

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA**



**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**LICENCIADO EN QUÍMICA**

**TITULADO:**

**“ANÁLISIS QUÍMICO DE MINERALES PARA LA EXPLORACIÓN,  
EXPLOTACIÓN Y PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE LA COMPAÑÍA MINERA  
ARES S.A.C.”**

**PRESENTADO POR:**

**RICHARD JESÚS ORTIZ ZAMUDIO**

**ASESOR:**

**MSc. CHRISTIAN JACINTO HERNÁNDEZ**

**LIMA-PERÚ**

**2015**

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1: ETAPAS PRINCIPALES EN LA ACTIVIDAD MINERA.</b>	
1.1 FORMACIÓN DE ROCAS. TIPO DE YACIMIENTO MINERO EN ARES.	17
1.1.1 FORMACIÓN DE ROCAS.	17
1.1.2 TIPO DE YACIMIENTO MINERO EN ARES.	18
1.1.2.1 YACIMIENTO EPITERMAL.	18
1.2 EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE MINERALES.	20
1.2.1 EXPLORACIÓN DE MINERALES.	20
1.2.1.1 CATEO Y PROSPECCIÓN.	20
1.2.1.2 LA EXPLORACIÓN, LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE FACTIBILIDAD.	21
1.2.2 EXPLOTACIÓN DE MINERALES.	23
1.2.2.1 DESARROLLO Y PREPARACIÓN.	23
1.2.2.2 CONSTRUCCIÓN.	24
1.3 PROCESO DE LIXIVIACIÓN Y RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRIL CROWE.	26
1.3.1 PROCESO DE LIXIVIACIÓN.	26
1.3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONVENCIONAL.	27
1.3.2 PROCESO DE LIXIVIACIÓN “GOLD MILL” EMPLEADO EN PLANTA BENEFICIO – ARES.	28
1.3.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE ORO Y PLATA POR CIANURACIÓN EMPLEADO EN PLANTA BENEFICIO – ARES.	30

1.3.3 RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRILL CROWE.	32
1.3.3.1 FUNDICIÓN.	32
1.3.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRILL CROWE EN PLANTA BENEFICIO – ARES.	33
1.3.4 ASPECTOS QUÍMICOS DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE ORO Y PLATA POR CIANURACIÓN.	34
1.3.4.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE CIANURO.	34
1.3.4.2 DESCOMPOSICIÓN DE LAS SOLUCIONES DE CIANURO.	34
1.3.4.3 VELOCIDAD DE DISOLUCIÓN.	35
1.3.4.4 EFECTO DEL OXÍGENO EN LA DISOLUCIÓN.	35
1.3.4.5 EFECTO DE LA ALCALINIDAD DE LAS SOLUCIONES.	35
1.3.4.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA.	35
1.3.4.7 CONDICIONES PARA QUE UN MINERAL SEA CIANURABLE.	36
1.4 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR LA INDUSTRIA MINERA NO CONTROLADA.	36
1.4.1 LOS IMPACTOS EN EL AGUA, SUELO Y AIRE.	37
1.4.1.1 AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS.	37
1.4.1.2 SUELO.	39
1.4.1.3 AIRE.	39
1.4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS Y TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS Y DESECHOS DE MINERÍA.	40
1.4.2.1 CIANURO.	40
1.4.2.2 ARSÉNICO.	42
1.4.2.3 PLOMO.	43
1.4.2.4 CADMIO.	43
1.4.2.5 MERCURIO.	44

## **CAPÍTULO 2: TÉCNICA Y ANÁLISIS INSTRUMENTAL EMPLEADOS**

2.1 TÉCNICA DE ENSAYO AL FUEGO (FIRE ASSAY).	47
2.1.1 ETAPAS DEL PROCESO.	49
2.1.1.1 PROCESO DE FUNDICIÓN O FUSIÓN.	49
2.1.1.2 PROCESO DE COPELACIÓN.	50
2.1.1.3 PROCESO DE PARTICIÓN.	51
2.1.2 EQUIPOS Y MATERIALES.	52
2.1.2.1 HORNOS Y COMBUSTIBLES.	52
2.1.2.2 CRISOLES Y COPELAS.	55
2.1.2.3 UTENSILIOS PARA REALIZAR EL ENSAYO AL FUEGO.	57
2.1.2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN TÉRMICA.	57
2.1.2.5 REACTIVOS QUE SE UTILIZAN COMÚNMENTE EN EL ENSAYO AL FUEGO.	58
2.2 ANÁLISIS INSTRUMENTAL POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	69
2.2.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN FLAMA.	69
2.2.1.1 COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	70
2.2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	71
2.2.1.3 FUENTES DE RADIACIÓN.	72
2.2.1.4 NEBULIZADOR.	74
2.2.1.5 QUEMADOR.	76
2.2.2 INSTRUMENTACIÓN EN ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	77
2.2.2.1 INSTRUMENTOS DE UN SOLO HAZ.	77
2.2.2.2 INSTRUMENTOS DE DOBLE HAZ.	78

## **CAPÍTULO 3: TRABAJO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO**

<b>3.1 DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.</b>	<b>81</b>
3.1.1 ALCANCE.	81
3.1.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	81
3.1.3 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.	82
3.1.4 EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES.	82
3.1.5 REACTIVOS.	83
3.1.6 PROCEDIMIENTO.	83
3.1.6.1 PESADO DE MUESTRAS.	83
3.1.6.2 DIGESTIÓN ÁCIDA.	83
3.1.6.3 EXPRESIÓN DE RESULTADOS.	84
3.1.6.4 CONTROL DE CALIDAD.	84
<b>3.2 DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA O MÉTODO GRAVIMÉTRICO.</b>	<b>85</b>
3.2.1 ALCANCE.	85
3.2.2 PRINCIPIO DEL MÉTODO.	85
3.2.3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	85
3.2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.	86
3.2.5 EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES.	86
3.2.6 REACTIVOS.	87
3.2.7 PROCEDIMIENTO.	88
3.2.7.1 PESADO DE MUESTRAS.	88
3.2.7.2 FUNDICIÓN.	89
3.2.7.3 COPELACIÓN.	90
3.2.7.4 LAMINADO.	92
3.2.7.5 PARTICIÓN – MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MUESTRAS DE GEOLOGÍA Y CABEZA.	92

3.2.7.6	PARTICIÓN – MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA MUESTRAS DE RELAVE.	93
3.2.7.7	CÁLCULOS Y REPORTE DE LEYES.	94
3.2.7.8	CONTROL DE CALIDAD.	95
3.3	ANÁLISIS DE MUESTRAS DE GEOLOGÍA POR PLATA Y ORO.	96
3.3.1	DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	96
3.3.1.1	RECEPCIÓN DE MUESTRAS.	96
3.3.1.2	PESADO DE MUESTRAS PARA ATAQUE QUÍMICO.	97
3.3.1.3	LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA PLATA LUEGO DEL ATAQUE QUÍMICO.	98
3.3.1.4	RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	101
3.3.2	DETERMINACIÓN DE PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	102
3.3.2.1	PESADO DE MUESTRAS.	102
3.3.2.2	PESO DE DORÉ OBTENIDO DE LA COPELACIÓN.	102
3.3.2.3	PESO DE ORO FINO OBTENIDO POR PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.	102
3.3.2.4	PESO DE TÍTULO.	103
3.3.2.5	CÁLCULOS.	103
3.3.2.6	RESULTADO: DETERMINACIÓN DE PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	104
3.3.3	DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	105
3.3.3.1	PESADO DE MUESTRAS.	105
3.3.3.2	PESO DE ORO FINO OBTENIDO LUEGO DE LA PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.	106
3.3.3.3	CÁLCULOS.	107

3.3.3.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR EL MÉTODO DE FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN GRAVIMÉTRICA.	108
3.3.4 REPORTE DE RESULTADOS.	109
3.4 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE RELAVE Y CABEZA SÓLIDOS DE PLANTA DE PRODUCCIÓN POR PLATA Y ORO.	110
3.4.1 DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	110
3.4.1.1 PESADO DE MUESTRAS.	110
3.4.1.2 LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA PLATA.	110
3.4.1.3 RESULTADO DE LAS LECTURAS.	111
3.4.1.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	113
3.4.1 DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ABSORCIÓN ATÓMICA PARA MUESTRAS DE RELAVE.	114
3.4.2.1 PESADO DE MUESTRAS.	114
3.4.2.2 LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA ORO LUEGO DE LA PARTICIÓN.	114
3.4.2.3 RESULTADO DE LAS LECTURAS.	115
3.4.2.4 CÁLCULOS.	116
3.4.2.5 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	117
3.4.3 DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MUESTRAS DE CABEZA.	118
3.4.3.1 PESADO DE MUESTRAS.	118
3.4.3.2 PESO DE ORO FINO OBTENIDO LUEGO DE LA PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.	118
3.4.3.3 CÁLCULOS.	118
3.4.3.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR EL	

MÉTODO DE FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	119
3.4.4 REPORTE DE RESULTADOS – PLANTA DE PRODUCCIÓN.	119
<b>CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.</b>	
4.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS RESULTADOS.	121
4.1.1 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE GEOLOGÍA POR PLATA Y ORO.	121
4.1.1.1 CARTAS Y GRÁFICOS DE CONTROL ESTABLECIDOS EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD - LABORATORIO QUÍMICO ARES.	121
4.1.1.2 VERIFICACIÓN DE LOS CONTROLES.	125
4.1.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE RELAVE SÓLIDO Y CABEZA DE PLANTA DE PRODUCCIÓN POR PLATA Y ORO.	126
4.1.2.1 CARTAS Y GRÁFICOS DE CONTROL ESTABLECIDOS EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD – LABORATORIO QUÍMICO ARES.	126
4.1.2.2 VERIFICACIÓN DE LOS CONTROLES.	130
4.2 IMPORTANCIA DE LOS RESULTADOS.	131
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.</b>	
5.1 CONCLUSIONES.	134
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS.</b>	<b>137</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1: Pesado de Fundente.	88
TABLA N°2: Pesado de Muestras.	88
TABLA N°3: Orden de Preparación de Muestras.	96
TABLA N°4: Peso de Muestras.	97
TABLA N°5: Curva de Calibración de Plata.	98
TABLA N°6: Resultado de las Lecturas de Plata.	99
TABLA N°7: Lectura de Plata.	100
TABLA N°8: Resultado - Ley de Plata de las Muestras.	101
TABLA N°9: Peso de Muestras.	102
TABLA N°10: Peso de Doré.	102
TABLA N°11: Peso de Oro Fino.	102
TABLA N°12: Peso de Título.	103
TABLA N°13: Resultado - Ley de Plata.	104
TABLA N°14: Peso de Muestras.	105
TABLA N°15: Peso de Oro Fino.	106
TABLA N°16: Resultado - Ley de Oro.	108
TABLA N°17: Resultado de las Muestras Analizadas.	109
TABLA N°18: Peso de Muestras.	110
TABLA N°19: Curva de Calibración de Plata.	110
TABLA N°20: Resultado - Lectura de Plata.	111
TABLA N°21: Resultado - Lectura de Plata Corregida.	112
TABLA N°22: Resultado - Ley de Plata.	113
TABLA N°23: Resultado - Ley de Plata Promedio.	113
TABLA N°24: Peso de Muestras.	114
TABLA N°25: Curva de Calibración para Oro.	114
TABLA N°26: Resultado - Lectura de Oro.	115
TABLA N°27: Resultado - Ley de Oro.	117
TABLA N°28: Resultado - Ley de Oro Promedio.	117

TABLA N°29: Peso de Muestras.	118
TABLA N°30: Peso de Oro Fino.	118
TABLA N°31: Resultado - Ley de Oro.	119
TABLA N°32: Resultado - Ley de Oro Promedio.	119
TABLA N°33: Reporte - Leyes de Cabeza y Relave.	119
TABLA N°34: Controles Establecidos.	121
TABLA N°35: Límite de Control MRC STD GEO-1.	121
TABLA N°36: Límite de Control MRC STD GEO-2	123
TABLA N°37: Resultado - Controles en el Lote de Muestras.	125
TABLA N°38: Porcentaje de Error - Duplicados.	125
TABLA N°39: Controles Establecidos.	126
TABLA N°40: Límite de Control MRC STD REL.	126
TABLA N°41: Límite de Control MRC STD CAB.	128
TABLA N°42: Controles en el Lote de Muestras.	130
TABLA N°43: Porcentaje de Error - Duplicados.	130

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de Flujo - Etapa Chancado.	30
Gráfico 2: Diagrama de Flujo - Etapa Molienda.	30
Gráfico 3: Diagrama de Flujo - Etapa Lixiviación.	31
Gráfico 4: Diagrama de Flujo - Etapa Decantación en Contra Corriente.	31
Gráfico 5: Diagrama de Flujo - Etapa Clarificación y Precipitación.	33
Gráfico 6: Absorbancia vs. Concentración de Plata.	98
Gráfico 7: Absorbancia vs. Concentración de Plata.	111
Gráfico 8: Absorbancia vs. Concentración de Oro.	115
Gráfico 9: Carta de Control – STD GEO-1 - Ag.	122
Gráfico 10: Carta de Control – STD GEO-1 - Au.	122
Gráfico 11: Carta de Control – STD GEO-2 - Ag.	123
Gráfico 12: Carta de Control – STD GEO-2 - Au.	124
Gráfico 13: Carta de Control – STD_REL - Ag.	127
Gráfico 14: Carta de Control – STD_REL - Au.	128
Gráfico 15: Carta de Control – STD_CAB - Ag.	129
Gráfico 16: Carta de Control – STD_CAB - Au.	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación - Unidad Operativa Ares.	13
Figura 2: Ingreso a Mina Ares - Rampa Victoria.	25
Figura 3: Fotografía Rampa Principal - Ejemplo de Mina Subterránea.	25
Figura 4: Fotografía - Ejemplo de Mina de Tajo Abierto.	26
Figura 5: Molino SAG - Planta de Beneficio U.O Ares.	29
Figura 6: Proceso de Fundición - Laboratorio Ares.	50
Figura 7: Proceso de Copelación - Laboratorio Ares.	51
Figura 8: Horno de Fundición - Laboratorio Ares.	54
Figura 9: Horno de Copelación - Laboratorio Ares.	54
Figura 10: Crisoles para hornos - Laboratorio Ares.	56
Figura 11: Copelas - Laboratorio Ares.	56
Figura 12: Equipo de Protección Personal - Laboratorio Químico Ares.	57
Figura 13: Componentes de un Fotómetro de Emisión de Flama y de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	70
Figura 14: Lámpara de Cátodo Hueco.	72
Figura 15: Eventos que ocurren en una lámpara de Cátodo Hueco.	73
Figura 16: Quemador-Nebulizador de premezclado o de flujo laminar.	76
Figura 17: Instrumento típico de haz sencillo con lámpara de deuterio para corrección por absorción no atómica.	78
Figura 18: Diagrama esquemático de un instrumento de doble haz.	79

## RESUMEN

En el presente informe se hace una descripción de las principales etapas, concepto y procesos que intervienen en la actividad minera teniendo como referencia el ciclo productivo en la Unidad Operativa Ares y como tema principal el análisis químico de minerales realizado en el Laboratorio Químico.

Se inicia con la Formación de los Minerales donde se menciona cómo se formaron los diferentes tipos de rocas existentes así como el tipo de yacimiento de Ares y sus principales características.

Se continúa con el proceso de Exploración de Minerales como primera etapa de la actividad minera donde se ubican las zonas a explorar para determinar si es económicamente viable y seguir con la etapa de Explotación donde el mineral es extraído de la corteza terrestre.

El mineral extraído pasa a la etapa de Procesamiento donde se menciona la Lixiviación como proceso metalúrgico utilizado en Ares para extraer la Plata y el Oro del mineral, siendo éstos los elementos metálicos de interés para la compañía.

Adicionalmente, se hace una descripción de la Contaminación en el Agua, Suelo y Aire producto de la actividad minera no controlada, así como los principales productos tóxicos y sus consecuencias en la salud de las personas.

Finalmente, se describe el trabajo del Laboratorio Químico Ares donde se realizan los análisis químicos para la determinación de Plata y Oro en el mineral proveniente de las etapas de Exploración, Explotación y Procesamiento. Se describen las Técnicas de Ensayo al Fuego (Fire Assay) y de Absorción Atómica como métodos utilizados para estos análisis.

## INTRODUCCIÓN

### UNIDAD OPERATIVA ARES

La Unidad Operativa Ares pertenece a la Compañía Minera Ares y está afiliada al Grupo Hochschild Mining. Está ubicada en el paraje de Cajchaya, distrito de Orcopampa, provincia de Castilla, departamento de Arequipa a 4900 m.s.n.m. a 275 km. de la ciudad de Arequipa (Fig. 1) en un terreno que cubre un área de 22 700 hectáreas.



**Fig. 1: Ubicación - Unidad Operativa Ares.**

Esta Unidad opera una Mina Subterránea donde se extrae mineral que contiene Oro y Plata de alta ley. Esta Unidad también opera 3 Plantas interconectadas de Procesamiento de Oro y Plata: Planta de Beneficio, Planta ILR y Planta de Refinería (Merrill Crowe). El proceso metalúrgico realizado es de Lixiviación con Cianuración y Lixiviación con Cianuración Intensiva (ILR) donde el producto final son barras de Doré cuya composición actualmente es de aproximadamente 97% de Plata y 3% de Oro.

## **LABORATORIO QUÍMICO ARES**

Este Laboratorio pertenece a la Compañía Minera Ares S.A.C. quien es la encargada de realizar los análisis químicos para la Unidad Operativa Ares. Fue fundado en 1998, año en que se inició las operaciones en la Planta Beneficio de la Unidad Minera.

El 29 de octubre del 2009 fue Acreditado con la Norma ISO/IEC 17025 por Standars Council de Canadá en 2 métodos de análisis:

- Determinación de Plata por Espectrometría de Absorción Atómica.
- Determinación de Plata y Oro por Fire Assay y finalización por Espectrometría de Absorción Atómica o método Gravimétrico.

Brinda los servicios de Análisis Químico de minerales a las áreas de Geología, Planta Beneficio, Planta ILR, Refinería y Medio Ambiente en la determinación de metales (Plata, Oro, Cobre, Hierro, Zinc y Plomo) y análisis fisicoquímicos (pH, Sólidos en Suspensión, Conductividad, Humedad).

Mi desempeño en el Laboratorio es como Analista Químico en el área de Instrumentación y Ataque Químico donde realizo las actividades de Lectura en los espectrofotómetros de Absorción Atómica y Determinación de Cianuro. En el presente informe se quiere mostrar una descripción de las principales etapas, conceptos y procesos que intervienen en la actividad minera teniendo como referencia el ciclo productivo en la Unidad Operativa Ares y como tema principal los 2 métodos de análisis químico de minerales realizado en el Laboratorio Químico.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Presentar el trabajo realizado en el Laboratorio Químico Ares para la determinación de Plata y Oro en muestras de minerales provenientes de las etapas de Exploración, Explotación y Proceso de Lixiviación que permite a la Unidad Operativa Ares cumplir con sus objetivos en su ciclo productivo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir la formación de los tipos de rocas así como del Yacimiento Epitermal existente en Ares.
- Describir las principales etapas en la actividad minera: Exploración, Explotación y Proceso de Lixiviación de minerales.
- Describir la Contaminación Ambiental que genera la actividad minera no controlada en el agua, suelo y aire así como las consecuencias en la salud de las personas.
- Describir la técnica de Ensayo al Fuego (Fire Assay) y Análisis Instrumental por Espectrometría de Absorción Atómica.
- Describir los 2 métodos de análisis químico realizado en el Laboratorio Químico Ares: Determinación de Plata por Espectrometría de Absorción Atómica y Determinación de Plata y Oro por Fire Assay y finalización por Espectrometría de Absorción Atómica o método Gravimétrico.



**CAPÍTULO 1:  
ETAPAS  
PRINCIPALES  
EN LA  
ACTIVIDAD  
MINERA.**

## **1.1 FORMACIÓN DE ROCAS. TIPO DE YACIMIENTO MINERO EN ARES.**

### **1.1.1 FORMACIÓN DE ROCAS.[1,3]**

Todas las rocas de la Tierra se dividen en tres grandes grupos según la forma en que se originaron: Rocas Ígneas o Volcánicas, Sedimentarias y Metamórficas.

Las rocas Ígneas, cuyo nombre procede de la palabra latina que significa fuego, comenzaron como magma, que es el material fundido del interior de la Tierra. Cuando el magma se enfría lentamente y se endurece bajo tierra forma el granito y otras rocas de grano grueso. El magma que aflora en erupción a la superficie se enfría rápidamente y forma basalto y otras clases de rocas volcánicas.

Las rocas Sedimentarias se producen cuando las capas de materiales arrastrados por el agua o por el viento se superponen y se consolidan en una masa compacta. Algunas, como la arenisca y el esquisto, están formadas por restos erosionados de rocas más antiguas. Otras, entre ellas algunas piedras calcáreas, se componen de restos vegetales y animales. También hay rocas sedimentarias, entre ellas el yeso, la sal de roca y muchas calcáreas constituidas por minerales que estuvieron en otros tiempos disueltos en agua. Las capas de piedra sedimentaria, llamados estratos, pueden medir desde unos pocos centímetros a muchos centenares de metros de espesor.

Cuando las rocas se ven sometidas a intenso calor y presión, dentro de sus masas se forman nuevos cristales, que las transforman en otro tipo de rocas llamadas Metamórficas. El granito, por ejemplo, se puede convertir en una piedra llamada gneis, el esquisto se convierte en pizarra, la roca caliza se transforma en mármol y las areniscas se suelen convertir en cuarcita. Las rocas metamórficas pueden, a su vez, volver a transformarse con el tiempo en otra clase de rocas metamórficas.

### **1.1.2 TIPO DE YACIMIENTO MINERO EN ARES. [7]**

Yacimiento Mineral es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral que puede ser utilizada industrialmente dada su cantidad, calidad y condiciones del yacimiento para su explotación comercial.

El Yacimiento Mineral de Ares se clasifica en Yacimiento Epitermal, tipo Bonanza de Baja Sulfuración.

#### **1.1.2.1 YACIMIENTO EPITERMAL. [7]**

Los depósitos epitermales son aquellos donde la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. Los fluidos se estiman en el rango desde  $<100^{\circ}\text{C}$  hasta unos  $320^{\circ}\text{C}$  y durante la formación del depósito estos fluidos hidrotermales pueden alcanzar la superficie como fuentes termales, similar a las existentes en El Tatio y Puchuldiza en el Norte Grande de Chile o como fumarolas o solfataras. Los depósitos epitermales se encuentran de preferencia en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas y los más importantes son los de metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Bi, etc.

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos: Los de “Baja Sulfuración” son reducidos y tienen un pH cercano a neutro y los fluidos de “Alta Sulfuración” los cuales son más oxidados y ácidos. Los términos de Alta y Baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de Alta Sulfuración el azufre se presenta como  $\text{S}^{4+}$  en forma de  $\text{SO}_2$  (oxidado) y en los de Baja sulfuración como  $\text{S}^{-2}$  en forma de  $\text{H}_2\text{S}$  (reducido).

Los fluidos de Baja Sulfuración son una mezcla de agua-lluvia (aguas meteóricas) que han percolado a la sub-superficie y aguas magmáticas (derivadas de una fuente

de roca fundida a mayor profundidad en la tierra) que han ascendido hacia la superficie. Los metales preciosos han sido transportados en solución como iones complejos (en general bi-sulfurados a niveles epitermales; clorurados a niveles más profundos) y para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie (ebullición).

Los fluidos de Alta Sulfuración se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales preciosos cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas. Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas.

En ambos tipos de depósitos los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización controlada estructuralmente), pero también pueden circular por niveles de rocas permeables y eventualmente mineralizar ciertos estratos. Los fluidos de Baja Sulfuración generalmente forman vetas de relleno con metales preciosos o series de vetas/vetillas más finas, denominadas “stockwork” o “sheeted-veins”. Los fluidos de Alta Sulfuración más calientes y ácidos penetran más en las rocas huéspedes originando cuerpos mineralizados vetiformes, pero también diseminación en las rocas. Los depósitos de oro de Baja Sulfuración pueden contener cantidades económicas de Ag y cantidades menores de Pb, Zn y Cu, mientras los de sistemas auríferos de Alta Sulfuración a menudo producen cantidades económicas de Cu y algo de Ag. Otros minerales asociados con los de Baja Sulfuración son cuarzo (incluyendo calcedonia), carbonato, pirita, esfalerita y galena, mientras los de Alta Sulfuración contienen cuarzo, alunita, pirita y enargita.

## **1.2 EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE MINERALES.**

### **1.2.1 EXPLORACIÓN DE MINERALES. [8]**

La Exploración Minera es la etapa inicial de la actividad minera, consiste en identificar las zonas por donde se ubican los yacimientos minerales que luego, dependiendo de su dimensión y composición, serán explotados en un proyecto minero.

#### **1.2.1.1 CATEO Y PROSPECCIÓN.**

Al principio se tiene como tarea el identificar la zona donde se ubica el yacimiento minero. Para ello se procede a realizar el Cateo, que consiste en realizar búsquedas visuales de anomalías geológicas en la superficie, lo que puede dar indicios de presencia de minerales.

En la Prospección, la observación se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para realizar un trabajo más eficiente y rápido, como las fotos aéreas, datos satelitales, técnicas geofísicas (para observar propiedades físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados). Los Geólogos hacen uso de alta tecnología para realizar las exploraciones. Para ello, se estudia el terreno, las rocas, su composición química y su abundancia, de forma que se pueda saber si es que se puede construir una mina.

En base a los resultados del Cateo y la Prospección, se elige el área para un estudio más detallado, que permita comprobar la existencia de minerales. En este momento es que se debe solicitar un petitorio ante las autoridades respectivas, sobre el área donde se presume exista un posible yacimiento mineral, procedimiento que asegura el derecho sobre los posibles minerales que en la zona solicitada se encuentren.

Aprobada la Solicitud de Petitorio, se obtiene la Concesión. Entonces se puede continuar con estudios más detallados que pueden tomar varios años, por lo que se conserva el derecho de explotación del área mediante un pago anual, que se llama Derecho de Vigencia.

La Exploración Minera permite la localización de los recursos mineros a explotar cuidando de no dañar el medio ambiente de la zona. Se realiza con responsabilidad social manteniendo el diálogo entre las autoridades, la comunidad y los empresarios. Esta actividad supone un alto riesgo económico pues sólo se recupera el gasto al encontrar un yacimiento que sea explotable.

