

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO POR ENSAYO AL FUEGO
PARA DETERMINAR Au y Ag, EN CONCENTRADOS DE Pb - Zn
y Cu EN LA EMPRESA “MINLAB S.R.L” - CANARIA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

BACHILLER: PILLACA HINOSTROZA, INOCENCIO

AYACUCHO – PERÚ

2017

DEDICATORIA

A SULLIE Y ARMIN: Por Las Cuales Seguir Luchando.

A MIS PADRES: Por su apoyo incondicional

A MIS HERMANOS: Por creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTOS:

DIOS Y LA VIRGEN MARÍA

Por darme unos padres, familia y amigos maravillosos los cuales siempre me han apoyado y por nunca dejarme solo.

MINERALS OF LABORATORIES S.R.L (MINLAB S.R.L)

Por la colaboración de los reactivos, materiales y equipos, para la presente investigación.

UNSCH Y LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Mi *Alma Mater*, forjadora de profesionales al servicio de la sociedad, a los docentes de la Facultad que hicieron posible mi formación profesional.

INDICE GENERAL

	PÁGINA
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	xiii
ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
INTRODUCCION	1
CAPITULO I ASPECTO GENERALES	
1. Planteamiento del problema	3
1.1 Definición del problema	4
1.1.1 Problema general	4
1.1.2 Problemas específicos	4
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Formulación de las hipótesis e identificación de las variables	5
1.3.1 Hipótesis principal	5
1.3.2 Hipótesis secundarias	5
1.3.3 Variables	5
1.4 Importancia y justificación de la investigación	6
1.4.1 Importancia	6
1.4.2 Justificación	6
CAPITULO II MARO TEORICO	
2. Antecedentes	7
2.1 La empresa Minerals of Laboratories S.R.L	9
2.1.1 Descripción	9
2.1.2 Historia	9
2.1.3 Operaciones	9
2.1.4 Misión	10

2.1.5	Visión	11
2.1.6	Objetivos	11
2.1.7	Servicios	11
2.1.7.1	Vía seca y/o Fire Assay	12
2.1.7.2	Vía húmeda	12
2.1.7.3	Análisis por volumetría	13
2.1.7.4	Otras determinaciones	13
2.2	Principios de la fusión	13
2.2.1	Fusión.....	13
2.2.2	Fases generales en la fusión	13
2.2.3	Fase de escoria	14
2.2.4	Fase mata	15
2.2.5	Fase Speiss	16
2.2.6	Fase metálica	16
2.3	Estructura de las Escorias	17
2.3.1	Óxidos básicos	17
2.3.2	Óxidos ácidos	17
2.3.2	Óxidos anfóteros	19
2.4	Formación de Escorias	20
2.4.1	Consideraciones para la formación de escorias	22
2.5	Tipos de Fusión	24
2.5.1	Fusión oxidante	24
2.5.2	Fusión reductora	25
2.6	Fundamentos del ensayo al fuego	25
2.6.1	Antecedentes	25
2.6.2	Fusión de concentrados	25
2.6.3	Colectores	29
2.6.4	Dosificación de Fundentes	30
2.7	Etapas de los análisis de ensayo al fuego (FIRE ASSAY)	31
2.7.1	Pesado de muestra	32
2.7.2	Fusión de la muestra	32
2.7.3	Descarga de crisoles y/o colado	32
2.7.4	Separación de escoria	33
2.7.5	Copelación de muestra	33

2.7.6	Tratamiento de fase metálica	33
2.7.6.1	Ataque con agua regia	34
2.8	Choque térmico	34
2.9	Uso de la temperatura	35
CAPITULO III METODOLOGIA		
3.	Procedimiento aplicado en MINLAB	36
3.1	Equipos Materiales y reactivos	36
3.2	Pesado de muestras	38
3.3	Fundición	38
3.4	Copelación	39
3.5	Digestión	39
3.6	Lectura en equipo de espectrofotómetro de absorción atómica	40
3.7	Partición Gravimétrica	40
CAPITULO IV PARTE EXPERIMENTAL		
4.	Aporte metodológico del proceso de ensayo al fuego	42
4.1	Equipos, Materiales y Reactivos	42
4.2	Pesado de muestras	43
4.3	Pre calentamiento de crisoles	44
4.4	fusión de las muestras con pre calentamiento	44
4.5	Tabla de resultados de los ensayos con pre calentamiento y sin pre calentamiento de crisoles	45
CAPITULO V ANALISIS Y DISCUSIONES		
5.	Análisis y discusiones de datos obtenidos de los ensayos con pre calentamiento y sin pre calentamiento de crisoles	49
5.1	Grafica de comparación de los ensayos en concentrado de Pb, Cu y Zn, con pre calentamiento de crisoles y sin pre calentamiento de crisoles para determinar la probabilidad	51
5.2	Grafica de comparación de los ensayos en concentrado de Pb, Cu y Zn, con pre calentamiento de crisoles y sin pre calentamiento de crisoles para determinar la prueba de desviación de estándar	63
5.3	Discusión de resultados	75
CONCLUSIONES		77
RECOMENDACIONES		78

BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 2.1	Clasificación de los óxidos (gilchrist, 1989) 20
Tabla 2.2	Influencia de la adición de un oxido básico en la estructura de los silicatos (schuhmann, 1968) 21
Tabla 2.3	Clasificación de los Silicatos (Lenehan y Murray- Smith, 1986)..... 26
Tabla 2.4	Clasificación de los boratos (Lenehan y Murray-Smith, 1986)..... 28
Tabla 2.5	Composición del fundente usado en laboratorio de MINLAB S.R.L. 30
Tabla 3.1	Dosificación de reactivos..... 38
Tabla 3.2	Adición de solución ácido clorhídrico según los concentrado 40
Tabla 4.1	Ensayo 1 y 2, de concentrado de Plomo 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au. 45
Tabla 4.2	Ensayo 3 y 4 de concentrado de Plomo 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au 46
Tabla 4.3	Ensayo 1 y 2, de concentrado de cobre 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au 46
Tabla 4.4	Ensayo 3 y 4, de concentrado de cobre 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au. 47
Tabla 4.5	Ensayo 1 y 2, de concentrado de Zinc 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au. 47
Tabla 4.6	Ensayo 3 y 4, de concentrado de Zinc 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au. 48
Tabla 4.7	Ensayo 1 y 2, de concentrado de Plomo 01 método mejorado tiempo de fusión 30 minutos y método mejorado tiempo de fusión 45 minutos para determinar Au y Ag..... 48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 2.1 Unidades mineras donde MINLAB S.R. Efectúa outsourcing de laboratorios.	10
Figura 2.2 Fotografía de la fase escoria generada por fusión de una mezcla de óxidos de cobre y hierro, utilizando bórax como principal agente fundente.	14
Figura 2.3 Fotografía de una fase mata generada en la fusión de un concentrado de sulfuros de cobre y hierro.	15
Figura 2.4 Fotografía en la que se puede apreciar el corte transversal de un crisol de arcilla, en el cual la fase mata se ha depositado en la parte inferior, y la fase escoria en la parte superior.	16
Figura 2.5 Esquema de la estructura de la sílice sólida.....	18
Figura 2.6 Esquema de la estructura de la sílice fundida.	19
Figura 2.7 Estructura fibrosa de la sílice (Muñoz, 1993).	22
Figura 2.8 Estructura del 2MOSiO_2 sólido (Muñoz, 1993).	22
Figura 2.9 Estructura del 2MOSiO_2 fundido (Muñoz, 1993).	23
Figura 2.10 Fotografía de una carga fundente que cumple con las consideraciones básicas de la formación de escorias, obteniendo así una mezcla bastante fluida.	24
Figura 2.11 Diagrama para la secuencia en el análisis de ensayo al fuego.....	31
Figura 5.1 Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	51
Figura 5.2 Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	51
Figura 5.3 Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	52
Figura 5.4 Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	52

Figura 5.5	Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	53
Figura 5.6	Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	53
Figura 5.7	Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	54
Figura 5.8	Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	54
Figura 5.9	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	55
Figura 5.10	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	55
Figura 5.11	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	56
Figura 5.12	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	56
Figura 5.13	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	57
Figura 5.14	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	57
Figura 5.15	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	58
Figura 5.16	Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	58

Figura 5.17	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	59
Figura 5.18	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	59
Figura 5.19	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	60
Figura 5.20	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	60
Figura 5.21	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	61
Figura 5.22	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	61
Figura 5.23	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.	62
Figura 5.24	Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.	62
Figura 5.25-26	Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 1.	63
Figura 5.27-28	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 1.	64
Figura 5.29-30	Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 2.	65
Figura 5.31-32	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 2.	66
Figura 5.33-34	Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 1.	67

Figura 5.35-36	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 1.	68
Figura 5.37-38	Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 2.	69
Figura 5.39-40	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 2.	70
Figura 5.41-42	Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 1.....	71
Figura 5.43-44	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 1.....	72
Figura 5.45-46	Desviación estándar de Ag, comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 2.....	73
Figura 5.47-48	Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 2.....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 01	Diagrama de flujo para la secuencia en el análisis de ensayo al fuego, con precalentamiento de crisoles a la temperatura de 980°C -1000°C.	82
Anexo 02	Crisoles sin previo calentamiento la cual conlleva que la muestra se derrame y se nota la decrepitación que ha sufrido en todo el contorno de los crisoles.....	83
Anexo 03	Resistencia del horno quemado con los parches y condición sub estándar de trabajo por los continuos derrames de muestras al fundir y poniendo en inoperatividad el equipo.	83
Anexo 04	Caída de la temperatura del horno al ingresar muestra con crisoles sin calentamiento.	84
Anexo 05	Crisoles calentados, donde se agrega las muestras y enseguida se ve la combustión del plástico.	84
Anexo 06	Caída de la temperatura después de ingresar muestras con crisoles previamente calentados y que dentro de 5 a 6 minutos se puede ver la rápida subida de temperatura del horno la cual está por encima de temperatura de fusión de la plata y los demás reactivos usados.....	85
Anexo 07	Crisoles donde se observa el contorno más limpio que las que se ven en el anexo 02, que las decrepitaciones han disminuido como también no hay muestra derramada, gracias al precalentamiento de los crisoles.....	85
Anexo 08	Hoja de costos de materiales que son usadas para el proceso de ensayo al fuego, mediante la cual haremos una evaluación por precalentamiento y sin precalentamiento de crisoles.	86

ABREVIATURAS

GF	: Gramo Fino.
GM	: Gran Minería.
Kg.F	: Kilogramo Fino.
MINLAB S.R.L.	: Minerals Of Laboratories S.R.L.
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas.
MR	: Muestra Referencial.
PETS	: Procedimiento escrito de trabajo seguro
SNMPE	: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.
SUNAT	: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria.
TLF	: Tonelada Larga Fina.
TM	: Tonelada métrica.

RESUMEN

La Compañía Minera Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C (CHSM) explota actualmente un yacimiento polimetálico que contiene Zinc, Plomo y Cobre, cuyo proceso de concentración genera como subproductos, metales preciosos tales como Au y Ag.

El trabajo de tesis consiste en mejorar el procedimiento en el área de fundición para determinar Au y Ag por el método de ensayo al fuego en concentrados de Zn, Pb y Cu que la empresa minerals of laboratories analiza, cuyo costo en el mercado es valorizado por la presencia de Au y Ag, la cual consiste en hacer un calentamiento de crisoles antes de fundir las muestras para evitar que estas rebalsen y ocasionen pérdidas de tiempo, costo y acumulación de muestras; además de proporcionar resultados confiables con un tratamiento estadístico respecto a la determinación de Au y Ag, mediante el método de ensayo al fuego, los cuales son muy importantes en la minería o en cualquier otro laboratorio de análisis de minerales en el que se practica dicho método.

Por último, se muestra su aplicación práctica e importante en el análisis para la determinación de Au y Ag.

INTRODUCCIÓN

La fusión es la operación metalúrgica mediante la cual una carga compuesta por una mezcla de diferentes especies metálicas (óxidos, sulfuros, sulfatos, silicatos, entre otros) se lleva a su estado líquido por medio de altas temperaturas, teniendo en cuenta condiciones termodinámicas para que se formen dos o más fases, insolubles entre ellas, de manera que los productos sean fácilmente separables (Schuhmann, 1968; Coudurier et al, 1971).

El ensayo al fuego para el análisis de oro, plata y otros metales preciosos consta de dos partes. La primera consiste en la separación de los metales preciosos de los otros constituyentes de la mena o concentrado mediante fusión, con ayuda de un metal colector. La segunda parte del ensayo al fuego se encarga de la separación de los metales preciosos del metal colector, lo que se hace generalmente por medio de la copelación.

Con el conocimiento de la ciencia y la tecnología se hace posible la mejora del método, mediante la cual son operadas por décadas, para que den resultados muchos más exactos y precisos, lo cual queda demostrado por las pruebas hechas y demostradas por un método estadístico MINITAB dándole confiabilidad a los datos realizados en la empresa MINLAB S.R.L. para un proceso comercial.

