la operación cuando ya no se desprende el olor característico del SO_2 , para sacar la muestra se usa una brocha impregnada de bicarbonato de sodio.

2.1.4. Propiedades Físicas y Químicas del Oro

(a) Propiedades Físicas

La tabla N° 3 del **Anexo 7.2** muestra las propiedades físicas del oro.

(b) Propiedades Químicas

Es fácilmente soluble en agua regia o en otras mezclas que desprenden cloro. También lo disuelve el yodo en estado naciente y los cianuros.

No lo atacan ni el ácido clorhídrico ni tampoco el ácido nítrico solos.

No lo atacan los álcalis fundidos.

El ácido sulfúrico lo ataca por encima de los 300° C.

El oro se alea con gran facilidad con el mercurio (amalgama de mercurio). Calentando cuidadosamente la amalgama formada, se evapora el mercurio y queda el oro en forma esponjosa.

El oro es el más "No-Reactivo" de todos los metales, es benigno en todos los ambientes naturales e industriales. El oro nunca reacciona con el oxígeno o sea difícilmente se oxidará o empañará.

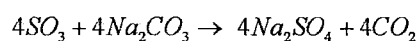
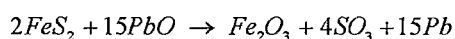
2.1.5. Métodos del Proceso de vía Seca

(a) Fundición

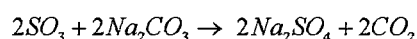
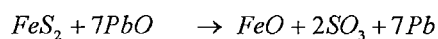
La fundición es en el proceso la parte más importante ya que en ésta se realiza las diferentes reacciones de los minerales con el flujo respectivo, como apreciaremos a continuación.

Reacciones de Reducción. Los sulfuros como la pirita (FeS_2), la ferrotita (Fe_7S_3), la arsenopirita (FeAsS), la calcopirita (CuFe_2), la chalcocita (Cu_2S), la estibinita (Sb_2S_3), la galena (PbS), la blenda (ZnS), y otros reducen el litargirio a plomo metálico. Las diferentes reacciones de reducción experimentan ciertas variaciones según sea el flujo de fundición empleado, tal es el caso de la pirita (FeS_2)

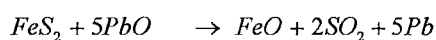
- En presencia de litargirio y Na_2CO_3 :



- En presencia de menor cantidad de litargirio y menos cantidad de Na_2CO_3



- En presencia de litargirio y ausencia de carbonato de sodio no se forma sulfato:



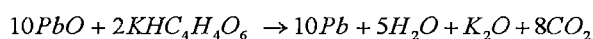
- En presencia de litargirio y carbonato de sodio los diferentes sulfuros reducen el litargirio a plomo metálico en las siguientes proporciones:

1 g de pirita reduce 12.24 g de Pb

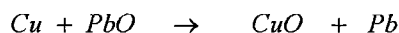
1 g de ferrotita reduce 8.70 g de Pb

1 g de chalcotita reduce	4.38	g de Pb
1 g de estibinita reduce	7.17	g de Pb
1 g de blenda reduce	8.16	g de Pb

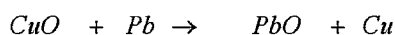
El tartrato de potasio y almidón reducen también el litargirio a plomo metálico:



Mediante las reacciones de reducción que se efectúen en la fundición, muchas de las impurezas metálicas se reducen a metal y pasan a impurificar el botón de plomo auro – argentífero al estado elemental como se demuestra.



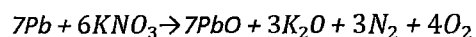
Pero el óxido de cobre en contacto con el plomo fluido se reduce a cobre elemental:

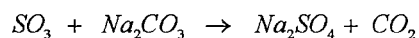
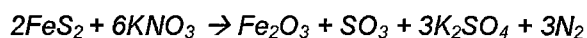
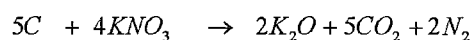


Reacciones de oxidación. Es indispensable la oxidación de las impurezas para que se forme la escoria con los reactivos de la fundición y no pasen al botón de plomo.

La oxidación puede verificarse en la fundición misma, añadiendo nitrato de potasio, o bien calcinando fuertemente el mineral.

En la oxidación mediante el nitrato de potasio se obtiene:



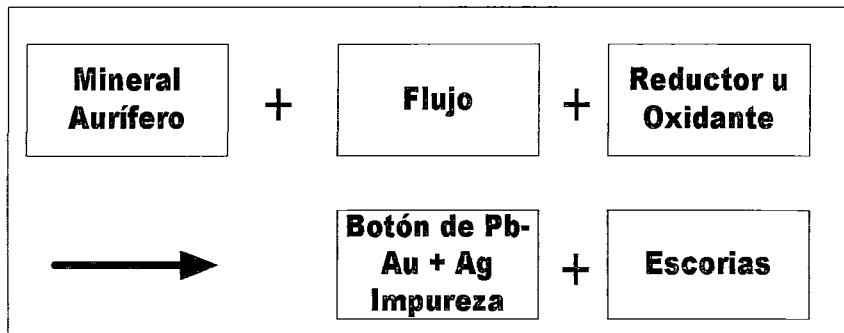


La oxidación mediante la calcinación, sobre la llama fuerte es el método más usado, tanto en los análisis de oro como en los de plata. Por efectos de esta fuerte calcinación, no solamente se oxidan las impurezas metálicas con un perfecto control de la reacción sino que al mismo tiempo, se eliminan todas las impurezas volátiles como el azufre, arsénico, antimonio, etc al estado de SO_2 ; As_2O_3 ; Sb_2O_3 , etc. Para eliminar el zinc no basta con la calcinación con el soplete, es necesario terminar la calcinación al interior de la mufla en que reina la temperatura alta, así se evitan las temperaturas que este elemento ofrece a los procesos de fundición y copelación.

(b) Razón fundamental del proceso de fundición

El proceso de fundición tiene por objeto concentrar oro y plata en un botón de plomo. Este último metal actúa como un colector de estos metales preciosos. Además, este proceso elimina impurezas que acompañan a estos metales en los minerales en forma de compuestos oxidados en la escoria. La escoria está formada también por boratos, silicatos y plumbitos de metales alcalinos, alcalinos térreos y otros.

Diagrama 1: Proceso de Fundición.



Fuente: "Manual de Análisis de Oro por Fundición, TECSUP"

(c) Escorificación

La escorificación viene a ser otro método de oxidación y eliminación de las impurezas metálicas, usado generalmente para la eliminación del cobre, metal que molesta en el proceso de copelación, a tal extremo que se hace a veces imposible copelar, deteniéndose el proceso, por cuya razón el trabajo efectuado hasta este punto es totalmente perdido.

Las escorificación se efectúa después de haber fundido el mineral obteniéndose un botón de plomo oro – argentífero muy impurificada por cobre.

Se coloca este botón sobre un escorificador, el cual tiene la forma semejante a un platillo, fabricado de arcilla que está suficientemente caliente dentro de una mufla. Sobre el escorificador se agrega bórax y en este instante se agrega el botón de plomo oro – argentífero, se mantiene un rato cerrada

la puerta de la mufla, abriéndola al poco rato para que inicie el proceso.

Este proceso se basa en la propiedad que tiene el bórax y el litargirio producido en la oxidación del plomo del botón, de combinarse con los óxidos metálicos y para formar escorias fusible.

La operación ha terminado cuando se observa un círculo brillante y la masa líquida se muestra tranquila. Este círculo es llamado "OJO DE BUEY"

Se retira entonces lentamente el escorificador, operando con mucho cuidado, usando unas pinzas especiales para levantar el escorificador en caliente y se vierte sobre un molde de hierro fundido conocido como "lingotera".

Al enfriarse se rompe la escoria y se retira el botón de plomo, que ha eliminado todo el cobre en la escoria. El color característico de la escoria obtenida en la escorificación es de un color verde, lo que nos señala la presencia de cobre en su composición.

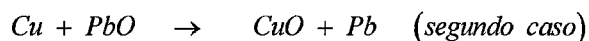
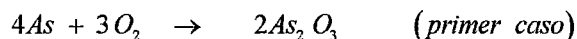
(d) Proceso de copelación

El proceso de copelación tiene por objeto la oxidación del plomo y de las otras impurezas metálicas existentes en el botón de plomo auro-argentífero, que mezcladas con mayor o menor cantidad de PbO , son absorbidas por la copela. El 98.5%

aproximadamente de PbO es absorbido por la copela, lo restante se volatiliza. Se obtiene como residuo un botoncito brillante, formado por metales no oxidables, como son el oro, la plata y el platino.

Las impurezas metálicas al botón de plomo auro-argentífero, pueden ser oxidadas directamente por el oxígeno del aire, para lo cual, al iniciarse la copelación, se deja ingresar un poco de aire a la mufla dejando entre abierta la puerta de ésta.

La reacción que ocurre es la siguiente:



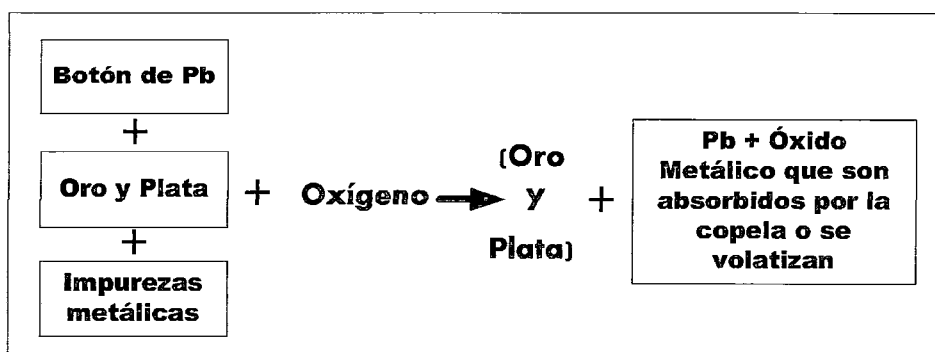
Impurezas como cobre, hierro, cadmio, etc son eliminados totalmente por absorción en las copelas, siempre que se encuentren en cantidades que no impidan la realización del proceso de copelación. En cambio otras, como el bismuto, arsénico, zinc, etc se eliminan en parte por absorción en la copela y en parte por volatilización al estado de óxido.

Aquí algunas características que presentan los botones auro-argentíferos:

- Botón duro: nos señala la presencia de algún metal duro o pesado como el cobre, el hierro, etc.

- Botón quebradizo: nos señala que el botón contiene zinc, arsénico, antimonio, azufre, PbO (por fusión a baja temperatura), o también nos indica que contiene más de 30% de oro y plata. El diagrama 2, nos ilustra el proceso:

Diagrama 2: Proceso de Copelación.



Fuente: "Manual de Análisis de Oro por Fundición, TECSUP"

(e) Factores que se toman en cuenta en el proceso de copelación

Pérdidas en el proceso de copelación. Esta se debe por pérdidas por volatilización, debido a temperaturas demasiado elevadas, al arrastre de partículas por sustancias volátiles y a las pérdidas por absorción y retención en las escorias formadas, debido a las impurezas metálicas que contiene el botón de plomo auro – argentífero.

Las primeras se reducen a un mínimo despreciable controlando la temperatura de copelación (de 800°C a 1200°C).

En cuanto a las segundas, se evitan eliminando las impurezas en la fundición o antes de ella, mediante la calcinación fuerte,

flujos especiales, escorificaciones, oxidación con nitrato de potasio.

El rango de tolerancia en la pérdida de plata durante la copelación es de 0% a 2%.

Influencia de las impurezas en la copelación. Las cantidades apreciables de arsénico, cadmio, fierro, manganeso, etc, en el botón de plomo auro-argentífero aumentan las pérdidas de oro y plata, por cuanto sus óxidos no son absorbidos totalmente y forman escorias sobre la copela. El antimonio se combina con el plomo dando el antimoniato de plomo que queda como escoria en la copela. El zinc metálico en la copelación decrepita arrastrando partículas de plomo. Es imposible copelar en presencia de este elemento. El cobre es oxidado a óxido cuproso, el cual después con contacto con el plomo fundido se reduce a cobre metálico, por esta razón, se hace difícil su eliminación.

Es común observar una coloración gris oscura casi negra en las copelas que se ha estado copelando un botón de plomo que ha tenido muchas cantidades de cobre como impurezas. El telurio y el selenio son difícilmente absorbidos en la copelación y por esta causa, el plomo a medida que avanza la copelación, aumenta cada vez más su contenido en estos elementos. Es necesario eliminarlos antes de la copelación.

(f) Determinación de oro y plata (disolución de la plata)

El ensayo de oro y plata se basa en la propiedad que tiene el plomo al estado de fusión para colectarlos.

La aleación Pb – Ag – Au puede obtenerse por la adición de plomo metálico (por escorificación) o por la reducción del litargirio (por fusión).

Mediante el proceso de copelación, el oro y la plata son separados del plomo que los colectó. Este último es oxidado y absorbido por la copela casi en su totalidad y una parte es volatilizada como se ha visto anteriormente, quedando un botón de oro y plata.

La plata es separada por adición de ácido nítrico diluido dejando el oro para su cuantificación gravimétrica. La plata se calcula por diferencia tomando en cuenta el peso de ambos metales y el peso de muestra empleada para su determinación.

2.2. TEORIA DE ANÁLISIS DE ORO EN MINERALES CONCENTRADOS POR VÍA HÚMEDA

2.2.1. Definición

El proceso de análisis de oro en minerales concentrados por vía húmeda a nivel de Laboratorio, sigue los mismos principios y fórmula que se aplican a nivel industrial como son la lixiviación por cianuración, o el proceso severo.

En la cianuración del oro, se establece que la velocidad de disolución del oro puede ser controlada por la concentración de oxígeno o de cianuro en la superficie del oro.

En el proceso severo, en el cual se adicionan sales oxidantes en medio ácido, tiene por finalidad producir color y agua regia "in situ", lixivante energético para recuperar elementos nobles de concentrados.

2.2.2. Características de los Análisis Vía Húmeda

El oro fue uno de los primeros metales usados por el hombre. El oro nativo fue fácilmente reconocido debido a su color amarillo característico cuando se encuentra en forma masiva y pura, y también porque era fácilmente trabajable utilizando técnicas de deformación muy simples. El oro nativo puede ser fácilmente recuperable por métodos sencillos de separación gravitacional basado en su alta densidad. Sin embargo, la recuperación de oro

libre, y oro asociado a otros minerales, ha sido desarrollada más recientemente.

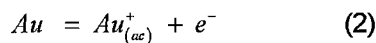
De acuerdo a Mellor (1923), la solubilidad del oro en soluciones acuosas de cianuro de potasio era ya conocido por los alquimistas del siglo XVIII. En 1846, Elsner estableció que el oro y la plata se disolvían en una solución de KCN solo en presencia de oxígeno, de acuerdo con la siguiente ecuación (conocida como la ecuación de Elsner).



Químicamente hablando, el oro no se oxida a temperatura ambiente, y tampoco a temperaturas cercanas al rojo vivo. Es insoluble en ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico, pero se disuelve en soluciones que contienen cloro o bromo libre, agua regia y en soluciones de tiocianato, tiourea y tiosulfato (Leblanc 1942). La reacción con cloro ha sido estudiada en más detalle, debido a su aplicación en la purificación del oro. Cianuros de potasio, sodio y calcio, disuelven el oro formando complejos de cianuro. Por ejemplo, el cianuro de potasio en solución disuelve el oro como aurocianuro de potasio, $\text{KAu}(\text{CN})_2$. Es esta habilidad de disolver oro en la cual el proceso de cianuración está basado. El oro también es recuperable en presencia de mercurio formando una amalgama.

Considerando la reacción del oro a temperatura ambiente, en una mezcla de aire, se podría sospechar que la oxidación del metal

ocurriera de la siguiente forma (Puddephatt, 1978; Finkelstein y Hancock, 1981):



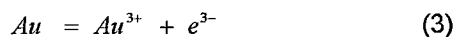
Donde el potencial dado por la ecuación de Nernst es,

$$E = E^0 + 2.303 \frac{RT}{nF} \log \left[\frac{a_{Au^+}}{a_{Au}} \right] \quad (2.a)$$

Asumiendo que la actividad del metal Au es uno y la actividad de la especie disuelta Au^+ es igual a su concentración molar Au^+ a 25°C, la ecuación anterior puede ser expresada como:

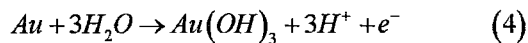
$$E = 1.67 + 0.0591 \log [Au^+] \quad (2.b)$$

Similarmemente, para la oxidación al estado áurico:

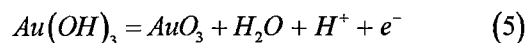


$$E = 1.498 + 0.0197 \log [Au^{3+}] \quad (3.a)$$

Además, durante la oxidación, el metal podría interactuar con el medio ambiente:

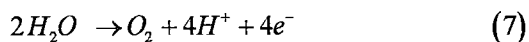


$$E = 1.457 - 0.0591pH \quad (4.a)$$



$$E = 2.630 - 0.0591pH \quad (5.a)$$

$$E = 0.0591pH - 0.0295 \log P_{H_2} \quad (6.a)$$

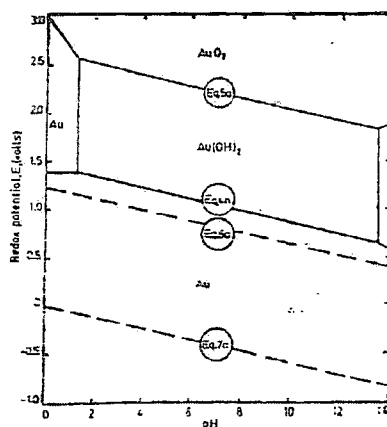


$$E = 1.228 - 0.0591 \text{pH} + 0.0147 \log P_{\text{O}_2} \quad (7.a)$$

Las reacciones (4) y (5) pueden ocurrir solamente si existe suficiente oxidante.

Para poder usar estas relaciones y determinar la estabilidad de las especies presentes en la reacción bajo condiciones particulares, se podría utilizar el método clásico de compensar reacción por reacción, o usar las ecuaciones en forma gráfica de acuerdo al diagrama de Pourbaix. En este diagrama, el potencial de equilibrio de cada reacción es graficado versus el pH para una concentración particular. Un diagrama de Pourbaix simplificado del oro se muestra en la Figura 4, indicando las condiciones bajo las cuales se espera que se formen las especies (Smoes y otros, 1972). En el diagrama de la Figura 4, las líneas discontinuas representan los límites de la estabilidad del agua. Las formas oxidadas del oro existen solo a potenciales mayores que la línea discontinua superior. Así, el agua sería oxidada a oxígeno, y reduciría cada una de las formas oxidadas de oro a oro metálico. Se puede concluir que en ausencia de elementos ligantes el oro no será oxidado por el oxígeno disuelto en presencia ya sea de ácidos fuertes y álcalis fuertes.

Figura 4: Diagrama de Pourbaix para el sistema $Au-H_2O$ a $25^\circ C$. La concentración de todas las especies de oro son $10^{-4} M$



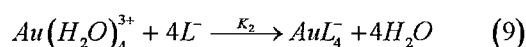
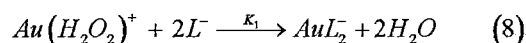
Fuente: "Aspectos Fundamentales del Proceso de Cianuración de Oro, pag. 40,
David J. Spottimood"

El oro se disolvería en una solución acuosa que contenga el ligante apropiado siempre y cuando exista un agente oxidante. De aquí, podemos decir que el oro no se disolverá sustancialmente en presencia de ácido clorhídrico o ácido nítrico, pero se disolverá fácilmente en agua regia para dar ácido tetra clorhídrico áurico, $HAuCl_4$. Similarmente, el oro se disolverá en ácido clorhídrico en presencia de hipoclorito o iones férricos como oxidantes. De esta forma, la presencia de aire, oxígeno, peróxido de hidrógeno u otro oxidante es necesario para la disolución de oro en soluciones cianuradas.

Así ha quedado bien determinado que los iones Au^+ y Au^{3+} no existen en forma libre en solución, como lo indican las ecuaciones

(2) y (3), pero que siempre formarán complejos con los ligantes existentes en solución.

En agua pura, los iones Au^+ y Au^{3+} formarán los respectivos iones acuosos, los cuales poseen una muy baja estabilidad debido a los elevados potenciales de oxidación en ausencia de ligantes complexantes. Así, las reacciones de las ecuaciones (2) y (3) son escritas en forma más correcta en términos de los iones $Au(H_2O)_2^+$ y $Au(H_2O)_4^{3+}$. Los potenciales son menores en presencia de ligantes más fuertes que el agua. De aquí, considerando el equilibrio en la presencia de un ligante L (por ejemplo cloro).