#### **1.2.1.2 LA EXPLORACIÓN, LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE FACTIBILIDAD**

Si bien todas las etapas del ciclo de vida de una mina son importantes, la Exploración tiene un papel más significativo, en tanto que los estudios que en ese momento se realizan permiten determinar la magnitud (Reserva) y calidad (Ley) del mineral que se encuentra en el yacimiento.

Para ello se realizan estudios más detallados sobre el yacimiento, incluyendo perforaciones, muestreos, análisis del contenido y tipo de mineral, entre otros, buscando definir si el mineral es recuperable y a qué costo. Así, la exploración y los estudios más detallados ayudan a determinar si es viable económicamente la explotación de un yacimiento.

Es importante recalcar respecto de la exploración, características claves:

- Es una actividad que se realiza de forma continua en el quehacer minero. Esta se realiza tanto en los trabajos de un proyecto nuevo o sobre yacimientos que estén en producción (ampliación de operaciones).
- Es el mecanismo mediante el cual el minero busca incrementar su nivel de reservas probadas (determinadas con certeza) desde aquellas reservas

probables (estimadas a partir de información menos completa). Y en base a este incremento de reservas logrará extender la vida útil de la mina.

- De acuerdo al impacto previsto de la actividad de exploración, el Titular Minero deberá presentar una Declaración Jurada o una Evaluación Ambiental, donde señale los impactos y controles a ejecutar por efectos de su presencia.

Confirmada la información respecto a la calidad y cantidad de mineral del yacimiento, se deben de realizar otros análisis y estudios previos al desarrollo de la mina, entre los que cabe resaltar:

- El Impacto y Remediación Ambiental que se dará de desarrollarse el proyecto. Toda exploración debe contar con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), con el objeto de conocer el potencial impacto ambiental de su puesta en operación. En el EIA se describen los aspectos físico-naturales de la zona del yacimiento, así como los biológicos, socio-económicos y culturales de su área de influencia. En el EIA se prevé los efectos y consecuencias de realizar la actividad minera y se establece los métodos de remediación. Su contenido es público.
- El estudio técnico económico que determina la ingeniería necesaria para ejecutar el proyecto, su costo y viabilidad económica conocido como Factibilidad. Este estudio contiene información de las reservas, leyes de corte, método de minado (subterráneo o a tajo abierto), plan de desarrollo, costos de transporte, mano de obra, insumos a emplearse, impuestos, seguros, etc. Toda esta información permitirá determinar los años de duración de la mina, asumiendo un ritmo de producción, el tamaño de la planta, entre otros elementos que serán determinantes en las decisiones a tomar respecto de la planificación de los trabajos necesarios para su operación.

En el caso de Ares. en el año 1989 se descubrió el Yacimiento Minero mediante fotografías aéreas y luego éstas se confirmaron por muestreo de afloramientos

(1990 y 1991). En 1993 se inició las Exploraciones (Se desarrolló 2 inclinados sobre Veta Victoria y una galería de 800 m. a lo largo de la misma).

## **1.2.2 EXPLOTACIÓN DE MINERALES. [9]**

Cuando se reconocen las características del yacimiento minero y se decide extraerlo, se inicia el Desarrollo y Construcción de la Mina, para luego pasar a Producción o Explotación Minera que es el proceso de extracción del mineral.

### **1.2.2.1 DESARROLLO Y PREPARACIÓN**

En esta fase se culmina la planificación y se ejecutan los trabajos de infraestructura necesaria para realizar la explotación.

Consiste en los trabajos previos que se realizan para llegar al mineral desde la superficie, en otras palabras significa establecer los accesos a las reservas minerales y prepararlas para su producción comercial.

La Técnica de Extracción Subterránea se emplea, generalmente, cuando el mineral se encuentra a mucha profundidad. Si el proyecto es una mina subterránea se realizan trabajos de desarrollo para llegar hasta el mineral mediante galerías (túneles horizontales), chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie), rampas (túneles en forma de espiral), etc.

Posteriormente se realizan trabajos de Preparación; es decir, se diseña en el terreno la forma de cómo extraer el mineral estableciendo un método de minado. Al túnel principal de la mina se denomina comúnmente como socavón.

Por el contrario, si el yacimiento está cerca de la superficie, su tamaño es muy grande o se encuentra diseminado (esparcido) se usa la Técnica de Extracción a Tajo Abierto. En el caso de minas superficiales se realiza inicialmente un trabajo de desencape (sacar el material estéril que se encuentra encima del mineral) hasta



llegar a la mena, posteriormente se realizan labores de acceso para la extracción del mineral y desmonte. Es claro que los trabajos dependerán del método de extracción así como de la infraestructura para el transporte del mineral. El estudio de Factibilidad permitirá seleccionar el método de explotación (Subterráneo o Tajo Abierto), de acuerdo a las características del yacimiento y su viabilidad.

### **1.2.2.2 CONSTRUCCIÓN**

En esta etapa se realizan actividades para establecer y perpetrar las instalaciones para la extracción, tratamiento y transporte de los recursos minerales. Estas instalaciones incluyen infraestructura productiva, energética y vial (caminos, vías férreas, puertos, aeropuertos) posteriormente el acondicionamiento de maquinarias y equipos. La Construcción y el Desarrollo a menudo se realizan en forma simultánea. Los períodos de construcción típicos para minas de gran envergadura varían entre 20 y 30 meses.

En el caso de Ares. en el año 1996 se inició con los trabajos de Preparación de la Mina (Construcción de la rampa principal) y en 1997 se inició las Operaciones de Explotación Minera con el método de “Corte y Relleno Ascendente” (Upper Cut and Fill).



**Fig. 2: Ingreso a Mina Ares – Rampa Victoria.**



**Fig. 3: Fotografía Rampa Principal – Ejemplo de Mina Subterránea**



**Fig. 4: Fotografía – Ejemplo de Mina de Tajo Abierto.**

### **1.3 PROCESO DE LIXIVIACIÓN Y RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRIL CROWE.**

#### **1.3.1 PROCESO DE LIXIVIACIÓN. [10]**

En metalurgia extractiva se conoce como lixiviación al proceso de extraer desde un mineral una especie de interés por medio de reactivos que la disuelven o transforman en sales solubles. En otras palabras, en la lixiviación se recuperan especies útiles desde una fase líquida, correspondiente a la sustancia o una sal de ésta en solución acuosa. Los minerales que usualmente son lixiviados son aquellas menas oxidadas.

En comparación con las operaciones pirometalúrgicas, la lixiviación es más fácil de realizar y mucho menos dañina, ya que no se produce contaminación gaseosa. Sus principales inconvenientes son su alta acidez de trabajo y en algunos casos sus efluentes residuales tóxicos, también su menor eficiencia causada por las bajas

temperaturas de la operación que afectan drásticamente las tasas de reacción química.

#### **1.3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONVENCIONAL.**

- **PREPARACIÓN DEL MATERIAL.**

El material extraído de un yacimiento para su lixiviación inicia su camino de preparación con su fragmentación (chancado y molienda) para obtener dimensiones mucho más pequeñas de lo que antes eran grandes pedazos de rocas (el tamaño final puede alcanzar hasta 30 micras), con el objeto de que el proceso de separación del mineral valioso sea más eficiente y rápido.

- **TRANSPORTE DE MATERIAL A LA ZONA DE LIXIVIACIÓN.**

Luego del chancado y molienda, el material debe ser llevado y dispuesto adecuadamente sobre el área de lixiviación. Por lo general, las operaciones mineras usan para ello volquetes gigantes, aunque en algunos casos se realiza este trabajo mediante fajas transportadoras.

- **FORMACIÓN DE PILAS.**

Para el adecuado proceso, es necesario que el material molido sea acumulado sobre la membrana impermeable en montículos (pilas) de varias toneladas, formando columnas de ellos de manera ordenada.

- **BAÑADO O RIEGO.**

Una vez completadas las pilas de acuerdo a la capacidad de la membrana, se aplica en repetidas oportunidades y lentamente, a modo de riego por goteo o aspersores, una solución especial sobre la superficie del material. La solución es la mezcla de químicos disueltos en agua, los cuales varían dependiendo del material que se esté trabajando y los productos a obtener (oro, cobre, etc.). La solución líquida tiene la propiedad de disolver el mineral y de esa manera fluir

con el líquido hacia el sistema de drenaje. Estos líquidos son transportados mediante las tuberías instaladas hacia una poza.

- **ALMACENAJE Y RECUPERACIÓN.**

Como se dijo líneas arriba, la sustancia obtenida del proceso de riego es transportada hacia pozas construídas y acondicionadas para almacenarlas en tanto se programe su ingreso a la siguiente etapa del proceso (recuperación y concentración). Cabe indicar que al igual que se recupera mineral valioso de la sustancia obtenida, se recupera también el agua involucrada en ella, la misma que se reutiliza en los siguientes procesos de lixiviación, buscando hacer un uso más eficiente de este recurso. De igual forma, el área donde se realiza la lixiviación, es recuperada luego de unos años de uso. Así se procede a restituir la vegetación propia de la zona, cuidando y monitoreando su desempeño.

En Procesos posteriores, las soluciones líquidas (lixiviadas) pasan por otros procesos para que se separe el líquido de los minerales valiosos. En principio se busca eliminar las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas y que no tienen valor. Posteriormente, la solución enriquecida (la que tiene minerales valiosos) debe pasar por la etapa de Recuperación y Concentración, para lo que se usa procesos de precipitación, extracción por solventes–electro obtención, entre otros, dependiendo nuevamente del metal sólido que se quiera obtener.

### **1.3.1 PROCESO DE LIXIVIACIÓN “GOLD MILL” EMPLEADO EN PLANTA BENEFICIO – ARES. [7]**

La recuperación de oro en el proceso convencional de lixiviación en pilas está en promedio en 70% y el tiempo de lixiviación es de 70 días, debido a estos parámetros se planteó la idea de lixiviar mineral de alta ley de oro y plata en tanques. Luego de realizarse las pruebas de laboratorio se determinó que dichos minerales podrían ser lixiviados según lo planeado con un ciclo de procesamiento de 48 horas y se podría

obtener recuperaciones entre 10% y 20% mayor a la recuperación que se obtiene en la lixiviación en pilas, dependiendo si se trata de minerales transicionales u oxidados. Como consecuencia de la evaluación económica y de la cantidad de mineral que cumple estas condiciones se determinó construir una Planta de Lixiviación en Tanques que incluye una Planta de Chancado y un molino SAG en circuito cerrado.

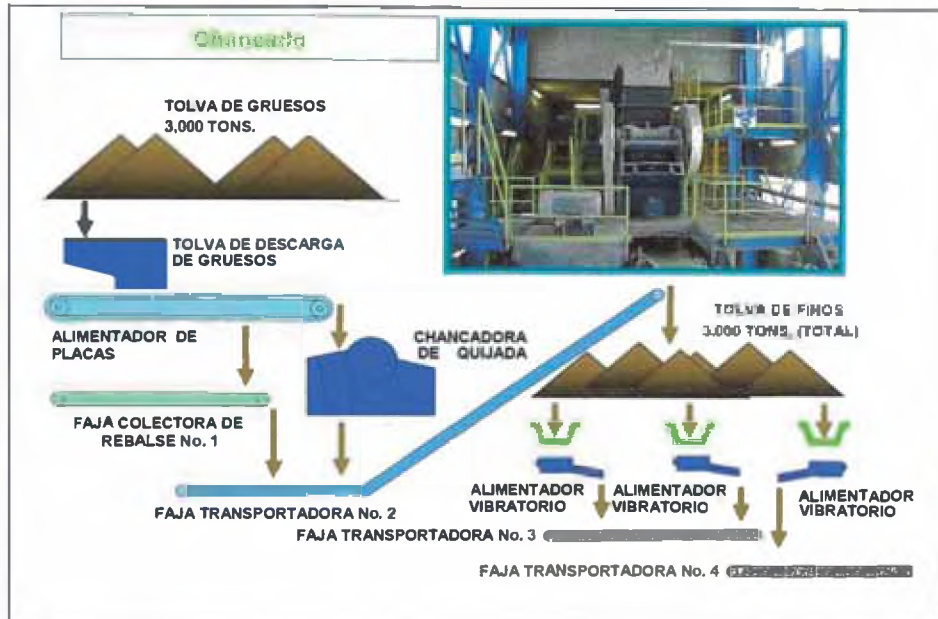
En Abril de 1998 se inició las Operaciones de Tratamiento Metalúrgico en la Planta de Beneficio de la Unidad Operativa Ares.



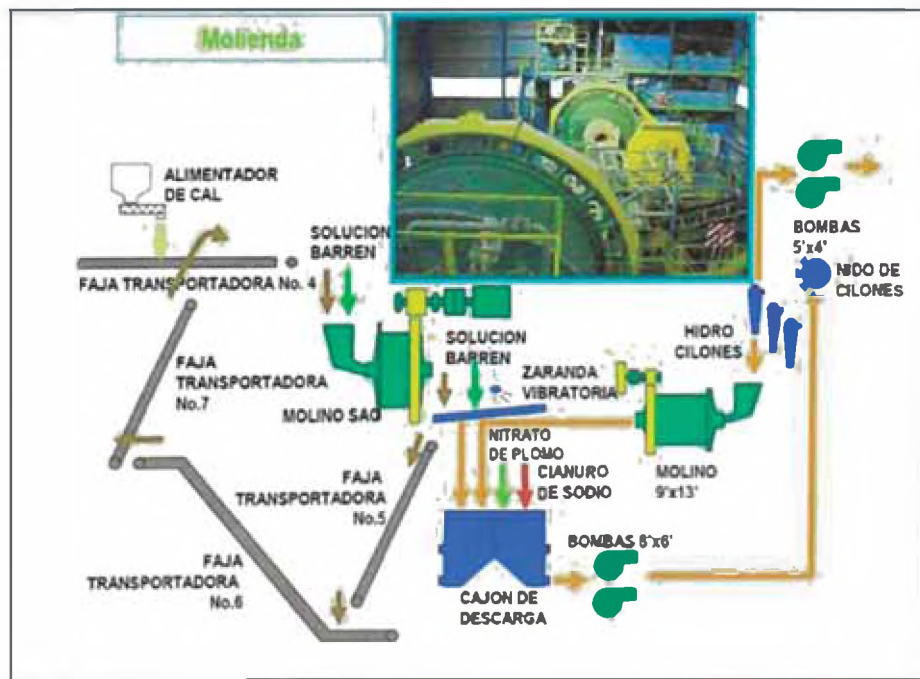
**Fig. 5: Molino SAG - Planta de Beneficio U.O Ares.**

**1.3.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE ORO Y PLATA POR CIANURACIÓN EMPLEADO EN PLANTA BENEFICIO – ARES. [7]**

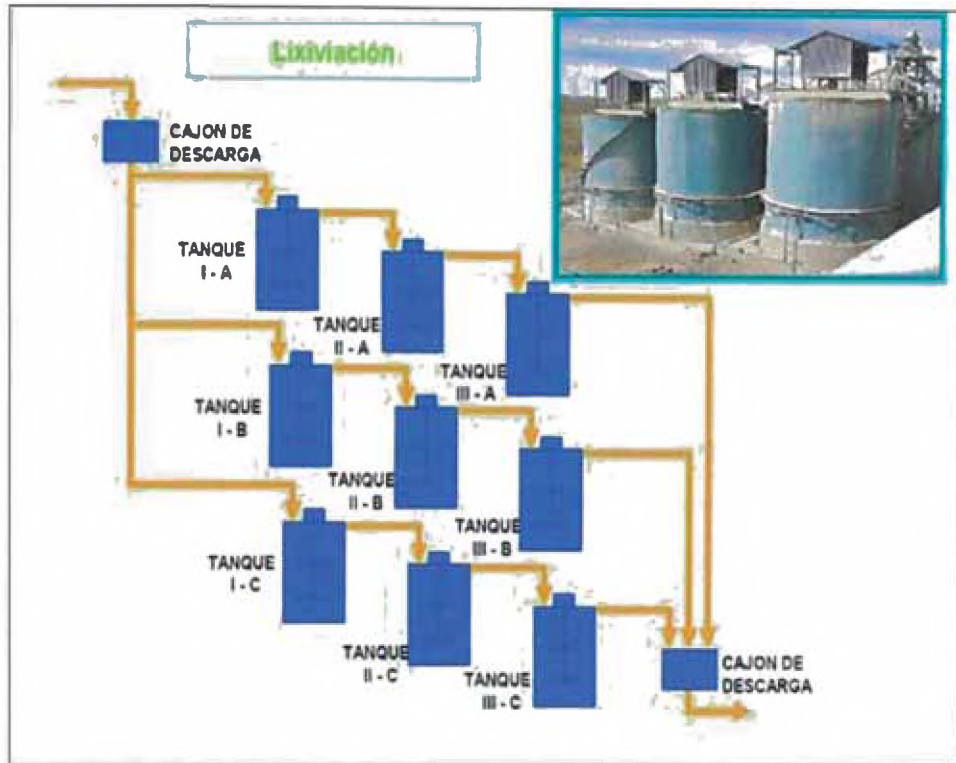
**Gráfico 1: Diagrama de Flujo – Etapa Chancado**



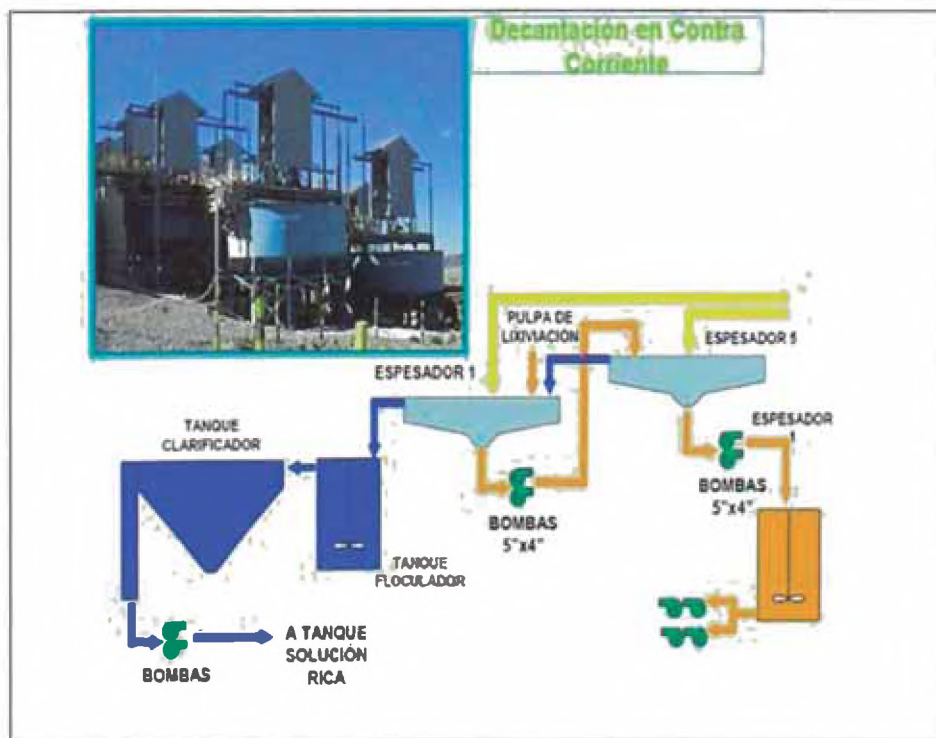
**Gráfico 2: Diagrama de Flujo – Etapa Molienda**



**Gráfico 3: Diagrama de Flujo – Etapa Lixiviación**



**Gráfico 4: Diagrama de Flujo – Etapa Decantación en Contra Corriente**





### **1.3.3 RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRILL CROWE. [11]**

El oro y plata se recupera de la solución enriquecida por lixiviación empleando un proceso de precipitación con zinc (Proceso Merrill Crowe).

La solución rica se bombea al alimentador del clarificador, es mezclada con floculante y se hace circular a través de 3 clasificadores para eliminar el material en suspensión.

La solución rica es bombeada desde el tanque de almacenamiento a 3 filtros clarificadores de presión para alimentar los sólidos finos restantes. El medio filtrante a emplearse es tierra diatomácea. La solución rica filtrada es bombeada a una torre de Desaireación.

Según sea necesario, se agrega nitrato de plomo, así como solución de cianuro y polvo de zinc a la solución rica desaireada.

La solución diluída es bombeada a 3 filtros prensa de placa y marco. El precipitado de zinc-oro-plata es recogido en los filtros prensa, secado con aire y luego descargado en bandejas. Las bandejas son transportadas con cargadores a la zona de retortas de mercurio para la vaporización y captación del mercurio. La solución proveniente de los filtros prensa es descargada al tanque de almacenamiento de la solución pobre.

#### **1.3.3.1 FUNDICIÓN**

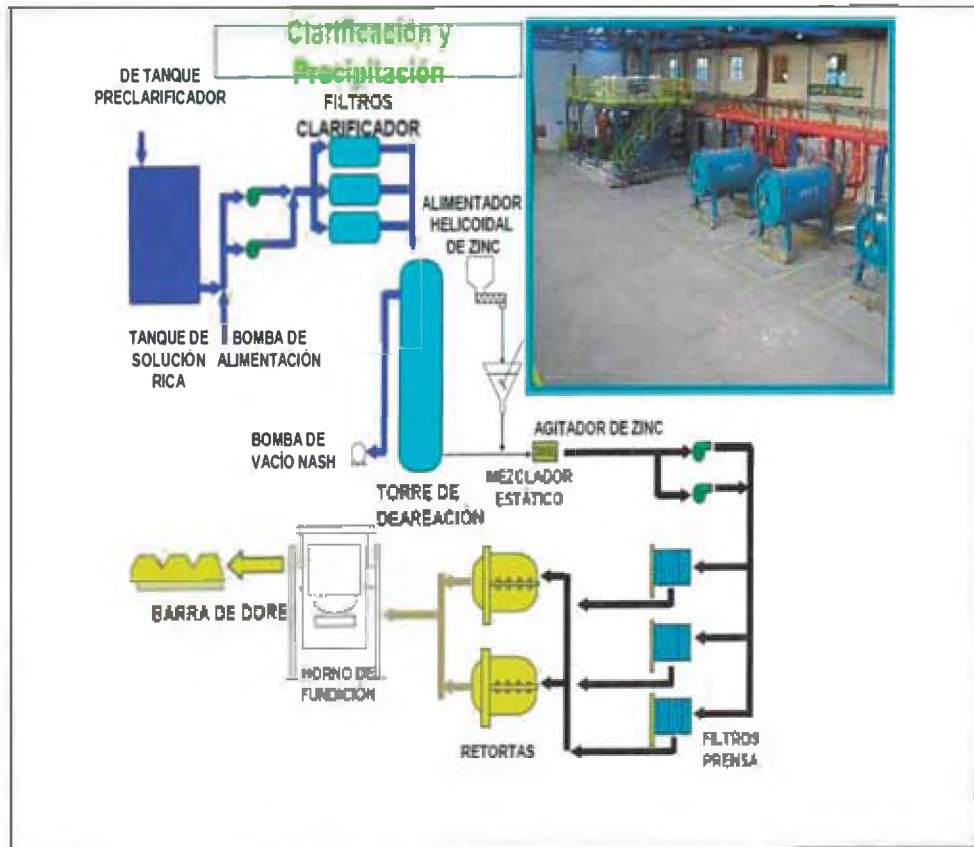
Basados en los análisis geoquímicos, se anticipa que el mineral suele contener trazas de mercurio. Éste es recuperado del mineral junto con el oro y la plata y removido del precipitado mediante 2 retortas eléctricas de mercurio. Cada retorta eléctrica de mercurio tiene un colector, un post-enfriador con eliminador de rocío y filtro de carbón, y una bomba al vacío.

El precipitado de zinc-oro-plata proveniente de la retorta es transportado a la zona de fundición en carritos de carga.

El precipitado es mezclado con fundentes (sílice, bórax y nitrato) y cargado al horno de fundición. La mezcla es fundida para separar el oro y la plata de los otros metales que se incorporarán a la escoria. El doré resultante de oro/plata son vertidos en barras y empacado para su embarque. Los gases desprendidos de los hornos de fundición son captados y tratados en un depurador húmedo antes de ser descargados a la atmósfera y el flujo proveniente del depurador húmedo es retornado al circuito.

### 1.3.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO MERRILL CROWE EN PLANTA BENEFICIO – ARES. [7]

Gráfico 5: Diagrama de Flujo – Etapa Clarificación y Precipitación



### **1.3.4 ASPECTOS QUÍMICOS DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE ORO Y PLATA POR CIANURACIÓN. [11]**

La reacción de disolución de los valores de Oro en las soluciones de cianuro, se puede representar por la siguiente fórmula:



En relación a la Plata:



#### **1.3.4.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE CIANURO**

Experimentalmente se ha comprobado que la concentración de NaCN para minerales de Oro, aumenta conforme la concentración de Oro lo hace, hasta llegar a un máximo con una concentración de 400 a 500 gramos de NaCN por tonelada de solución. Con diluciones menores a 100 gramos por tonelada, la dilución es muy baja. Las concentraciones más usadas varían de 150 a 350 gramos por tonelada. La determinación de la más conveniente concentración debe ser objeto de una cuidadosa experimentación.

Para el caso de minerales argentíferos, se ha comprobado que las concentraciones deben ser mayores, variando de 500 gramos a kilogramos por tonelada. Esta concentración debe fijarse por experimentación.

#### **1.3.4.2 DESCOMPOSICIÓN DE LAS SOLUCIONES DE CIANURO**

Las soluciones de cianuro tienden a hidrolizarse como sigue:



De aquí se observa que el cianuro se convierte en gas cianógeno y se pierde. Depende básicamente de la existencia de álcali libre por lo que se agrega cal para

mantener un pH alto. En general para evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis, debe mantenerse un pH de 10.5 – 11.0.

#### **1.3.4.3 VELOCIDAD DE DISOLUCIÓN**

Se ha comprobado que la velocidad de disolución de la plata es menor a la del oro, tratándose de metales nativos posiblemente sea el 50%. Los compuestos de plata son aún más lentos. La rapidez óptima de disolución del oro es de 3.25 (mg/cm<sup>2</sup>)/hora; es decir, una penetración de 1.68 micrones/hora. Así, una lámina de oro de 44 micrones de espesor se disuelve en 13 horas y una partícula de 140 micrones necesita 44 horas para disolverse.