Este trabajo de tesis nos permitirá disminuir el tiempo de fusión de las muestras de 1 hora a 30 minutos, reduciendo el shock térmico y la caída de temperatura de 1050°C a 845°C cuya diferencia es 205°C a 116°C en el proceso de fusión. Disminuyéndose de esta manera, los constantes rebalses en la operación, los cuales ocasionan que las resistencias y el piso de carburo de silicio se deterioren. De la misma manera, se lograra disminuir un costo anual de 30 480 (treinta mil cuatrocientos ochenta soles anuales) que conlleva el derrame de las muestras en la operación de fusión, parte fundamental y principal en la operación del ensayo

al fuego, asimismo se logra ahorrar un monto de 9 477 nuevos soles en cuanto a energía eléctrica se refiere.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1 Planteamiento del problema

En el laboratorio de análisis químico de Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C. (CHSM), la empresa “MINLAB S.R.L” presta sus servicios en el análisis de metales de Zn, Pb, Cu, Au y Ag, para determinar la ley de cabeza y producto final.

Existe un problema en el proceso de fundición por el método de ensayo al fuego, el continuo rebalse y contaminación de las muestras al ingresar al horno de fundición debido a un shock térmico por el cambio brusco de temperatura desde 17 °C a 1050 °C, motivo por el cual en un lapso que varía entre 15 a 20 minutos empiezan a rebalsar los crisoles, para evitar dicho rebalsé, se agrega NaCl (sal de cocina) que tampoco es suficiente para evitar el rebalse, así deteriorando finalmente el piso cerámico y quemando la resistencia, lo que involucra pérdida del tiempo, costo e inoperatividad del horno de fundición.

1.1 Definición del problema

1.1.1 Problema general

- ¿El precalentamiento de crisoles, mejorará el proceso de la determinación de Au y Ag mediante el ensayo al fuego realizado en la empresa “Minerals of Laboratories S.R.L.?”

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Se podrán determinar los parámetros adecuados para el mejoramiento del proceso de fundición de Au y Ag por ensayo al fuego en (MINLAB S.R.L).?
- ¿Se logrará reducir el tiempo de análisis de Au y Ag en concentrados de Zn, Pb, y Cu?
- ¿Se podrá reducir la contaminación, pérdida de materiales, daños al equipo y rebalse de las muestras en el área de fundición?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

- Mejorar el procedimiento para la determinación de Au y Ag por ensayo al fuego en la empresa Minerals of Laboratories S.R.L (MINLAB S.R.L)

1.2.2 Objetivo específicos

- Determinar los parámetros adecuados para el mejoramiento del proceso de fundición de Au y Ag por ensayo al fuego en (MINLAB S.R.L).
- Reducir el tiempo de análisis de Au y Ag en concentrados de Zn, Pb, y Cu.
- Reducir la contaminación, pérdida de materiales, daños al equipo y rebalse de las muestras en el área de fundición.

1.3 Formulación de las hipótesis e identificación de las variables

1.3.1 Hipótesis principal

- Mediante el precalentamiento de crisoles, en la fundición, es posible mejorar el proceso por ensayo al fuego para la determinación de Au y Ag, en la empresa Minerals of Laboratories S.R.L (MINLAB S.R.L).

1.3.2 Hipótesis secundarias

- Para reducir el shock térmico el precalentamiento de los crisoles nos posibilitará evaluar el procedimiento de fundición para la determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
- Con el precalentamiento de crisoles, es posible reducir el tiempo del análisis de Au y Ag en concentrados de Zn, Pb, y Cu, en la etapa de fundición, evitando la caída de temperatura.
- Con el precalentamiento de los crisoles, se puede reducir la contaminación de muestras y generar ahorro de materiales en el área de fundición evitando el rebalse de la muestras a la hora de fundir.

1.3.3 Variables.

Variable independiente:

(X): Ensayo al fuego para la determinación de Au y Ag en el laboratorio MINLAB S. R. L.

Indicadores:

X₁: Temperatura

X₂: Tiempo de fundición

Variable dependiente:

(Y): Mejoramiento en el proceso

Indicadores:

Y₁: Ahorro de tiempo

Y₂: Disminución de la contaminación

Y₃: Ahorro de materiales

1.4 Importancia y justificación de la investigación

1.4.1 Importancia

El presente trabajo de tesis, será de gran importancia para la empresa Minerals of Laboratories S.R.L, porque permitirá mejorar el procedimiento para la determinación de Au y Ag, mediante el método de ensayo al fuego dentro del laboratorio químico, con un menor tiempo en el proceso, garantizando buenos resultados y disminuyendo pérdidas de materiales, que conlleve la operación

1.4.2 Justificación

Es sabido que en toda empresa que se dedica al análisis por vía seca los montos gastados en mantenimiento y reparación de equipos, son cuantiosos lo cual va en desmedro de la economía de la misma. Si aplicamos el precalentamiento de crisoles en la operación de fundición podremos reducir el shock térmico y la caída de temperatura, acelerar la reacción, minimizar la contaminación de muestras, perdidas de materiales y disminuir costos operacionales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2 Antecedentes

Internacional:

(Patiño, 2003). En su trabajo de investigación. “Mejoramiento del control químico analítico en la extracción metalúrgica del oro y de la plata en los laboratorios del grupo de investigación en minerales Biohidrometalurgia y Ambiente de la UIS”. Colombia, 2003, concluye que, el ensayo al fuego es uno de los métodos más antiguos en la determinación de los metales nobles. Posee mayor exactitud, especialmente en medias y altas concentraciones y a mayor cantidad de muestra analizada disminuye el error por la posible heterogeneidad de la misma. Este método por vía seca consiste en utilizar la elevada solubilidad de los metales nobles en una fase metálica de plomo líquido separándolos del resto de la muestra (ganga) que forma otra fase más o menos líquida de menor densidad (escoria). Esto se logra fundiendo la muestra con determinados reactivos, llamados fundentes, a temperaturas próximas a los 1100°C. Los reactivos más comunes son: carbonato de sodio, litargirio, sílice y bórax. En menor grado: fluoruro de calcio, cloruro de sodio, harina o carbón como reductor y nitrato de potasio como oxidante.

(Cartagena, 2011). En su trabajo de tesis. “Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector”. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería; Quito, Ecuador, septiembre 2011. Cartagena señala en su conclusión que, el ensayo al fuego es el método más utilizado para la determinación de oro y plata en menas y concentrados, por su simplicidad y confiabilidad de resultados. El método tradicional consiste en mezclar la muestra portadora de oro con una mezcla fundente para formar 2 fases; una fase metálica que contiene los metales preciosos y el metal colector, y una fase escoria, que contiene básicamente los óxidos y silicatos de los otros metales presentes en la muestra que, se está analizando. Como material colector de los metales preciosos se ha utilizado plomo, debido a su bajo punto de fusión, su maleabilidad y a la facilidad con la que éste puede oxidarse para separarlo de los metales preciosos.

Nacional:

Informe de experiencia profesional (Gamboa, 2014), “Determinación cuantitativa de oro y plata por el ensayo al fuego en la unidad Santa María-Compañía Minera Poderosa”. Ayacucho-Perú, 2014

Considera que el ensayo al fuego es un arte en el tema de los análisis de metales preciosos el cual involucra una serie de factores que influirán en el resultado final (leyes) para una acertada decisión dentro de una compañía, especialmente en la Compañía Minera Poderosa S.A, operativa en el Perú.

Local:

Informe de práctica pre-profesional realizado en el “Laboratorio Frizmin E.I.R.L”- Nazca presentado por: (Ruiz, 2015). La metodología de análisis por vía seca que consiste básicamente en análisis de oro y plata utilizando como principales agentes, fuego y como

reactivos el litargirio (PbO) que ayuda a coleccionar el oro y plata y el b6rax anhidro para la escorificaci6n de los 6xidos inservibles y otros.

2.1 La empresa Minerals of Laboratories

2.1.1 Descripci6n

Minerals of Laboratories (MINLAB) es una empresa peruana que inici6 sus operaciones en 1997 en el distrito de La Perla – Callao y tiene como una de sus mayores ventajas, la administraci6n de laboratorios en mina (outsourcing de laboratorio).

2.1.2 Historia

En 1997 viendo la necesidad de la industria minera por un nuevo servicio en laboratorios de ensayo para muestras geoquimicas se funda Minerals of Laboratories. Para el desarrollo de nuestras actividades, contamos con la mayor calidad exigida, ya que el laboratorio cuenta con certificaciones y membresias a nivel nacional e internacional, las cuales son:

- Norma T6cnica Peruana Ntp-Iso/ Iec 17025 / 2006
- The Society of Mineral Analysts (SMA)
- Canadian Mineral Analyst (CMA)
- Sociedad Nacional De Organismos Acreditados En Sistemas De Calidad (SNOASC)

2.1.3 Operaciones

De acuerdo a las necesidades y exigencias se fueron sumando grandes empresas como clientes: en 1998 Compa1a Minera Condestable, en 2002 Compa1a Minera Raura, en 2005, Minera Catalina Huanca y C1a. Minera Quiruvilca, en 2008 Minsur S.A, en 2011 Compa1a Minera Castrovirreyna. Logro que fue expandiendose por el territorio peruano segun la figura 2.1.

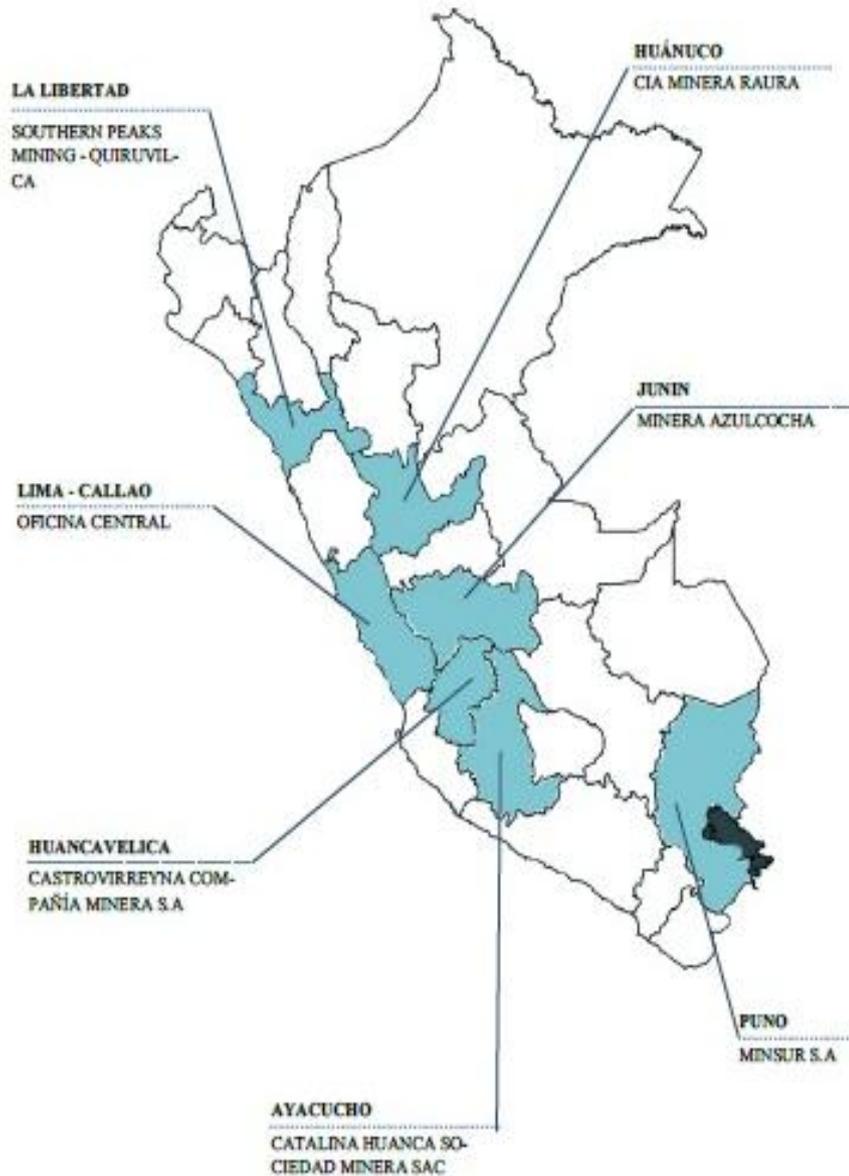


Figura 2.1: Unidades mineras donde MINLAB S.R. Efectúa outsourcing de laboratorios.

2.1.4 Misión

Brindar soluciones analíticas para el sector minero e industrial mediante la administración de laboratorios, ensayos en muestras minerales y medio ambientales, fabricación de equipos, diseño y construcción de laboratorios a través de una atención personalizada, asesoría técnica y mejora continua.

2.1.5 Visión

Brindar servicios especializados relacionados a la preparación de muestras mecánicas, análisis y ensayos químicos de laboratorio, basándonos en los siguientes valores centrales: Confiabilidad, Confidencialidad, Objetividad, Seguridad y Calidad. En MINLAB ofrecemos más que servicios analíticos, ya que nuestros directivos actúan como consultores internos, asesorando a los clientes y buscando las mejores soluciones a los diversos tópicos con los que se enfrentan día a día, mejorando las técnicas empleadas a través de la vasta experiencia de nuestro equipo humano. Podemos decir que estamos listos para responder a sus inquietudes y asegurar que nuestros compromisos en términos de calidad y respuesta oportuna sean cumplidos, estamos dispuestos a ofrecerle un gran servicio y por eso le brindamos la confidencialidad, confiabilidad, experiencia, objetividad, y responsabilidad que usted tanto quiere.