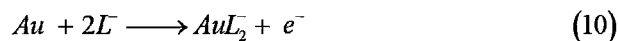
Así, modificando la ecuación (2.b) y sustituyendo por $Au(H_2O)_2^+$ en presencia de cloro:

$$E = E^0 + 0.0591 \log Au(H_2O)_2^+$$

$$E = E^0 - 0.0591 \log K_1 + 0.0591 \log \left[\frac{AuL_2^-}{L^2} \right] \quad (8.a)$$

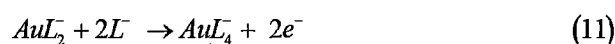
$$E = E^0(I) + 0.0591 \log \left[\frac{AuL_2^-}{L^2} \right] \quad (8.b)$$

Donde $E^0(I)$ es el electro potencial estándar de la pareja.



De esta forma, un buen agente complexante para el ión Au^+ tendrá un alto valor de K_1 y un bajo valor de $E^0(I)$. La tabla 33 (Ubicada en el anexo 7.3), muestra algunos valores típicos de potencial estándar para diferentes complexantes (Puddephat, 1978). El orden en que disminuye $E^0(I)$ es el orden de aumento de la estabilidad del complejo AuL_2^- . Es entonces la facilidad de oxidación del oro en presencia de cianuro lo que permite que el proceso de cianuración sea factible.

Por supuesto, es también posible, oxidar oro a Au^{3+} en presencia de agentes complexantes o ligantes adecuados (Tabla 33 en Anexo 7.3). Esta oxidación dependerá en las constantes de estabilidad para la formación del complejo: AuL_4^- . Un caso más complejos es la oxidación de Au^+ a Au^{3+} en presencia de agentes ligantes.



Aquí puede verse que la oxidación de oro a un complejo AuL_2^- ó AuL_4^- , en presencia de un ligante dado, dependerá de la fuerza del agentes oxidante y en los valores relativos de $E^0(I)$ y $E^0(III)$.

2.2.3. Influencia de los reactivos

(a) Ácido clorhídrico (HCl)

Es una sustancia obtenida a partir de gas de cloruro de hidrógeno en solución acuosa.

El ácido clorhídrico es un ácido fuerte y muy corrosivo puede ser un líquido incoloro o ligeramente amarillo fumante, picante, cuyo punto de fusión es -115°C y punto de ebullición es -85°C . La concentración en que se utiliza es de 37 % cuya densidad es de 1.19 y su molaridad es de 12.

Se forma un ácido de punto de ebullición constante que contiene 20% de ácido clorhídrico.

Esto significa que a calentar un ácido concentrado, existirá una pérdida de cloruro de hidrógeno (HCl) disminuyendo así su concentración.

El ácido clorhídrico concentrado se emplea como disolvente por la solubilidad de las sales (la mayoría de los cloratos son solubles).

La tabla 34 del **Anexo 7.4** muestra las propiedades del ácido clorhídrico.

(b) Ácido nítrico (HNO_3)

Es un líquido transparente, incoloro o amarillento; es un sofocante caustico y corrosivo. Puede atacar a casi todos los metales. El color amarillento se debe al desprendimiento del

dióxido de nitrógeno al exponerlo a la luz. Es miscible con agua, tiene un peso específico de 1.504; punto de ebullición 86 °C. Con agua forma un azeótropo (producto de punto de ebullición constante) de 68 % de HNO_3 que tiene un producto de ebullición de 120.5 y cuya densidad es de 141 g/ml. Es un ácido fuerte muy tóxico por inhalación, corrosivo para la piel y membranas mucosas, fuerte agente oxidante. Tolerancia, 2 ppm en el aire. La tabla N° 35 del **Anexo 7.5** muestra las propiedades del ácido nítrico.

(c) Ácido perclórico (HClO_4)

Es un líquido incoloro, higroscópico. Es inestable en forma concentrada, de punto de ebullición es 1,764. Es soluble en el agua reaccionando con desprendimiento de calor. El ácido utilizado es de una concentración de 60 - 70% con una densidad de 1,5 - 1.6 g/ ml y punto de ebullición 203° C.

Es muy tóxico, fuerte agente oxidante, la solución acuosa es muy cáustica y puede desplazar en contacto con sustancias fácilmente oxidables (sulfuros) explota en contacto con materias orgánicas por calor o por agitación. Fuerte irritante después del ataque con perclórico, los elementos quedan en estado de oxidación.

(d) Agua Regia (ácido nitro-clorhídrico : ácido nitro-muriático)

Se obtiene a partir de la mezcla del ácido nítrico y ácido clorhídrico, generalmente de una parte de nítrico y tres o cuatro partes de clorhídrico. Es un líquido-volátil, amarillento- que al transcurso del tiempo se torna rojizo, desprendiendo gases sofocantes es muy corrosivo. Disuelve el oro y el platino

2.3. TEORIA PARA ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

2.3.1. Metodología

Alrededor de 1860, Kirchhoff describió los principios básicos de los espectros de absorción atómica. No obstante solo en 1955 las bases teóricas de sus aplicaciones analíticas fueron demostradas por Walsh y por Alkemade y Milatz. La simpleza de esta técnica la hace una atractiva herramienta para el análisis de muchos elementos,

En la actualidad laboratorios químicos y clínicos usan este método para la determinación de la concentración de elementos metálicos. Con un equipo de Absorción Atómica se puede determinar aproximadamente 67 elementos que pueden estar presentes en los diferentes productos, tales como: Alimentos; colorantes, aguas, suelos, concentrados de minerales, productos químicos, etc.

La ventaja principal de la Absorción Atómica, desde el punto de vista analítico, es que no existen interferencias espectrales y muy pocas interferencias químicas en los análisis; solamente en

determinados casos será necesario efectuar separaciones químicas muy simples, no existiendo la necesidad de interpretar los resultados. Los análisis de iones metálicos, en que se usan las propiedades de absorción de sus soluciones, se están usando bastante, sin embargo en los últimos años se ha desarrollado un método más selectivo para el análisis de iones metálicos. En espectroscopia de Absorción Atómica, la absorción de la radiación se encuentra en la flama por átomos metálicos neutros.

La muestra normalmente en forma de solución es aspirada hacia un quemador, los elementos y/o el elemento se transforma en vapor atómico mediante la extracción de un aerosol de la solución de la muestra y su depósito en una flama abierta. Una fracción o la mayoría de átomos liberados se excitan, mediante la exposición a una fuente de radiación adecuada. La radiación absorbida por los átomos no excitados se relaciona con la concentración de la muestra. En el caso ideal, el solvente se evapora, las partículas de solución se vaporizan y por disociación se producen átomos neutros. Así la flama representa la muestra en la A.A. (Absorción Atómica)

Las fuentes comúnmente usadas que emiten espectros elementales o "líneas" más que espectros continuos son las lámparas catódicas huecas o las lámparas de vapores metálicos. Las líneas emitidas dependen de los materiales de los que están hechos las lámparas o tubos. En este sentido la A.A. podría verse como la inversa de la

espectroscopia de emisión donde la radiación emitida por los átomos térmicamente excitados se relaciona con la concentración. Debe ponerse énfasis en que usualmente la fracción de los átomos excitados por el calor (por vía de una llama o un arco eléctrico) es relativamente pequeña para la mayoría de los elementos. También la absorción atómica de cualquier elemento esta generalmente a nivel de su línea de resonancia, o sea un intervalo estrecho de longitudes de onda, usualmente en la región UV o visible del espectro que corresponda a la transición electrónica entre el menor estado excitado y el estado basal.

La longitud de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada momento.

En la emisión atómica la muestra es sometida a una alta energía y temperatura, con el objeto de producir átomos al estado excitado capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico, una llama o más recientemente un plasma.

El espectro de emisión de un elemento expuesto a una de estas fuentes de energía, consiste de una colección de bandas correspondientes a las longitudes de ondas permitidas, comúnmente llamadas líneas de emisión a causa de la naturaleza discreta de las longitudes emitidas.

Si la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental el átomo puede absorber

energía y pasa al estado excitado, en un proceso conocido como absorción atómica.

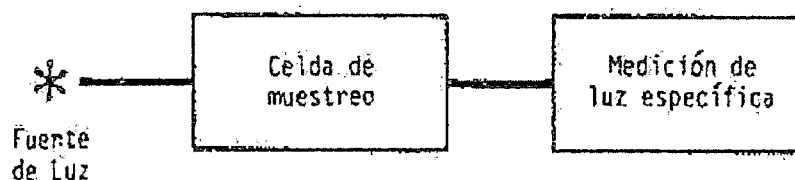
Las características de interés en las medidas por absorción atómica: es el monto de luz a la longitud de onda resonante, que es absorbida, cuando la luz pasa a través de una nube atómica.

La nube de átomos requerida para las mediciones en absorción atómica es producida por la adición de suficiente energía térmica a la muestra para disociar los compuestos químicos en átomos libres.

La aspiración de una solución de la muestra dentro de una llama alineada con el rayo de luz sirve para este propósito. Bajo condiciones apropiadas de llama muchos de los átomos permanecerán en la forma de su estado fundamental y ser capaces de absorber la luz. La facilidad y la velocidad a la cual se pueden hacer determinaciones exactas y precisas utilizando técnicas, han hecho que la absorción atómica sea uno de los métodos más populares para la determinación de metales.

2.3.2. Componentes básicos del espectrofotómetro de absorción atómica

Diagrama 3: Componentes básicos del espectrofotómetro de absorción atómica



Fuente: "Conceptos de Instrumentación y técnicas en Espectrofotometría por Absorción Atómica, pag.14, Richard D. Beaty"

Para comprender cómo trabaja un espectrofotómetro de absorción atómica, construyamos uno, pieza por pieza. Cualquier espectrofotómetro de absorción debe tener componentes que cumplan los tres requerimientos básicos mostrados en la diagrama

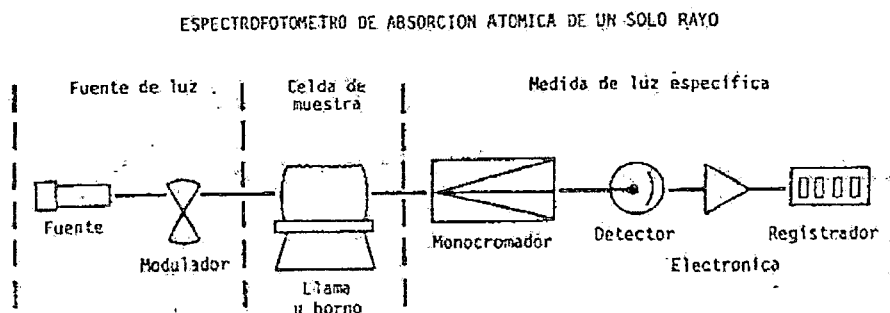
3. Estos requerimientos son:

- a) Una fuente de luz.
- b) Una celda de muestreo.
- c) Un medio de medir luz específica.

En absorción atómica, estas áreas funcionales son implementadas por los componentes ilustrados en la Figura 5. Se requiere de una fuente de luz la cual emita las líneas atómicas características del elemento a ser analizado. Una de las fuentes más ampliamente empleadas es la lámpara de cátodo hueco. Estas lámparas son diseñadas para emitir el espectro atómico de un elemento, de esta

forma se utilizan lámparas específicas que dependen del elemento que se va a determinar.

Figura 5: Espectrofotómetro de absorción atómica de un solo rayo



Fuente: "Conceptos de Instrumentación y técnicas en Espectrofotometría por Absorción Atómica, pag.15, Richard D. Beaty"

También se requiere que la radiación de la fuente, sea modulada (encendido y apagado rápido de la misma) para suministrar una forma de amplificar selectivamente la luz de la lámpara de la fuente e ignorar la emisión de la llama de la celda. Se puede esto lograr con un modulador rotatorio localizado entre la fuente y la llama o pulsando el voltaje de la fuente.

Consideraciones especiales se requieren también en lo que se refiere a la celda de muestreo de absorción atómica. Se hace necesario generar un vapor atómico en el paso del rayo de luz de la fuente. Esto se obtiene generalmente al introducir la muestra en un quemador o alternativamente, en un horno eléctricamente calentado que se encuentre alineado en el paso óptico del espectrofotómetro. Se necesita de algunos componentes para la medición de la luz específica. Un monocromador que disperse las distintas longitudes

de onda de la luz que es emitida de la fuente y separa la línea particular que se emplea para este fin. La selección de una fuente específica y de una longitud de onda particular de aquella fuente, es lo que permite que se puede efectuar la determinación del elemento seleccionado en presencia de otros. La longitud de onda aislada por el monocromador incide directamente sobre el detector, que sirve como el "ojo" del instrumento. Es un tubo fotomultiplicador, que produce una corriente eléctrica que depende de la intensidad de la luz incidente. La corriente eléctrica del fotomultiplicador es luego amplificada y procesada por la electrónica del instrumento, que produce una señal la cual es medida de la atenuación de la luz que ocurre en la celda de muestreo. Esta señal puede ser posteriormente procesada para producir una lectura en el instrumento dada directamente en unidades de concentración.

2.3.3. Acondicionamiento del equipo

- a. Calibración.** Se controla cada vez que se realizan los ensayos.

- b. Identificación de las líneas analíticas:** se efectúa mediante patrones cuya longitudes de onda y ubicación en el espectrograma son conocidos.

- c. Determinación de las intensidades:** La intensidad se determina por comparación visual (del equipo) usando un lente

o (el monocromador) con un microfotómetro en cuyo uso se determina la absorbancia expresada en concentración.

d. Cálculo de la concentración.- Para ello se emplea la intensidad de cada lámpara, comparando luego con un patrón conocido. La concentración se obtiene de las Curvas analíticas que se relacionan con la intensidad.

e. Preparación de las curvas analíticas.- Se tiene patrones de calibración tan similares a la muestra como sea posible y en los cuales la concentración de los elementos es perfectamente conocida una serie de patrones que cubra el rango del ensayo se somete exactamente como la muestra hasta obtener las intensidades.

Se grafica la curva de la intensidad versus la concentración, ésta última a escala logarítmica. La curva así obtenida debe ser una línea recta.

3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS

3.1. Equipos

➤ **Horno de fundición.**

Marca: Alerta Técnica

Rango de Temperatura: 100°C a 1300°C

Tipo: Petrolero

Precisión: 0.1°C

➤ **Horno de copelación.**

Marca: Alerta Técnica

Rango de Temperatura: 100°C a 1100°

Tipo: Eléctrico a resistencias.

Precisión: 0.1°C

➤ **Planchas de ataque.**

Marca: Thermo

Temperatura Máxima: 300°C

Precisión: 0.1°C

➤ **Balanzas analíticas.**

Marca: METTLER TOLEDO

Rango de Trabajo: (0 – 500) g

Precisión: 0.0001g

➤ **Ultramicrobalanza analítica.**

Marca: METTLER TOLEDO

Rango de Trabajo: (0 – 200) mg

Precisión: 0.001mg

➤ **Equipo de absorción atómica.**

Marca: VARIAN

Modelo: SPECTRAA 240 FS

Software: SPECTRAA

➤ **Medidor de pH digital**

MARCA: METTLER TOLEDO

Rango: 0 – 14

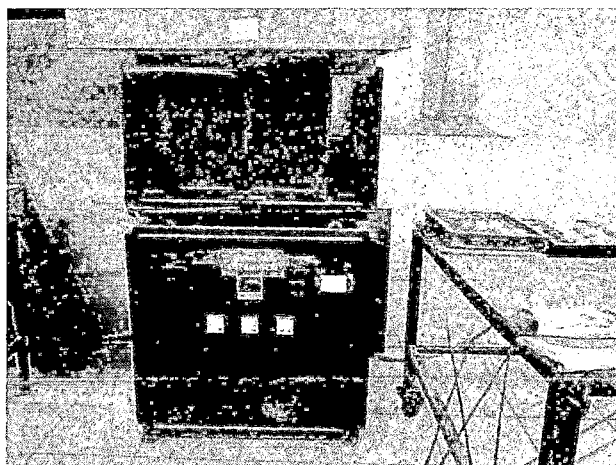
Precisión: 0.01

Fotografía 1 : Horno de Fundición.



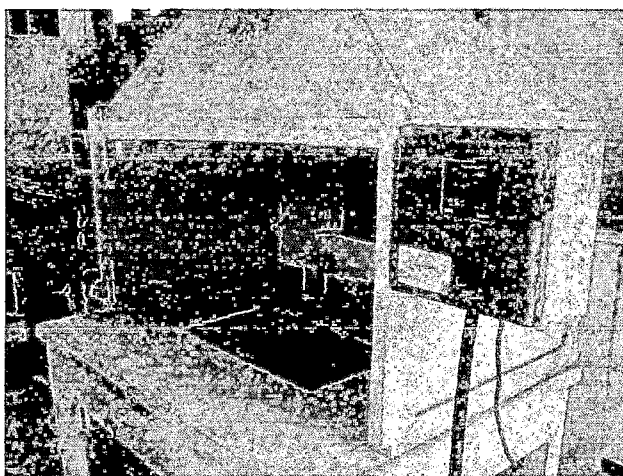
Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Fotografía 2: Horno de Copelación.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Fotografía 3: Plancha de Ataque.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Fotografía 4: Microbalanza.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

3.2. Materiales

- **Pipetas graduadas de 1.5 y 10 ml.**

- 10ml**

- Marca: LMS

- Precisión: Ex + 5s 20°C.

- 1.5ml**

- Marca: WITEG

- Precisión: Ex + 5s 20°C

- **Vasos de precipitado de 50, 100 y 600 ml.**

- Marca: PIREX

- Precisión: ±5%

- **Fiolas de 50, 100 y 200 ml.**

- Marca: PYREX

- Precisión:

50ml: ± 0.05 ml

100ml: ± 0.08 ml

200ml: ± 0.10 ml

➤ **Tubos de ensayo de 10, 20, 30 y 50 ml.**

Marca: S/M

Tipo: Descartables

Precisión: No aplica para tubos descartables

➤ **Matraces 200ml.**

Marca: PIREX

Precisión: $\pm 5\%$

➤ **Embudos de vidrio.**

Marca: PYREX

Precisión: No aplica

➤ **Picetas.**

Marca: AZLON

Precisión: No aplica para este material.

➤ **Baguetas.**

➤ **Luna de reloj.**

➤ **Crisoles de porcelana.**

Marca: FUNCRII

Medida: 30ml

➤ **Crisoles refractarios.**

Marca: FUNCRII

Medida: 40 g

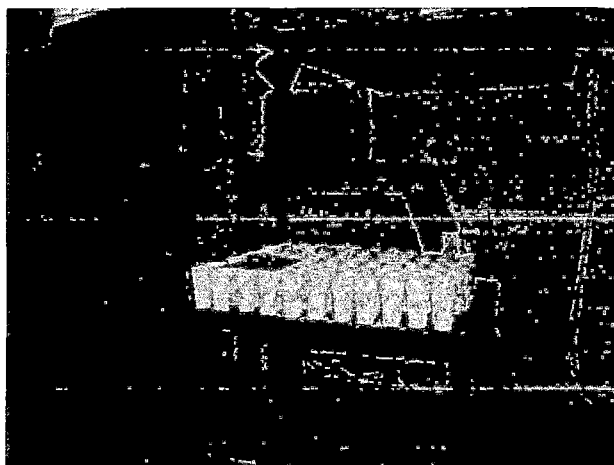
➤ **Copelas.**

Marca: FUNCRII

Medida: N° 9

- **Mechero Bunsen.**
- **Gradillas.**
- **Pinza para fundición.**
- **Pinza para copelación.**

Fotografía 5: Crisoles Refractarios.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

3.2. Reactivos

➤ **Litargirio.**

Proveedor: ANACHEMIA

Concentración PbO: 99.7%

Grado: Industrial

➤ **Carbonato de sodio anhidro.**

Proveedor: ELMER JO ANAYA

Concentración: 98 – 99.5%

Grado: Técnico

➤ **Bórax decahidratado.**

Proveedor: CHEMICAL CORPORATION

Pureza: 99.5%

Grado: Comercial

➤ **Sílice.**

Proveedor: SILICE INDL. COMR. S.A

Grado: Industrial

➤ **Nitrato de potasio.**

Proveedor: COMPAÑÍA QUÍMICA INDUSTRIAL SR LTDA

Grado: Técnico

Pureza: 99%

➤ **Harina sin Preparar**

➤ **Ácido nítrico.**

Proveedor: ELMER JO ANAYA

Grado: P.A.