Dada la velocidad de disolución, las partículas gruesas de oro deben separarse previamente a la cianuración por métodos gravimétricos.

#### **1.3.4.4 EFECTO DEL OXÍGENO EN LA DISOLUCIÓN**

Está comprobado que la presencia de oxígeno acelera la disolución. En pruebas de laboratorio, la rapidez de disolución cambia de 0.04 (mg/cm<sup>2</sup>)/hora sin oxígeno a 2.36 (mg/cm<sup>2</sup>)/hora teniendo un 99.5 % de oxígeno requerido.

#### **1.3.4.5 EFECTO DE LA ALCALINIDAD DE LAS SOLUCIONES**

El operar en un medio alcalino no sólo evita la hidrólisis del cianuro, sino también las pérdidas de éste por contacto con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, neutraliza los compuestos ácidos de las sales ferrosas y férricas, neutraliza así mismo la acción ácida de cualquier sal que se forme por descomposición de los minerales, ayuda al asentamiento de las partículas y mejora la extracción de los teluros, plata, rubí y otros componentes difíciles de disolver de los metales preciosos. El pH de las pulpas nunca debe ser menor a 10.5.

#### **1.3.4.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA**

La disolución del oro y la plata tiende a aumentar conforme aumenta la temperatura de la pulpa. Sin embargo, cuando se aumenta la temperatura,

disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y también la solubilidad de los metales preciosos, pero en pruebas que se han realizado, se observa que la máxima solubilidad se alcanza a los 85 °C y teniendo en cuenta el costo que significa, normalmente se opera a temperatura ambiente y sólo se calienta las soluciones cuando se trata de despojar el oro del carbón activado o cuando se cianuran concentrados con muy altas leyes.

#### **1.3.4.7 CONDICIONES PARA QUE UN MINERAL SEA CIANURABLE**

Para que un mineral sea cianurable, debe contener el oro y la plata en forma de minerales que puedan ser atacados por el cianuro. Generalmente sólo se cianuran los minerales situados en la zona de oxidación donde la mayoría de los sulfuros han sido convertidos en óxidos. Cuando los minerales auroargentíferos están ligados a sulfuros de plomo, cobre y zinc, la práctica es realizar el Proceso de Flotación y posteriormente recuperar los metales preciosos en la refinación de los metales impuros obtenidos en la fundición donde se tratan los concentrados.

### **1.4 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR LA INDUSTRIA MINERA NO CONTROLADA. [12]**

La moderna minería de oro debe mucho de su éxito a la utilización de cianuro, un compuesto químico muy eficiente para extraer el oro del mineral (95-98%), relativamente económico, pero a su vez, extremadamente tóxico. Su uso hace que actualmente sea posible explotar minerales de baja ley, que en otra época eran no rentables. Esta eficiencia hace que los emprendimientos mineros de hoy sean de un tamaño y escala sin precedentes. Esta situación conduce por un lado a conflictos de propiedad de tierras y por otro a una preocupación creciente por el elevado nivel de contaminación de la minería a gran escala.

### **1.4.1 LOS IMPACTOS EN EL AGUA, SUELO Y AIRE**

Las fuentes potenciales de contaminación ambiental, según la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) incluyen los siguientes sitios:

- Tajos (open pits) y galerías.
- Pilas de lixiviación.
- Escombros.
- Colas.

Estas áreas no son necesariamente controladas y en las mismas se encuentran contaminantes tóxicos que pueden filtrarse al medio ambiente. Los productos tóxicos asociados a estas áreas incluyen: Cianuro, complejos metal-cianuro, metales pesados y drenajes ácidos de las rocas. Estos productos tóxicos pueden afectar las aguas superficiales, aguas subterráneas, el suelo y la calidad del aire durante la operación de la mina y luego del cierre de la misma.

#### **1.4.1.1 AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS**

El primer problema es la contaminación física y química durante la operación de la mina. La generación de drenajes ácidos, en cambio, es un problema a largo plazo.

Además de los desechos, se pueden liberar reactivos químicos a las aguas superficiales y subterráneas, tal como el cianuro de sodio. La masa de rocas explotadas, las zonas deforestadas, los caminos abiertos, contribuyen a la generación de sedimentos y aumentan los sólidos totales en los cuerpos de aguas de superficie.

Principales actividades que afectan las aguas superficiales y subterráneas:

- **DRENAJES ÁCIDOS.**

Éstos se definen como los drenajes que se generan por la oxidación de los sulfuros contenidos en los minerales, a través de la exposición al aire y al agua,

efecto que se produce naturalmente (drenaje ácido de las rocas: DAR), pero que se agrava y magnifica por el grado de molienda y remoción de cantidades enormes de rocas (drenaje ácido de las minas: DAM).

Las soluciones ácidas pueden alcanzar las aguas superficiales o subterráneas de acuerdo a la hidrología del lugar. El potencial para la generación de ácido y la liberación de otros constituyentes (metales pesados) aumenta por la exposición de las rocas a la atmósfera (ambiente oxidante). El nivel de acidez también es influenciado por la presencia o ausencia de bacterias como el *Thiobacillusferrooxidans* que puede oxidar los metales que contienen sulfuros, conduciendo a una aceleración en la generación de ácido.

El potencial de generar ácido, así como la liberación de otros componentes, se incrementa en las unidades mencionadas en comparación a los minerales en su lugar original, debido a que las rocas son finamente molidas y presentan una gran superficie de partícula, y se encuentran además en un ambiente oxidante.

- **DESAGOTE EN LAS MINAS.**

Para permitir la extracción del mineral, las minas superficiales o subterráneas requieren del bombeo de agua para desagotarlas; sin embargo, al final de las operaciones el bombeo se interrumpe y las galerías y/o tajos se llenan de agua, produciendo una liberación no controlada de las aguas de la mina que pueden ser ácidas y contener metales, así como sólidos suspendidos y disueltos.

- **DERRAME DE CIANURO DURANTE LA OPERACIÓN.**

Este tipo de incidente puede ocurrir durante el transporte o en las instalaciones de la mina por factores climáticos (fusión de nieve, tormentas), movimiento de suelos o fallas en los equipos. La más prevalente es la contaminación de las aguas freáticas.

- **LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS LUEGO DEL CIERRE.**

En los desechos de las minas, cuando concluyen las operaciones, permanecen una variedad de constituyentes que incluyen: Cianuro residual, productos de su descomposición (Principalmente cianatos y tiocianatos, metales pesados y sulfuros). La generación de Drenaje ácido de Mina (DAM) puede movilizar metales pesados y arsénicos que causan degradación del suelo y contaminan las aguas.

#### **1.4.1.2 SUELO**

Los efectos ambientales asociados con el suelo son de tres tipos: Erosión, Sedimentación y Contaminación.

La Erosión y Sedimentación ocurren por las voladuras, molienda y remoción de vegetación relacionadas con la actividad minera.

La Contaminación ocurre por derrames de productos asociados con los equipos y procesos: Hidrocarburos, productos de perforación, solución lixiviante (cianuro de sodio). Si bien se proponen numerosos métodos para la detoxificación del cianuro, cada tratamiento puede generar nuevos desechos y algunos de ellos (Ej.: Cloración, Ozono, Peróxido de Hidrógeno) son tóxicos para bacterias y otras formas de vida.

#### **1.4.1.3 AIRE**

La fuga de polvos desde los tajos y embalses es la fuente primaria de contaminación con metales pesados y desde los diques de cola el escape de cianuro de hidrógeno (gas).



## **1.4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS Y TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS Y DESECHOS DE MINERÍA**

La presencia de los metales pesados y otras sustancias en el ambiente ya sea en el aire, suelo y agua son indeseables por el efecto adverso que esto provoca en la salud de los seres humanos, la naturaleza y todos los seres vivos.

Los metales pesados no pueden metabolizarse naturalmente, persisten en el organismo y ejercen sus efectos tóxicos combinándose con uno o más grupos reactivos esenciales para las funciones fisiológicas normales (ligandos). Los metales pesados pueden reaccionar con los ligandos oxígeno, azufre y nitrógeno.

Entre las sustancias tóxicas podemos mencionar: Los polvos de sílice, plomo, boro, cadmio, arsénico, mercurio, azufre, cianuro, etc. Que al contaminar el ambiente circundante se acumulan en personas, peces, aves, mamíferos, plantas silvestres o cultivadas, etc.; de esta manera también se contaminan los consumidores al ingerir alimentos contaminados.

### **1.4.2.1 CIANURO**

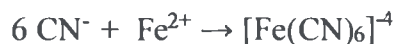
Las sales de cianuro (NaCN y KCN por ejemplo) son solubles en agua, cuyo aspecto es el de un sólido blanco, sin olor, sumamente tóxico.

Si se combina con agua se produce el gas cianhídrico (HCN) que es un gas altamente tóxico y con olor a almendras amargas.

Una de las propiedades químicas del cianuro, que es la clave para entender tanto su toxicidad como su utilidad en la minería es la capacidad de combinación con metales: Fe, Ag, Au, Ni, Zn, Cd, Hg, etc.

En todas las células procariontas o eucariontas (de bacterias, hongos, plantas, animales, incluido el hombre) una función vital es la respiración. Una de las moléculas indispensables para esta función es la Citocromo-C oxidasa, que posee en el centro de su compleja estructura un átomo de hierro (Fe). Cuando el cianuro

entra en las células “captura” el Fe y la enzima deja de ser funcional. La consecuencia es que la célula deja de “respirar” y muere.



Por esta razón el cianuro es un veneno para todos los seres vivos y en dosis muy pequeñas. En minería se usa por su gran poder de combinación con el oro (Au).

Además del riesgo directo que significa para los obreros que manipulen el NaCN sólido, las soluciones de NaCN o eventuales emanaciones de HCN, existe el riesgo público por el cianuro y sus productos de degradación, liberados al ambiente.

Se han encontrado además varios productos intermedios en la degradación del cianuro, que no son monitoreados en los controles de rutina (Moran, 1998):

- Cianatos (permanecen mucho tiempo, se estudió su toxicidad en truchas).
- Tiocianatos (tóxico para los peces).
- Clorocianógeno (muy tóxico para los peces).
- Cloraminas (tóxico para los organismos acuáticos).
- Amonio (altamente tóxico).

Las vías de ingreso del cianuro al organismo son:

- Respiratoria
- Dérmica.
- Conjuntival.
- Digestiva

La toxicidad aguda producida por una exposición única:

- DOSIS LETAL: 150-300 mg NaCN.
- SIGNIFICATIVA: 50 mg NaCN.
- DOSIS LETAL: 90-100 mg HCN.
- SIGNIFICATIVA: 20-40 mg HCN.

Los síntomas de intoxicación aguda son:

- Irritación de mucosas, ardor de boca y faringe.
- Dolor de cabeza, mareo, confusión, ansiedad.
- Náuseas, vómitos, convulsiones.
- Taquicardia, tensión en el pecho, edema pulmonar.
- Alternancia de respiración rápida con lenta y jadeante.
- Coloración de la piel roja o rosa brillante.

Los efectos crónicos producidos por exposición a bajas dosis que se prolongan en el tiempo según NIOSH son:

- **Cardiovascular:** Palpitaciones.
- **Respiratorio:** Irritación y tensión en el pecho.
- **Neurológico:** Dolor de cabeza, vértigo, fatiga, alteraciones en el apetito y el sueño.
- **Gastrointestinal:** Náuseas y vómitos.
- **Dermatológico:** Dermatitis, brotes escarlatiniformes y pápulas.
- **Endocrino:** Agrandamiento de la glándula tiroides, disfunción tiroides en el metabolismo de la vitamina B12.

#### 1.4.2.2 ARSÉNICO

El arsénico y sus compuestos son venenosos y han sido utilizados como tales frecuentemente a lo largo de la historia.

El Arsénico es un elemento semimetálico que se encuentra en el suelo, el agua y el aire como tóxico ambiental común. El mecanismo de acción que produce sus efectos tóxicos se deben a que desacopla la fosforilación oxidativa mitocondrial.

Los síntomas de envenenamiento crónico por arsénico son: Diarrea, pigmentación cutánea, prurito generalizado, lagrimeo, vitiligo, alopecia, hiperqueratosis y edema

circunscriptos. Dermatitis y queratosis en las palmas y plantas de las manos son comunes. El hígado puede dilatarse y la obstrucción de los conductos biliares puede producir ictericia. Al avanzar la intoxicación puede desarrollarse una encefalopatía. La médula ósea sufre serios daños por el arsénico. La anemia aplásica es el trastorno hematopoyético más común.

#### **1.4.2.3 PLOMO**

El plomo es un metal pesado, no se degrada y al ser emitido al aire puede permanecer en el medio ambiente 10 días. La concentración máxima permitida de este metal es de 0.1 mg/L.

Por contaminación de las aguas puede ingresar a las cadenas tróficas, o sea a las plantas y animales, en los cuales se acumula con el tiempo.

Las principales vías de absorción del plomo son:

- El tracto gastrointestinal.
- El aparato respiratorio.

Los signos y síntomas de envenenamiento crónico por plomo (Saturnismo) pueden dividirse en 6 categorías: Gastrointestinales, Neuromuscular, del Sistema Neurológico Central (SNC), Hematológicos, Renales y otros. Pueden aparecer juntos o separados.

El espasmo intestinal, que produce gran dolor abdominal, se conoce como cólico saturnino.

La encefalopatía por plomo es común en los niños.

#### **1.4.2.4 CADMIO**

La exposición al cadmio por períodos cortos produce irritación de las vías respiratorias, toxicidad pulmonar y bronquitis. La cantidad permitida es de 0.005 mg.

Su principal vía de acceso es la digestiva, debido al consumo de alimentos y agua contaminada. Otra vía es la respiratoria por inhalación de aire contaminado.

El resultado de una alta exposición de este metal es la irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos y dolor.

La intoxicación crónica causa severos daños renales, debido a que este elemento se acumula en los riñones. Además disminuye la actividad pulmonar produciendo enfisema y cáncer pulmonar.

#### **1.4.2.5 MERCURIO**

El mercurio es un metal sumamente tóxico que puede permanecer en el ambiente circundante a las minas durante 100 años. Es conocido como un tóxico celular porque afecta la acción enzimática evitando así la catálisis deseada o eliminando la función de la enzima.

El mercurio ingresa al cuerpo por inhalación de vapores de mercurio, por ingestión de metil-mercurio, por el consumo de agua y alimentos contaminados y por penetración en la piel (aunque es menos frecuente, provoca una acción irritante y a veces cáustica sobre la piel y la mucosa).

Aproximadamente el 80% es absorbido por los pulmones, una importante cantidad de mercurio se concentra en el riñón, cerebro, hígado, glóbulos rojos de la sangre. Es eliminado fundamentalmente por la orina, heces, sudor, saliva, encontrándose también en la leche materna.

La concentración ambiental máxima permitida de mercurio por la Organización Mundial de la Salud es de 0.04 mg/m<sup>3</sup>.

La intoxicación aguda se produce por exposición masiva en corto tiempo en la que puede recuperarse la persona afectada. Los síntomas son:

- **En la piel:** Irritaciones cutáneas.

- **Sistema respiratorio:** Dolor en el pecho, dificultad para respirar, tos.
- **Sistema nervioso:** Sabor metálico en la boca, náusea, diarrea. dolor de cabeza, dolores musculares, alteraciones visuales, auditivas y mentales.
- **Otros:** Inflamación de las encías, inflamación de los riñones, temblor de músculos. La muerte sobreviene por edema, destrucción del tejido pulmonar o insuficiencia renal.

Cuando la intoxicación está avanzada se produce los siguientes síntomas: Temblores con movimientos toscos y sacudidas que comienzan en los dedos de las manos, párpados, labios y lengua; luego brazos, piernas y cabeza. Este temblor provoca falta de coordinación de los movimientos, imposibilitando la escritura y llevar alimentos a la boca. Disminución de la visión, inflamación de las conjuntivas, insuficiencia renal. Además alteraciones genéticas en las células germinativas.

**CAPÍTULO 2:  
TÉCNICA Y  
ANÁLISIS  
INSTRUMENTAL  
EMPLEADOS**

## 2.1 TÉCNICA DE ENSAYO AL FUEGO (FIRE ASSAY). [1,2,3,4]

El Ensayo al Fuego se define como el análisis químico cuantitativo, principalmente de metales preciosos, en las menas, aleaciones y materiales relacionados con la minería.

Debido al valor intrínseco de estos metales, el análisis de los minerales que los contienen requiere un alto grado de precisión y exactitud. Mientras que el análisis químico clásico consta de determinaciones cuantitativas en un medio líquido (soluciones), en el Ensayo al Fuego sólo se utilizan reactivos secos. Sin embargo, ambos miden la cantidad exacta del(os) analito(s) buscados.

El Ensayo al Fuego es un proceso de tres etapas: La Fusión de la muestra en un fundente adecuado, la etapa de Copelación y, finalmente, la etapa de Partición.

La técnica del Ensayo al Fuego es muy utilizada para la determinación de algunos metales preciosos porque:

- Proporciona una rápida eliminación de toda la ganga de minerales asociada a relativamente bajo costo.
- Utiliza una gran cantidad de muestra por análisis, lo cual resulta en un mayor grado de concentración de los elementos buscados, de esta forma, disminuyen las incertidumbres del muestreo.
- Es eficaz para la colección de oro, plata, platino y paladio en una fundición en crisol.

El Ensayo al Fuego para el oro y la plata depende principalmente de cuatro principios:

- El alto grado de solubilidad de los metales preciosos en el plomo metálico fundido y su casi total insolubilidad en escorias de una composición adecuada. El plomo sirve como colector de metales preciosos y la escoria sirve como colector de las impurezas de la muestra.



- La marcada diferencia en la gravedad específica de los dos líquidos; es decir, escoria y plomo metálico, que hace que la separación sea posible.
- El plomo puede ser retirado prácticamente en su totalidad de los metales preciosos por un proceso de fusión oxidante controlado de forma cuidadosa que involucra la filtración diferencial; es decir, la oxidación del Pb a PbO en una vasija porosa conocida como copela.
- La separación de la plata del oro es posible debido a la solubilidad de la plata y a la total insolubilidad del oro en ácido nítrico diluido.

A continuación se presentan algunas ventajas y desventajas del Ensayo al Fuego:

**Ventajas:**

- Es una técnica de extracción total.
- Se utiliza una muestra grande de peso para el análisis.
- Es una buena técnica de preconcentración para la separación de metales preciosos de sustancias minerales asociadas.
- Es un método de separación de bajo costo debido a que es eficiente para separar el oro, la plata y otros metales preciosos en una fundición en crisol.

**Desventajas:**

- Se requiere que los analistas sean calificados y experimentados.
- El trabajo físico con exposición al horno y recipientes calientes puede ocasionar estrés al calor.
- Puede ocasionar riesgos a la salud pues el óxido de plomo puede ser dañino si no se maneja adecuadamente.
- El alto costo inicial y posterior del equipo y el costo de los reactivos.

## **2.1.1 ETAPAS DEL PROCESO**

### **2.1.1.1 PROCESO DE FUNDICIÓN O FUSIÓN**

Una muestra pulverizada (10 – 50 gramos) se mezcla completamente con un fundente compuesto por una mezcla de litargirio (PbO), carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), bórax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>), sílice (SiO<sub>2</sub>), harina y una pequeña cantidad de plata. La composición del fundente y la cantidad de la muestra pueden modificarse para obtener una fusión adecuada y el límite de detección necesitado. La mezcla del fundente y muestra, conocida como la “Carga Fundente (Flux)”, se coloca en un crisol de arcilla refractaria que luego es colocado dentro del horno de Fundición a 1050 °C durante 40 minutos. Durante el proceso de fusión ocurren reacciones complejas entre la muestra y los componentes del fundente. El litargirio es reducido hasta plomo elemental formando finas gotas de plomo que se dispersan en todo el recipiente y que luego se asientan en el fondo del crisol y se alean con los metales preciosos, mientras que otros metales y silicatos son separados y forman una escoria vidriosa en base a silicato. La separación del botón de la escoria que contiene elementos no deseados se basa en la gran diferencia que existe en la gravedad específica de las dos fases. Al término del proceso de fusión, se retira el recipiente del horno y el material fundido se vierte en un molde cónico de hierro fundido. Al enfriarse, el plomo forma un “botón o régulo”; al cual, luego se le retira la escoria vidriosa.



**Fig. 6: Proceso de Fundición – Laboratorio Ares.**

#### **2.1.1.2 PROCESO DE COPELACIÓN**

El régulo obtenido a partir del proceso de fusión es golpeado con un martillo hasta obtener una forma cúbica para su mejor manipulación; luego, es colocado en el horno de Copelación que contiene copelas precalentadas a 950 °C. En el proceso de copelación, el plomo se convierte en óxido de plomo; el cual, es parcialmente expulsado y absorbido por la copela, este proceso de oxidación toma de 30 a 40 minutos. Luego, se retira la copela del horno y se la deja enfriar lentamente a temperatura ambiente.

Al final del proceso, los metales preciosos – incluidos el oro y la plata (con Pt, Pd, etc., si están presentes) – forman una “perla” metálica pequeña en la copela llamada Doré.



**Fig. 7: Proceso de Copelación – Laboratorio Ares.**

### **2.1.1.3 PROCESO DE PARTICIÓN**

A la separación del oro y la plata se le conoce como “Partición”. En el análisis del doré existen dos opciones: La primera, es disolver la plata con ácido y dejar el oro, esto es el Método Gravimétrico o “Partir y Pesar”. El oro es recuperado como una partícula de metal de oro que se pesa en una microbalanza de alta sensibilidad y exactitud. Sin embargo, para muestras de baja ley, en las cuales es muy difícil manejar o pesar el botón de oro, se usa el otro método que consiste en disolver el oro y la plata y se debe hacer la cuantificación con un método instrumental.

Existen diversas opciones para realizar el análisis final, por ejemplo, en algunos métodos se disuelve el oro y la plata en cianuro, sin embargo, en la mayoría de laboratorios se utiliza una disolución de agua regia. Esta solución acuosa ácida es analizada posteriormente mediante métodos instrumentales.

## **2.1.2 EQUIPOS Y MATERIALES**

### **2.1.2.1 HORNOS Y COMBUSTIBLES**

Se utilizan dos tipos de hornos:

- El horno de fundición, en el cual se realizan la mayoría de fundiciones en crisol (único).
- El horno de mufla, utilizado para la tostación, escorificación, copelación y templado, y para ciertos tipos de fundición en crisol.

A continuación se proporciona información sobre estos equipos:

- **HORNO DE FUNDICIÓN CON COMBUSTIBLE GAS O PETRÓLEO**

Debido a que no se forman cenizas, estos hornos pueden ser adaptados a diseños bastante diferentes a los de los hornos que usan el combustible coque. En general, están formados por una cavidad de ladrillos similar a una zanja superficial, que está cubierta por tapas removibles. El quemador a gas o petróleo se coloca en un extremo y la salida de gas hacia el apilado se encuentra en el otro. Las cubas se colocan en la cavidad a través de una puerta lateral o de la tapa de la parte superior y están rodeadas por los gases de combustión. Estos hornos son más fáciles de encender, producen calor de forma más rápida y tienen un control más flexible de la temperatura y atmósfera, no se necesita hacer la recarga de combustible y no se forman cenizas, y puede alcanzar temperaturas de hasta 1400 °C. Este horno es utilizado cuando no hay electricidad o a discreción del/los analista(s) a cargo.

- **HORNOS DE MUFLA**

Constan de un recipiente de arcilla refractaria con una sección transversal semicircular o rectangular y tienen una longitud variable de 8 a 15 pulgadas. Este recipiente o mufla, que está en general cerrada en la parte posterior y abierta en la parte delantera, se acomoda dentro de una cámara de combustión de forma tal que

sea calentada externamente por el coque, gas o petróleo. El calor de los hornos de mufla eléctricos se suministra, en general, por cables de resistencia eléctrica o varillas de calefacción que se encuentran fuera de la mufla. La parte delantera de la mufla se abre mediante un par de puertas de hierro y, algunas veces, tiene una pequeña salida de ventilación en la pared posterior.

- **COMBUSTIBLES**

El uso de electricidad es más limpio y permite un control de temperatura exacto, además, no se necesita espacio para el almacenamiento de los combustibles y la instalación del horno y los costos de mantenimiento son altos. Excepto en algunas áreas, la electricidad es un combustible costoso, además, no es de fácil disposición en algunos lugares de trabajo remotos. Cuando se utilizan petróleo y gas como combustibles, la cantidad de aire y combustible son controlables. Es deseable que siempre haya una cantidad de combustible en exceso cuando se encienda el horno, pero una vez que las paredes están calientes, se debe cortar el exceso de combustible pues demasiada cantidad produce depósitos de hollín que pueden ser expulsados y alojados en la muestra.

En el sistema (C-CO-CO<sub>2</sub>), mientras más alta sea la temperatura, mayor será la proporción relativa de CO en la atmósfera. Así, en igualdad de condiciones, mientras más alta la temperatura, mayor será la tendencia del combustible a quemarse como monóxido de carbono y mayor poder de reducción tendrá la atmósfera. Por ello, se deben evitar las temperaturas excesivamente altas en los hornos de análisis que quemen petróleo o gas pues la atmósfera puede afectar mucho el tamaño del régulo producido.



**Fig. 8: Horno de Fundición - Laboratorio Ares.**



**Fig.9: Horno de Copelación - Laboratorio Ares.**

### 2.1.2.2 CRISOLES Y COPELAS

- **CRISOLES**

La mayoría de crisoles de análisis comunes están fabricados de arcilla refractaria sin tratar o de una mezcla de arcilla quemada y sin tratar. Estos recipientes se conocen como crisoles de arcilla o fundición. Los crisoles de arena están fabricados de una mezcla de arena y arcilla.