2.1.6 Objetivos

Ser la empresa líder en servicios de ensayos químicos y administración de laboratorios a nivel nacional e internacional y un referente por la calidad de sus resultados y confiabilidad plena.

2.1.7 Servicios

El objetivo del servicio es instalar una unidad operativa en la Unidad Minera, mediante el sistema a todo costo, el cual abarca la supervisión y muestreo del mineral que ingresa a la Planta Concentradora, continua en los procesos del Laboratorio Químico y finaliza con la supervisión y análisis de los camiones que salen de planta concentradora, que es hasta donde alcanza nuestro servicio. Así mismo, si es que la Compañía Minera lo considera, nuestro servicio abarcará la supervisión y análisis de los camiones y/o vagones que son recepcionados en Lima y/o depósitos en el Callao. Secado, tratamiento de cada muestra a

temperatura controlada debido a elementos volátiles. Chancado, control y obtención de muestras a mallas de 10 con 80% (o la malla que ustedes consideren), cuarteo proceso realizado a través de un divisor Riffle. Pulverizado proceso de disminución de granulometría al 95% malla 150. Tamizado proceso de cernido de material a una malla en específico.

2.1.7.1 Via seca y/o fire assay

Determinación de Au y Ag en concentrados de:

- Plomo
- Zinc
- Cobre

Determinación de Au y Ag en muestras de:

- Precipitado
- Bullón
- Carbón activado
- Muestras geoquímicas

2.1.7.2 Vía húmeda:

Consiste en el análisis de los diferentes elementos: Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Fe, Mo, Mn y otros a través de una digestión ácida y lectura por Absorción Atómica, esta digestión se divide en:

- Digestión Regia
- Digestión ácida completa o total (4 ácidos)
- Digestión perclórica

2.1.7.3 Análisis por volumetría:

Se realiza en concentrados de:

- Plomo
- Fierro
- Cobre, en cemento de cobre
- Cobre
- Zinc, Otros

2.1.7.4 Otras determinaciones:

- CaO
- ZnO
- PbO
- Au, Ag y Cu cianurable

2.2 Principios de la fusión

2.2.1 Fusión

La fusión es la operación metalúrgica mediante la cual una carga compuesta por una mezcla de diferentes especies metálicas (óxidos, sulfuros, sulfatos, silicatos, entre otros) se lleva a su estado líquido por medio de altas temperaturas, teniendo en cuenta condiciones termodinámicas para que se formen dos o más fases, insolubles entre ellas, de manera que los productos sean fácilmente separables (Schuhmann, 1968; Coudurier ,1971).

2.2.2 Fases Generadas en la Fusión

En la fusión generalmente suelen generarse 4 fases las cuales son: escoria, mata, speiss, y metálica. Durante la fusión, estas fases en estado líquido se estratifican formando capas relativamente inmiscibles, y fácilmente separables, una vez que se han enfriado y se han solidificado.

2.2.3 Fase escoria.

Son soluciones de óxidos de distintos orígenes, como también fluoruros, cloruros, silicatos, fosfatos, boratos, entre otros. La escoria es el líquido que posee la menor densidad por lo que se ubica en la parte superior de la mezcla fundida. Las densidades de algunas escorias comunes se encuentran entre 2,72 y 2,84 g/cm³ cuando se encuentran a temperaturas entre 1 050°C y 1 080°C (Oliveira et al., 1999). Las escorias por lo general son productos de desperdicio y cumplen una función importante, ya que se encargan de colectar y retirar la mayor parte de producto que no se desea encontrar en el material valioso. Otra razón por la cual las escorias son importantes es porque sirven como protección térmica de la mezcla fundente, evitando la pérdida de calor de la misma (Schuhmann, 1968; Coudurier et al, 1971). La Figura 2.2 muestra una fotografía de una escoria generada por fusión utilizando bórax como principal agente fundente en una mezcla de óxidos de cobre y hierro.



Figura 2.2: Fotografía de la fase escoria generada por fusión de una mezcla de óxidos de cobre y hierro, utilizando bórax como principal agente fundente.

2.2.4 Fase mata.

Son soluciones de sulfuros metálicos, de los cuales los más comunes son los sulfuros de Hierro, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc. Las matas líquidas son bastante fluidas por lo que probablemente tienen viscosidades del mismo orden que los metales líquidos. Las matas en estado líquido suelen disolver fácilmente a los metales preciosos, especialmente al oro y la plata, por lo cual es una fase indeseable en procesos de recuperación de estos metales (Rosenqvist, 1983; de la Torre, 1988). Las matas pueden tener densidades entre 4,61 y 7,7 g/cm³, y al ser más pesadas que las escorias se depositan y solidifican por debajo de éstas (Blanco, 2011). La Figura 2.3 muestra una fotografía de una fase mata generada por fusión de un concentrado de sulfuros, y en la Figura 2.4 se puede observar una fotografía de la ubicación de la fase escoria y fase mata luego de su solidificación, en función de sus densidades.



Figura 2.3: Fotografía de una fase mata generada en la fusión de un concentrado de sulfuros de cobre y hierro.

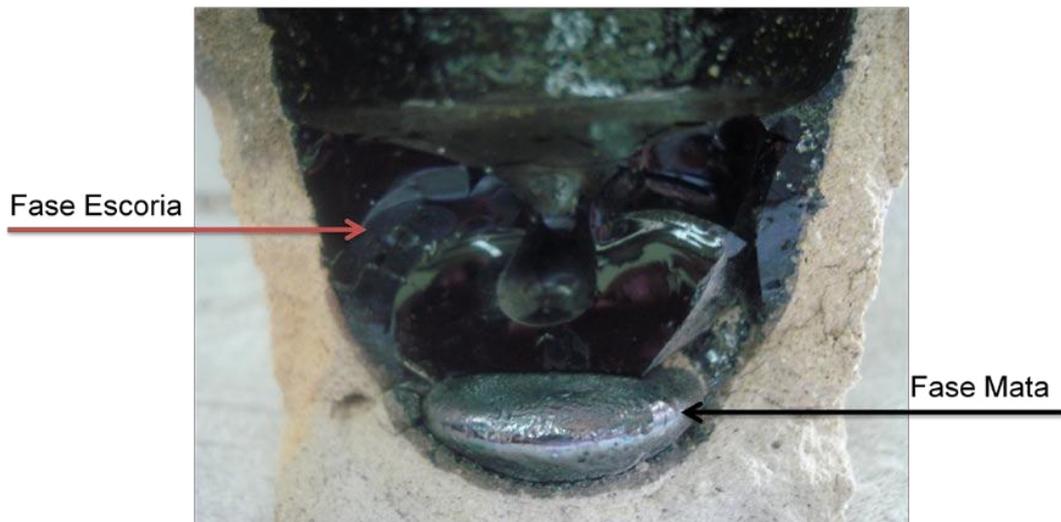


Figura 2.4: Fotografía en la que se puede apreciar el corte transversal de un crisol de arcilla, en el cual la fase mata se ha depositado en la parte inferior, y la fase escoria en la parte superior.

2.2.5 Fase speiss.

La fase speiss está compuesta básicamente por soluciones de arseniuros y antimoniuros de metales pesados como son hierro, cobalto, níquel, cobre, entre otros. Tienen una densidad menor que la fase metálica, pero mayor que la fase escoria y la fase mata. Al igual que las fases mata éstas suelen disolver fácilmente a los metales preciosos, en especial al oro y al platino, por lo cual es una fase indeseable en procesos de recuperación de estos metales (Rosenqvist, 1983; de la Torre, 1988).

2.2.6 Fase metálica.

La fase metálica está formada por metales puros, aleaciones de metales, o soluciones de no metales con metales. En estado líquido los metales poseen bajas viscosidades y altas tensiones superficiales, lo que resulta en un ángulo de contacto mínimo entre el metal líquido y las superficies de los materiales refractarios que los contienen, permitiéndoles fluir con mayor facilidad. La densidad de esta fase es mayor que la de las otras fases, por lo que a ésta se la encuentra en la parte inferior de la mezcla fundida. Por ejemplo, la densidad del oro es $19,3 \text{ g/cm}^3$, de la plata es $10,49 \text{ g/cm}^3$, del cobre es $8,96 \text{ g/cm}^3$, del

plomo es $11,34 \text{ g/cm}^3$, entre otros (Luque del Villar, y Sierra, 2011). Generalmente, ésta es la fase valiosa del proceso de fusión y la que se desea recuperar (de la Torre, 1988)

2.3 Estructura de las Escorias

La mayoría de las escorias están formadas principalmente por óxidos, los cuales están en forma abundante como parte de la ganga que se encuentra con los metales valiosos. Estos óxidos son SiO_2 , CaO , MgO , FeO , Al_2O_3 , MnO y P_2O_5 . Las escorias están formadas principalmente por tres tipos de óxidos: básicos, ácidos, y anfóteros (Schuhmann, 1968; Coudurier et al., 1971).

2.3.1 Óxidos básicos.

Son óxidos formados por metales bivalentes como por ejemplo FeO , MgO , CoO , ZnO y PbO . Se forman al unirse el metal con oxígeno por medio de enlaces iónicos, dando lugar a la formación de redes cristalinas en tres dimensiones. Las redes cristalinas de estos óxidos se rompen durante la fusión, dando lugar a la formación de cationes rodeados por aniones de características menos rígidas (Schuhmann, 1968; Coudurier et al., 1971; Lenehan y Murray-Smith, 1986). Algunos óxidos metálicos son menos iónicos que otros, por lo cual es importante conocer la proporción de enlaces iónicos, ya que por medio de éstos se puede medir la predisposición de los óxidos a disociarse como iones en estado líquido (de la Torre, 1988; Gilchrist, 1989)

2.3.2 Óxidos ácidos.

Son óxidos que se encuentran unidos por enlaces covalentes formados por no metales, en donde los más importantes son el dióxido de silicio (SiO_2) y el trióxido de boro (B_2O_3). Adicionalmente existen ciertos metales que forman óxidos ácidos como es el caso de As_2O_5 , Sb_2O_5 , WO_3 , V_2O_5 , TiO_2 , y Bi_2O_5 . Estos óxidos en estado sólido forman redes tridimensionales al añadir a su estructura iones O^{2-} libres (Schuhmann, 1968;

Lenehan y Murray-Smith, 1986). El más importante de los óxidos ácidos es la sílice (SiO_2), el cual es un compuesto covalente no conductor. En estado sólido los átomos de sílice forman una estructura en forma de un hexágono, en donde cada átomo de sílice forma una estructura tetraédrica, como se muestra en la Figura 2.5 (Gilchrist, 1989). Al fundirse la sílice, la forma de la estructura tridimensional sufre distorsiones, pero los tetraedros se mantienen hasta cierto límite dependiendo de la temperatura, como se muestra en la Figura 2.6.

Si se aumenta la temperatura hasta $1\ 720^\circ\text{C}$ se rompen ciertos puntos de la red tridimensional, formándose así asociaciones de iones de gran tamaño como $(\text{Si}_9\text{O}_{21})^{6-}$ y una pequeña cantidad de iones Si^{4+} como se indica en la reacción [01] (Gilchrist, 1989):

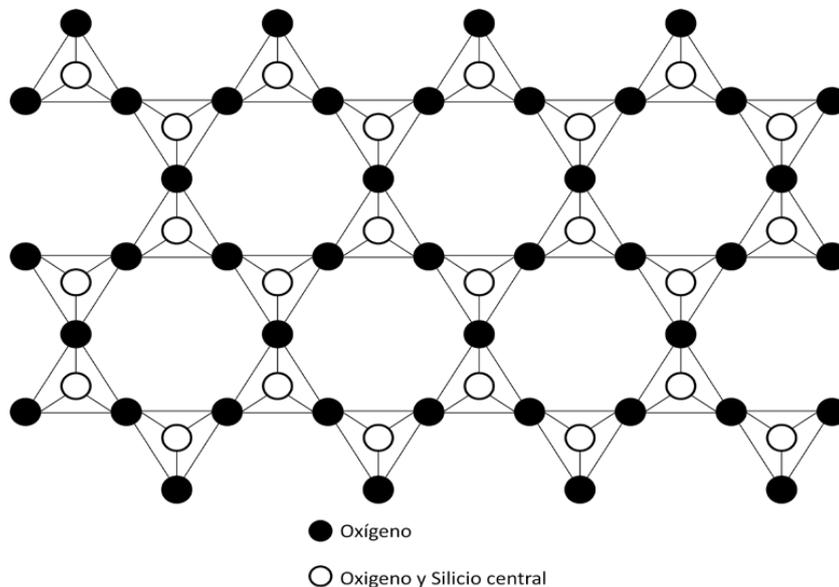
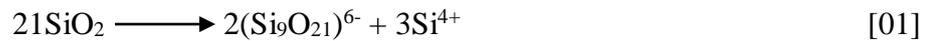


Figura 2.5: Esquema de la estructura de la sílice sólida.