Pureza:68.5%

➤ **Ácido clorhídrico.**

Proveedor: ELMER JO ANAYA

Pureza: 37.5%

Grado: P.A.

➤ **Ácido perclórico.**

Proveedor: MERCK

Pureza: 70%

Grado: P.A.

➤ **Clorato de potasio.**

Proveedor: MERCK

Pureza: 99.7%

Grado: P.A

➤ **Cianuro de sodio.**

Proveedor: MERCK

Pureza: 99%

Grado: P.A .

➤ **Cloruro de sodio.**

Proveedor: Merck

Grado: P.A.

➤ **Hidróxido de sodio.**

Proveedor: MERCK

Grado: P.A

Pureza: 99.8%

➤ **Agua desionizada.**

Desionizada en el Laboratorio con Desionizador de 4 Resinas, Marca: HYDROMATIC.

➤ **Nitrato de plata en cristales.**

Proveedor: MERCK

Densidad: 4.35g/ml (20 °C)

Grado: P.A.

➤ **Plata electrolítica en granallas.**

Pureza: 99.9%

➤ **Plomo laminado.**

Pureza: 99.9%

➤ **Soda cáustica.**

Proveedor: ELMER JO ANAYA

Pureza: 50%

4. PRUEBA EXPERIMENTAL

4.1 MÉTODOS DE ENSAYO

a) Método N° 01: Digestión del oro obtenido por vía seca

En este método se digirió el oro proveniente del análisis por vía seca en un medio de 30% de ácido clorhídrico, aquí solo se modificarán los volúmenes finales de tal manera que el equipo de absorción atómica pueda dar una lectura máxima de 10 ppm en oro.

La modificación de los volúmenes para obtener lecturas de 10ppm son:

Para leyes bajas serán de 5ml.

Para leyes intermedias están entre 10 a 20ml.

Para leyes altas están entre 100 a 200ml.

b) Método N° 02: Método Combinado

En este método se realizará el análisis por vía seca, hasta la obtención del doré, se modificarán los pesos de manera que al digester ingresa el doré en un medio de 30% de ácido clorhídrico, el equipo de absorción atómica puede dar una lectura máxima de 10 ppm.

La modificación de los volúmenes para obtener lecturas de 10ppm son:

Para leyes bajas serán de 5ml.

Para leyes intermedias están entre 10 ml.

Para leyes altas están entre 100 ml.

c) Método N° 03: Cianuración.

Para este método se prepara una solución cianurada que contiene 1% de NaCN y 0.5% con un pH de 11.3.

Se agregará esta solución a las muestras y se agitará por una hora, se dejará decantando por unas dos horas y se llevarán a lectura por absorción atómica.

En este método se toma inicialmente el mismo método que en minerales oxidados.

La diferencia entre el método para minerales oxidados y el método por absorción atómica radica en el tiempo de lixiviación, el cual es de 2 horas para el caso de minerales oxidados y de 8 horas para el caso de los sulfurados que se analizarán por absorción atómica.

La Tabla N° 4 del **Apéndice A.4**, nos muestra las leyes para muestras oxidadas, la variación entre los métodos vía seca y vía húmeda la cual está entre 70% a 90%.

Con este mismo método elegimos tres muestras de concentrados polimetálicos y fueron lixiviados a las mismas condiciones pero en diferentes intervalos de tiempo, obteniéndose los resultados que muestra la Tabla N° 5 ubicada en el **Apéndice B.1**.

Se observa que los resultados son uniformes y que no dependen del tiempo para estas condiciones.

d) Método N° 04: Lixiviación con agua regia.

En este método se ataca directamente al mineral con agua regia en una reacción de oxidación – reducción, solo se emplea en el ataque ácido nítrico y ácido clorhídrico.

Se realizó pruebas con una sola muestra, con dos pesos diferentes. La Tabla N° 6 del **Apéndice B.2** muestra los resultados obtenidos.

e) Método N° 05: Lixiviación con agua regia, oxidación con clorato de potasio

En este método se ataca directamente al mineral con agua regia en una reacción de oxidación – reducción, empleando además de ácido nítrico y ácido clorhídrico, clorato de potasio en la oxidación.

Se realizaron pruebas con la misma muestra CU02, el análisis se realizó por triplicado y la Tabla N° 7 del **Apéndice B.3** muestra los resultados obtenidos.

Fotografía 6: Oxidación de Mineral con clorato de potasio.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

f) Método N° 06: Lixiviación con agua regia, oxidación con ácido perclórico

En este método se ataca directamente al mineral con agua regia en una reacción de oxidación – reducción, empleando además de ácido nítrico y ácido clorhídrico, ácido perclórico en la oxidación.

Se realizaron pruebas con la misma muestra de CU02, el análisis se realizó por triplicado y la Tabla N° 8 del **Apéndice B.4** muestra los resultados obtenidos.

De todos los métodos mencionados, solo ejecutaremos cuatro, debido a la disponibilidad de muestras y por los resultados que muestran mayor recuperación respecto al análisis por vía seca.

4.2. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN TÉCNICAS

Una vez terminadas las pruebas y seleccionadas las técnicas se procede con el desarrollo de cada una de ellas.

4.2.1. Análisis de Oro por vía seca

Este es el método con el que se van a realizar las comparaciones de los otros métodos.

La técnica vía seca consta de las siguientes etapas:

(a) Pesado

El peso de este tipo de concentrados de sulfuros polimetálicos empleado en el Laboratorio es de 15 gramos.

Se pesan las muestras en bolsas de polietileno codificadas y se dosifican con nitrato de potasio (10 gramos a 20 gramos)

Fotografía 7: Pesado de muestra.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Después de pesadas las muestras, se agrega el fundente o flux y se procede a homogenizar durante un minuto aproximadamente, luego colocamos las muestras homogenizadas en sus respectivos crisoles y de esta manera finaliza esta etapa

Fotografía 8: Carga lista para fundición.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

(b) Fundición

Con las muestras colocadas en sus respectivos crisoles se procede a cargarlos en el horno de fundición.

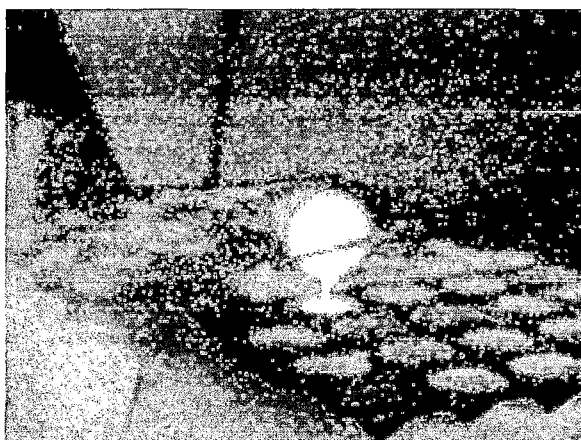
En una primera etapa la temperatura debe mantenerse a 850°C durante 20 minutos.

En una segunda etapa se eleva la temperatura hasta 950°C y ésta debe mantenerse durante 20 minutos.

En una tercera etapa se eleva la temperatura hasta 1050°C y ésta debe mantenerse durante 20 minutos.

Finalizadas las tres etapas, se procede a descargar el contenido de los crisoles en lingoteras, teniendo mucho cuidado de que todo el contenido caiga en la lingotera y no rebalse.

Fotografía 9: Vaciado del producto de fundición en lingoteras.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Cuando el contenido de las lingoteras se enfría, el plomo se ha depositado en el fondo de la lingotera y la escoria en la parte superior por diferencia de densidades. Luego se procede a golpear con un martillo para separar el plomo de la escoria. Finalmente, con la ayuda de un yunque y un martillo, se da forma de cubo a los r egulos de plomo y así finaliza esta etapa.

(c) Copelación

Se procede ahora a ordenar y codificar los r egulos de plomo, se carga en el horno de copelación las copelas, las cuales deberán calcinarse durante 15 minutos aproximadamente, estas copelas

deben estar codificadas. El siguiente paso es cargar los régulos de plomo en cada copela, esto debe realizarse a un temperatura de 960°C y el proceso dura aproximadamente 50 minutos.

Fotografía 10: Régulos de plomo listos para copelación.

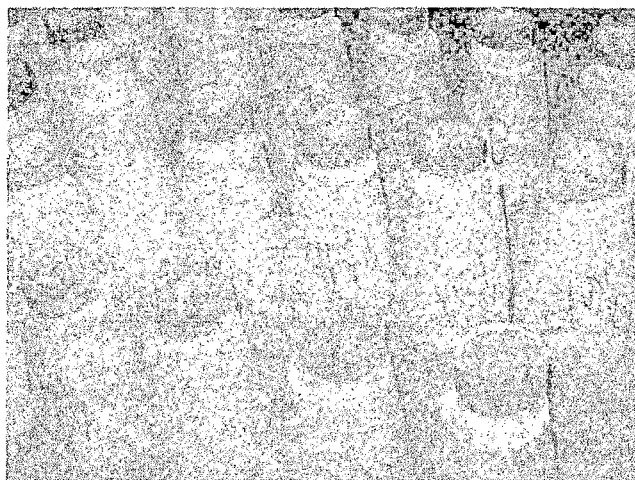


Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

La copelación finalizada cuando todo el plomo ha sido absorbido en la copela y solo quedé el botón de oro y plata (Doré).

Se retiran las copelas del horno con ayuda de una pinza y se deja enfriar, finalizando así esta etapa.

Fotografía 11: Final de proceso de copelación.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

(d) Partición

En esta etapa, recolectamos los doré de las copelas y colocamos en crisoles de porcelana codificadas.

Se agregan 5 ml de ácido nítrico al 15% y se lleva a plancha de ataque a temperatura de 90°C por espacio de 1 hora, luego se desecha la solución cuidadosamente, de manera que la pepita de oro no caiga.

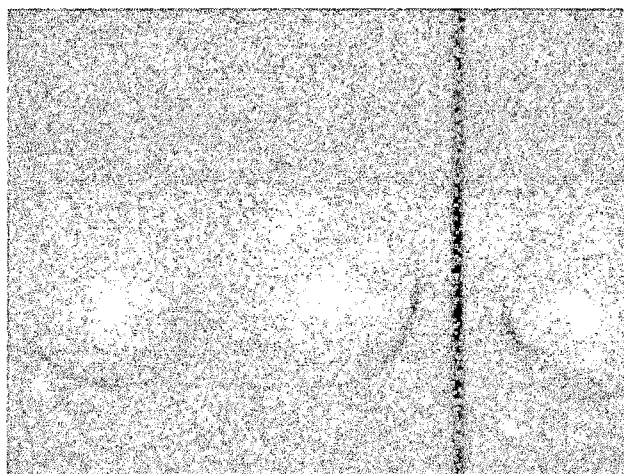
Se enjuaga dos veces con agua desionizada tibia, y se agrega ahora ácido nítrico al 50% y se eleva la temperatura de la plancha a 180°C por espacio de una hora.

Luego se enjuaga con agua desionizada dos veces y se agregan 5 ml de hidróxido de amonio al 15% por espacio de 10 minutos,

para luego desechar la solución y enjuagar 2 veces más con agua desionizada.

Ahora se deja secando en la plancha dos crisoles con las pepitas de oro para luego, con ayuda del mechero Bunsen, calcinar las pepitas de oro hasta que tengan el brillo dorado característico del metal, finalizando así esta etapa.

Fotografía 12: Botones de oro.



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

(e) Pesado del oro

Luego de haber calcinado las pepitas de oro, con ayuda de la ultramicrobalanza, registramos los pesos de oro obtenidos.

Fotografía 13: Pesado de botones de oro.

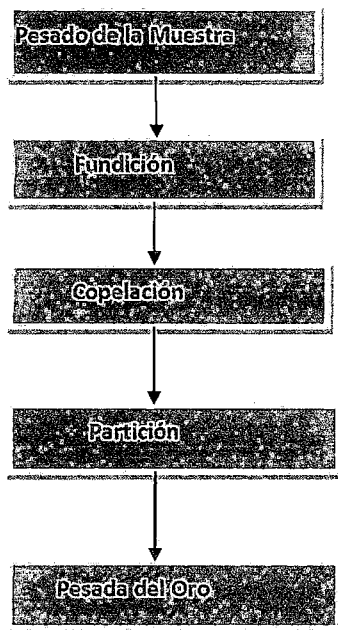


Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

Luego de registrar los pesos de oro obtenidos se guardan cuidadosamente las pepitas de oro.

La tabla N° 9 del **Apéndice C.1**, muestra los resultados obtenidos por aplicación del Método A.

Diagrama 4: Diagrama de bloques del método Vía Seca.



Fuente: "Elaboración del tesista"

4.2.2. Digestión del oro obtenido por vía seca

Este es el método, a las pepitas de oro obtenidas por vía seca se someterán a las siguientes etapas:

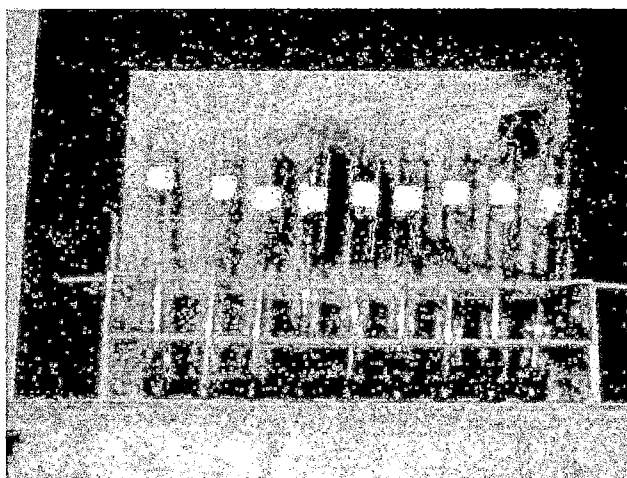
(a) Digestión

Se colocan en tubos y en fiolas las pepitas de oro para ser sometidas a un ataque con agua regia, en un medio de 30% de ácido clorhídrico.

Debido a las leyes altas en oro de algunas de las muestras de minerales concentrados, a los volúmenes finales va a variar dependiendo de la concentración de oro.

Para un volumen final de 10 ml, se agrega 1 ml de ácido nítrico y 3 ml de ácido clorhídrico, se lleva a la plancha de ataque a una temperatura de 250°C, la digestión finaliza cuando la solución inicialmente de color amarillenta cambia a transparente. Se retira de la plancha y se deja enfriar, para luego enrasar a 10 ml, se agita el contenido del tubo para homogenizar la solución y así finaliza esta etapa.

Fotografía 14: Digestión de las pepitas de oro



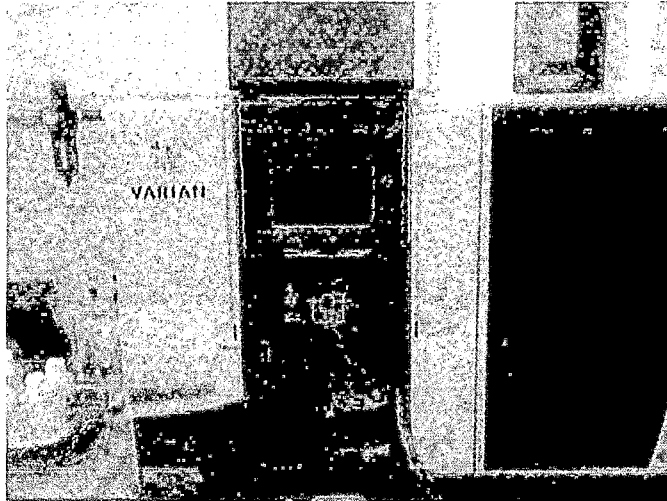
Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

(b) Lectura por Absorción Atómica

Los tubos con soluciones de oro, son llevados al área instrumental para ser analizados por absorción atómica, se calibran las curvas de lectura con ayuda de los estándares y se procede a la lectura de las muestras. Las Tablas 10 y 11 del

Apéndice C.2y C.3 muestran las curvas de lectura y los resultados de las lecturas de las muestras respectivamente.

Fotografía 15: Equipo de Absorción Atómica



Fuente: "Laboratorio MINLAB S.R.L."

4.2.3. Análisis de oro por Método vía seca con finalización por absorción atómica (Método Combinado)

Este método tiene la misma secuencia que el método vía seca, la diferencia radica en que se cambian algunos parámetros de las etapas.

El peso de muestra empleado es de 10 gramos y no de 15 gramos.

Se ataca directamente al doré con agua regia, ya no al oro.

Los volúmenes finales varían de acuerdo a la concentración de oro, para obtener lecturas máximas de 10ppm, además se emplea un blanco de proceso (BK).

La modificación de los volúmenes para obtener lecturas de 10ppm son:

Para leyes bajas serán de 5ml.

Para leyes intermedias están entre 10 ml.

Para leyes altas están entre 100 ml.

Finalmente se envía a lectura por absorción atómica y la curva y los resultados obtenidos son ilustrados en la Tabla N° 12 y N°13 del **Apéndice C.4 y C.5** respectivamente.

4.2.4. Análisis de oro por lixiviación en solución cianurada

(a) Pesado

Se pesan 2 gramos de mineral concentrado en tubos de 30 ml de capacidad.

Se pesa 1 gr de cianuro de sodio y 0.5 g de hidróxido de sodio, ambos por separado.

(b) Cianuración

El cianuro de sodio, junto con el hidróxido de sodio son disueltos con agua desionizada en fiola de 1 litro de capacidad, se diluye la solución hasta 1 litro. La composición de la solución es (1% de NaCN; 0.5% de NaOH; pH = 11.3).

Luego esta solución será agregada a cada tubo con mineral concentrado, se agregan 20 ml de solución cianurada.

(c) Agitación

Los tubos con solución cianurada son colocados en gradillas para ser sometidos a agitación por un tiempo de 8 horas a temperatura ambiente. Luego la solución es centrifugada para separar la solución de oro de mineral.

(d) Lectura por Absorción Atómica

Los tubos con soluciones de oro, son llevados al área instrumental para ser analizados por AAS.

La Tabla N° 14 y N°15 del **Apéndice C.6 y C.7** muestra las curvas y lecturas de oro obtenidas.

4.2.5. Lixiviación con agua regia, utilizando ácido perclórico como oxidante

Consta de las siguientes etapas:

(a) Pesado

Se pesan 0.5 gramos de mineral concentrado en vasos de precipitado de 600 ml de capacidad.

(b) Oxidación

Se agregan 5 ml de ácido nítrico concentrado a cada vaso de precipitado y se lleva a plancha de ataque a temperatura de 250°C durante un tiempo aproximado de 5 minutos (hasta desaparición de vapores nitrosos).

Ahora adicionamos 3 ml de ácido perclórico y se deja a la misma temperatura durante 5 minutos, luego se retira de la plancha y se deja enfriar.

(c) Reducción

Se adiciona a la solución 5 ml de ácido clorhídrico y se lleva a la plancha a temperatura de 250°C hasta que se observe reducción de volumen, la solución debe tomar un aspecto pastoso, casi a sequedad.

Se retiran de la plancha para adicionar ácido clorhídrico en un medio de 30% de HCl, en este caso, para un volumen final de 100 ml, agregamos 30 ml de ácido clorhídrico, se lleva a temperatura de 250°C hasta clarificación, en un tiempo máximo

de 5 minutos, luego retirar de la plancha, enfriar, trasvasar a fioles de 100 ml y enrasar para finalmente agitar la solución.