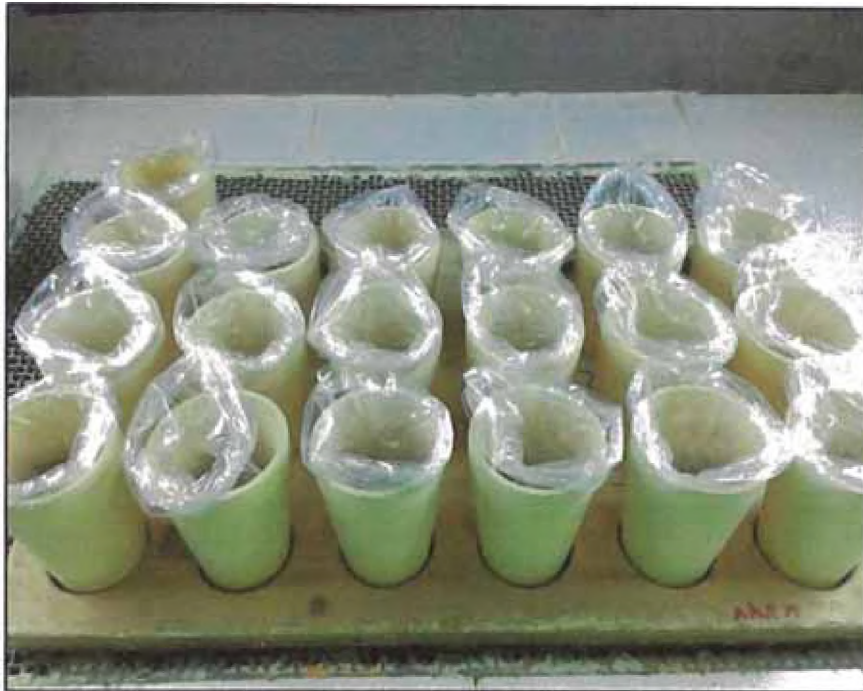
En cada caso, la mezcla refractaria es molida para corregir el tamaño de partícula y luego homogenizada hasta obtener una masa o mezcla con agua en una máquina amasadora.

Se da forma a la mezcla en una máquina de moldeado y los crisoles húmedos son secados, muy lentamente al inicio y luego en secaderos a través de los cuales pasa gas o aire caliente. Finalmente, son horneados en hornos para cerámica a altas temperaturas (aproximadamente 1400 °C).

Propiedades que debe tener un crisol adecuado para los análisis:

- Debe soportar altas temperaturas sin ablandarse.
- Debe tener resistencia mecánica para soportar la manipulación y el transporte.
- Debe resistir los cambios de temperatura repentinos sin agrietarse.
- Debe resistir la acción química de las sustancias que se funden en ellos sin dañarse por la corrosión.
- Debe ser lo suficientemente impermeable a las sustancias que se funden en ellos y a los productos de la combustión (en general, mientras más impermeable sea el crisol, menor es su resistencia al choque térmico).





**Fig. 10: Crisoles para hornos – Laboratorio Ares.**

- **COPELAS**

Son recipientes cilíndricos pequeños que se utilizan en la copelación y, usualmente, están fabricados de cenizas de huesos, cemento u óxido de magnesio.



**Fig. 11: Copelas – Laboratorio Ares.**

### **2.1.2.3 UTENSILIOS PARA REALIZAR EL ENSAYO AL FUEGO.**

- Horquilla de carga.
- Tenazas para el crisol, para copelas y para los botones.
- Rastrillos.
- Yunque.
- Martillo.

### **2.1.2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN TÉRMICA.**

- Protector para la cara.
- Guantes de aluminio.
- Mangas de aluminio.
- Mandil de aluminio.



**Fig. 12: Equipo de Protección Personal – Laboratorio Químico Ares.**

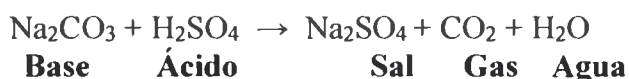
### 2.1.2.5 REACTIVOS QUE SE UTILIZAN COMÚNMENTE EN EL ENSAYO AL FUEGO

Los reactivos utilizados en los Ensayos al Fuego se clasifican de acuerdo a sus funciones como: Fundente ácido, Fundente básico, Fundente neutro, Agente oxidante, Agente reductor, Agente desulfurante, Agente sulfurante.

- **ÁCIDOS Y BASES**

Los ácidos y bases utilizados en la química al fuego son anhídros y la mayoría son insolubles en agua. Así, se diferencian de los ácidos y bases que se utilizan en la química húmeda. Entonces, ¿cómo se puede determinar si un reactivo es ácido sino responde a un indicador tal como lo hace un ácido en la química húmeda? Es más, la definición química de un ácido no encaja aquí pues el ácido de la química al fuego no posee ningún ión hidrógeno. Sin embargo, existe una propiedad que parece mantenerse, y es que los ácidos reaccionan con las bases para formar sales.

Considere la siguiente reacción en la cual se neutraliza el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ):



Existe una analogía cercana con la reacción que sucede cuando el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) se funde con la sílice ( $\text{SiO}_2$ ):



**Diferencia:** No hay participación del agua.

**Similitudes:** La reacción del carbonato de sodio con la sílice es similar a la reacción con el ácido sulfúrico y los productos son casi idénticos:

- Se produce el gas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en ambas reacciones.

- Se producen compuestos similares: Se sabe que el sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) es una sal y el silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) es escoria.

Los ácidos de la química al fuego pueden ser óxidos de elementos metálicos o no metálicos. Sin embargo, los más importantes de éstos son la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y el ácido bórico ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), que se obtiene a partir del reactivo bórax vidrioso ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ). Entre otros ácidos se incluye al  $\text{As}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  y  $\text{SO}_3$ .

En la química de Ensayo al fuego las bases son fundamentalmente óxidos de elementos metálicos, tales como  $\text{CaO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{PbO}$  y  $\text{ZnO}$ . Algunos reactivos, tales como el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y algunas gangas de minerales tales como la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) contienen constituyentes tanto ácidos como básicos, pero son clasificados como bases porque cuando son calentados emiten gas  $\text{CO}_2$  (el radical ácido) formando  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ , respectivamente. La temperatura debe llegar hasta  $950\text{ }^\circ\text{C}$  para desprender  $\text{CO}_2$ .

- **FUNDENTE**

Un fundente es un material que se utiliza en el Ensayo al fuego para convertir los compuestos que no se funden a una temperatura determinada en otros que sí se funden a esta temperatura. Por ejemplo, se necesita una temperatura muy alta (aproximadamente  $1750\text{ }^\circ\text{C}$ ), para que el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) se funda por sí solo. Sin embargo, si se adiciona una cantidad adecuada de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al cuarzo pulverizado, la mezcla sólida de cuarzo y carbonato de sodio se puede fundir a  $1050\text{ }^\circ\text{C}$ , una temperatura que se obtiene fácilmente en el horno de ensayo.

Se necesita un fundente ácido (sílice o bórax) como adyuvante en la fundición de una sustancia básica, y un fundente básico (como el litargirio o carbonato de sodio) como adyuvante para fundir una sustancia ácida.

- **AGENTE REDUCTOR**

Un agente reductor es una sustancia capaz de llevar un grado de oxidación mayor de otra sustancia o compuesto a un grado menor. Como resultado, es capaz de producir la separación de un metal (por ejemplo, Pb) a partir de la sustancia químicamente combinada con él (por ejemplo, PbO).



- **AGENTE OXIDANTE**

Un agente oxidante es una sustancia que cede rápidamente su oxígeno. El agente que se utiliza con mayor frecuencia en los ensayos al fuego es el Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ) que también se conoce como nitro:

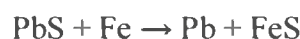


- **AGENTE SULFURANTE**

Un agente sulfurante es una sustancia que proporciona el azufre en una reacción, por ejemplo, PbS o ZnS.

- **AGENTE DESULFURANTE**

Un agente desulfurante es una sustancia que tiene gran afinidad por el azufre, de esta forma, es capaz de separarlo de otros de sus compuestos. Por ejemplo; PbO y Fe:



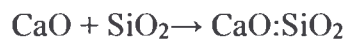
- **SÍLICE**

Sílice, SiO<sub>2</sub>, reactivo ácido.

Peso molecular = 60 g/mol.

Punto de fusión = 1750 °C.

La sílice es un reactivo ácido y el más fuerte de los utilizados en los ensayos al fuego. Se combina con los óxidos de metales para formar silicatos, los cuales son la base de casi todas las escorias:



Al establecer la carga necesaria para un ensayo al fuego se debe estimar el contenido de sílice. Si no existe suficiente cantidad de sílice en la muestra de mena a ser analizada, se adiciona la sílice como un fundente para formar una escoria adecuada. Debido a su propiedad ácida, también es útil para proteger los crisoles de la acción corrosiva del litargirio. Aunque es esencial para la formación de la escoria, se debe evitar que haya sílice en exceso pues demasiada cantidad ocasionará problemas y pérdida de metales preciosos por la formación de escoria o la formación de mata.

- **BÓRAX VIDRIOSO**

Bórax vidrioso, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, o expresado como Na<sub>2</sub>O:2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tetraborato de sodio anhidro fundido.

Peso molecular = 202 g/mol.

Punto de fusión = 742 °C.

El bórax vidrioso es un fundente ácido rápidamente fundible que se obtiene al fundir el bórax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O) para que desprenda sus moléculas de agua de

cristalización, posteriormente enfriándolo y aplastando el residuo vidrioso solidificado.

El bórax se utiliza mucho en casi todos los análisis con crisoles por dos razones principales:

- El bórax se funde a una temperatura relativamente baja y, por ello, reduce de forma apreciable la temperatura para la formación de escoria. Además, ayuda a facilitar la formación de escoria de la muestra de mena.
- El bórax disuelve excelentemente los óxidos metálicos durante el proceso de fundición. Al rojo vivo, se vuelve un ácido fuerte y disuelve casi todos los óxidos metálicos (tales como el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). así como la tierra alcalina (tales como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  y  $\text{SrCO}_3$ ). Es considerado uno de los mejores fundentes de la alúmina.

La cantidad de uso adecuado de bórax se encuentra entre 5 a 10 gramos de bórax común por tonelada de análisis de mena silíceo. Algunas muestras de mena pueden necesitar mayores cantidades de bórax. Si se utiliza demasiado bórax, la escoria formada podría hacerse dura y vidriosa y agarrarse fuertemente al régulo, así, cuando sea separado del régulo, a menudo se adhiere una película de plomo a la escoria. Para corregir este problema, se reduce la cantidad de bórax utilizado o se incrementa la cantidad de bases añadidas. Con frecuencia, el bórax se agrega como una capa de protección para minimizar la pérdida mecánica debido a la expectoración por el escape rápido de los gases generados.

- **CARBONATO DE SODIO**

Carbonato de sodio, anhidro,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , también conocido como ceniza de sodio.

Peso molecular = 106 g/mol.

Punto de fusión = 852 °C.

Es un fundente básico potente y el reactivo más económico que se utiliza para los análisis con crisoles. Es muy líquido en su estado fundido, por ello, puede mantener en suspensión una gran cantidad de material finamente molido, no fundible e inactivo tal como la ceniza de huesos.

Se funde sin descomposición considerable a 852°C. A 950 °C sufre una ligera disociación formando una pequeña cantidad de dióxido de carbono. La parte esencial del reactivo carbonato de sodio en el proceso de fundición es la base Na<sub>2</sub>O, la cual reacciona con la sílice disponible para formar silicatos de sodio (escoria) y desprender gas CO<sub>2</sub> en el proceso. A continuación se muestra una reacción típica como ejemplo:



Estos silicatos se funden muy bien y disuelven otros óxidos para formar silicatos complejos. La adición de bórax reducirá aún más la temperatura de fusión de la mezcla. Al tener facilidad para formar sulfatos y sulfuros alcalinos, también actúa, hasta cierto punto, como un agente oxidante y desulfurante.

- **LITARGIRIO**

Litargirio, PbO, óxido de plomo.

Peso molecular = 223 g/mol.

Punto de fusión = 883 °C.

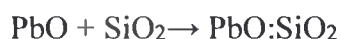
El litargirio es un fundente básico que se funde rápidamente. También actúa como un agente oxidante y desulfurante. Incluso el litargirio libre de plata podría contener aún trazas de este elemento. En el caso de trabajos críticos, se debe analizar cada nuevo lote de litargirio para determinar la cantidad de plata antes de su aprobación para utilización en el laboratorio.

En una fundición en crisoles, se utiliza el litargirio con dos propósitos:



- Para proporcionar las moléculas de plomo metálico a través del proceso de reducción por un agente reductor; el cual, se alea y colecta los metales preciosos de una muestra de mena.
- Para formar escoria con los fundentes ácidos. Las temperaturas de fusión de diversos silicatos de plomo son menores que los silicatos de sodio, es por ello que se agrega el litargirio a casi todos los análisis con crisoles.

**Ejemplo del litargirio cuando actúa como fundente básico:**



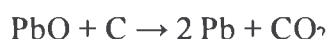
**(Fundente Básico)**

**Ejemplo del litargirio cuando actúa como agente desulfurante:**



**(Desulfurante y Oxidante)**

**Ejemplo del litargirio cuando actúa como agente oxidante, el cual oxidará los sulfuros metálicos, carbono, azufre y hierro:**



**(Oxidante)**

El litargirio tiene una gran afinidad por la sílice. Si no hay suficiente sílice en la carga para fundición en el crisol, el litargirio atacará el material ácido del crisol y si se consume una cantidad suficiente de material ácido del crisol, se podría formar un agujero en el crisol.

• **PLOMO**

Plomo, Plomo para Prueba granulada, hoja de plomo, Pb.

Peso molecular = 207 g/mol.

Punto de fusión = 326 °C.

El Plomo para Prueba en su forma granulada se utiliza en la Prueba de Escorificación como un colector de metales preciosos y como fundente. Durante el proceso de escorificación, parte del plomo fundido forma una aleación y colecta los metales preciosos, mientras que el plomo remanente se oxida hasta PbO, el cual forma la escoria con el material ácido de la muestra.

La lámina de plomo se utiliza en el análisis de lingotes, en el cual la muestra es envuelta en una lámina de plomo de peso adecuado y luego es copelada.

El plomo no debe contener plata; sin embargo, el plomo comercial común puede contener una pequeña cantidad de plata. Por ello, se debe analizar el contenido de plata de cada lote de plomo antes que sea utilizado.

- **HARINA**

Harina,  $C_6H_{10}O_5$ .

Peso molecular = 162 g/mol.

La harina es un agente reductor debido al carbono que contiene. Se utiliza con frecuencia en los análisis con crisoles debido a su bajo costo y fácil obtención. Su uso más común es para la reducción del litargirio para formar el régulo (temperatura de inicio desde 500 a 550°C). La ecuación para esta reacción es la siguiente:



- **CARBÓN DE LEÑA**

El carbón de leña, C, carbono ( $\approx$  93% de carbono, 3% de cenizas, y la diferencia oxígeno e hidrógeno).

Peso molecular: 12 g/mol.

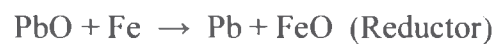
El carbón de leña es una fuente de carbono y actúa como un agente reductor. Tiene el más alto efecto reductor por gramo entre todos los agentes reductores; sin embargo, la harina es la que se utiliza más comúnmente en los laboratorios de Ensayo al Fuego.

- **HIERRO**

Hierro, Fe (en forma de clavos, picos o crisol de hierro).

Peso molecular: 55,8 g/mol.

El hierro es un agente reductor y desulfurante. Durante la fundición en crisol, si se calienta el hierro con sulfuros de plomo, plata, mercurio, bismuto y antimonio, los sulfuros se descomponen y se obtiene sulfuro de hierro y un metal casi puro. Sin embargo, el hierro reduce parcialmente los sulfuros de cobre, níquel y cobalto. También reduce los óxidos de metales hasta el estado metálico tal como se muestra a continuación:



- **NITRATO DE POTASIO**

Nitrato de potasio,  $\text{KNO}_3$ , comúnmente conocido como Nitro.

Peso molecular = 101 g/mol.

Punto de fusión = 339 °C.

El nitrato de potasio es un agente oxidante potente que se utiliza en los análisis en crisoles para oxidar el azufre y muchos metales (plomo, cobre, etc.). Se utiliza especialmente para oxidar sulfuros, arseniuros y antimoniuros.

**Ejemplo del nitro como un agente oxidante que reacciona con el azufre:**



### **Ejemplo del nitro como un agente oxidante que reacciona con un metal:**



Cuando el nitro se funde sólo, es estable hasta que se alcanza una temperatura de 400 °C, luego comienza a descomponerse desprendiendo oxígeno y nitrógeno. El K<sub>2</sub>O formado actúa como un fundente básico tal como se muestra en la siguiente reacción:



Se debe tener en cuenta que, cuando se utiliza nitro, éste tiene un efecto oxidante sobre la plata. Además, se debe tener cuidado cuando se utilicen grandes cantidades de nitro pues el desarrollo de gases a partir de la reacción podría producir ebullición en la carga del crisol.

- **PLATA**

Plata, Ag (puede encontrarse en forma de plata pura, aleaciones de plata o soluciones de plata de concentración conocida).

La plata, en sus diversas formas, se adiciona a la carga del crisol cuando se realizan los análisis de oro o platino para asegurar que se obtenga una adecuada relación Oro:Plata para el proceso de separación. Si la relación oro a plata es demasiado baja (es decir, menor que 4), el proceso de separación no puede completarse en forma satisfactoria. En este caso, se tiene que hacer la incuartación (Proceso de añadir plata). La plata también es útil para reducir la pérdida de oro durante el proceso de copelación.

En algunos laboratorios, se adiciona una solución de cloruro de plata o nitrato de plata desde una bureta a la mezcla fundente de análisis luego del mezclado. También se utiliza la plata en forma de alambre, lámina, o como aleación.

- **FLUORITA**

Fluorita,  $\text{CaF}_2$

Peso molecular = 78 g/mol.

Punto de fusión = 1380 °C.

Es un fundente neutro que incrementa la fluidez de la mayoría de cargas. Se utiliza cuando la muestra contiene más del 1% de aluminio. La fluorita es útil para fundir las menas que contienen arena negra, magnetita y fosfato de calcio (cenizas de huesos).

- **CRIOLITA**

Criolita,  $\text{AlNa}_3\text{Fe}_6$ .

Peso molecular = 210 g/mol.

Punto de fusión = 995 °C.

La criolita es un fundente neutro que puede disolver hasta 25% de la alúmina a temperaturas menores a 1000 °C.

- **SAL**

Sal,  $\text{NaCl}$ .

Peso molecular = 58,5 g/mol.

Punto de fusión = 819 °C.

La sal es utilizada como una capa para evitar la entrada de aire. Durante la fundición en crisoles, se utiliza para lavar las paredes de éstos y, así, evitar que las partículas pequeñas de plomo se peguen a las paredes del crisol. No ingresa en la escoria sino que flota sobre ésta.

- **ÁCIDO NÍTRICO**

Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ .

Peso molecular = 63 g/mol.

El ácido nítrico diluido caliente se utiliza en el proceso de Partición del Ensayo al Fuego. La plata, el mercurio, el cobre, y la mayor parte de metales son solubles en ácido nítrico diluido o concentrado. Se puede implementar un método que combine la química seca y húmeda utilizando ácido nítrico para retirar parte de los metales interferentes antes de la fundición en crisol o escorificación. Las aleaciones de paladio y platino con plata son solubles en ácido nítrico diluido caliente.

- **AGUA REGIA**

El agua regia es una mezcla de 1 volumen de ácido nítrico concentrado y 3 volúmenes de ácido clorhídrico concentrado ( $\text{HNO}_3:\text{HCl}$  en relación 1:3).

El agua regia es un ácido oxidante muy fuerte que disuelve el oro, platino, paladio y muchos otros metales. Sin embargo, este ácido no es eficaz en el caso de la plata porque ésta disuelta a partir de la disolución al inicio de la reacción forma una capa de cloruro insoluble sobre ella, la cual evita la disolución posterior de la plata.

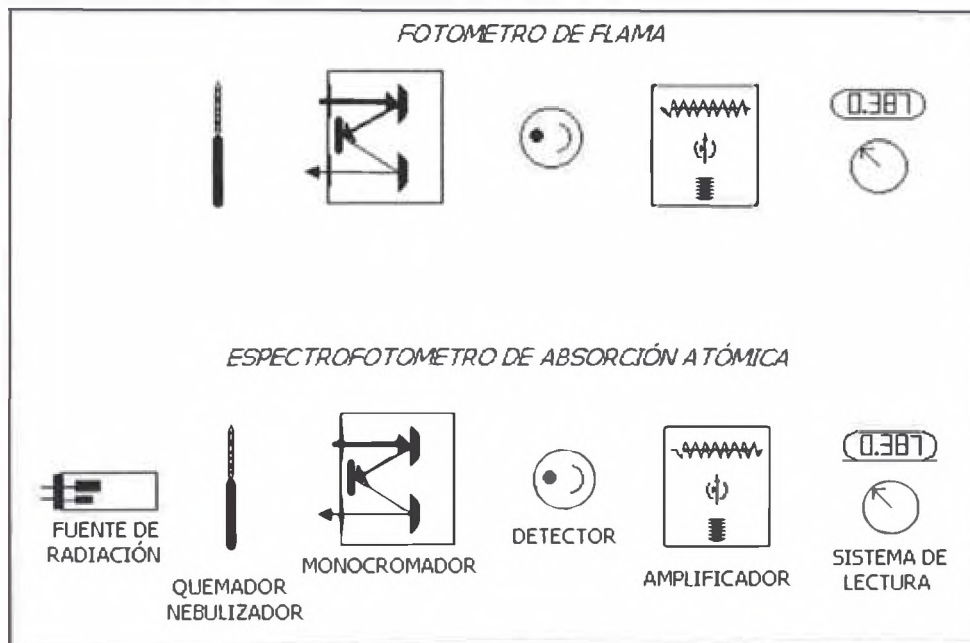
## **2.2 ANÁLISIS INSTRUMENTAL POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

### **2.2.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN FLAMA. [6,13,14]**

La Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA) tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia

en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer que relaciona esta pérdida de poder radiante con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores.

Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica se muestran en la Fig. 13:



**Fig. 13: Componentes de un Fotómetro de Emisión de Flama y de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.**

### 2.2.1.1 COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

- Una fuente de radiación que emita una línea específica correspondiente a la necesaria para efectuar una transición en los átomos del elemento analizado.
- Un nebulizador, que por aspiración de la muestra líquida, forme pequeñas gotas para una atomización más eficiente.

- Un Quemador, en el cual por efecto de la temperatura alcanzada en la combustión y por la reacción de combustión misma, se favorezca la formación de átomos a partir de los componentes en solución.
- Un sistema óptico que separe la radiación de longitud de onda de interés de todas las demás radiaciones que entran a dicho sistema.
- Un detector o transductor que sea capaz de transformar, en relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagnética, en señales eléctricas o de intensidad de corriente.
- Un amplificador o sistema electrónico, que como su nombre lo indica amplifica la señal eléctrica producida, para que en el siguiente paso pueda ser procesada con circuitos y sistemas electrónicos comunes.
- Por último, se requiere de un sistema de lectura en el cual la señal de intensidad de corriente, sea convertida a una señal que el operario pueda interpretar (ejemplo: transmitancia o absorbancia). Este sistema de lectura, puede ser una escala de aguja, una escala de dígitos, un graficador, una serie de datos que pueden ser procesados a su vez por una computadora, etc.

La EAA en flama es una técnica ampliamente utilizada para determinar elementos metálicos y metaloides. Esta técnica tiene grandes convenientes y es de costo relativamente bajo, pudiéndose aplicar a una gran variedad de muestras.

### **2.2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

La técnica de Absorción Atómica en flama en una forma concisa consta de lo siguiente: La muestra en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido.

Las gotas formadas son conducidas a una flama, donde se produce una serie de eventos que originan la formación de átomos. Estos átomos absorben



cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

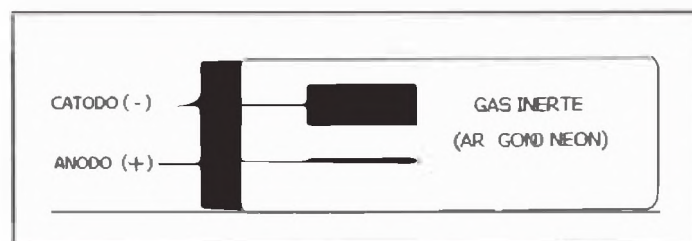
La señal de la lámpara una vez que pasa por la flama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor, pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura.

### 2.2.1.3 FUENTES DE RADIACIÓN

Una vez que han sido formados los átomos, la flama tiene la misma función que una celda en espectroscopia visible o Ultravioleta. Los átomos de la flama absorben radiación de acuerdo a la Ley de Beer si ésta corresponde a la diferencia en energía entre los niveles energéticos de algunos de los átomos presentes, de lo contrario, la radiación pasa por la flama sin disminuir la potencia de haz como efecto de los átomos contenidos en ella.

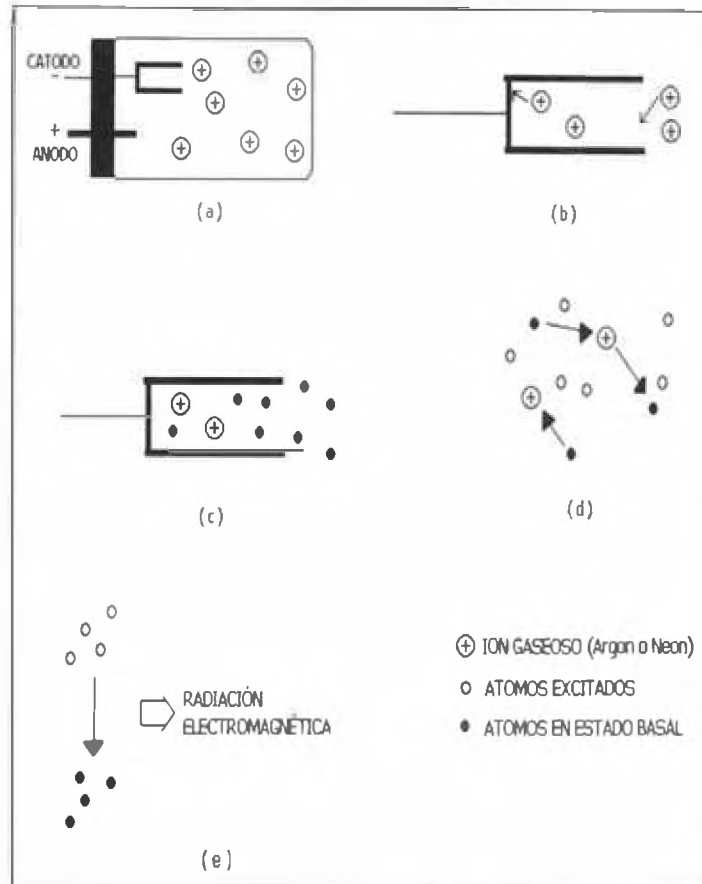
- **LÁMPARA DE CÁTODO HUECO**

Este tipo de fuente de radiación es de las ampliamente difundidas en la EAA. Las lámparas de cátodo hueco (LCH o HCL) consisten de un cilindro de vidrio sellado al vacío y con un gas inerte en su interior. Dentro de este mismo cilindro se encuentran dos filamentos; uno de ellos es el cátodo y el otro el ánodo. El ánodo generalmente es un alambre grueso hecho de níquel o tungsteno, el cátodo es en forma de un cilindro hueco en el interior del cual se encuentra depositado en forma de una capa el elemento metálico que se va a excitar (Fig.14).