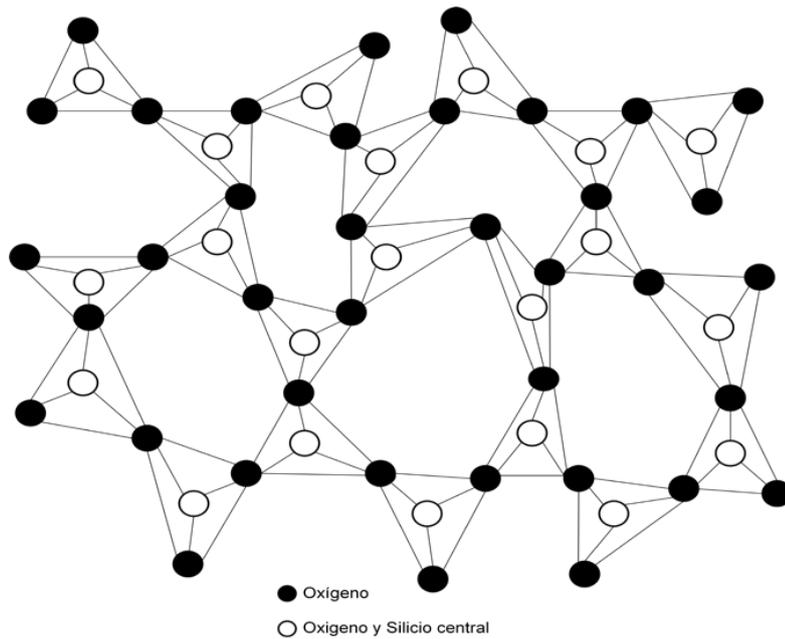


Figura 2.6: Esquema de la estructura de la sílice fundida

2.3.3 Óxidos anfóteros.

Los óxidos anfóteros son aquellos que poseen propiedades tanto de los óxidos básicos, como de los óxidos ácidos, esto quiere decir que se comportan como ácidos frente a óxidos básicos y como bases frente a óxidos ácidos. Algunos de los óxidos anfóteros más importantes que se encuentran en yacimientos de metales preciosos son: Al_2O_3 , ZnO , SnO_2 , TiO_2 , As_2O_3 y Bi_2O_3 (Schuhmann, 1968; Coudurier y Wilkomirsky, 1971; Lenehan y Murray-Smith, 1986; Gilchrist, 1989). La fuerza de atracción de un ión metálico hacia un ión de oxígeno es proporcional a la proporción z/A^2 , en donde z es la carga del ión metálico, y A es igual a la suma de los radios iónicos (Gilchrist, 1989). La Tabla 2.1 presenta la clasificación de los óxidos en función de su acidez. En ésta también se observa que mientras menor es la fuerza de atracción, mayor es el carácter iónico. La atracción es mayor en los casos del fósforo y el silicio los cuales tienen iones pequeños que llevan grandes cargas eléctricas y estas de hecho atraen al oxígeno fuertemente formando aniones muy estables.

Tabla 2.1 Clasificación de los Óxidos (Gilchrist, 1989)

Óxido	z/A^2	% de enlace iónico	Tipo de óxido
Na ₂ O	0.18	65	Básico
BaO	0.27	65	
SrO	0.32	61	
CaO	0.35	61	
MnO	0.42	47	
FeO	0.44	38	
ZnO	0.44	44	
MgO	0.48	54	
BeO	0.69	44	Anfótero
Cr ₂ O ₃	0.72	41	
Fe ₂ O ₃	0.75	36	
Al ₂ O ₃	0.83	44	
TiO ₂	0.83	41	
B ₂ O ₃	1.17	-	Ácido
SiO ₂	1.22	36	
P ₂ O ₃	1.66	28	

2.4 Formación de Escorias

Las escorias en su mayoría están formadas por óxidos ácidos y básicos, se forman por la ruptura de las redes tridimensionales de óxidos ácidos, por medio de los iones simples que se forman de la disociación de los óxidos básicos. Por ejemplo, si a la sílice que forma una red tridimensional se le adiciona un óxido básico como el óxido de calcio, el cual se disocia de acuerdo a la reacción [02]:



Este óxido básico ingresará en las cadenas tridimensionales Si-O, generando varios cortes, haciendo que las redes se vayan rompiendo paulatinamente. En la Tabla 2.2 se puede observar que el número de vértices destruidos depende de la fracción molar del óxido metálico, es decir, depende de la relación entre O/Si. Cuando la concentración molar del óxido metálico es menor al 12%, se sabe que todavía existen enlaces tridimensionales. Cuando la concentración molar del óxido metálico es mayor al 12% hay un mejor rompimiento de las cadenas tridimensionales, dando lugar a la formación de varios iones de grandes tamaños, que luego van disminuyendo de tamaño hasta llegar a iones pequeños de $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Esto hace que se produzcan variaciones en las características de la fase líquida, disminuyendo la viscosidad y aumentando la conductividad iónica. Esto quiere decir que cuando se añade mayor cantidad de óxido metálico la relación entre O/Si es mayor (Muñoz, 1993).

Tabla 2.2: Influencia de la adición de un óxido básico en la estructura de los silicatos (Schuhmann, 1968)

Relación O/Si	FORMULA	ESTRUCTURA
2/1	SiO_2	Tetraedros: forman red hexagonal
5/2	$\text{MO} \cdot 2\text{SiO}_2$	Laminar: Un vértice se rompe
3/1	$\text{MO} \cdot \text{SiO}_2$	Fibroso: Dos vértices se rompen
7/2	$3\text{MO} \cdot 2\text{SiO}_2$	$2(\text{SiO}_4)^{6-}$: Tres vértices se rompen
4/1	$2\text{MO} \cdot \text{SiO}_2$	$(\text{SiO}_4)^{4-}$: Cuatro vértices se rompen

Al necesitarse una fase líquida poco viscosa se desea tener una composición de iones $(\text{SiO}_4)^{4-}$ predominante, para lo cual la composición del ortosilicato $2\text{MO} \cdot \text{SiO}_2$ es la adecuada con una relación de Oxígeno/Silicio de 4/1. En la Figura 2.7 se muestra la estructura fibrosa de la sílice, la cual tiene dos vértices destruidos por cada tetraedro.

La Figura 2.8 indica la estructura de la sílice, en donde, todos los vértices de la red hexagonal están destruidos. Además, se observa que los tetraedros se encuentran separados por iones metálicos, y en la Figura 2.9, se puede observar la estructura de los silicatos sólidos, sin una estructura ordenada, debido al aumento de la temperatura.

2.4.1 Consideraciones para la Formación de Escorias

La escoria debe tener una composición adecuada que se encargue de la recolección y eliminación de forma efectiva de diferentes elementos e impurezas que no interesan en la fase metálica, y que se encuentran en el mineral de análisis interfiriendo en la recuperación del metal precioso (Schuhmann, 1968). Algunas de las consideraciones importantes para la formación de escorias son: temperatura, composición, viscosidad y densidad.

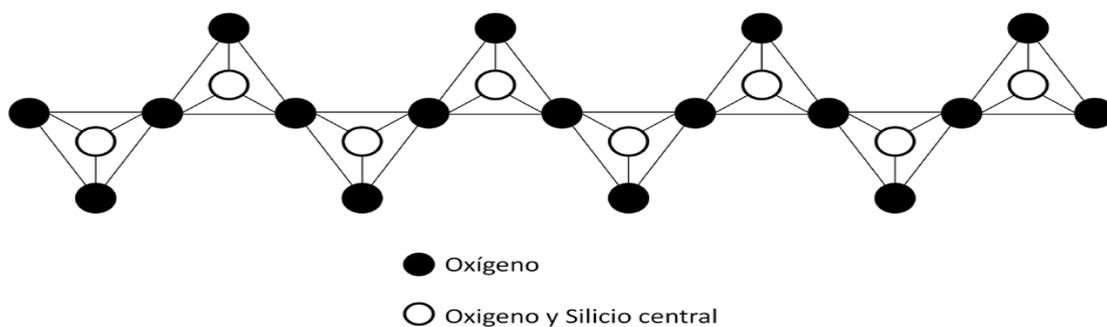


Figura 2.7: Estructura fibrosa de la sílice (Muñoz, 1993).

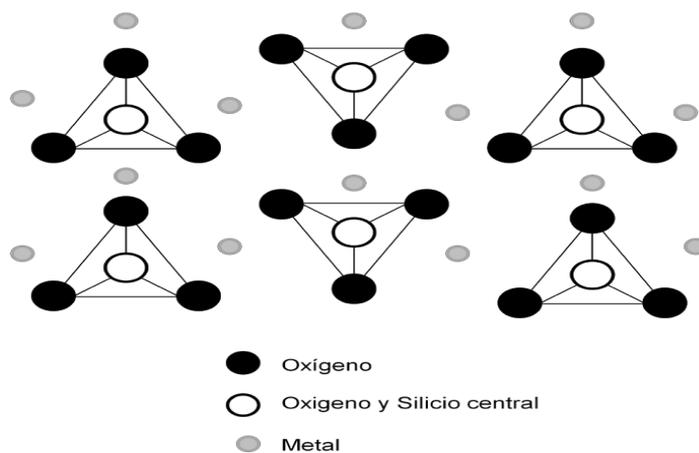


Figura 2.8: Estructura del $2MO \cdot SiO_2$ sólido (Muñoz, 1993).

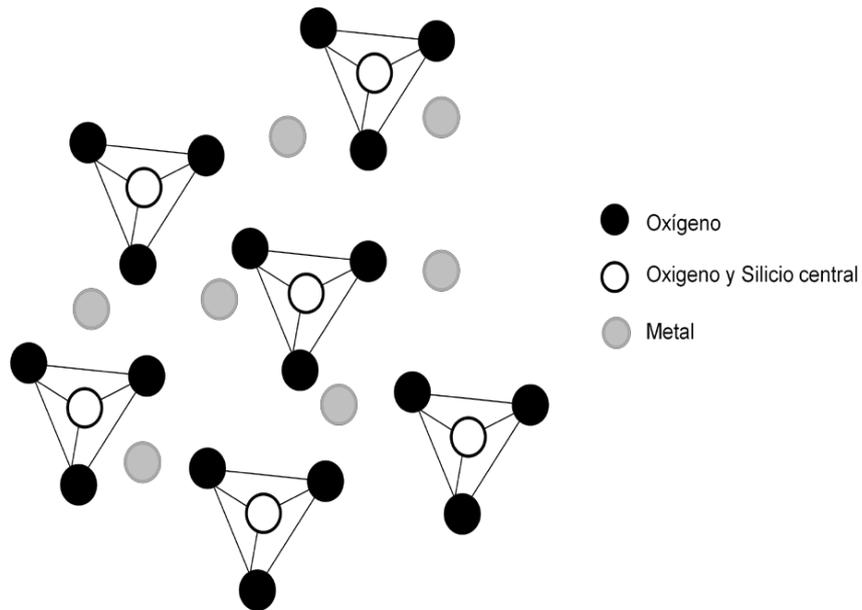


Figura 2.9: Estructura del $2MO \cdot SiO_2$ fundido (Muñoz, 1993).

Para la eliminación de impurezas, la temperatura de fusión es importante y depende básicamente de la composición de la carga. La fase escoria suele ser la fase más difícil de fundir debido a la presencia de sílice, la cual funde a una temperatura de $1720^{\circ}C$ (Bolufer, 2009). Mientras mayor es la cantidad de sílice, la escoria tiende a ser menos fusible, por lo que a cargas ácidas o con gran cantidad de sílice se añade una mezcla fundente para disminuir la temperatura de fusión de las escorias hasta aproximadamente $900^{\circ}C$ (Schuhmann, 1968).

La Figura 2.10 muestra una fotografía de una carga que cumple con las consideraciones básicas para la formación de escorias. En esa fotografía se tiene que con las proporciones adecuadas de la mezcla fundente se llega a tener escorias bastante fluidas, lo que permite una buena separación de las fases que se generan durante la fusión.



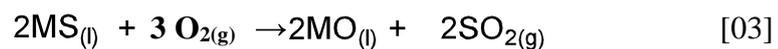
Figura 2.10 Fotografía de una carga fundente que cumple con las consideraciones básicas de la formación de escorias, obteniendo así una mezcla bastante fluida.

2.5 Tipos de Fusión

En metalurgia extractiva existen diferentes tipos de fusión de los cuales los más importantes son: fusión oxidante y fusión reductora.

2.5.1 Fusión oxidante.

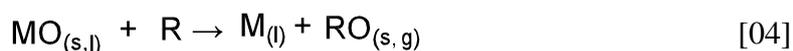
La fusión oxidante es un proceso exotérmico que tiene como objetivo originar una oxidación de compuestos metálicos por medio de un cambio de fase (de sólido a líquido), y la adición de reactivos oxidantes tales como el aire, oxígeno, óxidos metálicos, entre otros. Una de las aplicaciones más comunes de la fusión oxidante, es la desulfuración de matas del nitrato de potasio. La reacción [03] es un ejemplo de fusión oxidante que ilustra el proceso de desulfuración:



En donde MS es el sulfuro metálico y MO es el óxido metálico que se forma (Rovira, 1982).