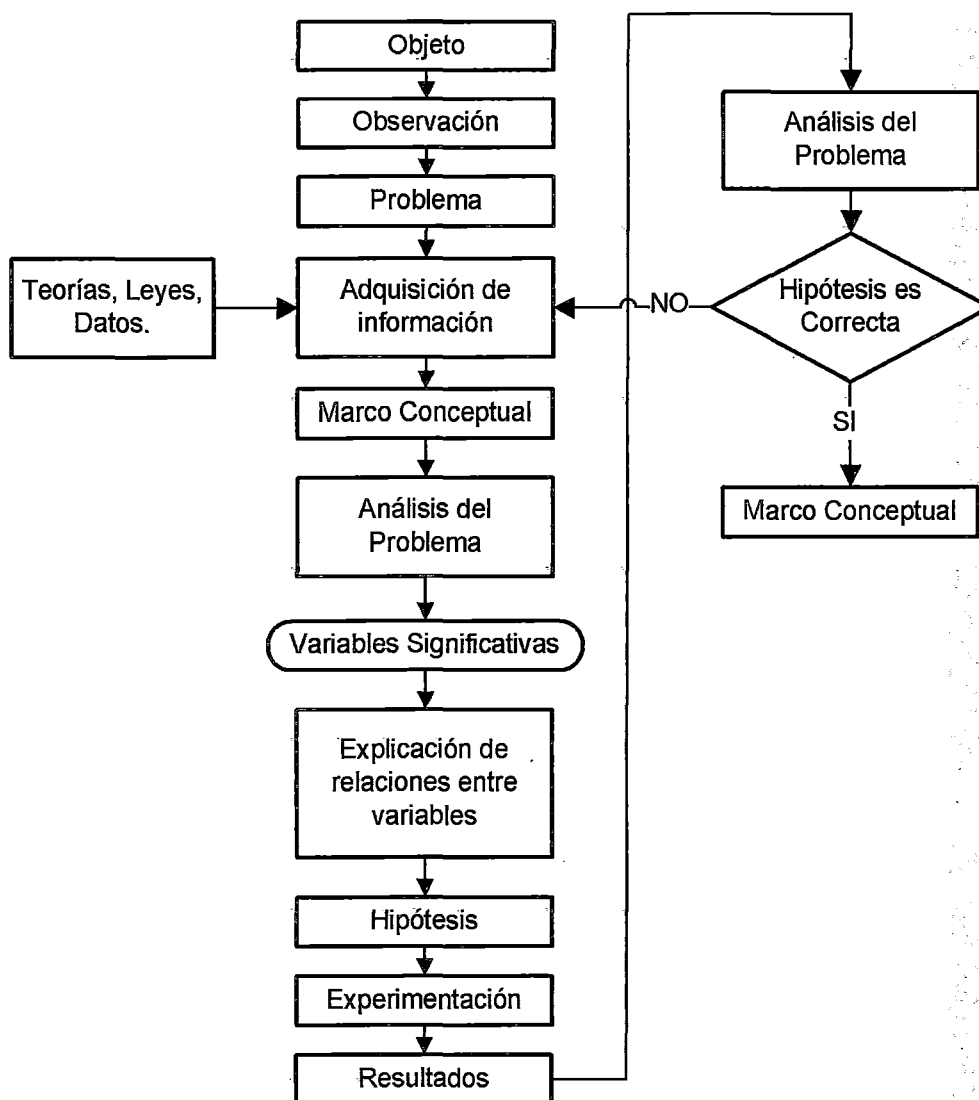
(d) Lectura por AAS

Las fioles con solución de oro son trasvasadas al área instrumental para ser analizados por AAS.

La Tabla Nº 16 y Nº17 del **Apéndice C.8 y C.9** muestra las curvas y lecturas de oro obtenidas respectivamente.

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTUDIO COMPARATIVO DE ANALISIS DE ORO ENTRE LOS METODOS VIA SECA Y VIA HUMEDA EN MINERALES CONCENTRADOS DE SULFUROS POLIMETALICOS.

Diagrama 5: Diagrama de Flujo para la Metodología



Fuente: Elaboración del Tesista

4.4.DEFINICION DE VARIABLES PARA LA INVESTIGACION.

4.4.1. Variables Dependientes: Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso, estas son:

a) Ley Final

Esta es una variable que nos establecerá los g/Tm final de oro alcanzado en el análisis por los distintos métodos.

b) Eficiencia de Recuperación

La eficiencia de recuperación está determinado por la relación de la ley final de oro obtenida por el método empleado y el método base (método vía seca).

4.4.2. Variables Independientes:Es una variable de proceso que puede tomar valores independientemente de las otras variables, en la evaluación se ha considerado:

a) Concentración de los Reactivos

b) Temperatura

c) Tiempo

d) pH

4.5. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

4.5.1 Ley de Oro Final

El cálculo para la Ley final de oro se realizará según sean los siguientes casos:

a) Ley de Oro por vía seca.

$$\text{Ley de Oro} \left(\frac{g}{TM} \right) = \frac{\text{Peso de oro (mg)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

b) Ley de Oro por vía húmeda

$$\text{Ley de Oro} \left(\frac{g}{TM} \right) = \left[\frac{\text{Lectura AAS} - BK}{\text{Peso de muestra (g)}} \right] \times (FV.) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

BK : Blanco de proceso.

F.V.: Factor de volumen (ml)

Lectura AAS : Lectura por Absorción Atómica.

c) Recuperación

$$\% \text{Recuperación} = \frac{\text{Ley obtenida por Método } X_i}{\text{Ley obtenida por Vía Seca}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Método X_i : Método por Vía Húmeda.

4.5.2 Teoría de Errores

a) Error Absoluto

Cuando se lleva a cabo una determinación analítica, cada paso que realizamos introduce una fuente de error. Cuántas más etapas se requieran, más grande será el error y, por tanto, menos será la posibilidad de que el valor medido se acerque al real.

Matemáticamente, estos errores no se suman, sino que el error total " e_t ", se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores, es decir:

$$e_t = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots} \quad \text{..... (4)}$$

Llamamos error absoluto, E_a , a la diferencia existente entre un determinado valor experimental, V_{exper} y el valor real, V_r .

$$E_a = V_{\text{exper}} - V_r \quad \text{..... (5)}$$

Este valor se expresa manteniendo el signo del error (+ó -) para indicar si el error obtenido es por exceso (error positivo) o por defecto (error negativo).

Como el valor real no siempre se puede saber con total seguridad, es más correcto emplear un valor de referencia o patrón. En su defecto, se pueden realizar diversas medidas y utilizar la media aritmética de estos como aquel valor representativo que presenta la probabilidad más alta de acercarse al valor real.

Cada uno de los datos experimentales vendrá afectado por un determinado error, E_a , habiendo, por tanto, el mismo número de errores absolutos que datos incluya la serie de valores.

El trabajo experimental nos obliga a trabajar con valores medios y no con valores reales que, como ya hemos dicho, no pueden ser conocidos con una certeza del 100%. Por eso, nos es más sencillo definir el error como:

$$E_a = x_i - \bar{x} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

x_i : valor muestral experimental.

\bar{x} : media aritmética.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \dots\dots\dots (7)$$

b) Error Relativo

Es aquel que más se utiliza y corresponde al cociente entre el error absoluto y la media aritmética. Igual que con el error absoluto, se prefiere conservar el signo para indicar el sentido del error.

$$E_r = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} = \frac{E_a}{\bar{x}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

4.5.3 Parámetros de Dispersión

a) Desviación absoluta (d_a)

Es la diferencia, expresada en valor absoluto, entre cada uno de los valores muestrales y la media aritmética. Hay tantas desviaciones absolutas como valores incluidos en la serie.

$$d_a = |x_i - \bar{x}| \quad \dots\dots\dots (9)$$

b) Desviación media (d_m)

Es el valor medio de las desviaciones absolutas. Cuando hablábamos de error absoluto manteníamos el signo para saber si un determinado valor estaba por encima o por debajo del valor considerado más probable (la media aritmética).

$$d_m = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{N} = \frac{\sum d_a}{N} \quad \dots\dots\dots (10)$$

c) Desviación relativa (d_r)

Es el tanto por 1, tanto por ciento, o partes por mil de la desviación media respecto al valor medio.

$$\%d_r = \frac{d_m}{\bar{x}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (11)$$

d) Desviación estándar

Desviación llamada normal o típica. Es un parámetro de dispersión de gran utilidad que aparece en la formulación matemática de las distribuciones estadísticas más habituales.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum d_a^2}{N-1}} \dots\dots\dots (12)$$

e) Desviación estándar relativa (RSD)

$$\%RSD = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

Para evaluación de patrones internos, cálculos de incertidumbres, se emplea la Tabla de T-student para diferentes niveles de confianza y grados de libertad, consultas, en el Anexo N° 6

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1. DISCUSIÓN DE CADA CUADRO O PRUEBA EXPERIMENTAL.

Con ayuda de ecuaciones N° 1 y N° 2 del Capítulo 4, procedemos a calcular:

a) Cálculo de Leyes de Oro por Vía Seca (Método A).

Con los datos de la Tabla N° 9 del *Apéndice C.1* procedemos a elaborar la siguiente tabla N° 18 ubicada en el *Apéndice D.1*.

b) Cálculo de Leyes de Oro por Vía Húmeda, a partir del Oro obtenido por Vía Seca (Método B)

Con los datos de la Tabla N° 11 del *Apéndice C.3* procedemos a elaborar la tabla N° 19 ubicada en el *Apéndice D.2*.

c) Cálculo de Leyes de Oro por Método Combinado (Método C)

Con los datos de la Tabla N° 13 del *Apéndice C.5*, procedemos a elaborar la Tabla N° 20 ubicada en el *Apéndice D.3*.

d) Cálculo de Leyes de Oro por Método Cianurado (Método D)

Con los datos de la Tabla N° 15 del *Apéndice C.7*, procedemos a elaborar la Tabla N° 21 ubicada en el *Apéndice D.4*.

e) Cálculo de Leyes de Oro Digestión Agua Regia (Método E)

Con los datos de la Tabla N° 17 del *Apéndice C.9*, procedemos a elaborar la Tabla N° 22 ubicada en el *Apéndice D.5*.

5.2. Cuadro comparativo en Leyes de Oro

Con el apoyo de las ecuaciones N° 12 y 13 del Capítulo 4, procedemos a calcular las desviaciones estándar.

- a) **% RSD Método A:** Con los datos de la tabla N° 18 del **Apéndice D.1**, procedemos a elaborar la Tabla N° 23 ubicada en el **Apéndice E.1**.
- b) **% RSD Método B:** Con los datos de la tabla N° 19 del **Apéndice D.2**, procedemos a elaborar la Tabla N° 24 ubicada en el **Apéndice E.2**.
- c) **% RSD Método C:** Con los datos de la tabla N° 20 del **Apéndice D.3**, procedemos a elaborar la Tabla N° 25 ubicada en el **Apéndice E.3**.
- d) **% RSD Método D:** Con los datos de la tabla N° 21 del **Apéndice D.4**, procedemos a elaborar la Tabla N° 26 ubicada en el **Apéndice E.4**.
- e) **% RSD Método E:** Con los datos de la tabla N° 22 del **Apéndice D.5**, procedemos a elaborar la Tabla N° 27 ubicada en el **Apéndice E.5**.

NOTA: Para un buen análisis, el laboratorio MINLAB S.R.L., considera el siguiente criterio:

$$\boxed{\%RSD \leq 5\%} \quad \dots\dots\dots (14)$$

5.3. Cuadro comparativo en porcentaje de recuperación en Ley de Oro, comparando los otros métodos respecto al método A

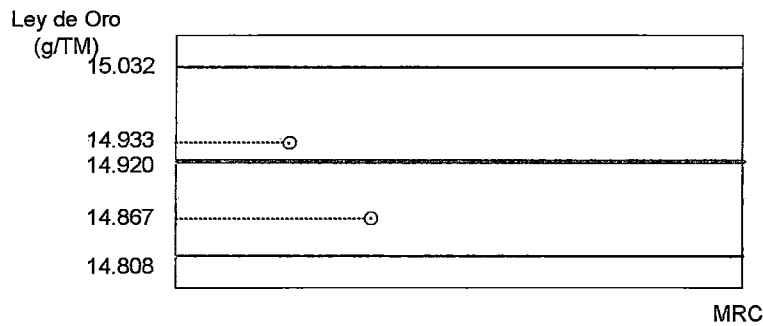
Con los datos de las tablas ubicadas del **Apéndice D.1** al **Apéndice D.5**, procedemos a elaborar la Tabla N° 28 ubicada en el **Apéndice E.6**.

5.4. Evaluación Gráfica de los Patrones y Estándares.

5.4.1 Evaluación de Patrones y Estándares, Método A

a) Material Certificado OXP61 (MRC)

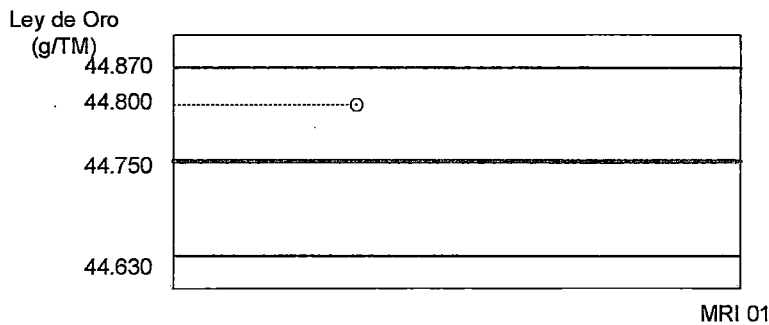
Figura 6: Ley Estándar OXP61



Fuente: Elaboración del Tesista

2.b) Patrón Interno PT-ICU63 (MRI 01)

Figura 7: Ley Estándar PT-ICU63



Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Centrado, Sangría: Izquierda: 0 cm, Sangría francesa: 3.11 cm, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Con formato: Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.48 cm + Sangría: 3.11 cm

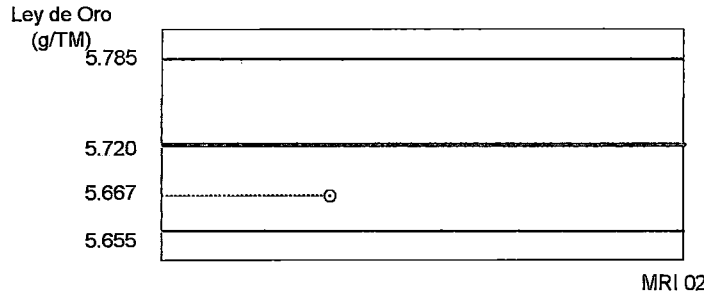
Con formato: Centrado, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Código de campo cambiado

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.48 cm + Sangría: 3.11 cm

3.c) Patrón Interno PT-IPB11 (MRI 02)

Figura 8: Ley Estándar PT-IPB11



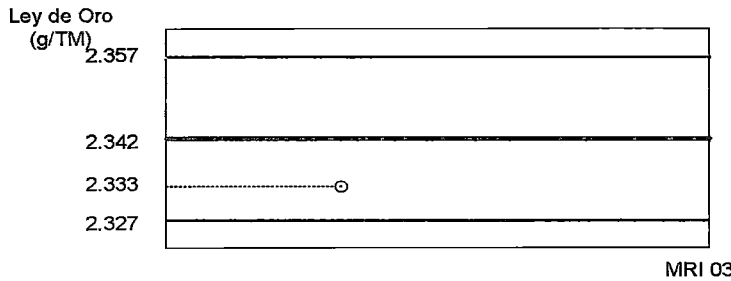
Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Centrado, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Código de campo cambiado

4.d) Patrón Interno PT-IZN37 (MRI 03)

Figura 9: Ley Estándar PT-IZN37



Fuente: Elaboración del Tesista

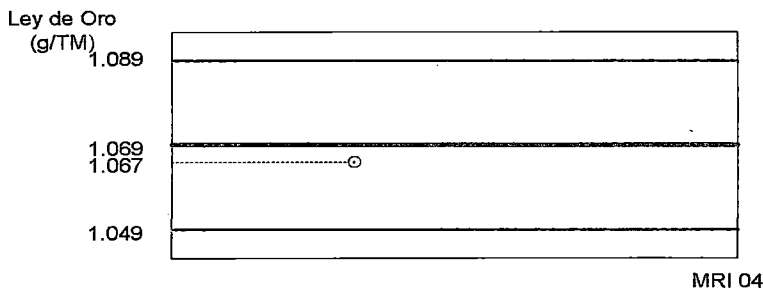
Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.48 cm + Sangría: 3.11 cm

Con formato: Centrado, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Código de campo cambiado

5.e) Patrón Interno OXM-09 (MRI 04)

Figura 10: Ley Estándar OXM-09



Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.48 cm + Sangría: 3.11 cm

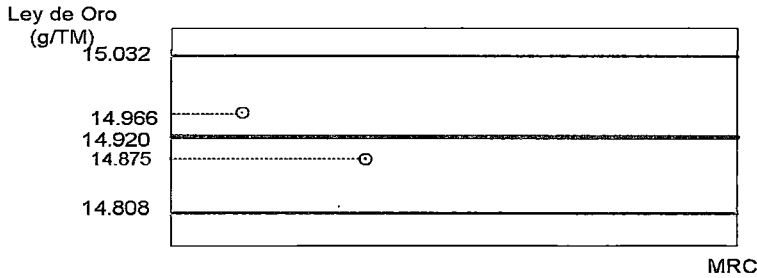
Con formato: Centrado, Interlineado: sencillo, Sin viñetas ni numeración

Código de campo cambiado

5.4.2 Evaluación de Patrones y Estándares, Método B

6.a) Material Certificado OXP61 (MRC)

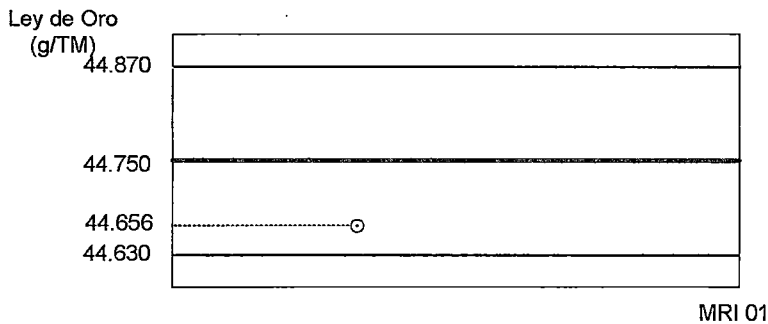
Figura 11: Ley Estándar OXP61



Fuente: Elaboración del Tesista

7.b) Patrón Interno PT-ICU63 (MRI 01)

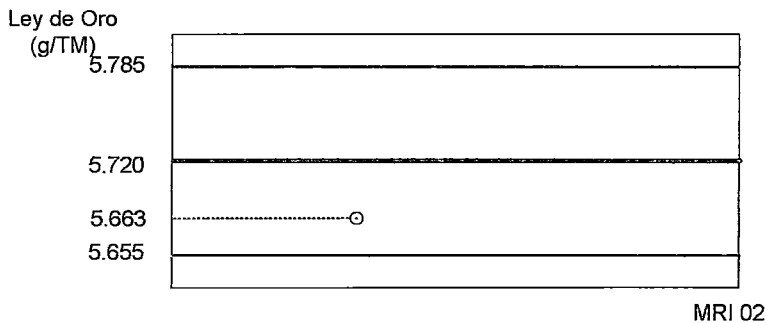
Figura 12: Ley Estándar PT-ICU63



Fuente: Elaboración del Tesista

8.c) Patrón Interno PT-IPB11 (MRI 02)

Figura 13: Ley Estándar PT-IPB11



Fuente: Elaboración del Tesista

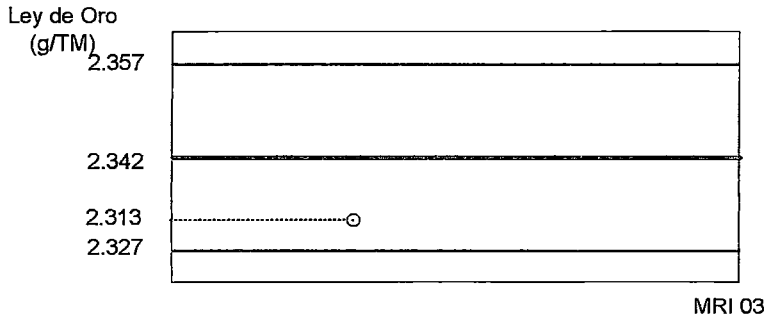
Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

9.d) Patrón Interno PT-IZN37 (MRI 03)

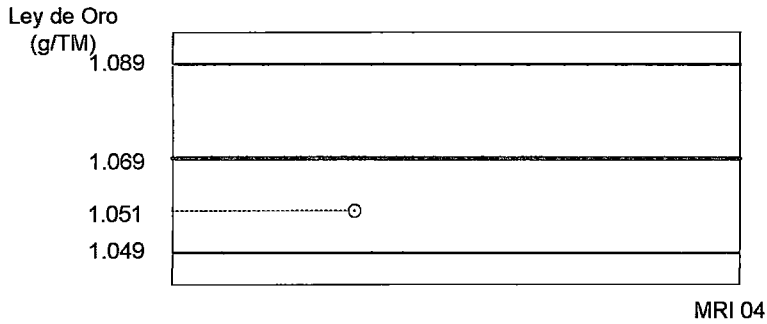
Figura 14: Ley Estándar PT-IZN37



Fuente: Elaboración del Tesista

10.e) Patrón Interno OXM-09 (MRI 04)