**Fig.14: Lámpara de Cátodo Hueco.**

Cuando se aplica una diferencia de potencial entre los dos terminales ocurre una serie de eventos (Fig.15):



**Fig. 15: Eventos que ocurren en una lámpara de Cátodo Hueco.**

(a) Por efecto del voltaje aplicado entre los dos electrodos ocurre una descarga eléctrica. Si el cátodo consiste de dos electrodos paralelos o de un cilindro hueco, bajo circunstancias adecuadas la mayor parte de la descarga ocurre dentro del cátodo.

(b) Estas descargas eléctricas aumentan la energía cinética y favorecen la ionización de las moléculas de gas inerte. Estas especies ionizadas requieren carga positiva, por lo cual son atraídas hacia el cátodo.

(c) Al chocar los iones de gas inerte ( $\text{Ar}^+$  en este caso) con las paredes del cátodo, son desprendidos átomos del metal de que está hecho el cátodo o depositado sobre la superficie del mismo.

(d) Después de desprenderse del cátodo, los átomos producidos son excitados por choques moleculares con los iones y átomos de argón.

(e) Los átomos excitados no pueden permanecer indefinidamente en un estado de energía superior y procede el paso de emisión electromagnética.

A través de esta serie de procesos se obtiene un haz de radiación bien concentrado, ya que casi la totalidad de los eventos ocurren dentro del cátodo de la lámpara. También el resultado final es la obtención de un espectro característico del elemento del que está hecho el cátodo de la lámpara.

#### **2.2.1.4 NEBULIZADOR**

Cuando una solución acuosa de sales inorgánicas disueltas es aspirada y dirigida hacia una flama, en ésta ocurre una serie de eventos que conducen a la formación de átomos en la misma.

El quemador de premezclado o de flujo laminar mostrado en la Fig. 16 tiene la siguiente secuencia de pasos en su operación: Inicialmente la muestra líquida (en la cual están disueltos los componentes en forma de iones positivos y negativos) debe ser conducida al quemador. Para esto se hace uso del efecto “Venturi”. Este efecto se crea cuando el oxidante (por ejemplo aire) se introduce a través de un tubo diseñado de manera tal que se genera un vacío lo cual produce la succión de la muestra líquida a través del tubo capilar.

Este mismo efecto Venturi favorece la formación de pequeñas gotas en forma de rocío, cuando la solución se hace impactar sobre un cuerpo sólido de diseño y geometría adecuada. El combustible necesario, (generalmente acetileno) se introduce directamente a la cámara del nebulizador por medio de un conducto adicional.

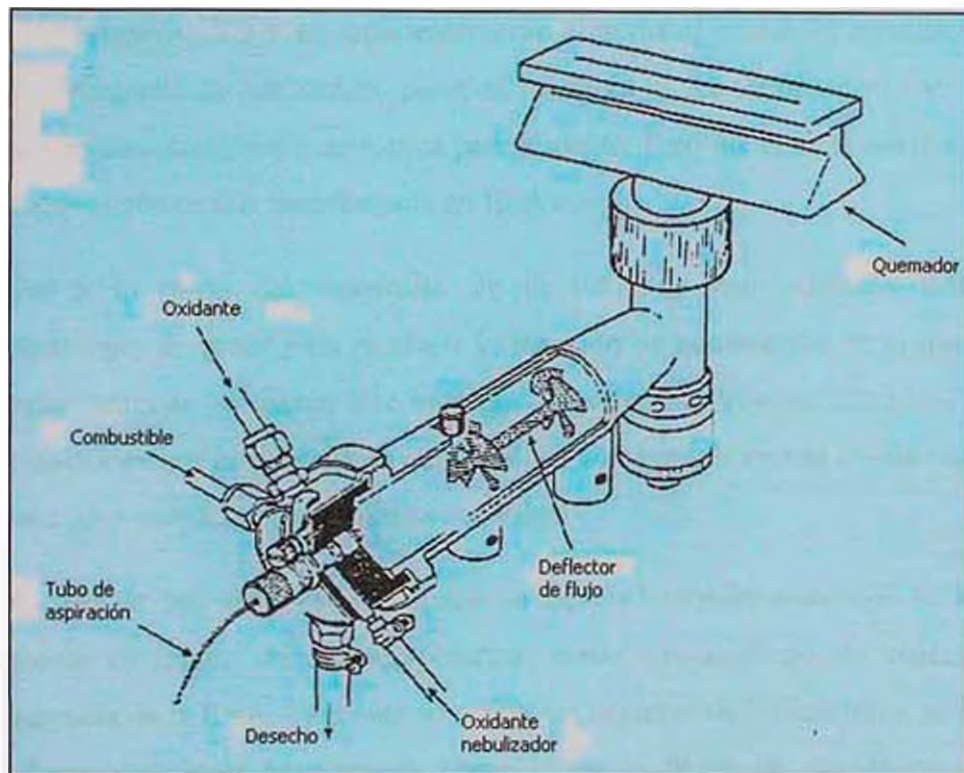
Debido a que el oxidante que se introduce a través del nebulizador para el efecto Venturi no es suficiente para una adecuada combustión, el resto requerido se introduce también a la cámara del nebulizador por medio de un conducto adicional. El resultado es que el quemador lleva finalmente una mezcla oxidante (aire) y combustible (acetileno) que transportan pequeñas gotas de rocío de la muestra aspirada.

Otras de las líneas conectadas a la cámara del nebulizador es el tubo de drenaje. La finalidad de este es desechar las gotas que por su tamaño grande condensan en el deflector de flujo o esfera de impacto.

La eficiencia y el grado en que la solución aspirada forma pequeñas gotas de rocío son sumamente importantes ya que la reproducibilidad y la sensibilidad de esta técnica dependen en gran parte de este paso en la operación del nebulizador.

Las pequeñas gotas formadas, son arrastradas por el flujo de gases (oxidante y combustible) que también entran a la cámara de mezclado del nebulizador y que sustentan la reacción de combustión en el quemador. Únicamente las partículas que tienen tamaños menores de 10  $\mu\text{m}$ , lo que representa sólo una pequeña fracción del volumen de muestra aspirada, llega finalmente al quemador, más del 90% de la solución es desechada a través de un tubo de drenaje en que el nebulizador tiene para este fin.

La intención de esto es evitar que partículas demasiado grandes alcancen el quemador. Cuando esto ocurre, debido a que el tiempo de residencia de la gota en la parte más caliente de la flama es de únicamente milésimas de segundo, si la gota es demasiado grande, no se alcanzan a formar átomos a partir de ésta, y es muy probable que se originen falsas absorbancias y que la flama sea demasiado ruidosa.



**Fig. 16: Quemador-Nebulizador de premezclado o de flujo laminar.**

### 2.2.1.5 QUEMADOR

Con las gotas de solución que alcanzan a llegar al quemador, ocurren los siguientes eventos:

- El solvente es vaporizado y se forman los cristales de las sales metálicas que originalmente se encontraban en solución como iones positivos y negativos. La naturaleza de las sales formadas dependen principalmente de la constante del producto de solubilidad del compuesto que cristaliza.
- Una vez formadas las sales, éstas son descompuestas por efecto de la temperatura y el elemento es reducido al estado metálico sólido.
- Posteriormente el metal pasa del estado líquido al estado gaseoso y finalmente se tiene un vapor atómico que es capaz de absorber radiación de longitudes de onda bien definidas.

- Si la temperatura es lo suficientemente alta y/o el elemento metálico es de bajo potencial de ionización, parte de los átomos del elemento pierden uno o más de sus electrones y se ioniza parcialmente. Esto no es conveniente ya que la ionización es una interferencia en EEA.

Aunque a lo largo del desarrollo de la EAA se han utilizado diferentes combinaciones de gases para producir la reacción de combustión en el quemador (ejemplo: oxígeno-acetileno, aire-hidrógeno, oxígeno-hidrógeno, etc.), las únicas combinaciones que hoy en día se emplean con fines prácticos son las flamas: aire-propano, aire-acetileno, óxido nitroso-acetileno.

En el caso de los elementos alcalinos se tiene el problema de que se ionizan fácilmente en flamas de alta temperatura, como aire-acetileno; lo cual, es una interferencia en la EAA. Para esto se utiliza un supresor de ionización o se emplea una flama de menor temperatura como lo es la flama de aire-propano y se determina el elemento por Espectroscopia de Emisión de Flama.

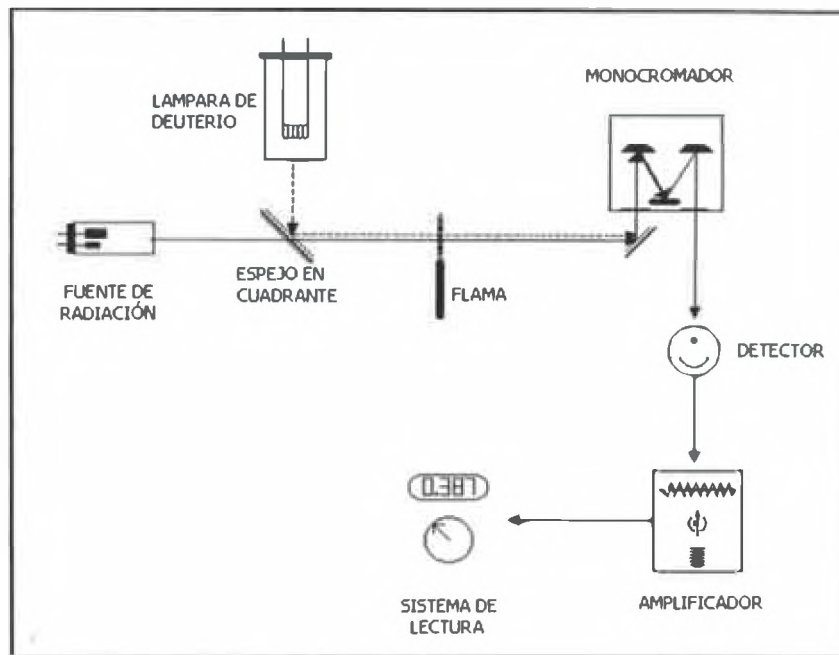
## **2.2.2 INSTRUMENTACIÓN EN ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

### **2.2.2.1 INSTRUMENTOS DE UN SOLO HAZ**

Un instrumento típico de haz sencillo consiste de una lámpara de cátodo hueco, una lámpara de deuterio para corrección por absorción no atómica, un modulador (chopper), un atomizador, un monocromador y un transductor (Fig.17).

Este instrumento es utilizado y está basado en los mismos principios teóricos que un espectrofotómetro convencional. Primero se aspira el blanco y se ajusta la lectura a 100% de Transmitancia; posteriormente se aspira la muestra problema y se hace la lectura de absorbancia o transmitancia. La radiación de la lámpara de deuterio pasa en forma alterna con la radiación de la lámpara de cátodo hueco,

para que el detector perciba alternadamente las dos señales. El chopper o cortador, consiste de cuadrantes huecos y cuadrantes con espejos, y es el mecanismo a través del cual es posible que el detector reciba en forma alterna la señal de la lámpara de cátodo hueco y la de la lámpara de deuterio, con respecto al tiempo y comparación de las dos absorbancias.

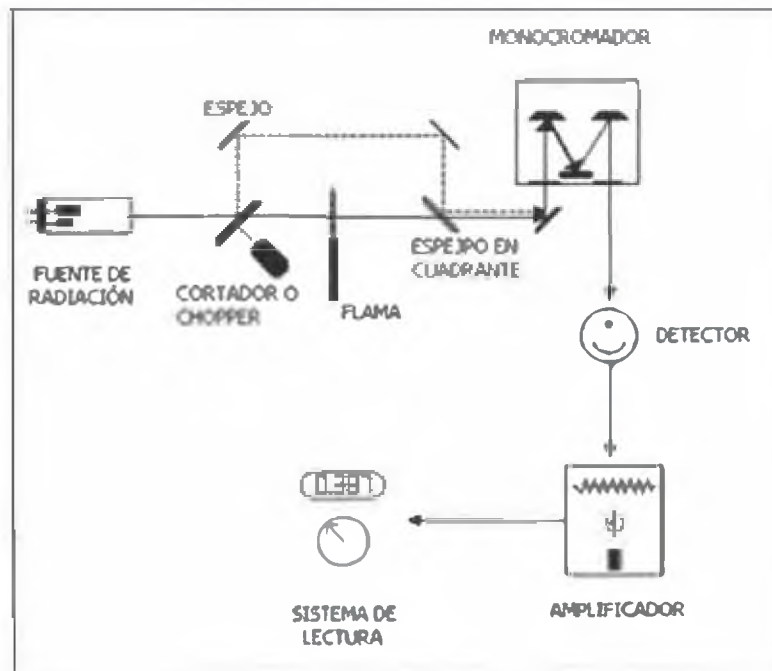


**Fig. 17: Instrumento típico de haz sencillo con lámpara de deuterio para corrección por absorción no atómica.**

### 2.2.2.2 INSTRUMENTOS DE DOBLE HAZ

En un instrumento de doble haz, la radiación emitida por la fuente es dividida por un modulador con espejos. Este consiste de una pieza circular con secciones alternadas de espejo y partes huecas; esta pieza está girando, de manera que el haz de la fuente pasa alternadamente por el hueco del modulador y llega a la flama o choca con una sección de espejo del mismo y es reflejado. Estos dos haces son recombinados en un espejo especial (half-silvered mirror) pasan a través de un monocromador y finalmente la señal es enviada por medio de un fotomultiplicador. Esta señal recibida por el sistema de lectura es la relación entre

la señal de referencia y la señal de la muestra misma. Aunque no se encuentre la lámpara de deuterio para corrección por absorción no atómica, el instrumento de doble haz la puede contener como accesorio opcional. La Fig. 18 es representativa de un instrumento de doble haz:



**Fig. 18: Diagrama esquemático de un instrumento de doble haz.**



**CAPÍTULO 3:  
TRABAJO  
DESARROLLADO  
EN EL  
LABORATORIO**

### **3.1 DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

#### **3.1.1 ALCANCE**

Este método es aplicable para determinación de Plata en muestras de Geología y muestras de Planta (Cabeza y Relave).

#### **3.1.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

**3.1.2.1 Espectrometría de Absorción Atómica:** Técnica espectrofotométrica basada en la absorción de energía radiante de los átomos de un elemento; la cual, es cuantificada mediante una fuente de energía externa.

**3.1.2.2 Digestión Ácida:** Técnica de disgregación de la muestra con reactivos ácidos que son atacados enérgicamente a altas temperaturas con la finalidad de disolver los analitos de interés.

**3.1.2.3 Curva de calibración:** Curva de referencia con cantidades conocidas de una sustancia que se utiliza para determinar la cantidad de esta sustancia presente en una muestra desconocida.

**3.1.2.4 Solución Estándar:** Mezcla homogénea en la que una sustancia de concentración conocida se encuentra disuelta en un solvente.

**3.1.2.5 Material de Referencia (MR):** Material o sustancia en el cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y bien definidas para ser utilizadas en la calibración de aparatos, la evaluación de un método de medición, o para asignar valores a los materiales.

**3.1.2.6 Material de Referencia Certificado (MRC):** Material de Referencia acompañado de un certificado; en el cual, uno o más valores de las propiedades están certificados por un procedimiento que establece la trazabilidad a una

realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de la propiedad y en el que cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel declarado de confianza.

**3.1.2.7 Solución Estándar Intermedia:** Solución preparada por el Laboratorio a partir de la solución estándar de 1000 ppm obteniendo 100 ppm.

**3.1.2.8 Solución Estándar de Trabajo:** Solución preparada por el Laboratorio a partir de la solución estándar intermedia de 100 ppm obteniendo las concentraciones requeridas para la Curva de Calibración en el análisis por Absorción Atómica.

### **3.1.3 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- Lentes de seguridad.
- Respirador de media cara con filtro para ácidos.
- Guantes de látex.
- Zapatos de seguridad con punta de acero.
- Mameluco con cinta reflectiva o mandil.

### **3.1.4 EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES**

- Balanza analítica, precisión 0.1 mg.
- Plancha de Calentamiento.
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer Analyst 400 ó Varian AA240).
- Embudo.
- Espátula, pincel.
- Luna de reloj.
- Pinza para vasos.
- Probeta o dosificador de ácidos.
- Vasos de precipitación de forma baja de 250 y 400 ml.

- Fiolas de 100 ml.
- Probetas volumétricas.
- Piceta con agua destilada.
- Varilla de vidrio.

### **3.1.5 REACTIVOS**

- Ácido Nítrico (67-70% P.A.).
- Ácido Clorhídrico (33-38% P.A.).
- Ácido Fluorhídrico (40 % P.A.).
- Soluciones estándar de trabajo de Plata: 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 ppm al 25% de HCl.

### **3.1.6 PROCEDIMIENTO**

#### **3.1.6.1 PESADO DE MUESTRAS**

- Se pesa 1.0 g. para muestras de Cabeza, Relave y Geología en vasos de precipitados de 250 ml.

#### **3.1.6.2 DIGESTIÓN ÁCIDA**

- Se adiciona 5 ml de Ácido Nítrico concentrado, 15 ml de Ácido Clorhídrico concentrado y dos gotas de Ácido Fluorhídrico concentrado, se cubre con luna de reloj y se pone en la plancha de calentamiento para el ataque químico hasta quedar pastoso. Esta plancha debe estar a una temperatura de 250 °C +/- 30 °C.
- Se retira el vaso de la plancha, se enfría, se enjuaga la luna de reloj y el interior del vaso y se adiciona 25 ml. de Ácido Clorhídrico concentrado, se lleva nuevamente a la plancha hasta disgregar las sales.
- Se retira el vaso de la plancha, se enfría, se enjuaga la luna de reloj y el interior del vaso y se trasvasa a una fiola de 100 ml.
- Se enrasa con agua destilada y se homogeniza.
- Se deja decantar las muestras.

- La Plata se cuantificará por Espectrometría de Absorción Atómica.

**NOTA:**

- Si las muestras sobrepasan los 380 g/ton. en Plata, se procederá a pesar 0.5 g de muestra y nuevamente se realizará la digestión según el mismo procedimiento descrito líneas atrás.
- Si las muestras sobrepasan los 750 g/ton en Plata por esta técnica, se procederá a realizar según el Procedimiento: Determinación de Oro y Plata por Fire Assay.

### **3.1.6.3 EXPRESIÓN DE RESULTADOS**

$$\text{Ag (g/ton)} = \frac{\text{Concentración (mg/L)} * \text{Volumen (ml)}}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

### **3.1.6.4 CONTROL DE CALIDAD**

Como referencia para el control de calidad, cada lote de muestras deberá contener:

- **PARA MUESTRAS DE GEOLOGÍA**

Un Duplicado de Gruesos, un Duplicado de Finos, un Blanco de Reactivos, una Muestra Estéril y 2 Materiales de Referencia (Uno de ley baja y otro de ley alta).

- **PARA MUESTRAS DE CABEZA Y RELAVE**

Para cada uno: Un Duplicado de Finos (Reanálisis), un Blanco de Reactivo y un Material de Referencia.

## **3.2 DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA O MÉTODO GRAVIMÉTRICO.**

### **3.2.1 ALCANCE**

Para muestras de Geología y Planta (Cabeza, Relave y Concentrado).

### **3.2.2 PRINCIPIO DEL MÉTODO**

Consiste en fundir una muestra sólida seca mezclado con fundente, concentrando el oro y la plata en un régulo de plomo; luego, es copelado oxidando el plomo y quedando sólo el metal noble (Ag y Au), posteriormente se procede a realizar la Técnica de Partición adecuada de acuerdo al peso de doré para cuantificar el oro y por diferencia obtener el resultado de la plata.

### **3.2.3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

**3.2.3.1 Gravimetría:** Es un método analítico cuantitativo que determina la cantidad de sustancia midiendo el peso de la misma.

**3.2.3.2 Fundición:** Proceso pirometalúrgico para eliminación de las impurezas con las que el metal puede estar combinado o mezclado.

**3.2.3.3 Copelación:** Disolución del régulo por efecto del calor para separar el Oro y la Plata en forma de Doré.

**3.2.3.4 Absorción Atómica:** Técnica Espectrofotométrica basada en la absorción de energía radiante de los átomos de un elemento; la cual, es cuantificada mediante una fuente de energía externa.

**3.2.3.5 Doré:** Mezcla impura y sin refinar de Oro metálico y Plata.

**3.2.3.6 Muestra Relave:** Material de desecho de una planta concentradora después de que los metales valiosos han sido recuperados.

**3.2.3.7 Muestra Cabeza:** Producto de la explotación minera que se alimenta a una Planta de Tratamiento o Beneficio.

**3.2.3.8 Concentrado:** Producto rico en metales obtenido mediante la aplicación de procesos de Separación y Concentración.

**3.2.3.9 Laminado:** Se efectúa para facilitar la liberación del Oro que se encuentra en el doré.

**3.2.3.10 MRC:** Material de Referencia Certificado.

### **3.2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- Casco tipo jockey con carrilera.
- Lentes de seguridad con luna clara anti-impacto.
- Respirador de media cara con filtro para Plomo de alta eficiencia.
- Careta con máscara contra el calor.
- Guantes de cuero y/o neopreno.
- Zapatos de seguridad con punta de acero.
- Ropa aluminizada.
- Guantes desechables.
- Mameluco con cinta reflectiva.
- Orejeras o tapones de oído.

### **3.2.5 EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES**

- Balanza Analítica de 4 decimales.
- Microbalanza de cuatro decimales.
- Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer o Varian.
- Horno de Fundición.
- Horno de Copelación.
- Plancha de calentamiento.
- Calcinadora

- Laminadora.
- Dispensadores de ácidos.
- Extractor de gases y plomo.
- Crisoles refractarios de 30 o 40 g.
- Crisoles de porcelana.
- Copelas N° 7, 8 ó 9.
- Alicates tipo punta de loro.
- Mesa de fierro.
- Bolsa de polietileno.
- Lingotera de fierro fundido.
- Yunque.
- Brocha para limpieza.
- Martillo.
- Porta dorés y porta crisoles.
- Pipetas, fiolas, vasos.

### **3.2.6 REACTIVOS**

- Litargirio (PbO).
- Carbonato de sodio anhidro, grado Técnico.
- Bórax comercial.
- Harina de trigo.
- Nitrato de potasio, grado Reactivo.
- Plata metálica (para títulos).
- Sílice.
- Cenizas de hueso.
- Ácido Nítrico P.A.
- Hidróxido de Amonio P.A.
- Ácido Clorhídrico P.A.
- Soluciones Estándar de Trabajo de Oro: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 ppm al 25% de HCl.



### 3.2.7 PROCEDIMIENTO

#### 3.2.7.1 PESADO DE MUESTRAS

- Se codifica las bolsas que contienen el fundente pre-mezclado y se ordenan en la bandeja de pesado. La cantidad de fundente en cada bolsa para el pesado de muestras según la Tabla N°1.

**Tabla N°1: Pesado de Fundente**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE FUNDENTE +/- 2.0 (g.)</b>
Sulfurados	120.0
Oxidados	160.0

- Se procede al pesado de las muestras en la Sala de Balanzas según el tipo de muestras que detalla el Tabla N°2.

**Tabla N°2: Pesado de Muestras**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>PESO (g.)</b>
Cabeza	30.0
Relave	40.0
Geología	30.0

- En el caso de muestras que se vuelven a re-ensayar como las muestras mayores de 750 g/ton. de Plata, se pesan las muestras más el título de plata metálica para determinar la pérdida de Plata, el peso del título dependerá de la ley aproximada que se halló anteriormente por Absorción Atómica.

### 3.2.7.2 FUNDICIÓN

- Las muestras en sus respectivas bolsas con el fundente pre-mezclado se lleva dentro de la campana de extracción en el área de Fundición. Se ordena y codifica los crisoles para la fundición del lote respectivo.

#### **NOTA:**

Muestras de Geología, Cabeza y Relave que se va a determinar sólo Oro, se agrega plata metálica en los crisoles para asegurar una mejor colección de oro. Para muestras de Geología mayores a 750 g/ton. que se han determinado plata previamente por Absorción Atómica, no se agrega plata metálica debido a que se va a determinar Plata y Oro por esta técnica.

- Se homogeniza el fundente con la muestra a analizar agitando la bolsa. Se debe tener cuidado para que no salte el contenido de las bolsas y se coloca la muestra homogenizada dentro del crisol previamente identificado.
- Se agrega una capa de bórax.
- Se coloca los crisoles dentro del horno de fundición; el cual, debe estar con una temperatura de 850 +/- 30 °C. Se cierra la puerta del horno y se mantiene esta temperatura por 15 min.
- Luego se eleva la temperatura a 950 +/- 30 °C y se mantiene a ésta por 15 min.
- Finalmente se sube la temperatura a 1050 +/- 30 °C y se mantiene a ésta por 20 min. con lo cual suma un tiempo total de fundición de 50 min.
- Se retira los crisoles del horno realizando un movimiento circular para obtener una mejor aglomeración de plomo fundido y se golpea la base del crisol sobre una superficie firme.
- Se vierte el contenido del crisol en una lingotera cónica; la cual, debe estar completamente limpia y seca.
- Se deja enfriar y se retira la escoria de la lingotera golpeando con un martillo para liberar el régulo de plomo.

- Se limpia el régulo de plomo (se quita la escoria adherida) con un martillo. Se le da forma cúbica para una mejor manipulación.
- Se verifica que el régulo esté entre 25 a 40 g. De no ser así, se interrumpe el ensayo en esta etapa y se procede a pesar nuevamente, previamente verificar el aspecto físico del régulo (Brillo metálico, compacto, maleable) para reconsiderar realizar el re-análisis, teniendo presente la dosificación inicial incluido un Material de Referencia Certificado que se incluirá al final del lote.
- En el caso de que más del 40 % del lote no cumpla con el rango de peso indicado, se repite todo el lote.