2.5.2 Fusión reductora.

La fusión reductora es un proceso endotérmico en donde un óxido metálico se reduce, el cual puede estar en estado sólido o líquido, a metal en estado líquido, como se indica en la reacción [04]:



En donde MO es el óxido metálico, R es el agente reductor y M es el metal en la forma líquida. Los agentes reductores más comunes son: carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, aluminio y magnesio (Rovira, 1982).

2.6 Fundamentos del ensayo al fuego

2.6.1 Antecedentes

Los minerales polisulfurados generalmente contienen una mezcla de varios metales tales como cobre, Hierro, Plomo, Zinc y Arsénico en forma de sulfuros. Los sulfuros más comunes que se encuentran en los yacimientos auríferos son la calcopirita (CuFeS_2), pirrotita (FeS), pirita (FeS_2), galena (PbS), esfalerita (ZnS), y arsenopirita (AsFeS). Durante el ensayo al fuego, estos sulfuros interfieren en la recuperación de los metales preciosos al formar la fase mata, ya que los metales preciosos se disuelven fácilmente en esta fase. Por esta razón es necesario precalentar los crisoles para disminuir el shock térmico o el brusco rompimiento de sus enlaces o estructuras de las muestras sulfuradas y así acelerar las reacciones que se llevan en dicho proceso, evitando que ésta se rebalse o derrame, previo al análisis de ensayo al fuego.

2.6.2 Fusión de Concentrados

Para la fusión de concentrados es necesaria la adición de una mezcla fundente, es decir, de reactivos químicos que ayuden a la formación de una escoria líquida a la

temperatura mínima de fusión de los escorificantes. En esta oportunidad CIFRUN SAC es la empresa que provee el fundente ya preparado.

La determinación de una dosificación óptima de la mezcla fundente requiere de un análisis mineralógico del material que se va analizar. Un mineral que contenga una ganga ácida requerirá una mezcla fundente básica, al igual que un mineral con una ganga básica necesitará una mezcla fundente ácida (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986).

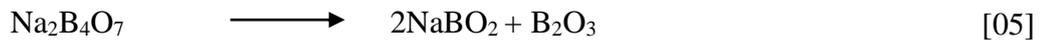
Los principales fundentes o reactivos de fusión utilizados para la recuperación de oro y plata son: sílice, bórax, bicarbonato de sodio, nitrato de potasio y una fuente de carbono como reductor.

La sílice (SiO_2) es un reactivo de fusión fuertemente ácido, que se combina con los óxidos metálicos para formar silicatos, los cuales son fundamentales en la mayoría de escorias. La sílice forma cinco clases de silicatos los cuales se clasifican de acuerdo a la relación de oxígeno en la base u óxidos metálicos con el oxígeno del ácido o sílice (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986; Smith, 1987). La Tabla 2.3 indica las relaciones de oxígeno entre el ácido y base, y la clasificación de los silicatos. El objetivo de la sílice como constituyente en la mezcla fundente es el de formar la fase escoria.

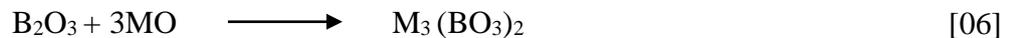
Tabla 2.3 Clasificación de los Silicatos (Lenehan y Murray- Smith, 1986)

Nombre	Fórmula
Subsilicato	$4\text{MO}\cdot\text{SiO}_2$
Monosilicato	$2\text{MO}\cdot\text{SiO}_2$
Sesquisilicato	$4\text{MO}\cdot 3\text{SiO}_2$
Metasilicato	$\text{MO}\cdot\text{SiO}_2$
Trisilicato	$2\text{MO}\cdot 3\text{SiO}_2$

El bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) es un fundente ácido, activo y muy fusible, se funde en su propia agua de cristalización, al calentarlo se hincha por la eliminación de agua, se funde formando un vidrio viscoso a 527°C , y se vuelve un líquido muy fluido sobre los 727°C . El bórax disuelve a la mayoría de óxidos metálicos por lo que el propósito del bórax en la mezcla fundente es ayudar en la formación de escoria. En pocas cantidades, disminuye la temperatura para la formación de escoria y genera una fusión ordenada y tranquila. La disolución de óxidos metálicos por medio de bórax se lleva a cabo en dos etapas: primero el bórax se funde a una forma vidriosa transparente, que consiste de una mezcla de metaborato de sodio y anhídrido bórico, como se observa en la reacción [05]



El anhídrido bórico reacciona con el óxido metálico para formar un borato metálico como se indica en la reacción [06]:

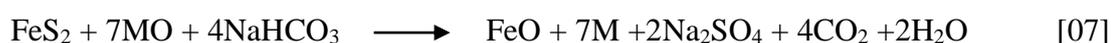


Se conocen cinco clases de boratos, estos tienen una clasificación similar a los silicatos y se presenta en la Tabla 2.4 (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986; Smith, 1987). La mezcla fundente se añade para tener una escoria constituida principalmente de borosilicatos, los cuales a su vez existen en forma de metasilicatos y metaboratos, ya que estos disuelven los óxidos metálicos y forman escorias fusibles y de menor viscosidad a las temperaturas de trabajo del horno de fusión (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986).

Tabla 2.4 Clasificación de los boratos (Lenehan y Murray-Smith, 1986)

Nombre	Formula
Ortoborato	$3MO \cdot B_2O_3$
Piroborato	$2MO \cdot B_2O_3$
Sesquiborato	$3MO \cdot 2B_2O_3$
Metaborato	$MO \cdot B_2O_3$
Tetraborato	$2MO \cdot 2B_2O_3$

El bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) es un reactivo de fusión fuertemente alcalino, y se utiliza en el ensayo al fuego debido a su bajo costo y a su pureza. Al estar en presencia de aire oxida los sulfuros a sulfatos, por esta razón el bicarbonato de sodio, al igual que el carbonato de sodio, puede ser considerado como un fundente oxidante y desulfurante. Los sulfatos son producidos con mayor facilidad en presencia de un agente oxidante como un óxido metálico. Esta formación de sulfato se aprecia en la reacción [07], en el tratamiento de la Pirita:



El nitrato de potasio (KNO_3) es un enérgico agente oxidante, se funde a $357^\circ C$, a mayores temperaturas sufre ruptura de enlaces, liberando oxígeno. El oxígeno que se libera reacciona oxidando al sulfuro y muchos de los metales, en especial plomo y cobre. Es utilizado en el ensayo al fuego especialmente para la oxidación de sulfuros, arseniuros y antimoniuros. La oxidación de sulfuros metálicos a óxidos por medio de nitrato de potasio se aprecia en la reacción [08] (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986):



La harina como reductor. Para muestras oxidadas, la harina (carbón en polvo) al calcinarse en presencia de plomo forma CO_2 gaseoso y plomo metálico en el proceso de la

fusión, la reacción [09] la representa. (Bugbee, 1940; Lenehan y Murray-Smith, 1986; Smith, 1987):



2.6.3 Colectores

El análisis por ensayo al fuego de una muestra de concentrado, consiste en fundir a temperaturas en un rango de 1 050 – 1 100°C a la carga con la ayuda de una mezcla fundente, generalmente constituida por bórax, carbonato de sodio, nitrato de potasio y un colector.

El colector es comúnmente un metal, una sal u óxido metálico que se coloca en conjunto con los fundentes. Este metal debe tener la capacidad de disolver los metales preciosos y coleccionarlos de manera eficaz formando la fase metálica, para posteriormente separarlos por medio de otros procesos.

Los colectores de oro más importantes son plomo, estaño, plata y cobre (Smith, 1987). El plomo es el colector más utilizado para el análisis por ensayo al fuego, al ser muy efectivo en la colección del oro y principalmente por su baja temperatura de fusión la cual está cerca de los 327°C. Se utiliza el litargirio u óxido de plomo (PbO), por lo que se requiere un proceso de metalización de PbO a Pb, por medio de la adición de un reductor. El estaño se utiliza en forma de óxido estannoso (SnO). Es un buen colector de metales preciosos, sin embargo el tratamiento de la fase metálica para la posterior separación de metales preciosos presenta serias dificultades debido a la poca solubilidad del estaño en ácidos minerales, lo que hace ineficiente su utilización. De todos los colectores el mejor que se conoce es la plata, ya que forma aleaciones con oro en cualquier proporción. El problema de la plata es que se oxida fácilmente a óxido de plata, además que la utilización de este metal es bastante costosa y por razones económicas no resulta rentable. Sin embargo, se la utiliza como colector junto con el plomo, y se le añade a la carga

como una solución de nitrato de plata.

La utilización de metales colectores es muy importante especialmente en minerales de baja y alta concentración, ya que en este tipo de minerales los metales preciosos se encuentran dispersos y en muy pocas cantidades, siendo muy difícil la sedimentación y formación de la fase metálica (Smith, 1987).

2.6.4 Dosificación de fundentes

La dosificación teórica de fundentes que se debe añadir tanto para la oxidación de sulfuros como para los óxidos se determina considerando la estequiometría de las reacciones que se llevan a cabo con cada sulfuro y óxido metálico presente en la mena o concentrado mineral.

Minerales oxidados; Son todos aquellos descritos anteriormente y que en su composición contienen metálicos oxidados específicos y por lo tanto, se les agrega almidón (harina de trigo).

Minerales sulfurados; Aquellos minerales que contienen predominantemente azufre, presentamos algunas especies como la galena, pirita, calcocita, etc. Se le adiciona nitrato de potasio.

La Tabla 2.5 Indica la composición del fundente utilizado en MINLAB de acuerdo al mineral, el cual es solicitado por el jefe del laboratorio químico y proveído por la empresa CIFRUN SAC.

Tabla 2.5: Composición del fundente usado en laboratorio de MINLAB S.R.L

Componentes	% peso
Litargirio	68,49
Sílice	6,85
carbonato de sodio	20,55
Bórax	4,11

2.7 Etapas de los análisis de ensayo al fuego (FIRE ASSAY)

Las etapas secuenciales para desarrollar los análisis de ensayo al fuego se presentan en el diagrama de la figura 2.11.

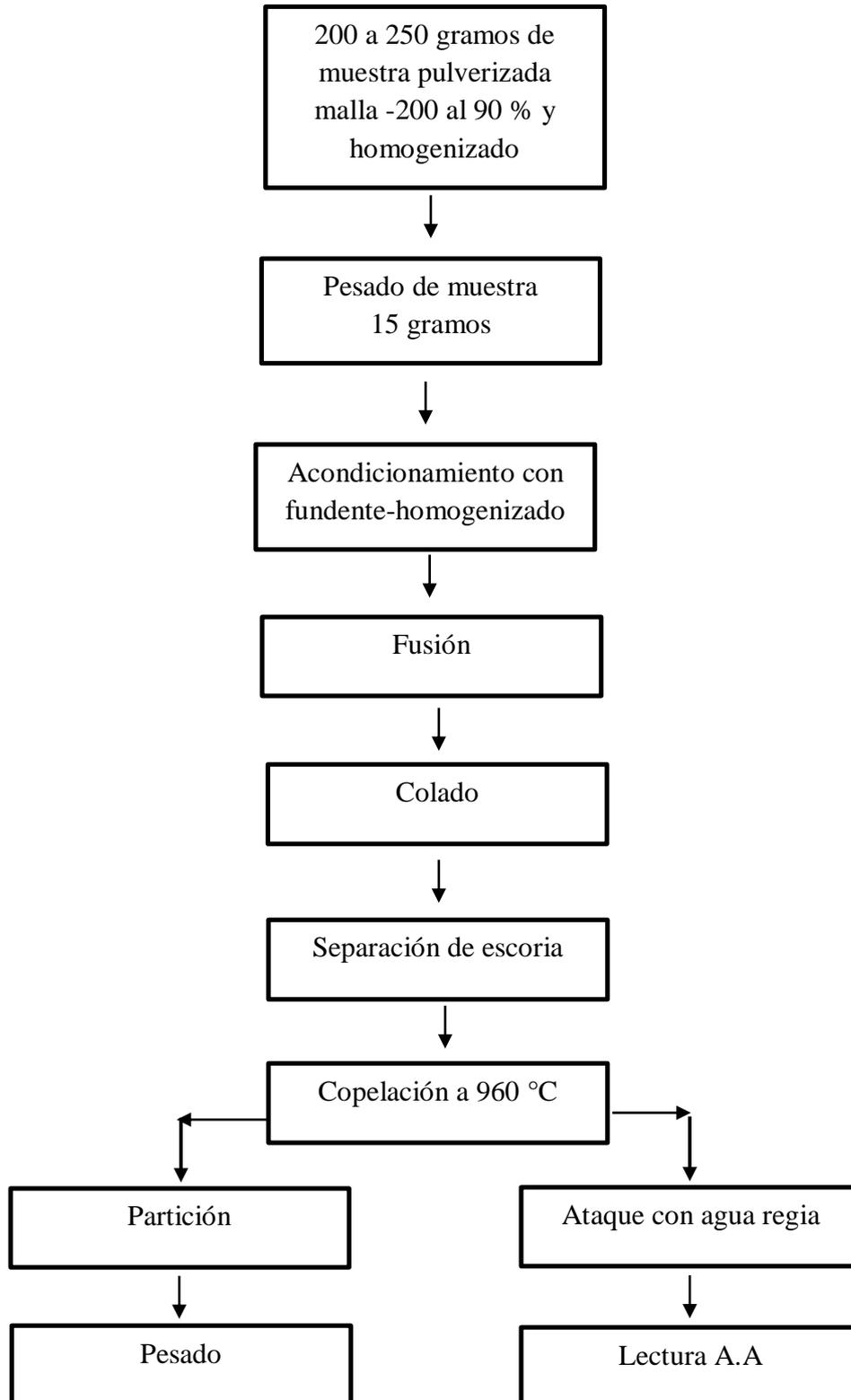


Figura 2.11 Diagrama para la secuencia en el análisis de ensayo al fuego.