Figura 15: Ley Estándar OXM-09



Fuente: Elaboración del Tesista

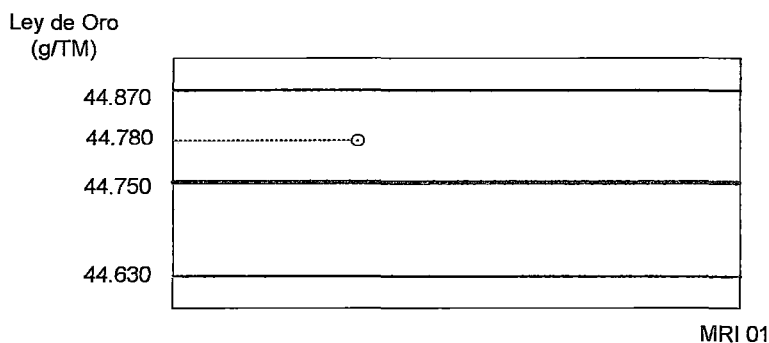
Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

5.4.3 Evaluación de Patrones y Estándares. Método C

a) Patrón Interno PT-ICU63 (MRI 01)

Figura 16: Ley Estándar PT-ICU63

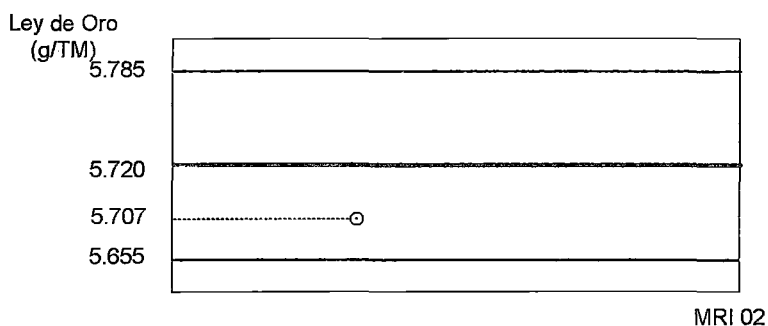


Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Numerado + Nivel: 1 +
Estilo de numeración: a, b, c, ... +
Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda +
Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

b) Patrón Interno PT-IPB11 (MRI 02)

Figura 17: Ley Estándar PT-IPB11

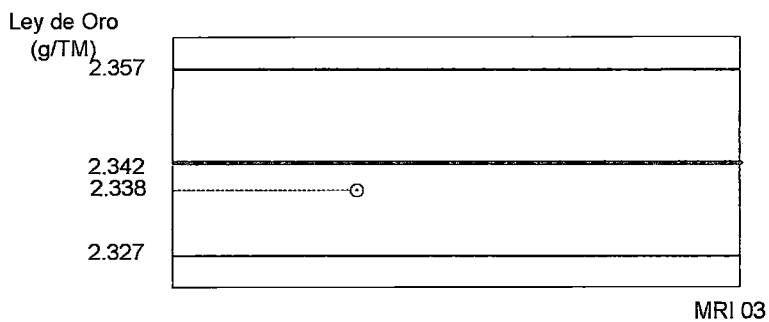


Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Numerado + Nivel: 1 +
Estilo de numeración: a, b, c, ... +
Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda +
Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

c) Patrón Interno PT-IZN37 (MRI 03)

Figura 18: Ley Estándar PT-IZN37

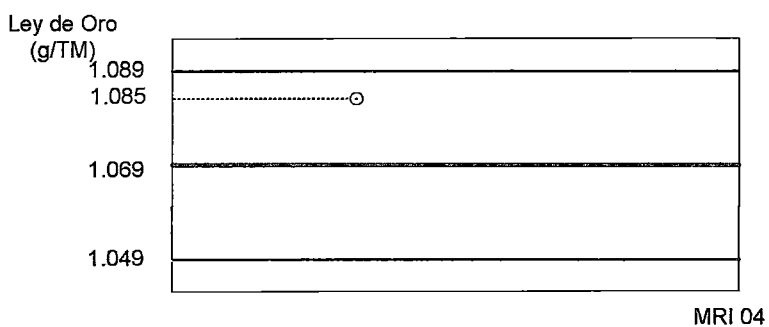


Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Interlineado: 1.5 líneas, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

d) Patrón Interno OXM-09 (MRI 04)

Figura 19: Ley Estándar OXM-09



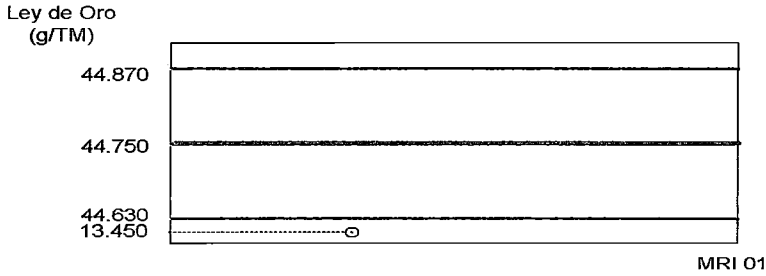
Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

5.4.4 Evaluación de Patrones y Estándares. Método D.

e)a) Patrón Interno PT-ICU63 (MRI 01)

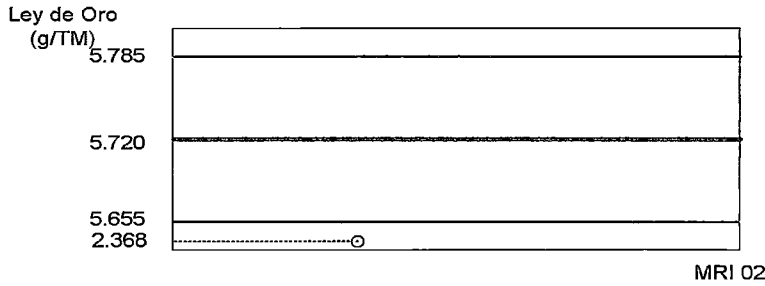
Figura 20: Ley Estándar PT-ICU63



Fuente: Elaboración del Tesista

f)b) Patrón Interno PT-IPB11 (MRI 02)

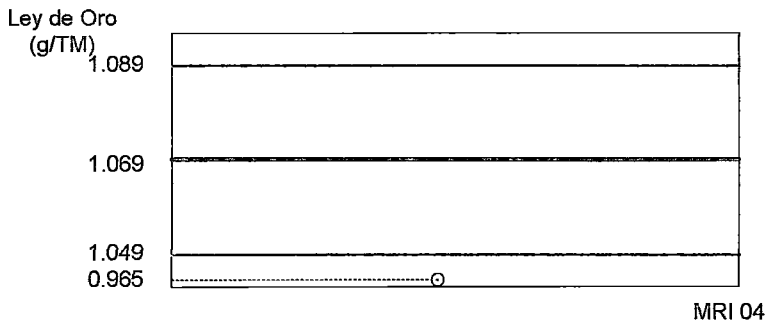
Figura 21: Ley Estándar PT-IPB11



Fuente: Elaboración del Tesista

g)c) Patrón Interno OXM-09 (MRI 04)

Figura 22: Ley Estándar OXM-09



Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

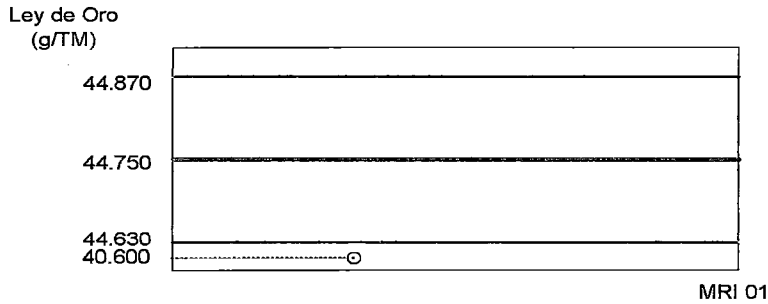
Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

5.4.5 Evaluación de Patrones y Estándares. Método E.

h)a) Patrón Interno PT-ICU63 (MRI 01)

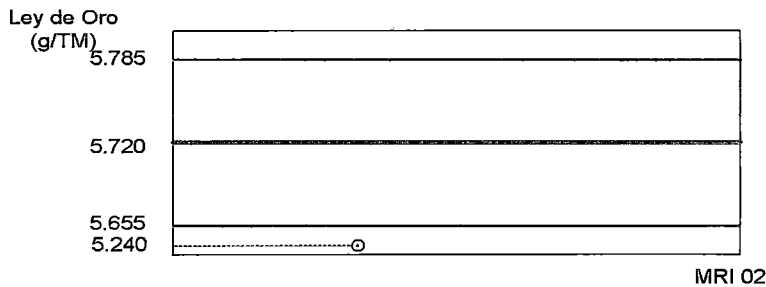
Figura 23: Ley Estándar PT-ICU63



Fuente: Elaboración del Tesista

h)b) Patrón Interno PT-IPB11 (MRI 02)

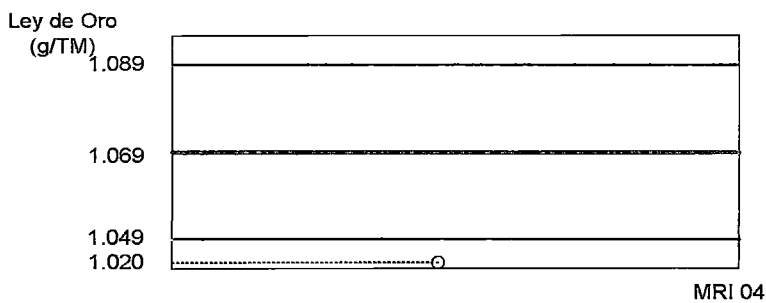
Figura 24: Ley Estándar PT-IPB11



Fuente: Elaboración del Tesista

h)c) Patrón Interno OXM-09 (MRI 04)

Figura 25: Estándar OXM-09



Fuente: Elaboración del Tesista

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

Con formato: Interlineado: sencillo, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 2.16 cm + Sangría: 2.79 cm

6. CONCLUSIONES

Luego de evaluar los métodos de análisis podemos concluir lo siguiente:

- ✓ El estudio comparativo de análisis de oro entre los métodos vía seca y vía húmeda en minerales concentrados de sulfuros polimetálicos permitió cuantificar la ley final de oro para cada método, tal como se presenta en la tabla N° 28.
- ✓ La evaluación estadística de los métodos por vía seca y vía húmeda, nos muestra que los métodos que implican fundición son los más precisos en la determinación de oro ya que las tablas N° 23, 24 y 25 cuantifican a la desviación estándar relativa para métodos por vía seca con valores menores al cinco por ciento, lo cual no sucede con los métodos vía húmeda que según las tablas N° 26 Y 27, dan desviaciones con valores entre cero a seis por ciento.
- ✓ La evaluación gráfica de estándares y patrones, muestran la precisión de los métodos que implican fundición, ver figuras(6 al 19), los valores están dentro del rango de incertidumbre establecido en la tabla N° 3, lo cual no sucede con los métodos vía húmeda, ver figuras(20 al 25), los cuales están fuera del rango de incertidumbre establecido.
- ✓ En la digestión por Agua Regia (Método E), la presencia de ácido perclórico permitió elevar la ley en aproximadamente 200 por ciento respecto al mismo método pero sin la presencia de ácido perclórico,

tal como se muestra en las tablas N° 6 y 8, esto podría deberse al gran poder oxidante de éste ácido.

- ✓ Los métodos para la determinación de oro por vía húmeda se realizan en tiempos muy cortos respecto a los métodos por vía seca, sin embargo los resultados finales están muy por debajo respecto a los métodos vía seca, esto se visualiza en la tabla N° 28.

7. FUENTES DE INFORMACION CONSULTADAS

- 1) **Bugby, Edward Everett** "A TEXTBOOK OF FIRE ASSAY", New York, Golden Colorado, 3rd edition, 1940.
- 2) **David S. Moore**, "Estadística Básica Aplicada", New York, Antoi Bosch Editor, 2 Edition, 2000.
- 3) **Eric L. Hoffman & John R. Clark**, "MANUAL FIRE ASSAYING AND ALTERNATIVE METHODS", New York, Golden Colorado, 4th edition, 1999.
- 4) **Fulton, C.H. and Dietrich, W.j.**, "MANUAL OF FIRE ASSAY", New York, McGraw-Hill Book Company, 1929.
- 5) **Haffty, Joseph Riley, L.B., and Gross, W.D** "MANUAL OF FIRE ASSAYING AND DETERMINATION OF THE NOBLE METALS IN GEOLOGICAL MATERIALS", Geological Survey Bulletin 1445, 1977.
- 6) **Lei ZL, Zhang Fengli** "DETERMINATION OF TRACE GOLD IN ORE BY RAPID PRE-CONCENTRATION WITH POLYURETANE FOAM AND GRAPHITE FURNACE ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY", Pekin, Journal of Chengdu University of Technology, 1995.
- 7) **Ms Leonardo Cornejo Figueroa y David J. Spottimonnd** "ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE CIANURACIÓN DEL ORO", Vol. 41 Revista Minerales N° 174, 1984.
- 8) **MINLAB S.R.L.**, "Manual de Técnicas de análisis por Vía Húmeda"

- 9) **Skoog West y James Holler**, "Fundamentos de Química Analítica"
Barcelona, Editorial Reverte, 4ta edición, 1996.
- 10) **Shepard, O.C. and Dietrich, W.F.**, "Fire Assaying", McGraw Hill,
Editorial Stanley Miller, 3ra edición, 1940.
- 11) **TECSUP**, "Manual de Análisis de Oro por Fundición" Programa de
Capacitación Continua 2008
- 12) **TUÑÓN SUAREZ, Cesar**. Guía de los Metales Preciosos. Primera
Edición. Editorial Omega, Barcelona, 1991.
- 13) **YOPLAC, Edwilde**. Fundición y Refinación de Au y Ag. Editorial
UNI, Lima 2001
- 14) www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya9/9oro_refinacion_lixivacion_hidrometalurgia.htm 15/08/2009
- 15) www.assayers.com/assayers/gold.html 14/09/2009
- 16) [www.wikipedia.org/wiki/oro#An.C3.A1lisis de oro y plata por la t.C3.A9cnica de ensayo a fuego](http://www.wikipedia.org/wiki/oro#An.C3.A1lisis_de_oro_y_plata_por_la_t.C3.A9cnica_de_ensayo_a_fuego) 10/11/2009
- 17) www.mine-engineer.com/mining/assay2.htm 15/11/2009

APENDICE

APÉNDICE A: Cuadros y Tablas de Información

Apéndice A.1: Desventajas de los Métodos Vía Seca y Vía Húmeda.

Tabla 1: Desventajas de los Métodos Vía Seca y Vía Húmeda.

	VIA SECA	VIA HUMEDA
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Demora en el tiempo de análisis. • Alta inversión (combustible, energía eléctrica, material refractario) • Contaminación al ambiente por óxidos de plomo principalmente, u otros como cobre, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los resultados de análisis de oro difieren notablemente del análisis por Vía Seca. • Hay emisión de vapores nitrosos. • Emisión de vapores de ácido clorhídrico, ácido nítrico concentrado.

Fuente: "Elaboración del tesista"

Apéndice A.2: Códigos de los Minerales Concentrados para Investigación.**Tabla 2:** Códigos de los minerales concentrados para investigación.

Código Original (MINLAB)	Nueva Notación (Investigación)
CC90456-03	CU01
CC90495-03	CU02
CC90495-06	CU03
CC90507	CU04
CC90508	CU05
CC90509	CU06
CC90513-01	CU07
CC90513-02	CU08
CC90456-05	ZN01
CC90495-05	ZN02
CC90495-08	ZN03
CC90431	ZN04
CC90456-04	PB01
CC90495-04	PB02
CC90495-04	PB03
CC90421	PB04
CC90424	PB05
CC904258	PB06
CC90427	PB07
CC90435	PB08

Fuente: "Elaboración del Tesista"

Apéndice A.3: Códigos y datos de los Materiales de Referencia.**Tabla 3: Códigos y datos de Materiales de Referencia.**

Código	Código para investigación	Tipo de material	Ley Oro (g/TM)
OXp61	MRC	Referencial Certificado	14.92 ± 0.112
PT-ICU63	MRI 01	Referencial Interno	44.75 ± 0.120
PT-IPB11	MRI 02	Referencial Interno	5.72 ± 0.065
PT-IZN37	MRI 03	Referencial Interno	2.342 ± 0.015
OXM-09	MRI 04	Referencial Interno	1.069 ± 0.020

Fuente: "Elaboración del tesista".

Apéndice A.4: Variación en ley de Oro entre los métodos vía seca y vía húmeda.

Tabla 4: Variación en ley de oro entre los métodos vía seca y vía húmeda

Ítem	Código de MINLAB	Au (ppb) vía seca	Au soluble (ppb) vía húmeda	% Recuperación
1	6Q 9014/ 01	104	85	81.73
2	6Q 9014/ 02	471	415	88.11
3	6Q 9014/ 03	175	126	72.00
4	6Q 9014/ 04	244	216	88.52
5	6Q 9014/ 05	58	50	86.21
6	6Q 9014/ 06	296	248	83.78
7	6Q 9014/ 07	672	485	72.07
8	6Q 9014/ 08	228	192	84.21
9	6Q 9014/ 09	392	346	88.27
10	6Q 9014/ 10	511	262	84.24
11	6Q 9014/ 11	127	111	87.40
12	6Q 9014/ 12	296	228	77.03
13	6Q 9014/ 13	187	153	81.82

Fuente: "Elaboración del Tesista."

APÉNDICE B: Tablas de Resultados de Pruebas.**Apéndice B.1:** Resultados de pruebas de cianuración a distintos tiempos.**Tabla 5: Resultados de pruebas de cianuración a distintos tiempos.**

Código de Muestra	Ley de Oro (ppm) t = 1 h	Ley de Oro (ppm) t = 6 h	Ley de Oro (ppm) t = 8 h
CU 01	29.920	30.215	30.002
PB 01	3.250	3.235	3.268
ZN 01	0.795	0.845	0.805

Fuente: "Elaboración del Tesista"

Apéndice B.2: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia a distintos pesos de mineral.**Tabla 6: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia, a distintos pesos de mineral**

Código de Muestra	Ley de Oro (ppm) Peso = 0.5g	Ley de Oro (ppm) Peso = 1.0g
CU 02	39.740	37.330

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice B.3: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia, oxidación con clorato de potasio.

Tabla 7: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia, oxidación con clorato de potasio.

Código de Muestra	Ley de Oro (ppm) 1°	Ley de Oro (ppm) 2°	Ley de Oro (ppm) 3°
CU02	8.160	8.060	8.240

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice B.4: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia, oxidación con ácido perclórico.

Tabla 8: Resultados de pruebas de lixiviación con agua regia, oxidación con ácido perclórico.

Código de Muestra	Ley de Oro (ppm) 1°	Ley de Oro (ppm) 2°	Ley de Oro (ppm) 3°
CU02	80.380	77.780	78.040

Fuente: "Elaboración del Tesista."

APÉNDICE C: Resultados de (mg) Oro / AAS Obtenidos por Aplicación de Métodos.

Apéndice C.1: Resultados obtenidos por el Método A.

Tabla 9: Resultados obtenidos por el Método A.

CODIGO DE MUESTRA	Peso de Oro (mg)			
	REP 1	REP 2	REP 3	REP 4
CU01	1.366	1.356	1.362	1.360
CU02	1.304	1.298	1.301	1.303
CU03	1.289	1.294	1.291	1.293
CU04	0.054	0.052	0.052	0.053
CU05	0.050	0.050	0.051	0.052
CU06	0.076	0.074	0.075	0.074
CU07	0.054	0.053	0.054	0.052
CU08	0.056	0.054	0.056	0.055
MRC	0.224	****	****	****
MRI01	0.672	****	****	****
PB01	0.132	0.135	0.133	0.132
PB02	0.134	0.128	0.131	0.129
PB03	0.144	0.140	0.143	0.142
PB04	0.035	0.037	0.036	0.037
PB05	0.023	0.025	0.023	0.024
PB06	0.020	0.020	0.021	0.021
PB07	0.025	0.023	0.024	0.024
PB08	0.032	0.032	0.031	0.031
MRC	0.223	****	****	****
MRI02	0.085	****	****	****
ZN01	0.014	0.014	0.014	0.013
ZN02	0.011	0.011	0.011	0.012
ZN03	0.012	0.014	0.012	0.013
ZN04	0.019	0.017	0.018	0.018
MRI03	0.035	****	****	****
MRI04	0.016	****	****	****

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.2: Curva para Calibración del Método B.**Tabla 10:** Curva de calibración para el método B.