### **3.2.7.3 COPELACIÓN.**

#### **3.2.7.3.1 COPELACIÓN PARA DETERMINAR ORO EN MUESTRAS DE GEOLOGÍA, CABEZA Y RELAVE.**

- Se codifica las copelas correlativamente en forma ascendente y se colocan en el Horno de Copelación por un período de 20 min. a una temperatura de 950 +/- 50°C. Con esto se logra eliminar la presencia de humedad.
- Se pone cada régulo en su copela respectiva y se cierra las puertas del horno por espacio de 5 min. y luego se comprueba que los régulos estén completamente fundidos.
- Luego se deja la puerta del horno entre abierta para que ingrese aire y se origine la oxidación del plomo.
- La copelación termina cuando todo el plomo se ha consumido (oxidado). Debe durar entre 30 a 45 min. a la temperatura indicada. Dependiendo del peso del régulo y el oxígeno que ingrese a la cámara del horno puede variar el tiempo de copelación.
- Se retira las copelas del horno y se deja enfriar por 20 min. en las mesas de enfriamiento.

- Se extrae los dorés de las copelas con un alicate punta de loro o una pinza y se limpian con mucho cuidado. Los dorés muy pequeños solamente deben ser presionados para eliminar trazas, no escobillar para evitar que se pierdan.
- Se colocan los dorés en crisoles de porcelana para pasar a la siguiente etapa que es el Laminado.

### **3.2.7.3.2 COPELACIÓN PARA DETERMINAR PLATA EN MUESTRAS DE GEOLOGÍA MAYORES A 750 g/ton. (GRAVIMETRÍA).**

- Se codifica las copelas correlativamente en forma ascendente y se colocan en el Horno de Copelación por un período de 20 min. a una temperatura de 950 +/- 50°C. Con esto se logra eliminar la presencia de humedad.
- Se colocan los régulos en cada copela de la primera fila. Después de 5 min. se colocan los siguientes régulos en las copelas de la segunda fila. Se realiza el mismo procedimiento para las siguientes filas.
- Se cierra las puertas del horno por espacio de 5 min. y luego se comprueba que los régulos estén completamente fundidos.
- Luego se deja la puerta del horno entre abierta para que ingrese aire y se origine la oxidación del plomo.
- La copelación termina cuando se observa el relampagueo de la plata, todo el plomo se ha consumido (oxidado).
- Después del relampagueo se retiran los dorés (luego de 20 a 30 segundos).
- La copelación debe durar entre 30 a 45 min. a la temperatura indicada.
- Se retira las copelas del horno y se deja enfriar por 20 min. en las mesas de enfriamiento.
- Se extrae los dorés de las copelas con un alicate punta de loro o una pinza y se limpian con mucho cuidado. Los dorés muy pequeños solamente deben ser presionados para eliminar trazas, no escobillar para evitar que se pierdan.
- Se colocan los dorés en un porta-dorés.

- Se pesan los dorés en una microbalanza y se registran los pesos para el cálculo respectivo.

**NOTA:**

Para el control de la pérdida de plata por Copelación en las muestras, se colocará Títulos de plata en diferentes rangos dependiendo de la concentración de las muestras.

**3.2.7.4 LAMINADO.**

Se colocan los dorés en el rodillo de la laminadora de abertura graduada (0.012 – 0.025 mm. de espesor) y se proceden a laminar los Dorés que seguirán la Técnica de Partición Gravimétrica.

**3.2.7.5 PARTICIÓN – MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MUESTRAS DE GEOLOGÍA Y CABEZA.**

**3.2.7.5.1 ATAQUE QUÍMICO.**

- Se calienta la solución de HNO<sub>3</sub> al 15% en la plancha de calentamiento que se encuentra a una temperatura de 95 +/- 20 °C. Esta solución se calienta para acelerar la reacción.
- Se enumera los crisoles de porcelana y se colocan los dorés laminados en cada uno de ellos.
- Se agrega la solución caliente de HNO<sub>3</sub> al 15% a los crisoles de porcelana hasta llenar las ¾ partes aproximadamente.
- Se coloca los crisoles en la plancha a una temperatura de 95 +/- 20 °C.
- Cuando la lámina de doré deja de burbujear (término de la reacción) se sube la temperatura de la plancha de calentamiento a 200 +/- 20 °C.

- Se agrega 2 ml. de HNO<sub>3</sub> concentrado y se deja atacar por 15 min. Se retira y se deja enfriar.

#### **3.2.7.5.2 LAVADO.**

- Se desecha la solución de AgNO<sub>3</sub> que se formó teniendo cuidado que el botón de oro siempre permanezca dentro del crisol en cada una de las lavadas.
- Se agrega agua destilada hasta las  $\frac{3}{4}$  partes de la capacidad del crisol y luego se desecha.
- Se agrega NH<sub>4</sub>OH al 15% hasta las  $\frac{3}{4}$  partes de la capacidad del crisol y luego se desecha.
- Se agrega, una vez más, agua destilada y luego se desecha.

#### **3.2.7.5.3 SECADO Y CALCINADO.**

- Después del lavado, se coloca los crisoles en la plancha de calentamiento a 200 +/- 20 °C.
- Luego de secar completamente los botones de oro fino se calcina en la Mufla a una temperatura de 600 +/- 30 °C durante 5 min.
- Luego de enfriar los botones de oro fino se pesan y se registran sus valores para el cálculo respectivo.

#### **3.2.7.6 PARTICIÓN – MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA MUESTRAS DE RELAVE.**

- Los dorés que serán digeridos por este método se colocarán en fioles de 25 ml. previamente codificados.
- Utilizando un dispensador, se añade a cada fiola 2 ml. de HNO<sub>3</sub> concentrado y se colocan en una plancha de calentamiento a 95 +/- 20 °C.

- Se digesta hasta que desaparezcan los vapores nitrosos. Se verifica que la separación se complete y queden sólo partículas negras.
- Utilizando un dispensador, se añade a cada fiola 3 ml. de HCl concentrado. Se calienta y se retira de la plancha.
- Luego de enfriar se adiciona 4 ml. de HCl concentrado. Se verifica la total disolución del oro. No deben quedar partículas negras en la base de la fiola. Se deja enfriar.
- Se afora con agua destilada y se homogeniza.
- Se deja sedimentar los sólidos por 30 min.
- Se realiza las respectivas lecturas de concentración de Oro por Absorción Atómica y se registran sus valores.

### 3.2.7.7 CÁLCULOS Y REPORTE DE LEYES.

#### 3.2.7.7.1 CÁLCULOS. MÉTODO DE PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.

$$\text{Au (g/ton)} = \frac{(\text{WAu} * 1000)}{\text{WM}}$$

$$\text{Ag (g/ton)} = \frac{((\text{Wdoré} - \text{WAu} - \text{WBk}) * \text{FA}) * 1000)}{\text{WM}}$$

$$\text{FA} = \frac{\text{WInicial Ag}}{\text{WFinal Ag} - \text{WBk}}$$

#### 3.2.7.7.2 CÁLCULOS. MÉTODO DE PARTICIÓN COMBINADO.

$$\text{Au (mg/L)} = \text{Au AAS (mg/L)} - \text{Bk AAS (mg/L)}$$

$$\text{Au (g/ton)} = \frac{(\text{C} * \text{V})}{\text{WM}}$$

**Donde:**

**WAu:** Peso de Oro (mg.).

**WM:** Peso de Muestra (g.).

**W Doré:** Peso de Doré (mg.).

**W Bk:** Peso de blanco (mg.).

**FA:** Factor de Título de Plata (mg.).    **C:** Concentración de Au (mg/L.).

**V:** Volumen de Aforo.

**Au AAS (mg/L):** Ley de Oro en lectura por Absorción Atómica (mg/L).

**Bk AAS (mg/L):** Ley del Bk en lectura de Oro por Absorción Atómica (mg/L).

### **3.2.7.8 CONTROL DE CALIDAD.**

Como referencia para el control de calidad, cada lote de fundición deberá contener siempre:

- Un Duplicado de Gruesos.
- Un Duplicado de Finos.
- Un Blanco de Reactivos.
- Una Muestra Estéril.
- Dos Materiales de Referencia Certificado (MRC) cuyos valores se evaluarán en una carta de control.



### 3.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE GEOLOGÍA POR PLATA Y ORO.

#### 3.3.1 DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

##### 3.3.1.1 RECEPCIÓN DE MUESTRAS.

Tabla N° 3: Orden de Preparación de Muestras

ORDEN DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS					
Procedencia: Geología			N° Orden de Ensayo: GE-SET14-26		
Fecha: 20/09/2014			Hora: 8:10 am.		
Orden generada por: Richard O.					
N°	CÓDIGO	OBSERVACIONES	N°	CÓDIGO	OBSERVACIONES
1	7901	<i>RP-LAB</i>	19	7919	
2	7902		20	7920	
3	7903		21	7921	
4	7904		22	7922	
5	7905	<i>DUP-LAB</i>	23	7923	
6	7906		24	7924	
7	7907		25	7925	
8	7908		26	7926	<i>ESTÉRIL</i>
9	7909		27	7927	
10	7910	<i>MALLA</i>	28	7928	<i>MALLA</i>
11	7911		29	7929	
12	7912		30	7930	
13	7913		31	7931	
14	7914				
15	7915				
16	7916				
17	7917				
18	7918				

### 3.3.1.2 PESADO DE MUESTRAS PARA ATAQUE QUÍMICO.

**Tabla N° 4: Peso de Muestras**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO (g.)</b>
1	007901	1.00
2	007902	1.00
3	007903	1.00
4	007904	1.00
5	007905	1.00
6	007906	1.00
7	007907	1.00
8	007908	1.00
9	007909	1.00
10	BK	0.00
11	007910	1.00
12	DU 007905	1.00
13	STD GEO-1	1.00
14	007911	1.00
15	007912	1.00
16	007913	1.00
17	007914	1.00
18	007915	1.00
19	007916	1.00
20	007917	1.00
21	007918	1.00
22	007919	1.00
23	007920	1.00
24	007921	1.00
25	007922	1.00
26	007923	1.00
27	007924	1.00
28	007925	1.00
29	007926	1.00
30	STD ESTERIL	1.00
31	007927	1.00
32	007928	1.00
33	007929	1.00
34	STD GEO-2	1.00
35	007930	1.00
36	007931	1.00
37	RP 007901	1.00

### 3.3.1.3 LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA PLATA LUEGO DEL ATAQUE QUÍMICO.

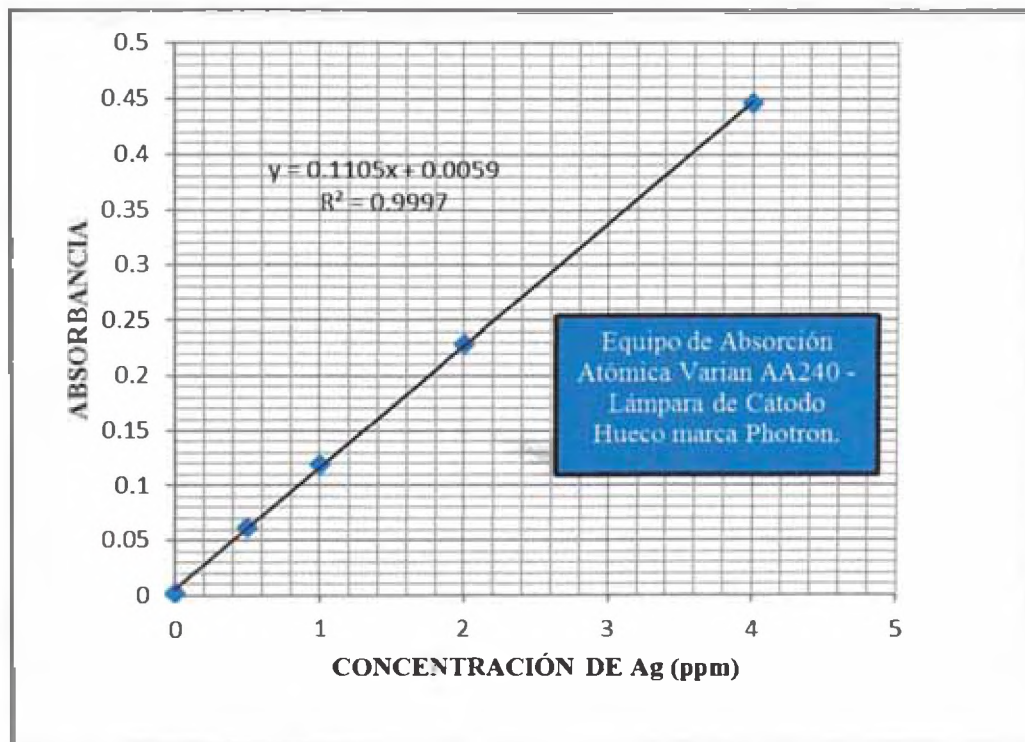
- DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA PLATA:

Tabla N° 5: Curva de Calibración de Plata

CONCENTRACIÓN DE Ag (ppm)	ABSORBANCIA
0.0	0.002
0.5	0.062
1.0	0.119
2.0	0.229
4.0	0.446

- CURVA DE CALIBRACIÓN PARA PLATA.

Gráfico 6: Absorbancia vs. Concentración de Plata.



### 3.3.1.4 RESULTADO DE LAS LECTURAS.

**Tabla N° 6: Resultado de las Lecturas de Plata**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)	VOLUMEN (ml.)	LECTURA DE Ag (ppm.)
1	007901	1.00	100.0	0.097
2	007902	1.00	100.0	0.187
3	007903	1.00	100.0	0.454
4	007904	1.00	100.0	0.381
5	007905	1.00	100.0	0.021
6	007906	1.00	100.0	0.078
7	007907	1.00	100.0	0.301
8	007908	1.00	100.0	0.741
9	007909	1.00	100.0	(*)
10	BK	0.00	100.0	0.000
11	007910	1.00	100.0	3.067
12	DU 007905	1.00	100.0	0.023
13	STD GEO-1	1.00	100.0	0.497
14	007911	1.00	100.0	3.003
15	007912	1.00	100.0	0.706
16	007913	1.00	100.0	1.254
17	007914	1.00	100.0	0.139
18	007915	1.00	100.0	1.297
19	007916	1.00	100.0	0.399
20	007917	1.00	100.0	0.219
21	007918	1.00	100.0	0.319
22	007919	1.00	100.0	0.402
23	007920	1.00	100.0	3.278
24	007921	1.00	100.0	2.110
25	007922	1.00	100.0	0.628
26	007923	1.00	100.0	0.329
27	007924	1.00	100.0	0.418
28	007925	1.00	100.0	0.020
29	007926	1.00	100.0	0.222
30	STD ESTERIL	1.00	100.0	0.014
31	007927	1.00	100.0	0.579
32	007928	1.00	100.0	0.137
33	007929	1.00	100.0	1.880
34	STD GEO-2	1.00	100.0	2.468
35	007930	1.00	100.0	1.204
36	007931	1.00	100.0	(*)
37	RP 007901	1.00	100.0	0.096

(\*) El valor de la lectura por Absorción Atómica está fuera del rango de aceptación establecido (Mayor a 3.80 ppm.). La determinación de Plata se hará con la mitad del peso de muestra en el mismo volumen de solución.

Nuevamente se procede a leer las 2 muestras cuyas lecturas anteriores estuvieron fuera del rango de aceptación:

**Tabla N° 7: Lectura de Plata**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO (g.)</b>	<b>VOLUMEN (ml.)</b>	<b>LECTURA (ppm.)</b>
<b>1</b>	007909	0.5	100.0	(**)
<b>2</b>	007931	0.5	100.0	(**)

(\*\*) Para este segundo análisis, el valor de la lectura por Absorción Atómica está fuera del rango de aceptación establecido (Mayor a 750 g/ton.). La determinación de Plata se hará por el método Fire Assay.

#### **CONVERSIÓN DE UNIDADES.-**

Conversión de ppm a g/ton:

1 ppm = 1 mg/L, Peso de muestra = 1.0 g,

Volumen de solución = 0.1 L.

$[(1 \text{ mg/L}) (0.1 \text{ L})] / 1.0 \text{ g.} = 0.1 \text{ mg/g} = 100 \text{ g/ton.}$

**Entonces:** 1 ppm = 100 g/ton.

**3.3.1.5 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

**Tabla N° 8: Resultado - Ley de Plata de las Muestras**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO (g.)</b>	<b>VOLUMEN (mL)</b>	<b>LECTURA (ppm.)</b>	<b>LEY DE PLATA (g/ton.)</b>
1	007901	1.00	100.0	0.097	9.70
2	007902	1.00	100.0	0.187	18.70
3	007903	1.00	100.0	0.454	45.40
4	007904	1.00	100.0	0.381	38.10
5	007905	1.00	100.0	0.021	2.10
6	007906	1.00	100.0	0.078	7.80
7	007907	1.00	100.0	0.301	30.10
8	007908	1.00	100.0	0.741	74.10
9	007909	1.00	100.0	(**)	(**)
10	BK	0.00	100.0	0.000	0.00
11	007910	1.00	100.0	3.067	306.70
12	DU 007905	1.00	100.0	0.023	2.30
13	STD GEO-1	1.00	100.0	0.497	49.70
14	007911	1.00	100.0	3.003	300.30
15	007912	1.00	100.0	0.706	70.60
16	007913	1.00	100.0	1.254	125.40
17	007914	1.00	100.0	0.139	13.90
18	007915	1.00	100.0	1.297	129.70
19	007916	1.00	100.0	0.399	39.90
20	007917	1.00	100.0	0.219	21.90
21	007918	1.00	100.0	0.319	31.90
22	007919	1.00	100.0	0.402	40.20
23	007920	1.00	100.0	3.278	327.80
24	007921	1.00	100.0	2.110	211.00
25	007922	1.00	100.0	0.628	62.80
26	007923	1.00	100.0	0.329	32.90
27	007924	1.00	100.0	0.418	41.80
28	007925	1.00	100.0	0.020	2.00
29	007926	1.00	100.0	0.222	22.20
30	STD ESTERIL	1.00	100.0	0.014	1.40
31	007927	1.00	100.0	0.579	57.90
32	007928	1.00	100.0	0.137	13.70
33	007929	1.00	100.0	1.880	188.00
34	STD GEO-2	1.00	100.0	2.468	246.80
35	007930	1.00	100.0	1.204	120.40
36	007931	1.00	100.0	(**)	(**)
37	RP 007901	1.00	100.0	0.096	9.60

(\*\*) El valor de la lectura por Absorción Atómica está fuera del rango de aceptación establecido (Mayor a 750 g/ton.). La determinación de Plata se hará por el método Fire Assay.

### 3.3.2 DETERMINACIÓN DE PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

#### 3.3.2.1 PESADO DE MUESTRAS.

**Tabla N° 9: Peso de Muestras**

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>PESO (g.)</b>
007909	30.0007
007931	30.0019

#### 3.3.2.2 PESO DE DORÉ OBTENIDO DE LA COPELACIÓN.

**Tabla N° 10: Peso de Doré**

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE MUESTRA (g.)</b>	<b>PESO DE DORÉ (mg.)</b>
007909	30.0007	23.240
007931	30.0019	32.570

#### 3.3.2.3 PESO DE ORO FINO OBTENIDO POR PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.

**Tabla N° 11: Peso de Oro Fino**

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE MUESTRA (g.)</b>	<b>PESO DE DORÉ (mg.)</b>	<b>PESO DE ORO FINO (mg.)</b>
007909	30.0007	23.240	0.744
007931	30.0019	32.570	1.138

### 3.3.2.4 PESO DE TÍTULO.

Tabla N° 12: Peso de Título

N°	CÓDIGO	PESO INICIAL (mg.)	PESO FINAL (mg.)
1	TÍTULO 1	32.748	32.213

### 3.3.2.5 CÁLCULOS.

Para obtener la concentración de Ag en g/ton. a partir del peso de oro fino y peso de doré, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Ag (g/ton)} = \frac{((W_{\text{doré}} - W_{\text{Au}} - W_{\text{Bk}}) * \text{FA}) * 1000}{WM}$$

$$\text{FA} = \frac{W_{\text{Inicial Ag}}}{W_{\text{Final Ag}} - W_{\text{Bk}}}$$

**Donde:**

**WM:** Peso de Muestra (g.).

**WAu:** Peso de Oro (mg.).

**W Doré:** Peso de Doré (mg).

**W Bk:** Peso de blanco (mg.).

**FA:** Factor de Título de Plata (mg.).

**W Inicial Ag:** Peso inicial de Plata.

**W Final Ag:** Peso final de Plata.

- **MUESTRA N° 9**

**Hallando el Factor (FA):**

$$\text{FA} = \frac{32.748}{32.213 - 0}$$



$$FA = 1.017$$

Hallando la ley de Ag:

$$Ag (g/ton) = \frac{((23.240 - 0.744 - 0) * 1.017) * 1000}{30.0007}$$

$$Ley de Ag = 762.303 \text{ g/ton.}$$

- MUESTRA N° 36

Hallando el Factor (FA):

$$FA = \frac{32.748}{32.213 - 0}$$

$$FA = 1.017$$

Hallando la ley de Ag:

$$Ag (g/ton) = \frac{((32.570 - 1.138 - 0) * 1.017) * 1000}{30.0019}$$

$$Ley de Ag = 1065.067 \frac{\text{g}}{\text{ton.}}$$

- RESULTADO: DETERMINACIÓN DE PLATA POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

Tabla N° 13: Resultado - Ley de Plata

CÓDIGO	LEY DE Ag (g/ton)
007909	762.30
007931	1065.07

### 3.3.3 DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

#### 3.3.3.1 PESADO DE MUESTRAS.

**Tabla N° 14: Peso de Muestras**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)	N°	CÓDIGO	PESO (g.)
1	007901	30.0062	21	007918	30.0054
2	007902	30.0050	22	007919	30.0038
3	007903	30.0077	23	007920	30.0034
4	007904	30.0073	24	007921	30.0044
5	007905	30.0081	25	007922	30.0046
6	007906	30.0043	26	007923	30.0023
7	007907	30.0028	27	007924	30.0063
8	007908	30.0013	28	007925	30.0054
9	007909	30.0007	29	007926	30.0055
10	BK	0.0000	30	STD ESTERIL	30.0050
11	007910	30.0021	31	007927	30.0055
12	DU 007905	30.0041	32	007928	30.0022
13	STD GEO-1	30.0042	33	007929	30.0022
14	007911	30.0041	34	STD GEO-2	30.0081
15	007912	30.0039	35	007930	30.0049
16	007913	30.0025	36	007931	30.0019
17	007914	30.0046	37	RP 007901	30.0062
18	007915	30.006			
19	007916	30.0046			
20	007917	30.0033			

### 3.3.3.2 PESO DE ORO FINO OBTENIDO LUEGO DE LA PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA.

**Tabla N° 15: Peso de Oro Fino**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO DE MUESTRA (g.)</b>	<b>PESO DE ORO FINO (mg.)</b>
1	007901	30.0062	0.007
2	007902	30.0050	0.030
3	007903	30.0077	0.062
4	007904	30.0073	0.040
5	007905	30.0081	0.000
6	007906	30.0043	0.007
7	007907	30.0028	0.015
8	007908	30.0013	0.026
9	007909	30.0007	0.744
10	BK	0.0000	0.000
11	007910	30.0021	0.471
12	DU 007905	30.0041	0.000
13	STD GEO-1	30.0042	0.013
14	007911	30.0041	0.470
15	007912	30.0039	0.076
16	007913	30.0025	0.172
17	007914	30.0046	0.011
18	007915	30.006	0.238
19	007916	30.0046	0.012
20	007917	30.0033	0.007
21	007918	30.0054	0.005
22	007919	30.0038	0.007
23	007920	30.0034	0.350
24	007921	30.0044	0.197
25	007922	30.0046	0.043
26	007923	30.0023	0.030
27	007924	30.0063	0.029
28	007925	30.0054	0.000
29	007926	30.0055	0.025
30	STD ESTERIL	30.0050	0.000
31	007927	30.0055	0.061
32	007928	30.0022	0.005
33	007929	30.0022	0.119
34	STD GEO-2	30.0081	0.034
35	007930	30.0049	0.110
36	007931	30.0019	1.138
37	RP 007901	30.0062	0.008

### 3.3.3.3 CÁLCULOS.

Para obtener la concentración de Au en g/ton. a partir del peso de oro fino, se aplica la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Au\ (g/ton)} = \frac{\mathbf{(WAu * 1000)}}{\mathbf{WM}}$$

**Donde:**

**WAu:** Peso de Oro fino (mg.)

**WM:** Peso de Muestra (g.)

**3.3.3.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR EL MÉTODO DE FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN GRAVIMÉTRICA.**

**Tabla N° 16: Resultados – Ley de Oro**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO DE MUESTRA (g.)</b>	<b>PESO DE ORO FINO (mg.)</b>	<b>LEY DE ORO (g/ton.)</b>
1	007901	30.0062	0.007	0.233
2	007902	30.0050	0.030	1.000
3	007903	30.0077	0.062	2.066
4	007904	30.0073	0.040	1.333
5	007905	30.0081	0.000	0.000
6	007906	30.0043	0.007	0.233
7	007907	30.0028	0.015	0.500
8	007908	30.0013	0.026	0.867
9	007909	30.0007	0.744	24.799
10	BK	0.0000	0.000	0.000
11	007910	30.0021	0.471	15.699
12	DU 007905	30.0041	0.000	0.000
13	STD GEO-1	30.0042	0.013	0.433
14	007911	30.0041	0.470	15.665
15	007912	30.0039	0.076	2.533
16	007913	30.0025	0.172	5.733
17	007914	30.0046	0.011	0.367
18	007915	30.006	0.238	7.932
19	007916	30.0046	0.012	0.400
20	007917	30.0033	0.007	0.233
21	007918	30.0054	0.005	0.167
22	007919	30.0038	0.007	0.233
23	007920	30.0034	0.350	11.665
24	007921	30.0044	0.197	6.566
25	007922	30.0046	0.043	1.433
26	007923	30.0023	0.030	1.000
27	007924	30.0063	0.029	0.966
28	007925	30.0054	0.000	0.000
29	007926	30.0055	0.025	0.833
30	STD ESTERIL	30.0050	0.000	0.000
31	007927	30.0055	0.061	2.033
32	007928	30.0022	0.005	0.167
33	007929	30.0022	0.119	3.966
34	STD GEO-2	30.0081	0.034	1.133
35	007930	30.0049	0.110	3.666
36	007931	30.0019	1.138	37.931
37	RP 007901	30.0062	0.007	0.233

### 3.3.4 REPORTE DE RESULTADOS

**Tabla N° 17: Resultado de las Muestras Analizadas**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LEY DE ORO (g/ton.)</b>	<b>LEY DE PLATA (g/ton.)</b>
1	007901	<0.25	9.70
2	007902	1.00	18.70
3	007903	2.07	45.40
4	007904	1.33	38.10
5	007905	<0.25	2.10
6	007906	<0.25	7.80
7	007907	0.50	30.10
8	007908	0.87	74.10
9	007909	24.80	762.30
11	007910	15.70	306.70
14	007911	15.67	300.30
15	007912	2.53	70.60
16	007913	5.73	125.40
17	007914	0.37	13.90
18	007915	7.93	129.70
19	007916	0.40	39.90
20	007917	<0.25	21.90
21	007918	<0.25	31.90
22	007919	<0.25	40.20
23	007920	11.67	327.80
24	007921	6.57	211.00
25	007922	1.43	62.80
26	007923	1.00	32.90
27	007924	0.97	41.80
28	007925	<0.25	2.00
29	007926	0.83	22.20
31	007927	2.03	57.90
32	007928	<0.25	13.70
33	007929	3.97	188.00
36	007930	3.67	120.40
37	007931	37.93	1065.07

### 3.4 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE RELAVE Y CABEZA SÓLIDOS DE PLANTA DE PRODUCCIÓN POR PLATA Y ORO.