2.7.1 Pesado de la muestra

El pesado de los minerales para su respectivo análisis se efectúa en forma manual en una balanza con sensibilidad de $\pm 0,01\text{g}$. Dependiendo del tamaño del crisol a utilizar, luego se agrega el concentrado y reactivos de acuerdo la muestra a analizar.

2.7.2 Fusión de la muestra

La muestra es fundida a temperatura de $1\ 050^{\circ}\text{C}$, pero se debe tener cuidado con el rebose al reaccionar los reactivos químicos con la muestra la cual presenta una agitación. La fusión puede describirse en tres etapas:

Primera etapa: paso preliminar de calentamiento acompañado por alguna reducción de litargirio a plomo, la fusión parcial y descomposición del nitrato presente y algo de sílice se funde por el carbonato de sodio y litargirio.

Segunda etapa: en esta etapa se producen la mayoría de reacciones químicas y la carga de fusión presenta un aspecto de agitación violenta. El plomo es reducido desde el litargirio por el carbón, la cantidad de plomo colecta trazas de plata y oro por amalgamación y a través de la escoria debido a su gran densidad. El bicarbonato de sodio y bórax reaccionan con los constituyentes ácidos y básicos de la carga respectivamente lo cual produce escoria liberando gran cantidad de gases.

Tercera etapa: la tercera etapa es conocida como un periodo de fusión quieta. Donde las reacciones se completan y por diferencia de densidades, toda partícula de plomo precipite y recolecte toda traza de oro y plata. La escoria debe ser perfectamente líquida para asegurar una separación perfecta de plomo y el periodo de fusión debe durar 15 minutos aproximadamente.

2.7.3 Descarga de crisoles y/o colado

Una vez finalizada la fusión se retiran los crisoles uno por uno de acuerdo al orden y código. La descarga es en lingoteras de fierro fundido de forma de cono invertido, la cual se

realiza previa agitación en forma circular sobre una base dura y lisa dando pequeños golpes sobre la mesa. La muestra en fusión es vaciada con sumo cuidado evitando cualquier derrame o salpicadura fuera de la lingotera.

2.7.4 Separación de escoria

Una vez vaciada la muestra a la lingotera, ésta es enfriada por un lapso de 5 minutos donde por diferencias de densidades el plomo se ubica en la parte inferior del cono y la escoria está en la parte superior. Dando golpes suaves con la ayuda de una pinza y martillo se logra separar el régulo de la escoria y está a la vez es golpeada con un martillo sobre un yunque hasta que tome la forma de un cubo.

2.7.5 Copelación de muestras

La copelación es un proceso que consiste en la separación completa del plomo de los metales preciosos por medio de una fusión oxidativa, la parte operativa consiste en colocar el régulo de plomo en una copela precalentada a una temperatura de 960 °C, donde el régulo se derrite, el plomo se oxida de acuerdo a la reacción [10], y este óxido se absorbe parcialmente en la copela, quedando separado un pequeño botón de oro y plata, al que se le denomina doré (Álvarez et al., 1993). La copela es un crisol macizo de paredes porosas utilizado para la purificación de minerales, elaborado con magnesia (MgO), diatomita (SiO₂) y ceniza de hueso, materiales que brindan la porosidad adecuada para que se absorba el óxido de plomo.



2.7.6 tratamiento de fase metálica

Alternativamente a la copelación, en este proyecto se utiliza un método para la separación de los metales preciosos de la fase metálica: ataque con agua regia, la cual es una mezcla de ácido nítrico con ácido clorhídrico en proporción de 1 a 3 y éste es el más usado en laboratorios.

2.7.6.1 Ataque con agua regia (HCl + HNO₃)

El oro es el más inerte o noble de los elementos. Muestra gran estabilidad y resistencia a la corrosión, a ácidos de minerales simples; a excepción del ácido selénico, no disuelven al oro. El ácido clorhídrico en presencia de oxidantes (tales como el ácido nítrico, oxígeno, iones cúpricos o férricos, y dióxido de manganeso) disuelve al oro. La combinación de los ácidos clorhídrico y nítrico (agua regia,) ataca vigorosamente al oro: de acuerdo a la reacción [11]



El oro se disuelve, como se muestra en la reacción anterior, en soluciones acuosas que contengan un agente oxidante y un ligante para el oro de acuerdo a la reacción [12].



Otro ejemplo del efecto ligante-oxidante, es la reacción principal de la extracción del oro a partir de sus menas en la disolución con cianuro y oxígeno como oxidante (la reacción de Elsner) [13]



2.8 Choque térmico

El concepto de colapso térmico o choque térmico se refiere a la rotura brusca de los enlaces que componen cada muestra sulfurada, oxidada y reactivos presentes en un proceso de fusión. En esta oportunidad las muestras son vulnerables a este efecto debido a su bajo

nivel de tenacidad, a su baja conductividad térmica y a su bajo coeficiente de expansión térmica. La variación de temperatura, causa que diferentes partes de un objeto se expandan unas más que otras, haciendo que la tensión del objeto no sea lo suficientemente fuerte y entonces se quiebra. Un ejemplo común es en los laboratorios, al fundir muestras sulfuradas y/o oxidadas a altas temperaturas.

2.9 Uso de la temperatura

La temperatura aumenta la velocidad de cualquier reacción. Asimismo, se incrementa la velocidad de desplazamiento de las moléculas, lo cual conduce a un mayor número de choques entre ellas; es decir, aumenta la energía cinética.

Al incrementarse la temperatura, la velocidad de reacción se duplica aproximadamente cada 10° C. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura.](https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura))

CAPITULO III

METODOLOGÍA

La metodología del trabajo se basa en el desarrollo de los siguientes rubros que serán descritos a continuación detalladamente, y nos permitirán establecer con claridad la temática a tratar.

3 Procedimiento Aplicado en MINLAB S.R.L

Determinación de oro por Fire Assay/Absorción atómica/Gravimetría

Objetivo

Establecer el método para la determinación de Ag y Au por Fire Assay/Absorción atómica y partición gravimetría.

Alcance

El presente procedimiento es aplicado para la determinación de Ag y Au en muestras de concentrado de Pb, Cu, Zn, cabeza, relave y geoquímicas.

3.1 Equipos, Materiales y Reactivos

- Balanza de precisión de sensibilidad 0,1g
- Balanza semi-analítica de sensibilidad 0,01 mg
- Espátula de metal
- Brochas

- Horno de fundición de 0°C hasta 1 200°C
- Lingotera cónica de fierro de 20 unidades
- Yunque de fierro
- Martillo estándar
- Copela N° 9
- Crisoles de 30 y 40 g.
- Bolsa polietileno de 5 x 10 cm.
- Pesa de 1 kg. para verificación de balanza
- Careta
- Guantes de aluminio
- Delanteras de aluminio
- Tubos de ensayo
- Gradilla para tubos
- Fiolas de 50, 100 y 200 mL

Reactivos:

- Ácido clorhídrico (QP)
- Ácido nítrico 50 %
- Agua desionizada
- Flux (Viene preparado de Lima ver tabla 3.1)
- Nitrato de Potasio
- Harina industrial
- Bórax

3.2 Pesado de muestras:

- Verificar la balanza de precisión con pesa de 1,00 kg.
- Pesar o tarar la bolsa de polietileno 5 x 10 cm.

- Dosificar reactivos, según la tabla 3.1
- Homogenizar la muestra en la bolsa de polietileno y colocar a los crisoles previamente codificados.
- Aplicar una cubierta con 5 g. de bórax.

Tabla 3.1: dosificación de reactivos

Tipo	Peso de muestra (g.)	Dosificación		
		KNO₃ (g.)	-	Flux (g.)
Cu/Zn	15	19	-	180
Pb	15	10	-	180
MR	15	19/10	-	180

3.3 Fundición:

- Colocar los crisoles con muestra al horno de fundición, utilizando una tenaza adecuada, tratando de mantener la temperatura entre 900 – 1 050°C.
- Fundir a una temperatura de 1 050°C; por un tiempo aproximado de 45 minutos.
- Dentro de 15 a 20 minutos agregar NaCl entre 4 y 5 g. cuidando que la muestra no se rebalse
- Sacar con la tenaza los crisoles del horno; verter el líquido a la lingotera cónica de fierro de 20 unidades. Dejar enfriar por 5 minutos.
- Extraer de la lingotera el régulo y separar la escoria de la aleación plomo más metal noble (régulo) utilizando martillo y yunque, dar forma de cubo.

3.4 Copelación:

- Pesar el régulo que debe estar entre 25 – 30 g.
- Calentar las copelas en el horno por 15 minutos aproximadamente.
- Colocar el régulo codificado en las copelas utilizando una pinza adecuada.
- Copelar a una temperatura de 960 °C por 30 – 45 minutos; inicialmente con puerta cerrada hasta que el régulo se convierta en líquido y luego ligeramente abierta para ayudar la oxidación de Pb. El punto final de copelación es cuando el metal fino se hace bastante luminoso “relámpago” para luego opacarse.
- Luego retirar las copelas con dore y dejar enfriar completamente.
- Utilizar una pinza quirúrgica, para limpiar el doré de las posibles escorias, pesar en balanza semi-analítica en mg.

3.5 Digestión:

- Codificar los tubos de ensayo de 5 mL y fioles de 50 y 200 mL.
- Colocar los dores en las fioles de 50 ml para el plomo, fioles de 200 mL para el cobre y los tubos de ensayos de 5 mL para zinc, agregar 2,0 mL de ácido nítrico al 50% a los concentrados de Pb y Cu, 0,50 mL al concentrado de Zn. Llevar a la plancha de digestión a una temperatura de 200°C, hasta que termine la reacción (desaparezca el doré), retirar de la plancha.
- Adicionar a la solución ácido clorhídrico de acuerdo al Tabla 3.2, llevar nuevamente a la plancha a temperatura de 250°C por un tiempo de 30 minutos (hasta que cambie a color casi transparente).
- Retirar, enfriar y aforar con solución de HCl al 30%.
- Sellar con parafina a los tubos de ensayo y las fioles con su tapa; homogenizar.

Tabla 3.2: Adición de solución ácido clorhídrico según los concentrados

Tipo Muestra	Vol. de HCl (QP) (mL)	Vol. de aforo 30% (mL)	Diluciones
Cu	6	200	-
Pb	6	50	-
Zn	1.5	5	-
MR	6/1.5	200, 50 y 5	-

3.6 Lectura en Equipo de Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN 240.

- Seleccionar la lámpara de Au.
- Calentar la lámpara por espacio de 10 minutos.
- Optimizar la energía en unidad de absorbancia.
- Realizar la calibración con los estándares de 0,00, 2,50, 5,00 y 10,00 ppm. (de acuerdo al tipo de muestra a trabajar).
- Registrar las lecturas en el formato M-FR-10.

3.7 Partición Gravimétrica

Esta técnica se empleará de manera referencial cuando la muestra tenga leyes mayores a 10 g/TM.

- Pesar el doré.
- Enumerar los crisoles de porcelana en el mismo orden que se encuentran las copelas.
- Limpiar con la escobilla la escoria adherida a las perlas de doré y colocarlos a los crisoles de porcelana.
- Adicionar a cada crisol 25 mL de ácido nítrico al 10 %; llevar a la plancha a temperatura de 150°C por tiempo aproximadamente de 40 minutos.

- Luego de 40 minutos de reacción lavar con agua desionizada caliente 3 veces cada perla, cuidando de no perder el oro.
- Agregar a cada crisol 15 mL de ácido nítrico QP y colocar en la plancha por 20 minutos.
- Después de 20 minutos, volver a lavar con agua desionizada caliente 3 veces y la cuarta lavada con hidróxido de amonio al 50% a cada perla.
- Dejar secar los crisoles con la perla; sobre la plancha por 10 minutos.
- Luego colocar los crisoles ordenadamente en la mufla y calcinar a 650°C por 20 minutos. Retirar y enfriar.
- Calibrar la balanza semi-analítica y pesar

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

4 Parte experimental con precalentamiento y sin precalentamiento de crisoles

En este rubro, se utilizaron dos muestras con diferente ley, en concentrado de Zn, Pb y Cu. Se dividió la parte experimental en 12 ensayos, 6 con el método mejorado (precalentamiento de crisoles) y 6 con el método clásico sin (precalentamiento de crisoles) y cada ensayo contiene 10 réplicas, más un patrón y/o muestra referencial (MR), con el cual harían un total de 11. Los cuales se van a describir oportunamente, comparando el método clásico con el método mejorado.