	Std	CC	Abs
	Cal-Zero	0	0.0001
	Cal-Std1	2	0.07026
	Cal-Std2	5	0.1668
	Cal-Std3	10	0.3283
Std Ver	5.000 mg/L	5.027	

Fuente: "Elaboración del Tesista"

Apéndice C.3: Resultados obtenidos por Método B.**Tabla 11:** Resultados obtenidos por el Método B

CODIGO DE MUESTRA	Lectura AAs (ppm)				Volumen(ml)
	REP1	REP2	REP3	REP4	F.V.
CU01	6.1507	6.2714	6.2056	6.2511	200
CU02	6.4076	6.0779	6.2531	6.3672	200
CU03	6.2681	6.3713	6.0070	6.1822	200
CU04	5.3745	5.1435	5.3460	5.2749	10
CU05	4.9410	4.9545	5.0370	4.9796	10
CU06	7.5690	7.3200	7.4715	7.3908	10
CU07	5.3985	5.5095	5.3610	5.4431	10
CU08	5.5365	5.3460	5.7060	5.6427	10
MRC	2.2449	****	****	****	100
MRI01	6.6984	****	****	****	100
PB01	6.5318	6.6128	6.4373	6.5865	20
PB02	6.5978	6.3330	6.4733	6.5112	20
PB03	6.9030	6.9825	6.9248	6.9534	20
PB04	3.4935	3.6675	3.7035	3.5589	10
PB05	2.2950	2.4555	2.3775	2.4313	10
PB06	1.9695	1.9590	2.0625	1.9958	10
PB07	2.4495	2.2545	2.3775	2.2917	10
PB08	3.1695	3.0675	3.0495	3.1299	10
MRC	2.2313	****	****	****	100
MRI02	8.4945	****	****	****	10
ZN01	2.7270	2.7570	2.7450	2.7314	5
ZN02	2.1060	2.1300	2.1120	2.1253	5
ZN03	2.3430	2.5450	2.3400	2.4212	5
ZN04	3.7380	3.3360	3.5430	3.6577	5
MRI03	6.9990	****	****	****	5
MRI04	3.1550	****	****	****	5

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.4: Curva de Calibración del Método C.**Tabla 12:** Curva de calibración para el método C.

	Std	CC	Abs
	Cal-Zero	0	0.0002
	Cal-Std1	2	0.07015
	Cal-Std2	5	0.1673
	Cal-Std3	10	0.3291
Std Ver	5.000 mg/L	5.044	

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.5: Resultados obtenidos por Método C.**Tabla 13: Resultados obtenidos por el Método C.**

Código de Muestra	Lectura AAAS (ppm)				Volume (ml)
	REP1	REP2	REP3	REP4	F.V.
CU01	9.046	9.251	9.197	9.132	100
CU02	9.153	9.017	9.051	9.094	100
CU03	9.123	8.976	9.072	9.006	100
CU04	3.573	3.646	3.629	3.598	10
CU05	3.484	3.446	3.405	3.437	10
CU06	5.330	5.487	5.416	5.397	10
CU07	3.745	3.860	3.803	3.824	10
CU08	3.624	3.661	3.639	3.603	10
BK	0.004	****	****	****	10
MRI01	4.482	****	****	****	100
PB01	8.849	9.037	8.950	8.893	10
PB02	8.120	8.235	8.177	8.210	10
PB03	9.520	10.110	9.875	9.992	10
PB04	2.206	2.480	2.228	2.326	10
PB05	1.533	1.605	1.571	1.557	10
PB06	1.457	1.399	1.412	1.442	10
PB07	1.625	1.708	1.684	1.653	10
PB08	1.957	2.182	2.003	1.988	10
BK	0.002	****	****	****	10
MRI02	5.709	****	****	****	10
ZN01	1.852	1.961	1.913	1.882	5
ZN02	1.473	1.489	1.464	1.452	5
ZN03	1.934	1.845	1.880	1.914	5
ZN04	2.157	2.076	2.091	2.127	5
MRI03	4.681	****	****	****	5
MRI04	2.176	****	****	****	5
BK	0.005	****	****	****	5

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.6: Curva de Calibración del Método D.**Tabla 14:** Curva de calibración para el método D.

	Std	CC	Abs	Std	CC	Abs
	Cal-Zero	0	0.00033	Cal-Zero	0	0.00015
	Cal-Std1	0.5	0.02663	Cal-Std1	2	0.07005
	Cal-Std2	1	0.05246	Cal-Std2	5	0.1684
	Cal-Std3	2	0.1009	Cal-Std3	10	0.3283
Std Ver	1.000 mg/L	0.998		5.000 mg/L	5.073	

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.7: Resultados obtenidos del Método D.**Tabla 15: Resultados obtenidos por el Método D**

CODIGO DE MUESTRA	Resultados AAS (ppm)				F.V.
	REP1	REP2	REP3	REP4	
CU01	3.0350	2.9790	2.9135	2.9473	20
CU02	2.8290	2.9070	2.9214	2.8695	20
CU03	2.0800	2.1650	2.2238	2.1388	20
CU04	0.1663	0.1710	0.1844	0.1692	20
CU05	0.1756	0.1701	0.1815	0.1800	20
CU06	0.2301	0.2289	0.2267	0.2296	20
CU07	0.1695	0.1742	0.1716	0.1759	20
CU08	0.1772	0.1698	0.1725	0.1751	20
MRI01	1.3460	****	****	****	20
BK	0.0010	****	****	****	20
PB01	0.3279	0.3320	0.3258	0.3298	20
PB02	0.3964	0.3897	0.3930	0.3955	20
PB03	0.4123	0.4155	0.4103	0.4169	20
PB04	0.1604	0.1583	0.1575	0.1611	20
PB05	0.1124	0.1161	0.1193	0.1146	20
PB06	0.1152	0.1129	0.1167	0.1134	20
PB07	0.0983	0.1008	0.0919	0.1001	20
PB08	0.1355	0.1372	0.1366	0.1380	20
MRI02	0.2418	****	****	****	20
BK	0.0050	****	****	****	20
ZN01	0.0835	0.0911	0.0802	0.0950	20
ZN02	0.0520	0.0560	0.0543	0.0551	20
ZN03	0.0613	0.0673	0.0654	0.0633	20
ZN04	0.1251	0.1208	0.1240	0.1227	20
MRI04	0.1015	****	****	****	20
BK	0.0050	****	****	****	20

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.8: Curva de Calibración del Método E.**Tabla 16: Curva de calibración para el método E.**

	Std	CC	Abs
	Cal-Zero	0	0.00031
	Cal-Std1	0.5	0.02659
	Cal-Std2	1	0.05242
	Cal-Std3	2	0.1005
Std Ver	1.000 mg/L	0.996	

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice C.9: Resultados Obtenidos del Método E.**Tabla 17: Resultados obtenidos por el Método E.**

CODIGO DE MUESTRA	Lectura AAS(ppm)				Volúmen(ml)
	REP1	REP2	REP3	REP4	F.V.
CU01	0.4019	0.4103	0.4176	0.4072	100
CU02	0.3889	0.3902	0.3848	0.3997	100
CU03	0.3674	0.3605	0.3700	0.3631	100
CU04	0.0163	0.0171	0.0158	0.0168	100
CU05	0.0160	0.0154	0.0161	0.0157	100
CU06	0.0240	0.0220	0.0235	0.0229	100
CU07	0.0180	0.0170	0.0168	0.0177	100
CU08	0.0170	0.0160	0.0162	0.0165	100
MRI01	0.2040	****	****	****	100
BK	0.0010	****	****	****	100
PB01	0.0450	0.0430	0.0419	0.0412	100
PB02	0.0440	0.0420	0.0433	0.0429	100
PB03	0.0480	0.0470	0.0465	0.0477	100
PB04	0.0145	0.0140	0.0144	0.0142	100
PB05	0.0107	0.0100	0.0110	0.0104	100
PB06	0.0096	0.0092	0.0090	0.0098	100
PB07	0.0108	0.0101	0.0110	0.0105	100
PB08	0.0130	0.0126	0.0132	0.0124	100
MRI02	0.0292	****	****	****	100
BK	0.0030	****	****	****	100
ZN01	0.0053	0.0056	0.0059	0.0050	100
ZN02	0.0045	0.0043	0.0047	0.0041	100
ZN03	0.0053	0.0047	0.0049	0.0047	100
ZN04	0.0065	0.0068	0.0063	0.0070	100
MRI04	0.0061	****	****	****	100
BK	0.0010	****	****	****	100

Fuente: "Elaboración del Tesista."

Apéndice D: Tablas de Leyes en g/TM obtenidos por los métodos aplicados.

Apéndice D.1: Ley de oro Vía Seca Método A

Tabla 18: Leyes de oro Vía Seca Método A.

CODIGO DE MUESTRA	Ley de Oro Método A				PROMEDIO
	X1	X2	X3	X4	X
CU01	91.067	90.400	90.800	90.667	90.733
CU02	86.933	86.533	86.733	86.867	86.767
CU03	85.933	86.267	86.067	86.200	86.117
CU04	3.600	3.467	3.467	3.533	3.517
CU05	3.333	3.333	3.400	3.467	3.383
CU06	5.067	4.933	5.000	4.933	4.983
CU07	3.600	3.533	3.600	3.467	3.550
CU08	3.733	3.600	3.733	3.667	3.683
MRC	14.933	****	****	****	14.933
MRI01	44.800	****	****	****	44.800
PB01	8.800	9.000	8.867	8.800	8.867
PB02	8.933	8.533	8.733	8.600	8.700
PB03	9.600	9.333	9.533	9.467	9.483
PB04	2.333	2.467	2.400	2.467	2.417
PB05	1.533	1.667	1.533	1.600	1.583
PB06	1.333	1.333	1.400	1.400	1.367
PB07	1.667	1.533	1.600	1.600	1.600
PB08	2.133	2.133	2.067	2.067	2.100
MRC	14.867	****	****	****	14.867
MRI02	5.667	****	****	****	5.667
ZN01	0.933	0.933	0.933	0.867	0.917
ZN02	0.733	0.733	0.733	0.800	0.750
ZN03	0.800	0.933	0.800	0.867	0.850
ZN04	1.267	1.133	1.200	1.200	1.200
MRI03	2.333	****	****	****	2.333
MRI04	1.067	****	****	****	1.067

Fuente: "Elaboración del Tesista".

Apéndice D.2: Ley de oro Vía Húmeda Método B**Tabla 19:** Leyes de oro Vía Húmeda Método B.

CODIGO DE MUESTRA	Ley de Oro (Au) Método B				PROMEDIO
	X1	X2	X3	X4	X
CU01	82.009	83.619	82.741	83.348	82.929
CU02	85.435	81.039	83.375	84.896	83.686
CU03	83.575	84.951	80.093	82.429	82.762
CU04	3.583	3.429	3.564	3.517	3.523
CU05	3.294	3.303	3.358	3.320	3.319
CU06	5.046	4.880	4.981	4.927	4.959
CU07	3.599	3.673	3.574	3.629	3.619
CU08	3.691	3.564	3.804	3.762	3.705
MRC	14.966	****	****	****	14.966
MRI01	44.656	****	****	****	44.656
PB01	8.709	8.817	8.583	8.782	8.723
PB02	8.797	8.444	8.631	8.682	8.638
PB03	9.204	9.310	9.233	9.271	9.255
PB04	2.329	2.445	2.469	2.373	2.404
PB05	1.530	1.637	1.585	1.621	1.593
PB06	1.313	1.306	1.375	1.331	1.331
PB07	1.633	1.503	1.585	1.528	1.562
PB08	2.113	2.045	2.033	2.087	2.069
MRC	14.875	****	****	****	14.875
MRI02	5.663	****	****	****	5.663
ZN01	0.909	0.919	0.915	0.910	0.913
ZN02	0.702	0.710	0.704	0.708	0.706
ZN03	0.781	0.848	0.780	0.807	0.804
ZN04	1.246	1.112	1.181	1.219	1.190
MRI03	2.333	****	****	****	2.333
MRI04	1.052	****	****	****	1.052

Fuente: "Elaboración de Tesista."

Apéndice D.3: Ley de oro Vía Húmeda Método C**Tabla 20:** Leyes de oro Vía Húmeda Método C.

CODIGO DE MUESTRA	Leyes de Oro por Método C				PROMEDIO
	X1	X2	X3	X4	
CU01	90.420	92.470	91.930	91.283	91.526
CU02	91.490	90.130	90.470	90.898	90.747
CU03	91.190	89.720	90.680	90.015	90.401
CU04	3.569	3.642	3.625	3.594	3.608
CU05	3.480	3.442	3.401	3.433	3.439
CU06	5.326	5.483	5.412	5.393	5.403
CU07	3.741	3.856	3.799	3.820	3.804
CU08	3.620	3.657	3.635	3.599	3.628
BK	****	****	****	****	****
MRI01	44.780	****	****	****	44.780
PB01	8.847	9.035	8.948	8.891	8.930
PB02	8.118	8.233	8.175	8.208	8.183
PB03	9.518	10.108	9.873	9.990	9.872
PB04	2.204	2.478	2.226	2.324	2.308
PB05	1.531	1.603	1.569	1.555	1.565
PB06	1.455	1.397	1.410	1.440	1.425
PB07	1.623	1.706	1.682	1.651	1.666
PB08	1.955	2.180	2.001	1.986	2.030
BK	****	****	****	****	****
MRI02	5.707	****	****	****	5.707
ZN01	0.924	0.978	0.954	0.938	0.948
ZN02	0.734	0.742	0.730	0.724	0.732
ZN03	0.965	0.920	0.938	0.954	0.944
ZN04	1.076	1.036	1.043	1.061	1.054
MRI03	2.338	****	****	****	2.338
MRI04	1.086	****	****	****	1.086
BK	****	****	****	****	****

Fuente: "Elaboración de Tesista."

Apéndice D.4: Ley de oro Vía Húmeda Método D**Tabla 21:** Leyes de oro Vía Húmeda Método D.

CODIGO DE MUESTRA	Ley de Oro por Método D				PROMEDIO
	X1	X2	X3	X4	X
CU01	30.340	29.780	29.125	29.463	29.677
CU02	28.280	29.060	29.204	28.685	28.807
CU03	20.790	21.640	22.228	21.378	21.509
CU04	1.653	1.700	1.834	1.682	1.717
CU05	1.746	1.691	1.805	1.790	1.758
CU06	2.291	2.279	2.257	2.286	2.278
CU07	1.685	1.732	1.706	1.749	1.718
CU08	1.762	1.688	1.715	1.741	1.727
MRI01	13.450	****	****	****	13.450
BK	****	****	****	****	****
PB01	3.229	3.270	3.208	3.248	3.239
PB02	3.914	3.847	3.880	3.905	3.887
PB03	4.073	4.105	4.053	4.119	4.088
PB04	1.554	1.533	1.525	1.561	1.543
PB05	1.074	1.111	1.143	1.096	1.106
PB06	1.102	1.079	1.117	1.084	1.096
PB07	0.933	0.958	0.869	0.951	0.928
PB08	1.305	1.322	1.316	1.330	1.318
MRI02	2.368	****	****	****	2.368
BK	****	****	****	****	****
ZN01	0.785	0.861	0.752	0.900	0.825
ZN02	0.470	0.510	0.493	0.501	0.494
ZN03	0.563	0.623	0.604	0.583	0.593
ZN04	1.201	1.158	1.190	1.177	1.182
MRI04	0.965	****	****	****	0.965
BK	****	****	****	****	****

Fuente: "Elaboración de Tesista."

Apéndice D.5: Ley de oro Vía Húmeda Método E**Tabla 22: Leyes de oro Vía Húmeda Método E.**

CODIGO DE MUESTRA	Ley de Oro por Método E				PROMEDIO
	X1	X2	X3	X4	X
CU01	80.180	81.860	83.320	81.240	81.650
CU02	77.580	77.840	76.760	79.740	77.980
CU03	73.280	71.900	73.800	72.420	72.850
CU04	3.060	3.220	2.960	3.160	3.100
CU05	3.000	2.880	3.020	2.940	2.960
CU06	4.600	4.200	4.500	4.380	4.420
CU07	3.400	3.200	3.160	3.340	3.275
CU08	3.200	3.000	3.040	3.100	3.085
MRI01	40.600	****	****	****	****
BK	****	****	****	****	****
PB01	8.400	8.000	7.780	7.640	7.955
PB02	8.200	7.800	8.060	7.980	8.010
PB03	9.000	8.800	8.700	8.940	8.860
PB04	2.300	2.200	2.280	2.240	2.255
PB05	1.540	1.400	1.600	1.480	1.505
PB06	1.320	1.240	1.200	1.360	1.280
PB07	1.560	1.420	1.600	1.500	1.520
PB08	2.000	1.920	2.040	1.880	1.960
MRI02	5.240	****	****	****	****
BK	****	****	****	****	****
ZN01	0.860	0.920	0.980	0.800	0.890
ZN02	0.700	0.660	0.740	0.620	0.680
ZN03	0.860	0.740	0.780	0.740	0.780
ZN04	1.100	1.160	1.060	1.200	1.130
MRI04	1.020	****	****	****	****
BK	****	****	****	****	****

Fuente: "Elaboración de Tesista."

Apéndice E: % RSD de Los Métodos Aplicados.

Apéndice E.1: Desviación Estándar Método A.

Tabla 23: Desviación estándar, Método A

CODIGO DE MUESTRA	Desviación Estándar (S)				Desviación Estándar Relativa (%RSD)			
	S1	S2	S3	S4	%RSD1	%RSD2	%RSD3	%RSD4
CU01	0.192	0.192	0.038	0.038	0.212	0.212	0.042	0.042
CU02	0.096	0.135	0.019	0.058	0.111	0.155	0.022	0.067
CU03	0.106	0.087	0.029	0.048	0.123	0.101	0.034	0.056
CU04	0.048	0.029	0.029	0.010	1.368	0.821	0.821	0.274
CU05	0.029	0.029	0.010	0.048	0.853	0.853	0.284	1.422
CU06	0.048	0.029	0.010	0.029	0.965	0.579	0.193	0.579
CU07	0.029	0.010	0.029	0.048	0.813	0.271	0.813	1.355
CU08	0.029	0.048	0.029	0.010	0.784	1.306	0.784	0.261
PB01	0.038	0.077	0.000	0.038	0.434	0.868	0.000	0.434
PB02	0.135	0.096	0.019	0.058	1.548	1.106	0.221	0.664
PB03	0.067	0.087	0.029	0.010	0.710	0.913	0.304	0.101
PB04	0.048	0.029	0.010	0.029	1.991	1.195	0.398	1.195
PB05	0.029	0.048	0.029	0.010	1.823	3.039	1.823	0.608
PB06	0.019	0.019	0.019	0.019	1.408	1.408	1.408	1.408
PB07	0.038	0.038	0.000	0.000	2.406	2.406	0.000	0.000
PB08	0.019	0.019	0.019	0.019	0.916	0.916	0.916	0.916
ZN01	0.010	0.010	0.010	0.029	1.050	1.050	1.050	3.149
ZN02	0.010	0.010	0.010	0.029	1.283	1.283	1.283	3.849
ZN03	0.029	0.048	0.029	0.010	3.396	4.660	3.396	1.132
ZN04	0.038	0.038	0.000	0.000	3.208	3.208	0.000	0.000

Fuente: "Elaboración del Tesista".

Apéndice E.2: Desviación Estándar Método B.**Tabla 24:** Desviación Estándar, Método B.

CODIGO DE MUESTRA	Desviación Estándar (S)				Desviación Estándar Relativa (%RSD)			
	S1	S2	S3	S4	%RSD1	%RSD2	%RSD3	%RSD4
CU01	0.531	0.398	0.109	0.242	0.640	0.480	0.131	0.291
CU02	1.010	1.528	0.180	0.699	1.206	1.826	0.215	0.835
CU03	0.469	1.264	1.541	0.192	0.567	1.527	1.862	0.232
CU04	0.035	0.054	0.024	0.004	0.981	1.543	0.669	0.107
CU05	0.014	0.009	0.023	0.001	0.429	0.273	0.684	0.018
CU06	0.050	0.045	0.013	0.018	1.018	0.915	0.261	0.365
CU07	0.011	0.031	0.026	0.006	0.314	0.867	0.713	0.160
CU08	0.008	0.082	0.057	0.033	0.221	2.200	1.540	0.882
PB01	0.008	0.054	0.081	0.034	0.091	0.624	0.925	0.392
PB02	0.092	0.112	0.004	0.025	1.060	1.299	0.049	0.289
PB03	0.029	0.032	0.012	0.010	0.315	0.346	0.134	0.104
PB04	0.043	0.024	0.038	0.018	1.799	0.987	1.564	0.752
PB05	0.036	0.025	0.005	0.016	2.291	1.587	0.298	1.002
PB06	0.010	0.015	0.025	0.000	0.786	1.090	1.903	0.026
PB07	0.041	0.034	0.013	0.020	2.617	2.188	0.843	1.271
PB08	0.025	0.014	0.021	0.010	1.216	0.681	1.016	0.480
ZN01	0.003	0.003	0.001	0.002	0.276	0.356	0.103	0.183
ZN02	0.002	0.002	0.001	0.001	0.336	0.318	0.172	0.190
ZN03	0.013	0.026	0.014	0.002	1.659	3.176	1.730	0.213
ZN04	0.033	0.045	0.005	0.017	2.739	3.764	0.415	1.440

Fuente: "Elaboración del Tesista".