#### 3.4.1 DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

##### 3.4.1.1 PESADO DE MUESTRAS

Tabla N° 18: Peso de Muestras

Nº	CÓDIGO	PESO (g.)
1	Relave 1	1.00
2	RP-Relave 1	1.00
3	Dup-Relave 1	1.00
4	STD-REL	1.00
5	Cabeza 1	1.00
6	RP-Cabeza 1	1.00
7	Dup-Cabeza 1	1.00
8	STD-CAB	1.00
9	Bk	0.00

##### 3.4.1.2 LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA PLATA.

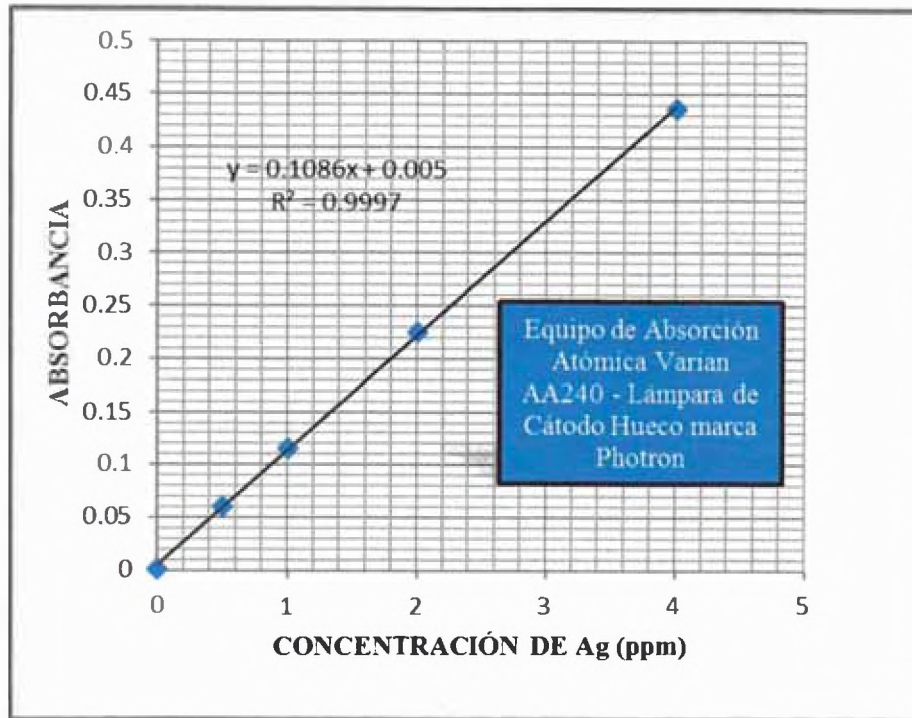
- DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA PLATA:

Tabla N° 19: Curva de Calibración de Plata

CONCENTRACIÓN DE Ag (ppm)	ABSORBANCIA
0.0	0.001
0.5	0.060
1.0	0.116
2.0	0.225
4.0	0.437

- CURVA DE CALIBRACIÓN PARA PLATA

**Gráfico 7: Absorbancia vs. Concentración de Plata.**



### 3.4.1.3 RESULTADO DE LAS LECTURAS

**Tabla N° 20: Resultado – Lectura de Plata**

Nº	CÓDIGO	PESO (g.)	VOLUMEN (ml.)	LECTURA (ppm.)
1	Relave 1	1.00	100.0	0.123
2	RP-Relave 1	1.00	100.0	0.127
3	Dup-Relave 1	1.00	100.0	0.121
4	STD-REL	1.00	100.0	0.149
5	Cabeza 1	1.00	100.0	0.825
6	RP-Cabeza 1	1.00	100.0	0.818
7	Dup-Cabeza 1	1.00	100.0	0.811
8	STD-CAB	1.00	100.0	0.605
9	Bk	1.00	100.0	0.001



Debido a que la lectura del Blanco (Bk) tiene valor de 0.001 pmm, este valor será restado a todas las demás lecturas.

**Tabla N° 21: Resultado – Lectura de Plata Corregida**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)	VOLUMEN (mL)	LECTURA (ppm.)
1	Relave 1	1.00	100.0	0.122
2	RP-Relave 1	1.00	100.0	0.126
3	Dup-Relave 1	1.00	100.0	0.120
4	STD-REL	1.00	100.0	0.148
5	Cabeza 1	1.00	100.0	0.824
6	RP-Cabeza 1	1.00	100.0	0.817
7	Dup-Cabeza 1	1.00	100.0	0.810
8	STD-CAB	1.00	100.0	0.604
9	Bk	1.00	100.0	0.001

**CONVERSIÓN DE UNIDADES:** Conversión de ppm a g/ton.

1 ppm = 1 mg/L, Peso de muestra = 1.0 g,

Volumen de solución = 0.1 L.

$[(1 \text{ mg/L}) (0.1 \text{ L})] / 1.0 \text{ g.} = 0.1 \text{ mg/g} = 100 \text{ g/ton.}$

**Entonces:** 1 ppm = 100 g/ton.

**3.4.1.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE PLATA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

**Tabla N° 22: Resultado - Ley de Plata.**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PESO (g.)</b>	<b>VOLUMEN (ml.)</b>	<b>LECTURA (ppm.)</b>	<b>LEY DE PLATA (g/ton.)</b>
1	Relave 1	1.00	100.0	0.122	12.20
2	RP-Relave 1	1.00	100.0	0.126	12.60
3	Dup-Relave 1	1.00	100.0	0.120	12.00
4	STD-REL	1.00	100.0	0.148	14.80
5	Cabeza 1	1.00	100.0	0.824	82.40
6	RP-Cabeza 1	1.00	100.0	0.817	81.70
7	Dup-Cabeza 1	1.00	100.0	0.810	81.00
8	STD-CAB	1.00	100.0	0.604	60.40
9	Bk	1.00	100.0	0.001	0.10

**Tabla N° 23: Resultado - Ley de Plata Promedio.**

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LEY DE PLATA (g/ton.)</b>	<b>LEY DE PLATA PROMEDIO (g/ton.)</b>
1	Relave 1	12.20	12.40
2	RP-Relave 1	12.60	
3	Dup-Relave 1	12.00	
4	STD-REL	14.80	14.80
5	Cabeza 1	82.40	82.05
6	RP-Cabeza 1	81.70	
7	Dup-Cabeza 1	81.00	
8	STD-CAB	60.40	60.40
9	Bk	0.10	0.10

### 3.4.2 DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ABSORCIÓN ATÓMICA PARA MUESTRAS DE RELAVE

#### 3.4.2.1 PESADO DE MUESTRAS

**Tabla N° 24: Peso de Muestras**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)
1	Relave 1	40.0022
2	RP-Relave 1	40.0031
3	Dup-Relave 1	40.0010
4	STD-REL	40.0017
5	Bk	0.0000

#### 3.4.2.1 LECTURA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA ORO LUEGO DE LA PARTICIÓN.

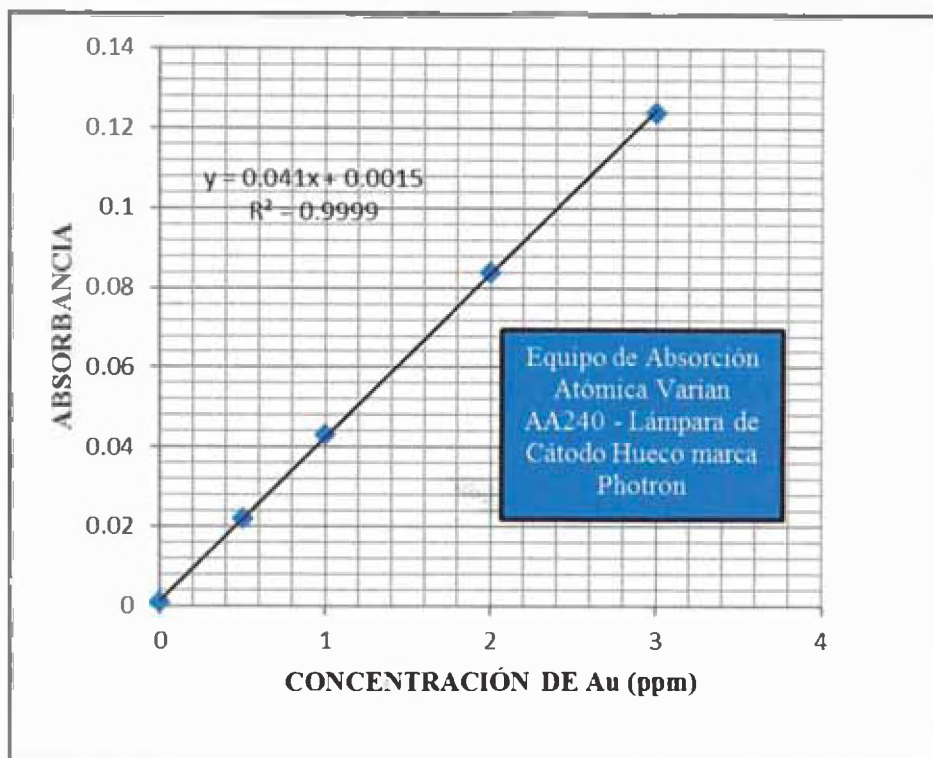
- DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA ORO:

**Tabla N° 25: Curva de Calibración para Oro**

CONCENTRACIÓN DE Au (ppm)	ABSORBANCIA
0.0	0.003
0.5	0.022
1.0	0.043
2.0	0.083
3.0	0.120

- **CURVA DE CALIBRACIÓN PARA ORO**

**Gráfico 8: Absorbancia vs. Concentración de Oro**



### 3.4.2.3 RESULTADO DE LAS LECTURAS

**Tabla N° 26: Resultado - Lectura de Oro**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)	VOLUMEN (ml.)	LECTURA (ppm.)
1	Relave 1	40.0022	25.0	0.227
2	RP-Relave 1	40.0031	25.0	0.220
3	Dup-Relave 1	40.0010	25.0	0.226
4	STD-REL	40.0017	25.0	0.318
5	Bk	0.0000	25.0	0.006

### 3.4.2.4 CÁLCULOS

Se utilizará las siguientes fórmulas:

$$\mathbf{Au\ (mg/L) = Au\ AAS\ (mg/L) - Bk\ AAS\ (mg/L)}$$

$$\mathbf{Au\ (g/ton) = \frac{(C * V)}{WM}}$$

**Donde.-**

**C:** Concentración de Au (mg/L).      **V:** Volumen de Aforo.

**WM:** Peso de Muestra.

**Au AAS (mg/L):** Ley de Oro en lectura por Absorción Atómica (mg/L).

**Bk AAS (mg/L):** Ley del Bk en lectura de Oro por Absorción Atómica (mg/L).

**REEMPLAZANDO:**

**RELAVE 1**

$$\mathbf{Au\ (mg/L) = 0.227 - 0.006 = 0.221}$$

$$\mathbf{Au\ (g/ton) = \frac{(0.221 * 25)}{40.0022} = 0.138}$$

**RELAVE 2**

$$\mathbf{Au\ (mg/L) = 0.220 - 0.006 = 0.214}$$

$$\mathbf{Au\ (g/ton) = \frac{(0.214 * 25)}{40.0031} = 0.134}$$

### DUP-REL 1 (Duplicado de Relave 1)

$$\text{Au (mg/L)} = 0.226 - 0.006 = 0.220$$

$$\text{Au (g/ton)} = \frac{(0.220 * 25)}{40.0010} = 0.137$$

### STD-REL (Estándar de Relave)

$$\text{Au (mg/L)} = 0.318 - 0.006 = 0.312$$

$$\text{Au (g/ton)} = \frac{(0.342 * 25)}{40.0017} = 0.195$$

### 3.4.2.5 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Tabla N° 27: Resultado – Ley de Oro

N°	CÓDIGO	PESO (g.)	VOLUMEN (ml.)	LECTURA (ppm.)	LEY DE ORO (g/ton.)
1	Relave 1	40.0022	25.0	0.227	0.138
2	RP-Relave 1	40.0031	25.0	0.220	0.134
3	Dup-Relave 1	40.0010	25.0	0.226	0.137
4	STD-REL	40.0017	25.0	0.348	0.195
5	Bk	0.0000	25.0	0.006	0.004

Tabla N° 28: Resultado – Ley de Oro Promedio

N°	CÓDIGO	LEY DE ORO (g/ton.)	LEY DE ORO PROMEDIO (g/ton.)
1	Relave 1	0.138	0.136
2	RP-Relave 1	0.134	
3	Dup-Relave 1	0.137	
4	STD-REL	0.195	0.195
5	Bk	0.000	0.004

### 3.4.3 DETERMINACIÓN DE ORO POR FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MUESTRAS DE CABEZA.

#### 3.4.3.1 PESADO DE MUESTRAS

**Tabla N° 29: Peso de Muestras**

N°	CÓDIGO	PESO (g.)
1	Cabeza 1	30.0034
2	RP-Cabeza 1	30.0041
3	Dup-Cabeza 1	30.0029
4	STD-CAB	30.0028
5	Bk	0.00

#### 3.4.3.2 PESO DE ORO FINO OBTENIDO LUEGO DE LA PARTICIÓN GRAVIMÉTRICA

**Tabla N° 30: Peso de Oro Fino**

N°	CÓDIGO	PESO DE MUESTRA (g.)	PESO DE ORO FINO (mg.)
1	Cabeza 1	30.0034	0.074
2	RP-Cabeza 1	30.0041	0.075
3	Dup-Cabeza 1	30.0029	0.073
4	STD-CAB	30.0028	0.030
5	Bk	0.00	0.000

#### 3.4.3.3 CÁLCULOS

Para obtener la concentración de Au en g/ton. a partir del peso de oro fino, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Au (g/ton)} = \frac{(\text{WAu} * 1000)}{\text{WM}}$$

**Donde.-**

**WAu:** Peso de Oro fino (mg.)

**WM:** Peso de Muestra (g.)

### 3.4.3.4 RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE ORO POR EL MÉTODO DE FIRE ASSAY Y FINALIZACIÓN POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

**Tabla N° 31: Resultado – Ley de Oro**

N°	CÓDIGO	PESO DE MUESTRA (g.)	PESO DE ORO FINO (mg.)	LEY DE ORO (g/ton.)
1	Cabeza 1	30.0034	0.074	2.466
2	RP-Cabeza 1	30.0041	0.075	2.500
3	Dup-Cabeza 1	30.0029	0.073	2.433
4	STD-CAB	30.0028	0.030	1.000
5	Bk	0.00	0.000	0.000

**Tabla N° 32: Resultado – Ley de Oro Promedio**

N°	CÓDIGO	LEY DE ORO (g/ton.)	LEY DE ORO PROMEDIO (g/ton.)
1	Cabeza 1	2.466	2.483
2	RP-Cabeza 1	2.500	
3	Dup-Cabeza 1	2.433	2.433
4	STD-CAB	1.000	1.000
5	Bk	0.000	0.000

### 3.4.4 REPORTE DE RESULTADOS – PLANTA DE PRODUCCIÓN

**Tabla N° 33: Reporte – Leyes de Cabeza y Relave**

N°	CÓDIGO	LEY DE ORO (g/ton.)	LEY DE PLATA (g/ton.)
1	Relave 1	0.14	12.40
2	Cabeza 1	2.48	82.05



**CAPÍTULO 4:  
DISCUSION DE  
LOS  
RESULTADOS.**

#### 4.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS RESULTADOS.

##### 4.1.1 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE GEOLOGÍA POR PLATA Y ORO.

##### 4.1.1.1 CARTAS Y GRÁFICOS DE CONTROL ESTABLECIDOS EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD - LABORATORIO QUÍMICO ARES.

**Tabla N° 34: Controles establecidos**

CONTROL	Au	Ag
Límite de Cuantificación	0.25 g/ton.	2.00 g/ton.
% de Error máximo – Duplicado (DU-)	15%	15 %
% de Error máximo – Reanálisis (RP-)	10%	10%
Estéril (Contaminación)	<0.25 g/ton	<3.00 g/ton
Blanco Reactivo (Contaminación)	<0.25 g/ton	<2.00 g/ton

**Tabla N° 35: Límite de Control MRC STD GEO-1**

LÍMITE DE CONTROL MRC STD GEO-1					
Ag (g/ton.)			Au (g/ton.)		
L.C	Valor certificado	51.71	L.C	Valor certificado	0.43
L.A.S	L.C + 2S	55.06	L.A.S	L.C + 2S	0.53
L.A.I	L.C - 2S	48.36	L.A.I	L.C - 2S	0.33
L.C.S	L.C + 3S	56.73	L.C.S	L.C + 3S	0.58
L.C.I	L.C - 3S	46.69	L.C.I	L.C - 3S	0.26

**DONDE.-**

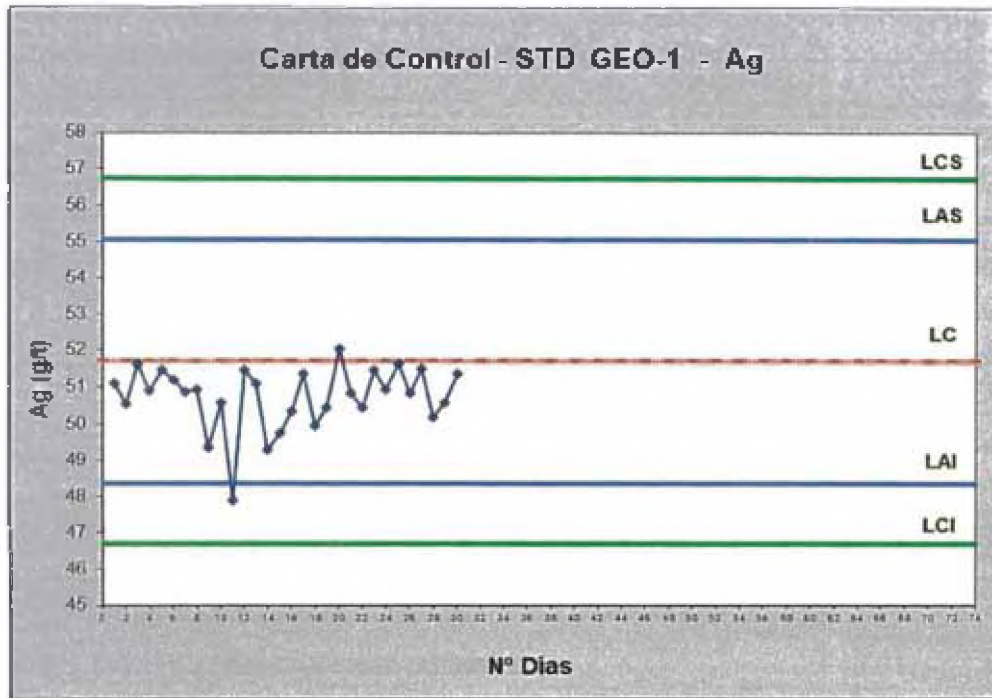
**MRC:** Material de Referencia Certificada. **LC:** Límite Central (Valor Certificado).

**LAS:** Límite de Advertencia Superior. **LAI:** Límite de Advertencia Inferior.

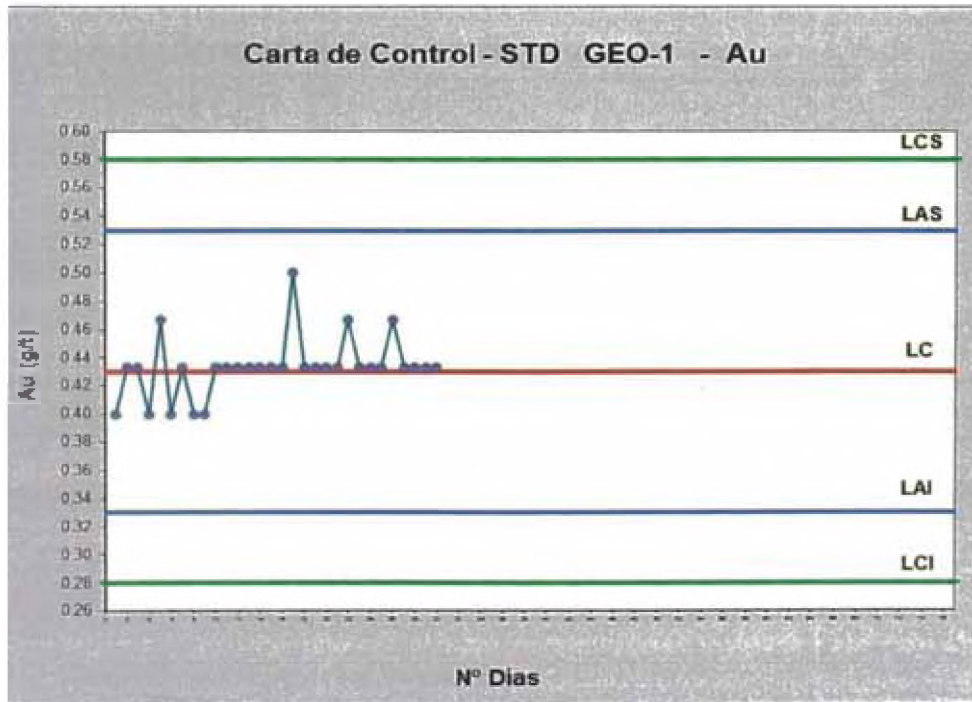
**LCS:** Límite de Control Superior. **LCI:** Límite de Control Inferior.