4.1 Equipos, Materiales y Reactivos

Para realizar las pruebas se usaron determinadas cantidades de materiales, reactivos las cuales están especificadas en la siguiente lista:

- Balanza de precisión de sensibilidad 0.1g
- Espátula de metal
- Brochas
- Horno de fundición de 0°C hasta 1200°C
- Lingotera cónica de fierro de 20 unidades

- Yunque de fierro
- Martillo estándar
- Copela N° 9 – 66 unidades
- Crisoles de 30 g. - 66 unidades
- Bolsa polietileno de 5 x 10 cm - 66 unidades
- Pesa de 1kg. para verificación de balanza
- Careta
- Guantes de aluminio
- Delanteras de aluminio
- Tubos de ensayo, 22 unidades
- Gradilla para tubos
- Fiolas de 50mL - 22 unidades,
- Fiolas de 200mL – 22 unidades

Reactivos:

- Ácido clorhídrico (QP), 30%
- Ácido nítrico 50 %
- Agua desionizada
- Flux (Viene preparado de Lima ver tabla 3.1) – 11 880 g.
- Nitrato de Potasio – 1 056 g.
- Bórax – 330 g.

4.2 Pesado de muestras

- Verificar la balanza de precisión con pesa de 1,00 kg.
- Pesar o tarar la bolsa de polietileno 5 x 10 cm.
- Pesar 15 gramos de muestra de Pb, Zn y Cu
- Dosificar reactivos, según la tabla 3.1

- Homogenizar la muestra en la bolsa de polietileno y colocar a los crisoles previamente codificados.
- Aplicar una cubierta con 5 g. de bórax.

4.3 Precalentamiento de crisoles

- En esta oportunidad, los crisoles se enumeran del 1-10 y la muestra referencial lo codificamos como (MR), se ordenan los 11 crisoles de 30 gramos en la mesa metálica y se introducen al horno de fundición a 1 050°C por un lapso de 8 a 12 minutos, sacamos los crisoles del horno de fundición con una pinza y ponemos en la mesa metálica de forma ordenada según lo codificado.
- También se corrió sin precalentamiento de crisoles, los 6 ensayos restantes, los cuales corresponden al método clásico para su comparación de resultados.

4.4 Fusión de las muestras con precalentamiento:

- Pesamos y acondicionamos las muestras de Pb, Cu y Zn. Pesando los reactivos según la tabla 3.1 en una bolsa de 5x10 cm. homogenizando y eliminando el resto de aire que pueda quedar, envolviendo la muestra con la bolsa para que no se derrame.
- Agregamos la muestra acondicionada y dosificada, en los crisoles calentados, usando los EPPS adecuados.
- Ingresamos los crisoles con las muestras acondicionadas para efectuar la Fundición a una temperatura de 1 050°C; por un tiempo de 30 minutos.
- Sacamos con la tenaza, los crisoles del horno; vertiendo mezcla fundida a la lingotera cónica de fierro de 20 unidades, evitando derrames o salpicaduras. Dejar enfriar por 5 minutos.

- De aquí para adelante se procederá según la metodología indicada por la Empresa MINLAB S.R.L (copelación, digestión, lectura por absorción atómica para el oro).

4.5 tabla de resultados de los ensayos con precalentamiento y sin precalentamiento de crisoles

Los resultados de los ensayos comparativos entre el método mejorado (con precalentamiento) y el método clásico (sin precalentamiento) se presentan en los siguientes cuadros:

Tabla 4.1: Ensayo 1 y 2, de concentrado de Plomo 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura Au (ppm)	Ag (mg)	lectura Au (ppm)
MR	16,460	2,124	16,44	2,122
Pb1-0	8,862	1,423	8,812	1,419
Pb1-1	8,876	1,421	8,856	1,420
Pb1-2	8,874	1,423	8,864	1,419
Pb1-3	8,852	1,423	8,872	1,424
Pb1-4	8,875	1,426	8,842	1,420
Pb1-5	8,873	1,426	8,850	1,422
Pb1-6	8,862	1,425	8,804	1,415
Pb1-7	8,864	1,426	8,814	1,414
Pb1-8	8,856	1,425	8,868	1,415
Pb1-9	8,875	1,424	8,830	1,420

Tabla 4.2: Ensayo 3 y 4 de concentrado de Plomo 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura Au(ppm)	Ag (mg)	lectura Au(ppm)
MR	16.45	2.125	16.43	2.121
Pb2-0	9.874	1.531	9.875	1.526
Pb2-1	9.845	1.528	9.841	1.513
Pb2-2	9.862	1.532	9.810	1.527
Pb2-3	9.853	1.525	9.843	1.520
Pb2-4	9.863	1.528	9.843	1.523
Pb2-5	9.851	1.525	9.801	1.520
Pb2-6	9.855	1.530	9.835	1.516
Pb2-7	9.883	1.526	9.870	1.518
Pb2-8	9.871	1.527	9.791	1.522
Pb2-9	9.855	1.531	9.845	1.516

Tabla 4.3: Ensayo 1 y 2, de concentrado de cobre 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura(Au)ppm	Ag (mg)	lectura(Au)ppm
MR	30.260	3.124	30.230	3.121
Cu1-0	38.395	4.445	38.357	4.421
Cu1-1	38.344	4.457	38.286	4.413
Cu1-2	38.373	4.442	38.335	4.428
Cu1-3	38.344	4.446	38.306	4.422
Cu1-4	38.365	4.458	38.297	4.434
Cu1-5	38.383	4.442	38.355	4.428
Cu1-6	38.384	4.447	38.346	4.433
Cu1-7	38.355	4.455	38.277	4.431
Cu1-8	38.344	4.451	38.306	4.427
Cu1-9	38.356	4.455	38.268	4.411

Tabla 4.4: Ensayo 3 y 4, de concentrado de cobre 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura(Au)ppm	Ag (mg)	lectura(Au)ppm
MR	30.24	3.125	30.210	3.122
Cu2-0	39.756	4.616	39.736	4.606
Cu2-1	39.734	4.621	39.674	4.602
Cu2-2	39.775	4.626	39.735	4.611
Cu2-3	39.746	4.620	39.686	4.605
Cu2-4	39.783	4.629	39.713	4.617
Cu2-5	39.767	4.623	39.727	4.610
Cu2-6	39.734	4.618	39.694	4.608
Cu2-7	39.753	4.617	39.733	4.607
Cu2-8	39.745	4.624	39.705	4.615
Cu2-9	39.754	4.627	39.714	4.616

Tabla 4.5: Ensayo 1 y 2, de concentrado de Zinc 01 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura Au(ppm)	Ag (mg)	lectura Au(ppm)
MR	2.034	3.434	2.032	3.431
Zn1-0	1.774	3.239	1.752	3.236
Zn1-1	1.769	3.232	1.763	3.229
Zn1-2	1.768	3.236	1.763	3.233
Zn1-3	1.751	3.233	1.749	3.230
Zn1-4	1.763	3.231	1.750	3.228
Zn1-5	1.753	3.232	1.742	3.227
Zn1-6	1.769	3.232	1.744	3.225
Zn1-7	1.765	3.234	1.751	3.224
Zn1-8	1.771	3.235	1.746	3.223
Zn1-9	1.757	3.237	1.750	3.221

Tabla 4.6: Ensayo 3 y 4, de concentrado de Zinc 02 método mejorado y clásico para determinación de Ag y Au

muestra	método mejorado		método clásico	
	Ag (mg)	lectura Au(ppm)	Ag (mg)	lectura Au(ppm)
MR	2.034	3.434	2.032	3.431
Zn2-0	1.672	3.125	1.639	3.120
Zn2-1	1.663	3.126	1.661	3.123
Zn2-2	1.665	3.128	1.653	3.125
Zn2-3	1.658	3.128	1.649	3.128
Zn2-4	1.662	3.127	1.658	3.124
Zn2-5	1.664	3.129	1.642	3.121
Zn2-6	1.657	3.129	1.646	3.125
Zn2-7	1.655	3.130	1.644	3.123
Zn2-8	1.657	3.131	1.641	3.124
Zn2-9	1.658	3.126	1.639	3.120

Tabla 4.7: Ensayo 1 y 2, de concentrado de Plomo 01 método mejorado tiempo de fusión 30 minutos y método mejorado tiempo de fusión 45 minutos para determinar Au y Ag

muestra	método mejorado 30 minutos		método mejorado 45 minutos	
	Ag (mg)	lectura Au (ppm)	Ag (mg)	lectura Au (ppm)
MR	16,460	2,124	16,43	2,120
Pb1-0	8,872	1,423	8,820	1,412
Pb1-1	8,873	1,424	8,826	1,410
Pb1-2	8,874	1,422	8,824	1,413
Pb1-3	8,862	1,424	8,822	1,414
Pb1-4	8,875	1,426	8,822	1,410
Pb1-5	8,873	1,426	8,823	1,412
Pb1-6	8,866	1,424	8,824	1,412
Pb1-7	8,868	1,427	8,825	1,413
Pb1-8	8,866	1,425	8,822	1,414
Pb1-9	8,870	1,426	8,821	1,411

CAPITULO V

ANALISIS Y DISCUSIÓN

- 5 Análisis y discusión de datos obtenidos de los ensayos con precalentamiento y sin precalentamiento de crisoles
- Análisis estadístico donde se usó el programa MINITAB en la cual gráficamente determinamos la probabilidad de los concentrados de Pb, Cu y Zn, para Ag con el método mejorado (con precalentamiento) y método clásico (sin precalentamiento) para cada ensayo al 95% de confiabilidad
 - Análisis estadístico donde se usó el programa MINITAB en la cual gráficamente determinamos la probabilidad de los concentrados de Pb, Cu y Zn, para Au con el método mejorado (con precalentamiento) y método clásico (sin precalentamiento) para cada ensayo al 95% de confiabilidad
 - Análisis estadístico donde se usó el programa MINITAB en la cual gráficamente determinamos la desviación estándar de dos muestras de los concentrados de Pb, Cu y Zn, para Ag con el método mejorado (con precalentamiento) y método clásico (sin precalentamiento) para cada ensayo al 95% de confiabilidad para comparar
 - Análisis estadístico donde se usó el programa MINITAB en la cual

gráficamente determinamos la desviación estándar de dos muestras de los concentrados de Pb, Cu y Zn, para Au con el método mejorado (con precalentamiento) y método clásico (sin precalentamiento) para cada ensayo al 95% de confiabilidad para comparar

- Se logró disminuir los costos en la operación por vía seca, al haber acondicionado un precalentamiento de crisoles, el cual evita que la muestra se derrame y/o rebalse, evitando de esta manera un gasto anual de 30 480, treinta mil cuatrocientos ochenta soles, según se detalla por día, mes y año; cambiando tres resistencia en una semana y el piso de trabajo refractario con carburo de silicio de 40 X 60 X 1”, en el cuadro siguiente.

	Costo /unidad	semana	mes	año
Resistencia Kanthal A1	180	540	2 160	25 920
Piso de trabajo refractario con carburo de silicio	380	-	380	4 560
total	-	-	-	30 480

Los costos se encuentran detallados en el anexo N° 08.

- Estimación comparativa económica de consumo eléctrico entre el método clásico y con precalentamiento de crisoles donde tenemos un ahorro económico de 9 477 S. /

proceso	Tiempos (h)		Costos S./		ahorro S./ por mes	ahorro S./ por año
	clásico	precalentamiento	clásico	precalentamiento		
tiempo de calentamiento(h)	1	1	8.1	8.1	-	-
tiempo de fusión(h)	1	0.5	8.1	4.05	-	-
tiempo de copelación(h)	0.75	0.75	6.075	6.075	-	-
reensayo de muestras (h)	2.75	-	22.275	-	-	-
total 30 días	-	-	1336.5	546.75	789.75	9 477

- ✓ Costo de energía con IGV es 0.90 S/Kw*h
- ✓ Potencia de consumo de la resistencia Kanthal A1 es 9 Kw.

5.1 Gráfica de comparación de los ensayos en concentrado de Pb, Cu y Zn, con precalentamiento de crisoles y sin precalentamiento de crisoles para determinar la probabilidad.