Apéndice E.3: Desviación Estándar Método C.**Tabla 25: Desviación Estándar, Método C.**

CODIGO DE MUESTRA	Desviación Estándar(S)				Desviación Estándar Relativa(%RSD)			
	S1	S2	S3	S4	%RSD1	%RSD2	%RSD3	%RSD4
CU01	0.638	0.545	0.233	0.140	0.698	0.596	0.255	0.153
CU02	0.429	0.356	0.160	0.087	0.473	0.393	0.176	0.096
CU03	0.455	0.393	0.161	0.223	0.504	0.435	0.178	0.247
CU04	0.022	0.020	0.010	0.008	0.617	0.552	0.280	0.215
CU05	0.024	0.002	0.022	0.003	0.687	0.050	0.639	0.098
CU06	0.045	0.046	0.005	0.006	0.827	0.851	0.092	0.115
CU07	0.036	0.030	0.003	0.009	0.958	0.788	0.077	0.247
CU08	0.004	0.017	0.004	0.017	0.121	0.468	0.117	0.464
PB01	0.048	0.060	0.010	0.023	0.539	0.677	0.114	0.252
PB02	0.038	0.029	0.005	0.014	0.462	0.350	0.059	0.171
PB03	0.204	0.136	0.001	0.068	2.071	1.379	0.005	0.686
PB04	0.060	0.098	0.047	0.009	2.604	4.250	2.054	0.408
PB05	0.019	0.022	0.003	0.005	1.240	1.421	0.162	0.343
PB06	0.017	0.016	0.009	0.008	1.197	1.152	0.626	0.581
PB07	0.025	0.023	0.010	0.008	1.473	1.404	0.572	0.503
PB08	0.044	0.086	0.017	0.026	2.146	4.252	0.838	1.267
ZN01	0.014	0.017	0.003	0.006	1.520	1.798	0.337	0.616
ZN02	0.001	0.006	0.002	0.005	0.132	0.763	0.207	0.688
ZN03	0.012	0.014	0.004	0.006	1.250	1.472	0.401	0.623
ZN04	0.013	0.011	0.006	0.004	1.212	1.007	0.596	0.390
MRI03	****	****	****	****	****	****	****	****

Fuente: Elaboración del tesista.

Apéndice E.4: Desviación Estándar Método D.**Tabla 26: Desviación Estándar, Método D.**

CODIGO DE MUESTRA	Desviación Estándar (S)				Desviación Estándar Relativa (%RSD)			
	S1	S2	S3	S4	%RSD1	%RSD2	%RSD3	%RSD4
CU01	0.383	0.059	0.319	0.124	1.290	0.200	1.074	0.416
CU02	0.304	0.146	0.229	0.071	1.057	0.507	0.795	0.245
CU03	0.415	0.076	0.415	0.076	1.930	0.352	1.930	0.352
CU04	0.037	0.010	0.067	0.020	2.160	0.580	3.925	1.185
CU05	0.007	0.039	0.027	0.018	0.394	2.200	1.544	1.051
CU06	0.007	0.000	0.012	0.004	0.323	0.019	0.539	0.196
CU07	0.019	0.008	0.007	0.018	1.109	0.470	0.403	1.042
CU08	0.020	0.022	0.007	0.008	1.187	1.287	0.385	0.485
PB01	0.006	0.018	0.018	0.005	0.174	0.557	0.548	0.165
PB02	0.016	0.023	0.004	0.011	0.409	0.587	0.097	0.275
PB03	0.008	0.010	0.020	0.018	0.205	0.247	0.487	0.445
PB04	0.006	0.006	0.011	0.010	0.402	0.383	0.683	0.664
PB05	0.018	0.003	0.021	0.006	1.670	0.261	1.931	0.522
PB06	0.004	0.010	0.012	0.007	0.343	0.870	1.133	0.606
PB07	0.003	0.017	0.034	0.013	0.327	1.882	3.656	1.447
PB08	0.008	0.002	0.001	0.007	0.580	0.164	0.099	0.515
ZN01	0.023	0.021	0.042	0.044	2.766	2.556	5.077	5.287
ZN02	0.014	0.010	0.000	0.004	2.749	1.930	0.058	0.877
ZN03	0.017	0.017	0.006	0.006	2.944	2.895	1.046	0.998
ZN04	0.011	0.014	0.005	0.003	0.953	1.148	0.415	0.220

Fuente: Elaboración del tesista.

Apéndice E.5: Desviación Estándar Método E.**Tabla 27: Desviación Estándar, Método E.**

CODIGO DE MUESTRA	Desviación Estándar(S)				Desviación Estándar Relativa(%RSD)			
	S1	S2	S3	S4	%RSD1	%RSD2	%RSD3	%RSD4
CU01	0.849	0.121	0.964	0.237	1.039	0.148	1.181	0.290
CU02	0.231	0.081	0.704	1.016	0.296	0.104	0.903	1.303
CU03	0.248	0.548	0.548	0.248	0.341	0.753	0.753	0.341
CU04	0.023	0.069	0.081	0.035	0.745	2.235	2.607	1.117
CU05	0.023	0.046	0.035	0.012	0.780	1.560	1.170	0.390
CU06	0.104	0.127	0.046	0.023	2.351	2.874	1.045	0.522
CU07	0.072	0.043	0.066	0.038	2.204	1.322	2.027	1.146
CU08	0.066	0.049	0.026	0.009	2.152	1.591	0.842	0.281
PB01	0.257	0.026	0.101	0.182	3.230	0.327	1.270	2.286
PB02	0.110	0.121	0.029	0.017	1.369	1.514	0.360	0.216
PB03	0.081	0.035	0.092	0.046	0.912	0.391	1.043	0.521
PB04	0.026	0.032	0.014	0.009	1.152	1.408	0.640	0.384
PB05	0.020	0.061	0.055	0.014	1.343	4.028	3.644	0.959
PB06	0.023	0.023	0.046	0.046	1.804	1.804	3.608	3.608
PB07	0.023	0.058	0.046	0.012	1.519	3.798	3.039	0.760
PB08	0.023	0.023	0.046	0.046	1.178	1.178	2.357	2.357
ZN01	0.017	0.017	0.052	0.052	1.946	1.946	5.838	5.838
ZN02	0.012	0.012	0.035	0.035	1.698	1.698	5.094	5.094
ZN03	0.046	0.023	0.000	0.023	5.922	2.961	0.000	2.961
ZN04	0.017	0.017	0.040	0.040	1.533	1.533	3.577	3.577

Fuente: Elaboración del tesista.

Apéndice E.6: Cuadro Comparativo de los Métodos en % de Recuperación.**Tabla 28:** Cuadro Comparativo en % de Recuperación.

CODIGO DE MUESTRA	Leyes Finales Promedio de Oro(g/TM)				
	Método A	Método B	Método C	Método D	Método E
CU01	90.733	82.929	91.526	29.677	81.650
CU02	86.767	83.686	90.747	28.807	77.980
CU03	86.117	82.762	90.401	21.509	72.850
CU04	3.517	3.523	3.608	1.717	3.100
CU05	3.383	3.319	3.439	1.758	2.960
CU06	4.983	4.959	5.403	2.278	4.420
CU07	3.550	3.619	3.804	1.718	3.275
CU08	3.683	3.705	3.628	1.727	3.085
PB01	8.867	8.723	8.930	3.239	7.955
PB02	8.700	8.638	8.183	3.887	8.010
PB03	9.483	9.255	9.872	4.088	8.860
PB04	2.417	2.404	2.308	1.543	2.255
PB05	1.583	1.593	1.565	1.106	1.505
PB06	1.367	1.331	1.425	1.096	1.280
PB07	1.600	1.562	1.666	0.928	1.520
PB08	2.100	2.069	2.030	1.318	1.960
ZN01	0.917	0.913	0.948	0.825	0.890
ZN02	0.750	0.706	0.732	0.494	0.680
ZN03	0.850	0.804	0.944	0.593	0.780
ZN04	1.200	1.190	1.054	1.182	1.130

Fuente: Elaboración del tesista.

ANEXOS

ANEXO 1.- GLOSARIO

a. Amalgama.

Aleación de mercurio con oro y otro metal.

b. Amalgama seca.

Es cuando se ha extraído todo el exceso de mercurio exprimiéndola con una tela o gamuza; contendrá casi las mismas proporciones de oro y mercurio y en algunos casos mayor proporción de metales preciosos.

c. Doré.

Aleación de oro con plata y pequeñas partes de platino.

d. Bullion.

Este término proviene de la palabra francesa "bouillon", siendo transferido el inglés como boliding (de hervir), término usado en la fundición de metales.

Barra metálica obtenida luego del proceso de fundición de los precipitados.

Estando compuesta en un mayor porcentaje por oro y plata.

e. Bullion Refinable.

Se refiere a cualquier aleación de oro o plata que no se ubica en la categoría de oro o plata comerciable, y por consiguiente comprende materiales que ensayan menos de 995 de oro.

f. Bullion Crudo.

Llamado también "Bullón Grueso", donde el contenido de oro está por debajo del 20%, siendo la diferencia impurezas de cobre, zinc, plomo, plata, etc.

g. Chatarra de oro.

Es el material constituido por desperdicios o desechos de oro.

h. Escorias.

Solidó de aspecto y comportamiento vidrioso compuesto por boratos y silicatos. Es el deshecho de la fundición que se separa del metal por su menor peso específico.

i. Fundentes

Compuestos químicos utilizados con la finalidad de bajar el punto de fusión y oxidar los metales no nobles en el proceso de fundición. Los procesos que se pueden seguir dependerán de la composición química del precipitado y la calidad del producto final que se quiera obtener.

j. Fundición.

Proceso de fusión del precipitado a alta temperatura, 1100 ° C

k. Oro Fino

Es el oro que ensaya 999.5 o más partes. También llamado como oro de 24 Quilates.

Probablemente sea extraño para algunos el que se tenga que mencionar la definición de oro fino, más bien sería la especificación de pureza de un oro, sea este reciclado o afinado, para dar esta especificación de pureza será necesario definirlo mediante alguna NORMA especial para ello tal

como la Norma ASTM B 562 la cual establece cuatro categorías para los oros refinados las cuales son:

Anexo 1.a.- 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 Carbonáceos

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

e.- Minerales Auríferos

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

Aleaciones Naturales (Au_2Hg_3) (Au_2Bi) $(AuCu_3)$ Paladio cupriáurico $(Cu,Pd) 3Au_2$ **Sulfuros** Uytembogarditita (Au_3AuS_2) **Telururos** Te_2 Krennerita $(Au,Ag)Te_2$ Te_3 Ivanita $(Au,Ag)Te_4$ Te_4

└ Nagyagita($\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_5$)

Antimoniuros

└ Aurostibita (AuSb_2)

Seleniuros

└ Fischesserita (AuAg_2Se_2)

Anexo 1.b.- Glosario de Tipos de yacimientos Auríferos

A.- Vetas y filones de cuarzo aurífero.

Las vetas de cuarzo con mineralización de oro nativo y otros metales de menor importancia ocurren

en dos unidades geológicas principales:

(área de Nazca, Ocoña).

└ Rocas paleozoicas y rocas intrusivas vecinas que constituyen la Cordillera Oriental.

B.- Depósitos 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.

b.1.- Placeres

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

b.2.- 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.

b.3.- Depósitos Diseminados de Oro

Los yacimientos de este tipo han sido puestos en explotación recientemente. Consisten en diseminados de oro en granos muy finos en calizas, dolomitas carbonáceas y limosas. El oro que mayormente es sub-microscópico, está acompañado de sílice, pirita y otros sulfuros.

b.4.- Oro como Subproducto.

Donde el oro es el constituyente menor común de la mena y puede ser recuperado durante los procesos de fundición y refinación de los concentrados de los metales base. A pesar de que el contenido de oro en

estas menas es baja, la producción es significativa debido a los altos tonelajes de mineral que se tratan.

ANEXO 2: METODOS DE ANALISIS DE ORO VIA SECA

1.-OBJETIVO:

El presente método será utilizado para determinar Oro en Muestras de Producción, Taladros BDH, Sistemáticos, Mineral Roto y Muestras Oxidadas, cuyas concentraciones de Oro sea mayor de 5 000 ppb.

2.-PRINCIPIO DEL METODO

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

3.-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.

4.-MATERIALES Y REACTIVOS

- Crisoles refractarios de 30 gr.
- Copelas N° 8B.
- Crisoles de Porcelana de 30 cc.- 79MF/7^a.
- 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 e Internos de trabajo.

5.-PROCEDIMIENTO

- Previamente limpiar los crisoles de 30 g., enumerar de acuerdo al código de cada muestra y colocarlos en forma ordenada en la sección pesada de Muestras.
- Colocar la bolas de plástico conteniendo el flux 7x10"x1.5 (90g.Aproximadamente) en el crisol de arcilla de 30 gr.
- Pesar 30 g de muestra pulverizada de: Producción, Taladros BDH, mineral Roto y muestreo sistemático.
- Homogenizar bien la a mezcla.
- Cubrir la mezcla homogeneizada con 20 g. de Bórax aprox.
- Llevar los crisoles al horno de fundición a una temperatura de 900 °C por un período de 10 minutos, luego subir la temperatura a 1050 °C durante una hora.

- Retirar el crisol del horno realizando un movimiento circular para una mejor aglomeración de Plomo y golpear sobre la superficie de la mesa metálica.
- Verter el contenido del crisol en la lingotera previamente limpia y completamente seca.
- Dejar enfriar unos 15 minutos, retirar la escoria de la lingotera, golpeando con un martillo para liberar el régulo 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.
- Las copelas previamente serán puestas en el horno por un tiempo de 20 minutos a 860°C.
- Colocar el cubo de plomo sobre las copelas con una tenaza y cerrar la puerta del Horno, y cuando el plomo se haya fundido entreabrirla para que entre una corriente de aire y así oxidar el Plomo.
- 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.

- 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.

- Colocar el doré en un crisol de porcelana, disgregar con 10 ml 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 Reacción Química.

- Decantar la solución y lavar unas 6 veces con agua desionizada caliente libre de cloruros, luego lavar con hidróxido de Amonio 1:6 y finalmente lavar con agua tres veces.

- 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 aprox.).

- Enfriar bien los crisoles de porcelana y pesar el botón de oro en la ULTRAMICROBALANZA SARTORIUS SE-2, registrando el peso en los formatos de trabajo.

EXPRESION DE RESULTADOS:

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

$$Au = 33.33 \times P1$$

Donde:

Au : Contenido de oro en gramos por Tonelada Métrica (g/TM)

P1 : Peso en miligramos del botón de oro.

P : Peso en gramos de la muestra.(30 gr).

ANEXO 3: PRINCIPALES HECHOS DE LA HISTORIA DEL ORO

560 AC	Las primeras monedas de oro puro son acuñadas en Lidia, reino de Asia Menor
50	Los romanos emitieron una moneda de oro llamada Aureus
1284	Venecia introduce el ducado de oro que pronto se convierte en la moneda mas popular del mundo y prevalece asi por mas de cinco siglos. Gran Bretaña emite su mayor moneda de oro, el Florin, a la cual le sigue el Noble, el Angel, la Corona y la Guinea.
1511	El Rey Fernando de España envía misiones de exploración al Hemisferio Occidental con la orden de conseguir oro
1717	Isaac Newton, titular de la casa de la moneda de Londres, estableció un precio del oro que permaneció por 200 años
1787	La primera moneda norteamericana es acuñada por el orfebre Ephraim Brasher
1792	El acta del Sistema Monetario de Estados Unidos es bimetálico (oro y plata) y define equivalencias con el dólar de 24,75 granos de oro fino y de 371.25 granos de plata fina
1848	La fiebre del oro se inicia en California cuando James Marshall encuentra oro cerca de la convergencia de los rios América y Sacramento.
1850	Edgard Hammong Margraves, descubre oro en New South Wales, Australia.
1859	Se descubre oro y plata en Nevada. Cinco años más tarde, Nevada se convierte en un nuevo Estado.
1886	Se descubre oro en Sudáfrica
1896	Se descubre oro en el norte de Canadá, y dos años mas tarde, en 1898, se descubre oro en Alaska.
1900	Estados Unidos adopta el patrón de oro para su moneda.
1933	El presidente Roosevelt prohíbe la exportación de oro; suspende la convertibilidad de las cuentas de dólares en oro; establece que los ciudadanos norteamericanos entreguen todo el oro que poseen; y establece un precio diario para el oro.
1934	Se fija el precio del oro a 35 dólares por onza
1944	El Acuerdo de Bretón Woods establece un patrón de cambio de oro internacional (internacional gold Exchange Standard). Define equivalencias de valores para sus monedas en términos de oro y obliga a los países miembros a convertir
1968	El 15 de marzo, los bancos centrales abandonaron el precio fijo del oro de 35 dólares por onza troy y lo dejamos flotar
1973	El gobierno norteamericano abandona definitivamente la convertibilidad de dólar en oro y se permite que los precios del oro floten libremente. En junio, el mercado del oro en Londres supera los 120 dólares la onza
1974	El 31 de diciembre el gobierno norteamericano da por concluida la prohibición de tenencias individuales de oro.
1980	El 21 de enero, el oro registra el precio histórico de 870 dólares en New York
1999	Se introduce el Euro, la moneda comunitaria de la Unión Europea, respaldada por un nuevo Banco Central de esos países, el cual tiene 15% de sus reservas de oro.

Fuente: "The Gold Institute, History of Gold, Vincent Buranelli"

ANEXO 4: PRUEBA DE ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA PARA ANALISIS DE MINERALES: ORO

1.- DETERMINACION DE ORO

1.1.- Condiciones de medición:

- Corriente: 12 mA
- Longitud de onda: 242.8 nm
- Ancho de ranura: 0.5 nm
- Modo de lámpara: HOLLOW CATOD
- Altura de quemador: 7 mm
- Angulo de quemador: 0
- Flujo de combustible: 1.8 L/min
- Oxidante: aire

1.2.- Curvas de calibración: (0; 0,500; 1,000; y 2,000 ppm) , (0; 2,000; 5,000; y 10,000 ppm)

2.- OPERACIÓN

- Preparación de estándares para curva de calibración a partir de una matriz de 1000ppm.
- Calibración de curva para leyes bajas o altas, según sea el caso.
- Lectura de las muestras problema.
- Registro de resultados obtenidos de las lecturas.
- Cálculo y evaluación de las leyes finales de oro.

Interferentes: Si coexisten Fe, Cu y Ca en cantidades grandes se presenta interferencia negativa. Sin embargo la interferencia química es pequeña.

Fuente: Laboratorio de Instrumentación de MINLAB S.R.L.

ANEXO 5: TRATAMIENTOS DE DATOS ESTADISTICOS

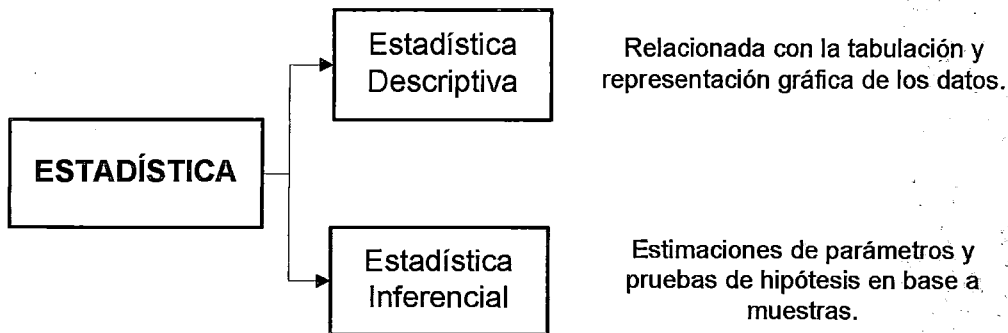
(1)Definiciones.

Estadística: Es una ciencia que proporciona métodos, técnicas, procedimientos, para: recopilar, organizar, presentar, analizar datos con el fin de describirlos o de realizar generalizaciones válidas. Es una ciencia que nos permite organizar datos para obtener información que permita evaluar el desempeño del proceso que proporcionan los datos y finalmente tomar decisiones.