**2S, 3S:** 2 y 3 veces la Desviación Estándar del MRC.

**Gráfico 9: Carta de Control – STD GEO-1 - Ag.**



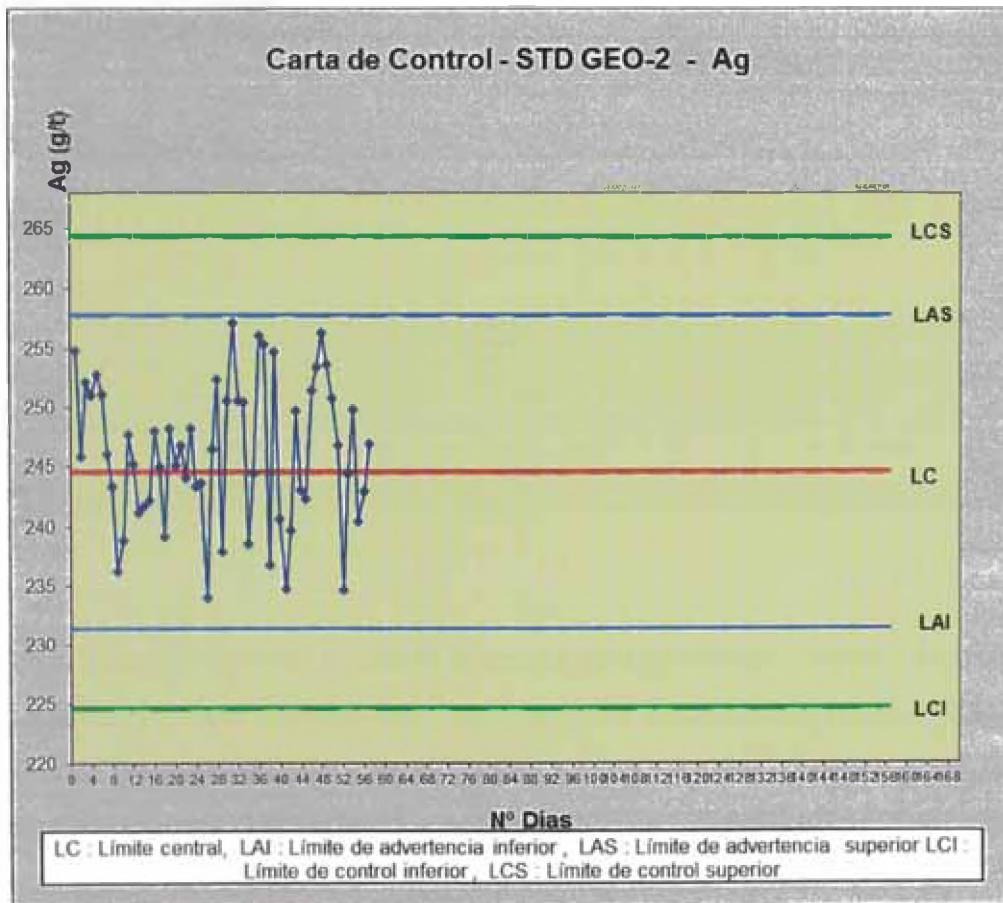
**Gráfico 10: Carta de Control – STD GEO-1 - Au**



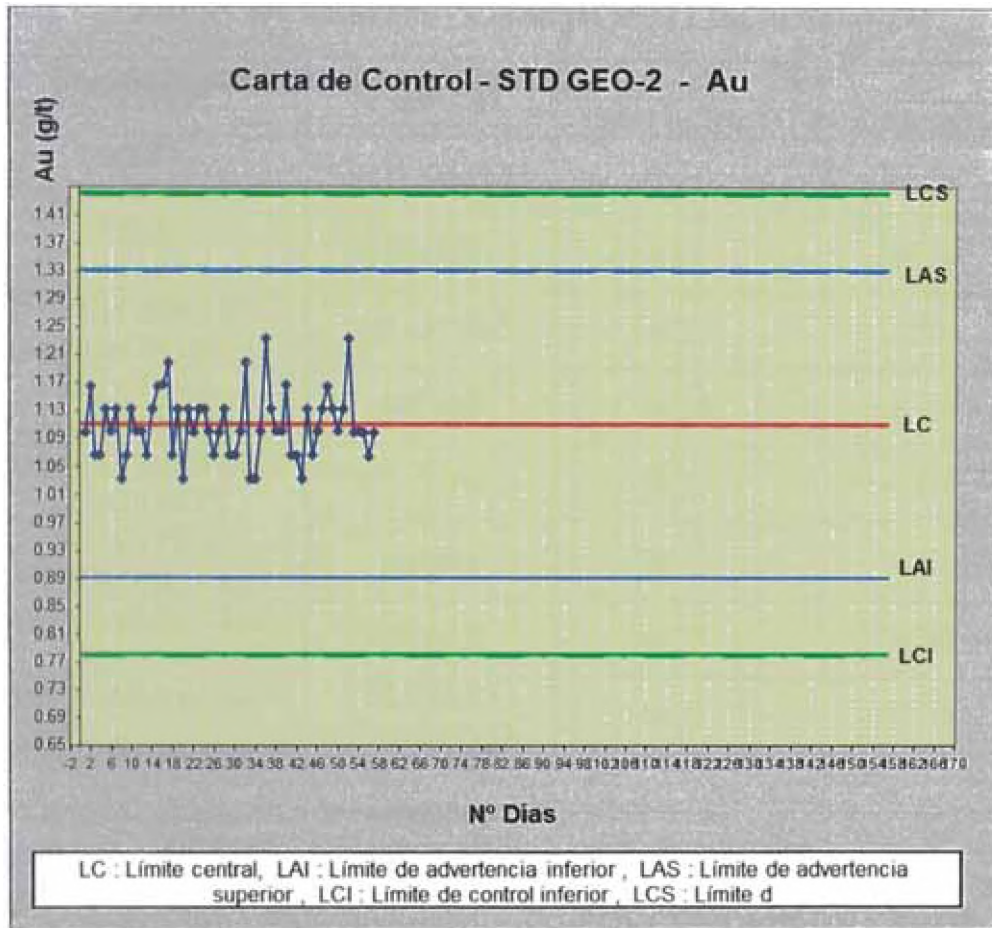
**Tabla N° 36: Límite de Control MRC STD GEO-2**

<b>LÍMITE DE CONTROL MRC STD GEO-2</b>					
<b>Ag (g/ton.)</b>			<b>Au (g/ton.)</b>		
<b>L.C</b>	Valor certificado	244.53	<b>L.C</b>	Valor certificado	1.11
<b>L.A.S</b>	L.C + 2S	257.76	<b>L.A.S</b>	L.C + 2S	1.33
<b>L.A.I</b>	L.C - 2S	231.31	<b>L.A.I</b>	L.C - 2S	0.89
<b>L.C.S</b>	L.C + 3S	264.36	<b>L.C.S</b>	L.C + 3S	1.44
<b>L.C.I</b>	L.C - 3S	224.70	<b>L.C.I</b>	L.C - 3S	0.78

**Gráfico 11: Carta de Control – STD GEO-2 - Ag**



**Gráfico 12: Carta de Control – STD GEO-2 - Au**



Para que el resultado de todo el lote de muestras sea considerado correcto, los resultados de las muestras deben cumplir con los Controles Establecidos (Tabla N°34) y los resultados de las muestras Estándar (STD GEO-1 y STD GEO-2) deben estar dentro de los Límites de Control (Tablas N°35 y N°36).

#### 4.1.1.2 VERIFICACIÓN DE LOS CONTROLES

**Tabla N° 37: Resultado - Controles en el Lote de Muestras**

CONTROL	CÓDIGO	LEY	
		ORO (g/ton.)	PLATA (g/ton.)
MRC	STD_GEO-1	0.43	49.70
MRC	STD_GEO-2	1.13	246.80
DUPLICADO DE GRUESOS (DUP)	DU_007905	<0.25	2.30
MUESTRA ORIGINAL - DUP	007905	<0.25	2.10
DUPLICADO DE FINOS (RP)	RP_007901	<0.25	9.60
MUESTRA ORIGINAL - RP	007901	<0.25	9.70
CONTAMINACIÓN	ESTÉRIL	<0.25	<2.00
CONTAMINACIÓN	BLANCO REACTIVO	<0.25	<2.00

**Tabla N° 38: Porcentaje de Error - Duplicados**

CONTROL	CÓDIGO	PORCENTAJE DE ERROR	
		Au (%)	Ag (%)
DUPLICADO DE GRUESOS	DU_007905	0.00	8.70
DUPLICADO DE FINOS	RP_007901	0.00	1.03

De las Tablas N° 37 y N° 38 se observa que dichos resultados si están dentro de los Controles Establecidos y Límites de Control (Tabla N° 34, 35 y 36 respectivamente).

Por lo tanto, los resultados son considerados correctos.

#### 4.1.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE RELAVE SÓLIDO Y CABEZA DE PLANTA DE PRODUCCIÓN POR PLATA Y ORO.

##### 4.1.2.1 CARTAS Y GRÁFICOS DE CONTROL ESTABLECIDOS EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD - LABORATORIO QUÍMICO ARES.

**Tabla N° 39: Controles establecidos**

<b>CONTROL</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>
Límite de Cuantificación - Cabeza	0.25 g/ton.	2.00 g/ton.
Límite de Cuantificación - Relave	0.10 g/ton.	2.00 g/ton.
% de Error máximo – Duplicado (DU-)	15%	15 %
% de Error máximo – Reanálisis (RP-)	10%	10%
Estéril (Contaminación)	<0.09 g/ton.	<3.00 g/ton.
Blanco Reactivo (Contaminación)	<0.06 g/ton.	<2.00 g/ton.

**Tabla N° 40: Límite de Control MRC STD\_REL**

<b>LÍMITE DE CONTROL MRC STD_REL</b>					
<b>Ag (g/ton.)</b>			<b>Au (g/ton.)</b>		
<b>L.C</b>	<b>Valor certificado</b>	<b>15.20</b>	<b>L.C</b>	<b>Valor certificado</b>	<b>0.197</b>
<b>L.A.S</b>	<b>L.C + 2S</b>	<b>17.81</b>	<b>L.A.S</b>	<b>L.C + 2S</b>	<b>0.233</b>
<b>L.A.I</b>	<b>L.C - 2S</b>	<b>12.59</b>	<b>L.A.I</b>	<b>L.C - 2S</b>	<b>0.161</b>
<b>L.C.S</b>	<b>L.C + 3S</b>	<b>19.12</b>	<b>L.C.S</b>	<b>L.C + 3S</b>	<b>0.251</b>
<b>L.C.I</b>	<b>L.C - 3S</b>	<b>11.28</b>	<b>L.C.I</b>	<b>L.C - 3S</b>	<b>0.143</b>

**DONDE.-**

**MRC:** Material de Referencia Certificada.

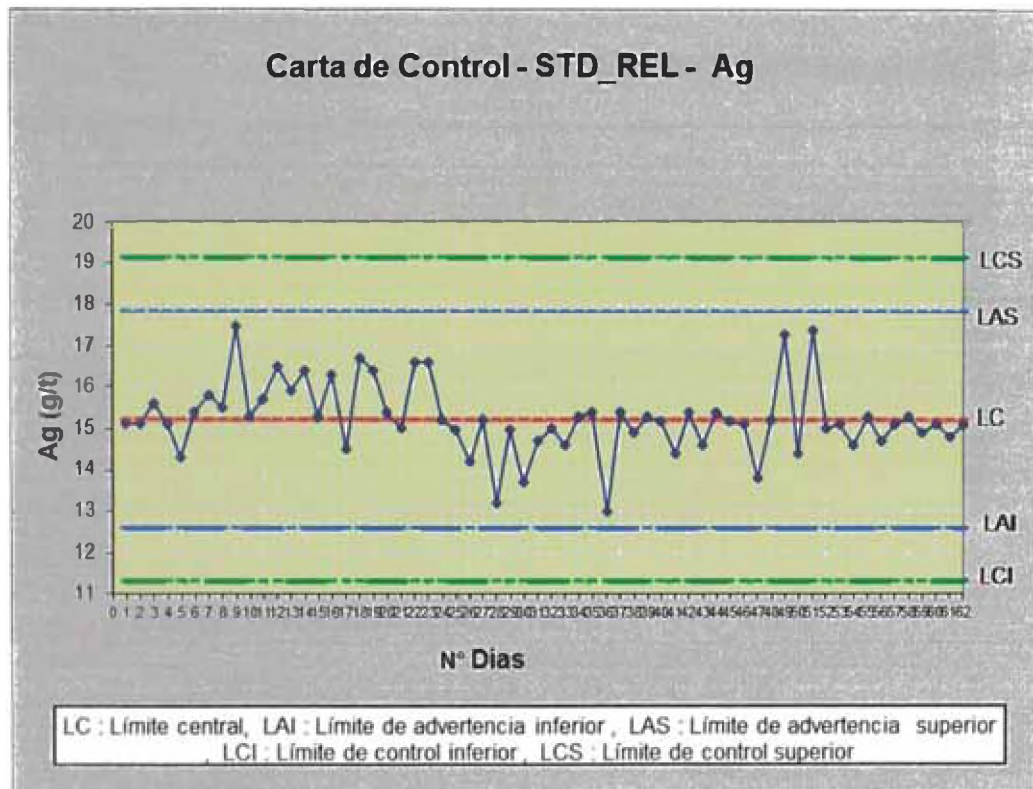
**LC:** Límite Central (Valor Certificada).    **LAS:** Límite de Advertencia Superior.

**LAI:** Límite de Advertencia Inferior.    **LCS:** Límite de Control Superior.

**LCI:** Límite de Control Inferior.

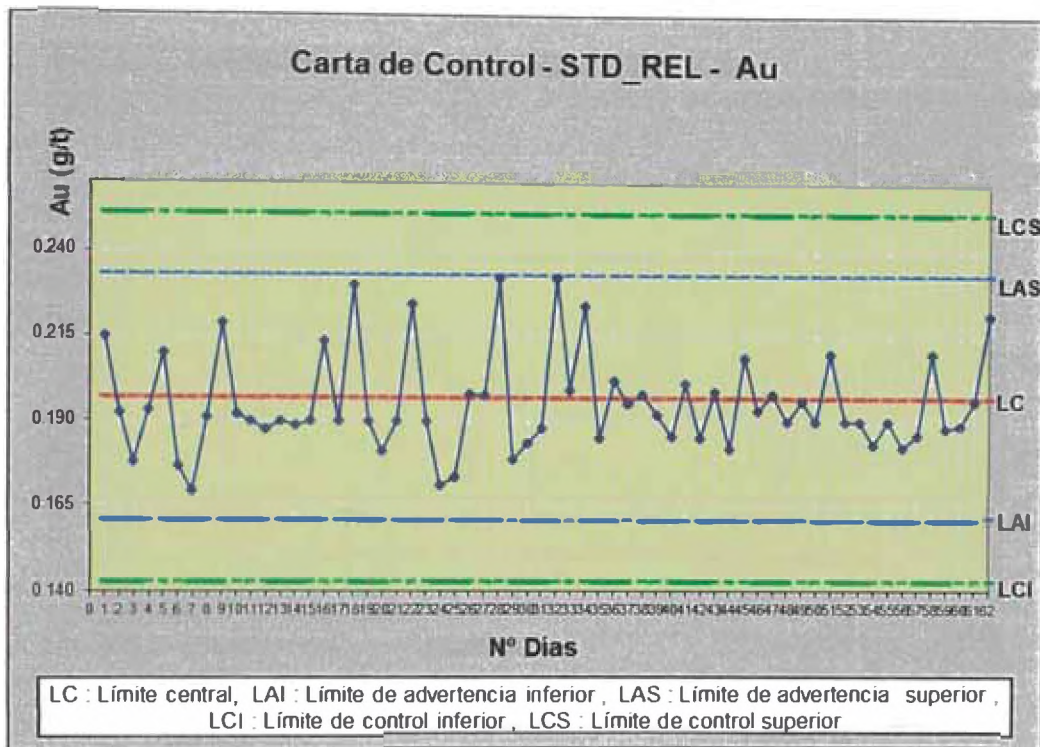
**2S, 3S:** 2 y 3 veces la Desviación Estándar del MRC.

**Gráfico 13: Carta de Control – STD\_REL - Ag.**





**Gráfico 14: Carta de Control – STD\_REL - Au**



**Tabla Nº 41: Límite de Control MRC STD\_CAB**

LÍMITE DE CONTROL MRC STD_CAB					
Ag (g/ton.)			Au (g/ton.)		
<b>L.C</b>	Valor certificado	59.15	<b>L.C</b>	Valor certificado	0.99
<b>L.A.S</b>	L.C + 2S	62.61	<b>L.A.S</b>	L.C + 2S	1.07
<b>L.A.I</b>	L.C - 2S	55.69	<b>L.A.I</b>	L.C - 2S	0.91
<b>L.C.S</b>	L.C + 3S	64.34	<b>L.C.S</b>	L.C + 3S	1.10
<b>L.C.I</b>	L.C - 3S	53.96	<b>L.C.I</b>	L.C - 3S	0.87

**DONDE.-**

**MRC:** Material de Referencia Certificada.

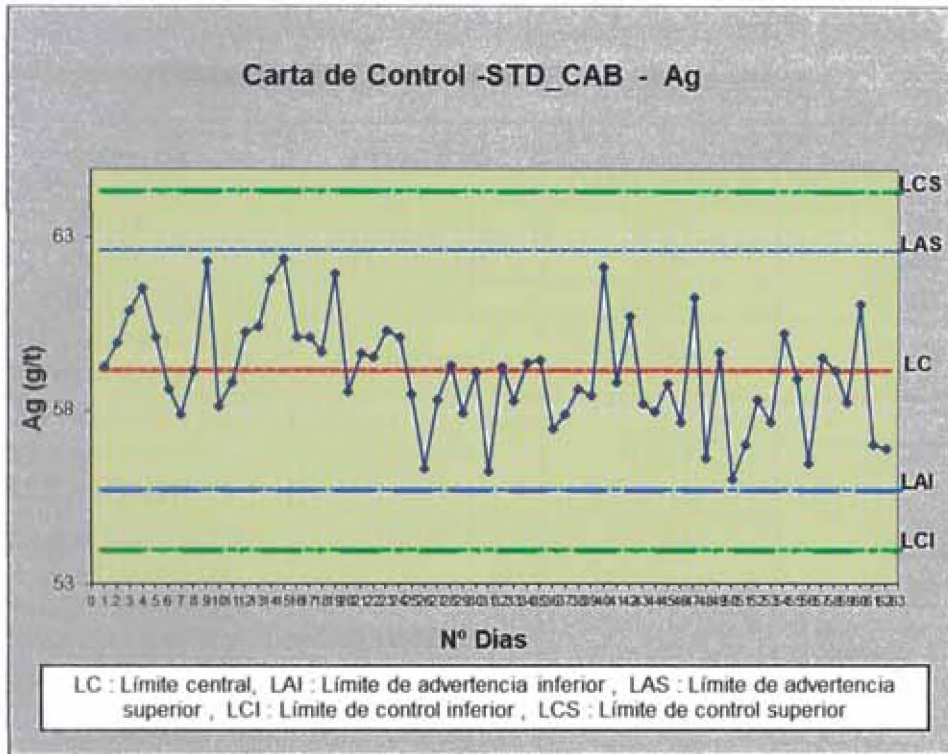
**LC:** Límite Central (Valor Certificada).    **LAS:** Límite de Advertencia Superior.

**LAI:** Límite de Advertencia Inferior.    **LCS:** Límite de Control Superior.

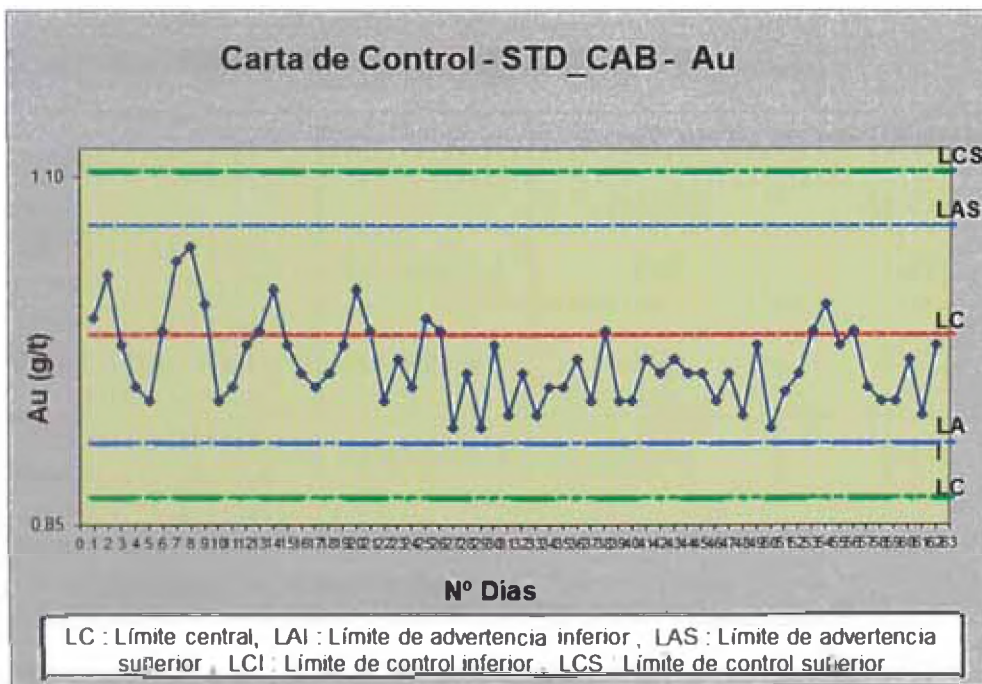
**LCI:** Límite de Control Inferior.

**2S, 3S:** 2 y 3 veces la Desviación Estándar del MRC.

**Gráfico 15: Carta de Control – STD\_CAB - Ag**



**Gráfico 16: Carta de Control – STD\_CAB - Au**



### 3.4.4.3 VERIFICACIÓN DE LOS CONTROLES

**Tabla N° 42: Controles en el Lote de Muestras**

CONTROL	CÓDIGO	LEY	
		ORO (g/ton.)	PLATA (g/ton.)
MRC	STD REL	0.195	14.80
MRC	STD CAB	1.000	60.40
<b>RELAVE ORIGINAL</b>	Relave 1	0.136	12.40
<b>DUPLICADO DE FINOS – RELAVE</b>	RP-Relave 1	0.134	12.60
<b>DUPLICADO DE PREPARACIÓN – RELAVE (DUP)</b>	DP-Relave 1	0.137	12.00
<b>CABEZA ORIGINAL</b>	Cabeza 1	2.483	82.05
<b>DUPLICADO DE FINOS - CABEZA</b>	RP-Cabeza 1	2.500	81.70
<b>DUPLICADO DE PREPARACIÓN – CABEZA</b>	DP-Cabeza 1	2.433	81.00
<b>CONTAMINACIÓN RELAVE</b>	BLANCO REACTIVO	<0.10	<2.00
<b>CONTAMINACIÓN CABEZA</b>	BLANCO REACTIVO	<0.25	<2.00

**Tabla N° 43: Porcentaje de Error - Duplicados**

CONTROL	CÓDIGO	PORCENTAJE DE ERROR	
		Au (%)	Ag (%)
<b>DUPLICADO DE FINOS - RELAVE</b>	RP-Relave 1	1.47	1.61
<b>DUPLICADO DE PREPARACIÓN - RELAVE</b>	DP-Relave 1	0.73	3.23
<b>DUPLICADO DE FINOS - CABEZA</b>	RP-Cabeza 1	0.68	0.43
<b>DUPLICADO DE PREPARACIÓN - CABEZA</b>	DP-Cabeza 1	2.01	1.28

Tal como en el caso anterior para las muestras de Geología, para que el resultado de las muestras analizadas sea considerado correcto, el resultado de las muestras controles deben cumplir con los Controles Establecidos (Tabla N°39) y los resultados de las muestras Estándar (STD\_REL y STD\_CAB) deben estar dentro de los Límites de Control (Tablas N°40 y N°41). De las Tablas N° 42 y 43 se observa que los resultados sí están dentro de los rangos establecidos. Entonces, los resultados son considerados correctos y se pueden reportar.

#### **4.2 IMPORTANCIA DE LOS RESULTADOS REPORTADOS**

- Los 2 métodos de análisis presentados en este trabajo: Determinación de Plata por Espectrometría de Absorción Atómica y Determinación de Plata y Oro por Fire Assay y finalización por Espectrometría de Absorción Atómica o método Gravimétrico, son los utilizados en el Laboratorio Químico Ares para la determinación de Plata y Oro en las muestras de mineral provenientes de las diferentes etapas de la actividad minera (Exploración, Explotación y Procesamiento).
- Las leyes del mineral analizado servirá en cada caso para lo siguiente: Con las muestras provenientes de la Exploración se permitirá conocer con cuánta reserva de mineral y de qué ley se dispone, así como los lugares donde están ubicados. Estos resultados son tal vez los más importantes, ya que permitirá saber a la empresa si existen o no zonas mineralizadas y si es rentable su explotación de acuerdo a las leyes obtenidas.
- Con las leyes provenientes de las muestras de Explotación, se sabrá la ley del mineral que está siendo extraída de la corteza terrestre y así poder llevar un control del método de extracción en Mina (Si el método de extracción es efectivo o no).
- Con las muestras provenientes del Proceso de Lixiviación en Planta se podrá llevar un control del proceso así como la información de si el proceso está funcionando correctamente de acuerdo al objetivo principal establecido por la empresa para esta etapa: El Porcentaje de Recuperación de la Plata y Oro en el Proceso de Lixiviación. Este valor indica el porcentaje de plata y oro que se pierde durante el proceso. Para

ésto se determinan las leyes de las muestras de Cabeza, Relave y muestras puntuales en diversas etapas del proceso, con estos valores se realizará el balance metalúrgico de dónde se obtendrá el Porcentaje de recuperación de los metales de interés así como las pérdidas en el proceso.

- De lo mencionado anteriormente se puede notar que los resultados de los análisis que se realizan en el Laboratorio Químico Ares son de suma importancia para la empresa ya que le proporciona información de todo el ciclo productivo y a su vez, ésto le permite calcular su rentabilidad económica.

# **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.**

## 5.1 CONCLUSIONES

- Se presentó el trabajo que se realizó en el Laboratorio Químico Ares para la determinación de Plata y Oro en muestras minerales, dichos resultados permitirán a la Compañía Minera Ares obtener valores confiables de las leyes con las cuales cuenta en su operación: Con las muestras de Exploración se determinará con cuánta reserva y que calidad de mineral se dispone, con las muestras de Explotación se sabrá la ley del mineral que está siendo extraída de la corteza terrestre y con las muestras del Proceso de Lixiviación se tendrá la información de si el proceso está funcionando correctamente de acuerdo a los objetivos establecidos.
- Se describió el Yacimiento Epitermal tipo Bonanza de Baja Sulfuración que es el existente en Ares.
- Se describió las principales etapas en la actividad minera teniendo como referencia el ciclo de actividad minera utilizado en Ares.
- Se describió los principales problemas ambientales que genera la actividad minera no controlada así como sus consecuencias en la salud de las personas.
- Se describió las técnicas de Ensayo al Fuego (Fire Assay) y Análisis Instrumental por Espectrometría de Absorción Atómica como técnicas usadas en el Laboratorio Químico Ares para la determinación de Plata y Oro.
- Se describió los 2 métodos de análisis químico realizado en el Laboratorio Químico Ares: Determinación de Plata por Espectrometría de Absorción Atómica y Determinación de Plata y Oro por Fire Assay y finalización por Espectrometría de Absorción Atómica o método Gravimétrico. Dichos métodos están acreditados y supervisados constantemente bajo la Norma ISO/IEC 17025 por Standars Council de Canadá; lo cual, le da confiabilidad a los resultados emitidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. British Columbia Institute of Technology, Introducción a la Geología-Identificación de Minerales y Fire Assay, Canadá. 2012.
2. Bugbee, Edward E., Texto de Análisis al Fuego. Golden. Colorado: Colorado School of Mine Press. 1940.
3. Haffty J., Riley L. B. y Goss. W. D., Manual sobre Ensayo al Fuego y Determinación de los Metales Nobles en los Materiales Geológicos, Estudio Geológico, Boletín 1445. Washington, D.C.: Estados Unidos de América. Ministerio del Interior, 1977.
4. Beamish, F.E. y Van Loon, J.C., Análisis de Metales Nobles: Vista General y Métodos Seleccionados, Nueva York: Academic Press, 1977.
5. Van Loon, J. C. y Barefoot, R. R., Determinación de los Metales Preciosos, Chichester. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 1991.
6. Sen Gupta. J.G., Repaso de los Métodos para la Determinación de los Metales del Grupo del Platino, Plata y Oro por Espectroscopía de Absorción Atómica, Miner. Sci. Vol. 5 - No. 3, julio de 1973.
7. Hochschild Mining PLC, Manual de Mining Operation-Ares Mine, Lima-Perú, 2008.
8. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía del Perú; Exploración y Minería, Lima-Perú, 2014.
9. Estudios Mineros del Perú, Manual de Minería, Lima-Perú, 2012.
10. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía del Perú; Boletín Quincenal - La Lixiviación, Lima-Perú, Agosto 2014.
11. Procesos Hidrometalúrgicos en la Minería de Oro, Plata, Cobre y Uranio, Universidad de Atacama, Chile, 2004.
12. González Silvia, Impactos Ambientales y en la salud humana de la minería a cielo abierto para la extracción de oro utilizando lixiviación con soluciones de cianuro, Lima-Perú, 2010.



13. Douglas A. Skoog, Principios de Análisis Instrumental, Mc Graw Hill, 5ta edición, España, 2001.
14. Blago Razmilic, Espectroscopía de Absorción Atómica, Merck Química Chilena Soc. Ltda., Chile, 2007.