Pero ¿de dónde nace la estadística? ... pues de algo que se comentaba en la introducción: la variabilidad. Las cosas cambian, no existen en la naturaleza dos entidades con los mismos valores para una de sus dimensiones.

La estadística, pues, se encarga de recolectar datos de los distintos procesos en donde esta presenta la variación y analizarlos. Nos interesa que esto se realice con el objetivo de entender la variación, identificar sus causas y reducirla, como evidencia de mejora del proceso.

La estadística tradicionalmente se divide en Estadística Descriptiva y Estadística Inferencial, tal como se explica en el siguiente esquema:



Población

Una población está formada por la totalidad de las observaciones en las cuales se tiene cierto interés.

Muestra

Una muestra es un subconjunto de observaciones seleccionadas de una población. Para que las inferencias sean válidas, la muestra debe ser representativa de la población. A menudo resulta atractivo seleccionar las observaciones más convenientes como muestra o ejercitar el juicio en la selección de la muestra.

Es frecuente que estos procedimientos introduzcan un sesgo en la muestra, lo que trae como consecuencia que el parámetro de interés sea subestimado (o sobrestimado) por la muestra.

Por otra parte, no es posible describir de manera estadística el comportamiento de una muestra de este tipo. Para evitar estas dificultades, es deseable seleccionar una muestra aleatoria como el resultado de un mecanismo aleatorio.

En consecuencia, la selección de una muestra es un experimento aleatorio, y cada observación de la muestra es el valor observado de una variable aleatoria. Las observaciones en la población determinan la distribución de probabilidad de la variable aleatoria.

Estadística

Una estadística es cualquier función de las observaciones contenidas en una muestra aleatoria. Por ejemplo, si X_1, X_2, \dots, X_n es una muestra aleatoria de tamaño n , entonces la media muestral \bar{X} , la varianza muestral S^2 , y la desviación estándar muestral S , son estadísticas

Puesto que una estadística es una variable aleatoria, ésta tiene una distribución de probabilidad. Se conoce como distribución de muestreo a la distribución de probabilidad de una estadística.

Estimadores

Una variable aleatoria se caracteriza o describe mediante su distribución de probabilidad. Tal distribución es descrita, a su vez, por sus parámetros. Por ejemplo, la media μ y la varianza σ^2 de la distribución normal son sus parámetros, mientras que λ , es el parámetro de la distribución de Poisson. En el control estadístico de calidad se usa la distribución de probabilidad para describir o

modelar alguna característica de la calidad, como la dimensión crítica de un producto, o la fracción de defectuosos en un proceso de manufactura. Por lo tanto, interesa hacer inferencias respecto a los parámetros de distribuciones de probabilidad.

Como suelen desconocerse los parámetros, es necesario disponer de procedimientos para estimarlos a partir de datos muestrales y para ello se utilizan dos tipos de estimaciones: puntual y por intervalo.

Valor esperado o esperanza matemática

- Variable aleatoria discreta:

$$\mu_x = E_{(x)} = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

- Variable aleatoria continua:

$$\mu_x = E_{(x)} = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$$

(2) Estimación puntual y por intervalos

Es la estimación del valor del parámetro por medio de un único valor obtenido mediante el cálculo o evaluación de un estimador para una muestra específica. El estimador se expresa mediante una fórmula.

Por ejemplo, la media de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

es un posible estimador puntual de la media poblacional μ ,

A continuación se presenta estimadores puntuales de la media, de la proporción, de la varianza, de diferencia de promedios y de la diferencia de proporciones.

Parámetro	Estimador puntual
μ	\bar{x}
σ^2	S^2
p	\hat{p}
$\mu_1 - \mu_2$	$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$
$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$
$p_1 - p_2$	$\hat{p}_1 - \hat{p}_2$

Es probable que un sólo número no sea tan significativo como un intervalo, dentro del cual se espera encontrar el valor de un parámetro. Una estimación por intervalo de un parámetro es el intervalo limitado por dos estadísticas, de manera que incluye el verdadero valor del parámetro con cierta probabilidad. El intervalo estimado recibe el nombre de intervalo de confianza.

(3) Medidas de tendencia central y de dispersión

(a) La Media o Promedio

La media, es la suma de los valores observados dividida entre el número de observaciones. Así pues si se tienen las

temperaturas máximas para cada día de la última semana: 15, 16, 18, 17, 15, 16 y 19 °C, el promedio o la media de temperatura máxima para la semana será:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{15+16+18+17+15+16+19}{7}$$

$$\bar{x} = 16.57^{\circ}\text{C}$$

Donde x_i es la temperatura para cada día de la semana pasada.

(b) La Mediana

Para calcular la mediana de un grupo de datos es necesario ordenarlos primero y luego identificar cuál es el valor que está en el medio. La mediana será el valor que tiene por debajo de él al 50% de las observaciones menores y por encima de él está el 50% de las observaciones mayores.

En la tabla siguiente tenemos el número de productos vendidos en cada uno de los 24 días, ordenados (no se olvide que si los datos no están ordenados de menor a mayor, es necesario ordenarlos primero). El 50% de 24 es 12, eso quiere decir que debemos encontrar un número que separe a los 12 primeros valores de ventas de los 12 últimos. Entre la posición 12 y la posición 13, que corresponden a los números 25 y 27 respectivamente, se debe encontrar la mediana de la siguiente forma:

$$Me = \frac{25 + 27}{2} = 26$$

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ventas ordenadas	12	13	13	13	16	17	17	17	19	21	22	25	27	29	29	31	35	36	37	42	42	42	49	52
	50% inferior											Me=26		50% superior										

Si la cantidad de datos fuera impar, por ejemplo la venta de 23 días solamente, el valor de la mediana es más fácil determinarlo, tal como podemos ver en la siguiente tabla. El valor de la posición 12 tiene 11 datos por debajo y 11 datos por encima por lo que la $Me=25$.

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Ventas ordenadas	12	13	13	13	16	17	17	17	19	21	22	25	27	29	29	31	35	36	37	42	42	42	49	
	50% inferior											Me=25		50% superior										

(c) La Moda

En un conjunto de datos, analizados individualmente, la moda es el valor que más se repite. Si se trata de datos agrupados en intervalos, podemos considerar que la moda es el centro del intervalo que tiene mayor frecuencia, es decir, el intervalo con más datos.

Podría suceder que algunos datos no tengan moda o que tengan más de una moda (ver la tabla anterior de datos, en donde 13, 17 y 42 se repiten 3 veces cada uno, lo que nos indicaría que hay 3 modas).

La moda no es muy usada para cálculos matemáticos ni de control de procesos, pues es un parámetro muy básico y poco riguroso en su determinación.

Estas 3 medidas de tendencia central tienen sus ventajas y desventajas, que hacen sean aplicables en uno u otro caso; por eso las describimos en la siguiente tabla.

Tabla 29: Comparación Medidas de Tendencia Central (Media, Mediana, Moda)

	Media	Mediana	Moda
Característica principal	Es el centro de gravedad de los datos.	Da una idea de dónde están localizadas la mayoría de las observaciones	Da una idea de dónde están localizadas la mayoría de las observaciones
En relación al uso de los datos	Usa todas las observaciones	No usa todos los datos, y los valores extremos pueden ser importantes	No usa todos los datos, y los valores extremos pueden ser importantes
En relación al manejo de los datos	No es necesario clasificar los datos, pero sí hacer un cálculo con todos los datos	Es requerido poco cálculo, pero los datos deben estar clasificados y ordenados	No es necesario hacer cálculos ni clasificar las observaciones
Sobre los valores extremos	Pueden distorsionar el valor de la media	No es sensible a valores extremos	No es influenciado por valores extremos
Valor real	Puede no ser un valor real, ya que es resultado de un cálculo	En algunos casos es un valor real	Es un valor real, porque se obtiene de las observaciones
Existencia	Siempre se puede determinar	Siempre se puede determinar	Los datos pueden no tener moda
Fórmula en Excel	=Promedio(Datos)	=Mediana(Datos)	=Moda(Datos)

Fuente: "Estadística Aplicada, David S. Moore"

(d) El Rango (R).

El rango, es la diferencia entre el máximo valor y el mínimo valor del grupo de datos que se está analizando. Nos da una idea general de qué tan grande es la variación. Si entre los datos hay valores fuera de lo normal, extraños (a estos datos se les llama espurios), el rango se va a ver afectado porque ya sea el máximo valor (o el mínimo) va a ser más grande (más pequeño) de lo normal. En Excel el rango usa la siguiente fórmula: =Max(Datos)-Min(Datos). Si los datos fueran los de la temperatura con los que se halló la media, 15, 16, 18, 17, 15,16 y 19 °C, el rango sería:

$$R = 19 - 15 = 4$$

(e) El Rango Intercuartil (RIC)

Para definir el rango intercuartil, primero debemos decir que un cuartil es aquel número que divide a los datos en una cuarta parte. En un grupo de datos, existen cuatro cuartos, y 3 fronteras que los dividen. Cada una de estas fronteras es un cuartil. En la tabla de datos siguiente se puede observar que, luego de ordenar los datos de menor a mayor, se puede identificar la media $Me = 25$ como se indicó antes. El primer cuartil Q_1 es el valor que divide la primera mitad en dos, es decir el que separa al 25% inferior del 75% superior: $Q_1 = 17$.

El tercer cuartil Q_3 es el valor que divide la segunda mitad en dos, es decir el que separa al 75% inferior del 25% superior: $Q_3 = 36$. Así pues, la mediana es llamada también el segundo cuartil.

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ventas ordenadas	12	13	13	13	16	17	17	17	19	21	22	25	27	29	29	31	35	36	37	42	42	42	49
	25% inferior					$Q_1 = 17$					50% central					$Q_3 = 36$					25% superior		

Una vez que hemos definido los cuartiles, el rango intercuartil marca la amplitud que hay desde el primer al tercer cuartil, es decir, la amplitud del 50% central de los datos con los que se trabaja.

$$RIC = Q_3 - Q_1$$

Para el ejemplo, el RIC es 19. En Excel la función para calcular el cuartil es =Cuartil(Datos, Número de Cuartil)

(f) La Varianza y la Desviación Estándar

La varianza, es una medida que cuantifica el grado de concentración de los datos alrededor del centro cuando el centro es definido como la media. La forma de cálculo es:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

donde n es la cantidad de datos que se usan para calcular el promedio \bar{x} y x_i es cada uno de esos datos.

Si consideramos los datos de las temperaturas máximas para cada día de la última semana como: 15, 16, 18, 17, 15, 16 y 19°C, la varianza se calcula primero hallando la diferencia entre cada uno de los valores y el promedio, luego esa diferencia se eleva al cuadrado y finalmente se suma la tercera columna.

Tabla 30: Cálculo de la Varianza

Temperatura $x(^{\circ}\text{C})$	$(x_i - \bar{x})$ $^{\circ}\text{C}$	$(x_i - \bar{x})^2$ $^{\circ}\text{C}^2$
15	-1.57	2.47
16	-0.57	0.33
18	1.43	2.04
17	0.43	0.18
15	-1.57	2.47
16	-0.57	0.33
19	2.43	5.90
$\bar{x} = 16.57$		13.71

Fuente: "Estadística Aplicada, David S. Moore"

Al dividir la suma entre el total de datos menos uno, se tiene el valor de la varianza:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{13.71}{6} = 2.2857^{\circ}\text{C}^2$$

Usted puede darse cuenta que las unidades de las temperaturas son grados centígrados $^{\circ}\text{C}$ y que al elevar al cuadrado, la varianza termina con unidades de $^{\circ}\text{C}^2$. Para evitar usar dos unidades distintas, en este ejemplo $^{\circ}\text{C}$ y $^{\circ}\text{C}^2$ se suele trabajar con la desviación estándar, que es la raíz cuadrada positiva de la Varianza. Para este caso la desviación estándar tiene un valor de $S = 1.512$.

Por ejemplo, se hace un estudio en el proceso de envase de fideos en bolsas de 250g. En la línea de envase 1 las bolsas tienen un peso promedio de 251g y una desviación estándar de 2.1g. Analizando solamente el valor de la desviación estándar no se puede decir que la variación que representa sea buena o no. La línea 2 también envasa el mismo producto y el promedio es 251.5g con una desviación estándar de 2.5g. Ahora sí, la desviación estándar nos permite analizar que la variación de los pesos en la línea de envase 1 es menor que en la línea 2, es decir, la línea 1 trabaja con menos variación.

Después de hacer una limpieza, mantenimiento y calibración en la línea 2, resulta que se obtiene un promedio de 250g y una desviación estándar de 1.6g. Nos podemos dar cuenta que ha habido una mejora en el proceso, los pesos son menos dispersos, independientemente del promedio, que también se ha corregido.

La línea 1 también es usada para envasar productos de 500g. En promedio las bolsas tienen 502g y la desviación estándar de los pesos es 3.5g. ¿Qué pasó con el proceso? ¿Se dañó? Si comparamos los 2.1 g con los 3.5 podemos concluir que ha aumentado la dispersión; pero ese análisis no está considerando que es una variación de bolsas pequeñas de fideos contra una variación de bolsas grandes. Para hacer ese análisis es necesario presentar primero el concepto de **coeficiente de variación**.

(g) Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación compara la desviación estándar con la media, por lo que es útil para comparar la variabilidad de por lo menos dos grupos de datos que tienen promedios razonablemente distintos.

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}$$

En el ejemplo que se discutía anteriormente, comparar las desviaciones estándares de 2.1g y 3.5g no se justifica cuando éstas son de procesos que tienen promedios muy distintos (prácticamente el doble). Si se calcula el coeficiente de variación

(llamado también *desviación estándar relativa* RSD) se tiene que:

	Línea 1 250 g	Línea 2 500 g
Promedio	251 g	502 g
Desviación estándar	2.1 g	3.5 g
Coefficiente de variación	0.008367	0.00697

Entonces, comparativamente, la línea 1 para 250 gramos tiene mayor variación relativa que para 500 gramos. Dicho de otra forma, la variación para 250 g es de 0.84% del promedio, cuando para 500 g es solamente el 0.7% (redondeado).

ANEXO 6: Tabla de T-Student: TABLA PARA DIFERENTES NIVELES DE CONFIANZA Y GRADOS DE LIBERTAD

Número de observaciones	Grados de libertad (n-1)	Nivel de confianza					
		99%	98%	95,45%	0,90	0,80	68,00
2	1	63,66	31,82	13,97	6,31	3,08	1,82
3	2	9,92	6,96	4,53	2,92	1,89	1,31
4	3	5,84	4,54	3,31	2,35	1,64	1,19
5	4	4,60	3,75	2,87	2,13	1,53	1,13
6	5	4,03	3,36	2,65	2,02	1,48	1,10
7	6	3,71	3,14	2,52	1,94	1,44	1,08
8	7	3,50	3,00	2,43	1,89	1,41	1,07
9	8	3,36	2,90	2,37	1,86	1,40	1,06
10	9	3,25	2,82	2,32	1,83	1,38	1,05
11	10	3,17	2,76	2,28	1,81	1,37	1,05
12	11	3,11	2,72	2,25	1,80	1,36	1,04
13	12	3,05	2,68	2,23	1,78	1,36	1,04
14	13	3,01	2,65	2,21	1,77	1,35	1,03
15	14	2,98	2,62	2,20	1,76	1,35	1,03
16	15	2,95	2,60	2,18	1,75	1,34	1,03
17	16	2,92	2,58	2,17	1,75	1,34	1,03
18	17	2,90	2,57	2,16	1,74	1,33	1,02
19	18	2,88	2,55	2,15	1,73	1,33	1,02
20	19	2,86	2,54	2,14	1,73	1,33	1,02
Infinito	Infinito	2,58	2,33	2,00	1,64	1,28	1,00

Fuente: Guía para el Cálculo de la Incertudumbre, ECA, Pág 25.

ANEXO 7:**Anexo 7.1: Estudios Comparativos de Análisis de Oro por Métodos de Vía Seca y Método Vía Húmeda, en Minerales de Exploración****Tabla 31: Estudios Comparativos de Análisis de Oro por Métodos de Vía Seca y Método Vía Húmeda, en Minerales de Exploración de Diferentes Leyes**

Nombre del Laboratorio	Vía Seca		Vía Húmeda	
	Reactivo	Condición	Reactivo	Condición
SGS del Perú	PbO Na_2CO_3 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ SiO_2	Dos etapas (1) fundición a 1050°C (2) copelación a 960°C	HNO_3 HCl H_2O	Dos etapas (1) oxidación a 250°C (2) digestión a 350°C
Laboratorio SGS Brasil	PbO Na_2CO_3 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ SiO_2 HNO_3	Dos etapas (1) fundición a 1050°C (2) copelación a 960°C	HNO_3 HCl H_2O	Dos etapas (1) oxidación a 200°C (2) digestión a 350°C
Laboratorio SGS México	PbO Na_2CO_3 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ SiO_2	Dos etapas (1) fundición a 1050°C (2) copelación a 960°C	HNO_3 HCl H_2O	Dos etapas (1) oxidación a 200°C (2) digestión a 350°C
Laboratorio Germánico	PbO Na_2CO_3 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ SiO_2	Dos etapas (1) fundición a 1050°C (2) copelación a 960°C	HNO_3 HCl H_2O	Dos etapas (1) oxidación a 250°C (2) digestión a 350°C

Fuente: "Cortesía del Laboratorio SGS del PERU S.A.C."

Anexo 7.2: Propiedades Físicas del Oro**Tabla 32: Propiedades Físicas del oro**

PROPIEDADES	oro
Símbolo químico	Au
Color	Amarillo
Peso Atómico	197
Número Atómico	79
Estado de Oxidación	3.1
Densidad Específica	19.3
Temp. De Fusión° C	1063
Temp. De ebullición° C	2530
Temp. De vaporización° C	2808
Calor de fusión, cal/gr.	16.3
Dureza (Mohs)	2.5
Radio atómico, A°	1.46
Radio iónico, A°	1.37
Potencial normal, voltios	1.498
Resist. Eléctrica, MHm.	2.25
Electronegatividad	2.4

Fuente: "Miguel Angel Ponce - Tecnología de refinación de los metales preciosos"

Anexo 7.3: Potenciales de oxidación-reducción estándar para oro en soluciones acuosas

Tabla 33: Potenciales de oxidación-reducción estándar para oro en soluciones acuosas (Volts)

Ligante	$E^{\circ}(I)$	$E^{\circ}(III)$
H_2O	+ 1.70	+ 1.40
Cl^-	+ 1.15	+ 1.00
Br^-	+ 0.96	+ 0.86
I^-	+ 0.56	+ 0.57
SCN^-	+ 0.67	+ 0.64
NH_3	+0.563	+ 0.325
$SC(NH_2)_2$	+ 0.38	—
$SeC(NH_2)_2$	+0.20	—
CN^-	- 0.61	—

Fuente: "Aspectos Fundamentales del Proceso de Cianuración del Oro, pag.41,

David J. Spottimood"

Anexo 7.4: Propiedades del Ácido Clorhídrico**Tabla 34: Propiedades del Ácido Clorhídrico**

PROPIEDADES	ÁCIDO CLORHÍDRICO
Color	Incoloro, amarillo
Olor	Picante, irritante
Temperatura de fusión ° C	-46.2
Punto de ebullición ° C	90
Punto de fusión ° C	-114
Presión de vapor a (20° C y 30%) mmHg	15
Densidad relativa	1.19
Densidad del liquido gr / cc	1.19
Densidad de vapor	1.257
Solubilidad en agua (alcohol, éter, benceno) gr/lt	823
Calor de fusión cal/mol	476
Calor de vaporización cal/gr	98.6

Fuente: "Miguel Angel Ponce - Internacional Chemical Safety Cards"

Anexo 7.5: Propiedades del Ácido Nítrico**Tabla 35: Propiedades del Ácido Nítrico**

PROPIEDADES	ÁCIDO NÍTRICO
Punto de congelación ° C	-41
Punto de ebullición ° C	121
Presión de vapor Kpa (20° C)	6.4
Densidad relativa g/cm3	1.41
Solubilidad en agua	Soluble en todas las proporciones, con reaccion exotermica
Solubilidad en solventes orgánicos	No disponible, sin embargo, Reacciona con solventes organicos como etanol.
Estabilidad en agua	Estable a temperatura ambiente, inestable a Altas temperaturas.
Inflamabilidad	No inflamable
Propiedades oxidantes (Corrosividad)	Oxidante fuerte.

Fuente: "Miguel Angel Ponce - Internacional Chemical Safety Cards"