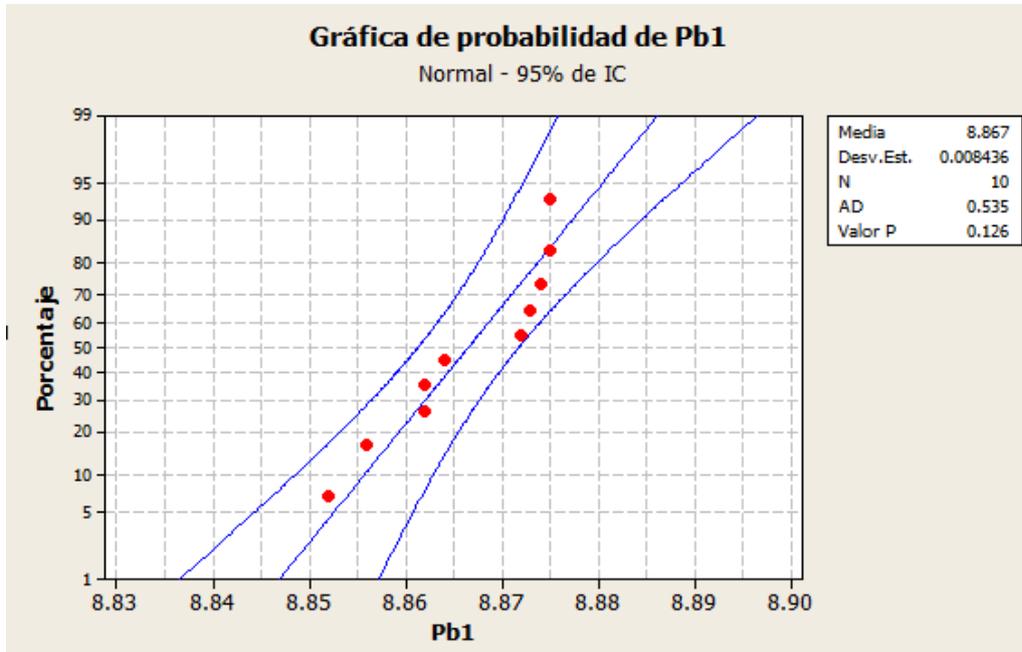


Figura 5.1: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

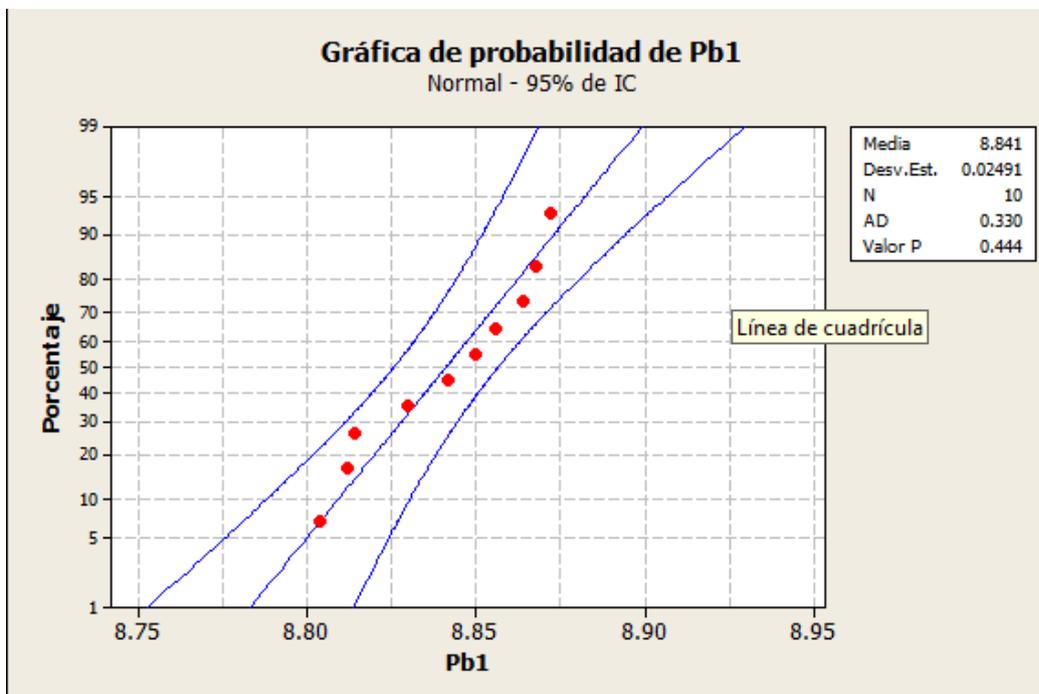


Figura 5.2: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

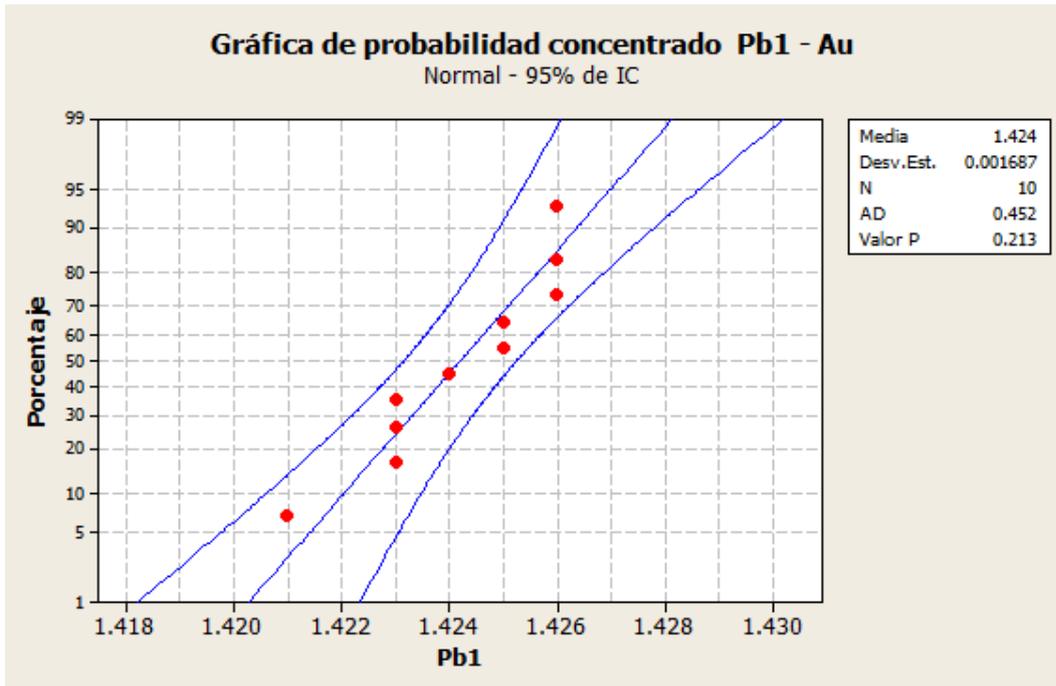


Figura 5.3: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

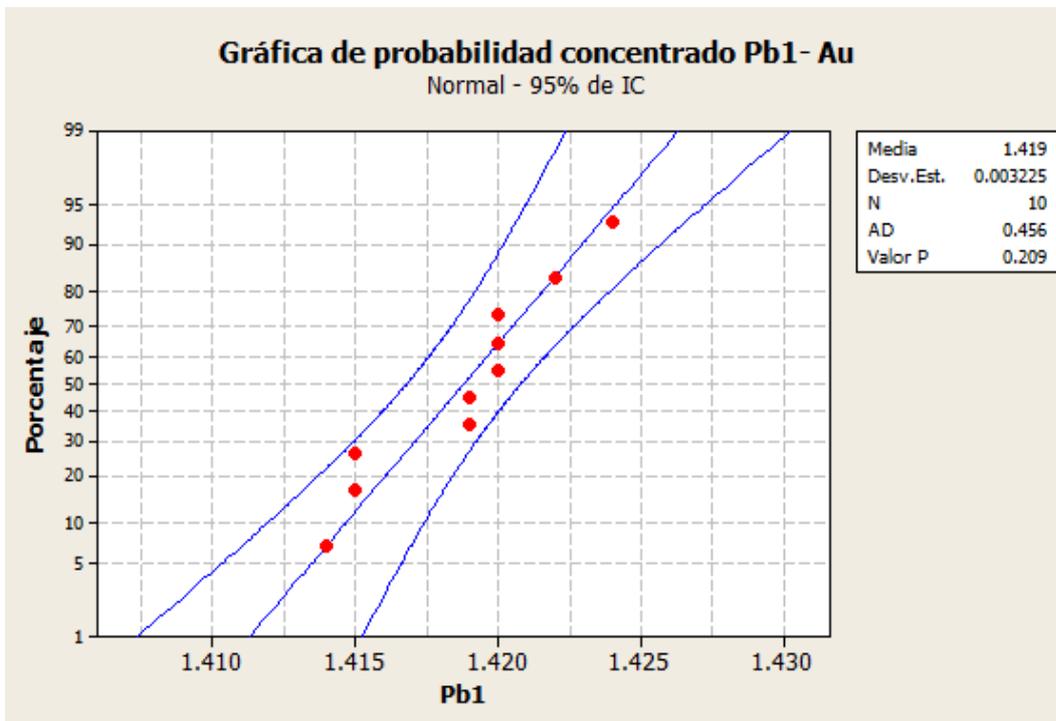


Figura 5.4: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

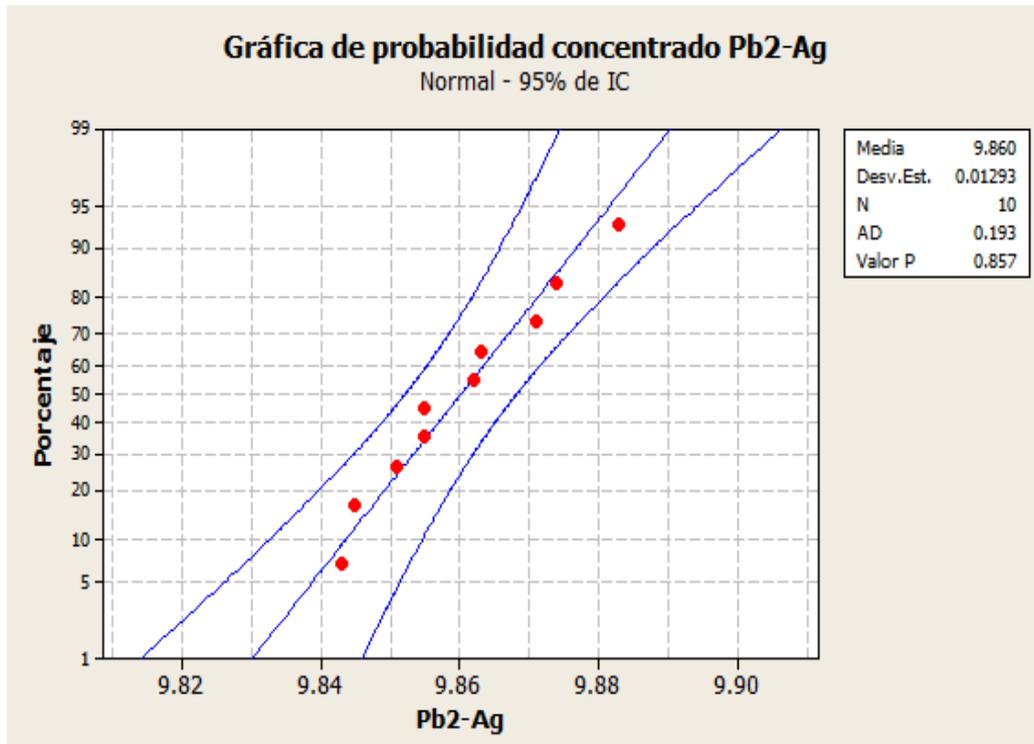


Figura 5.5: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

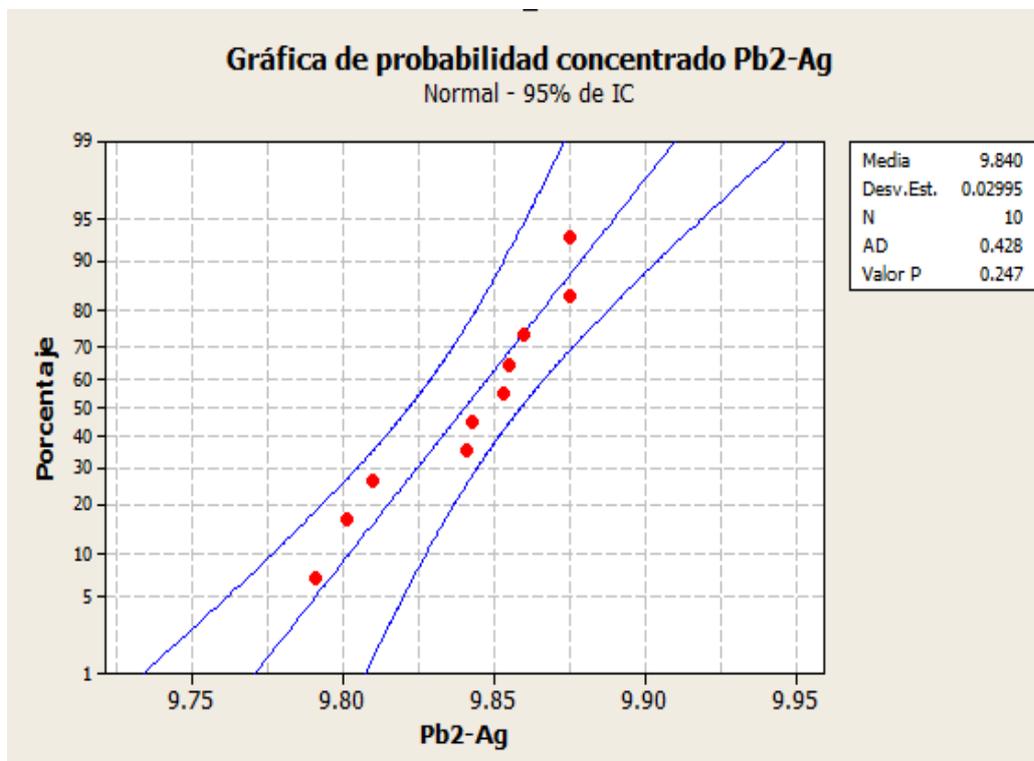


Figura 5.6: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

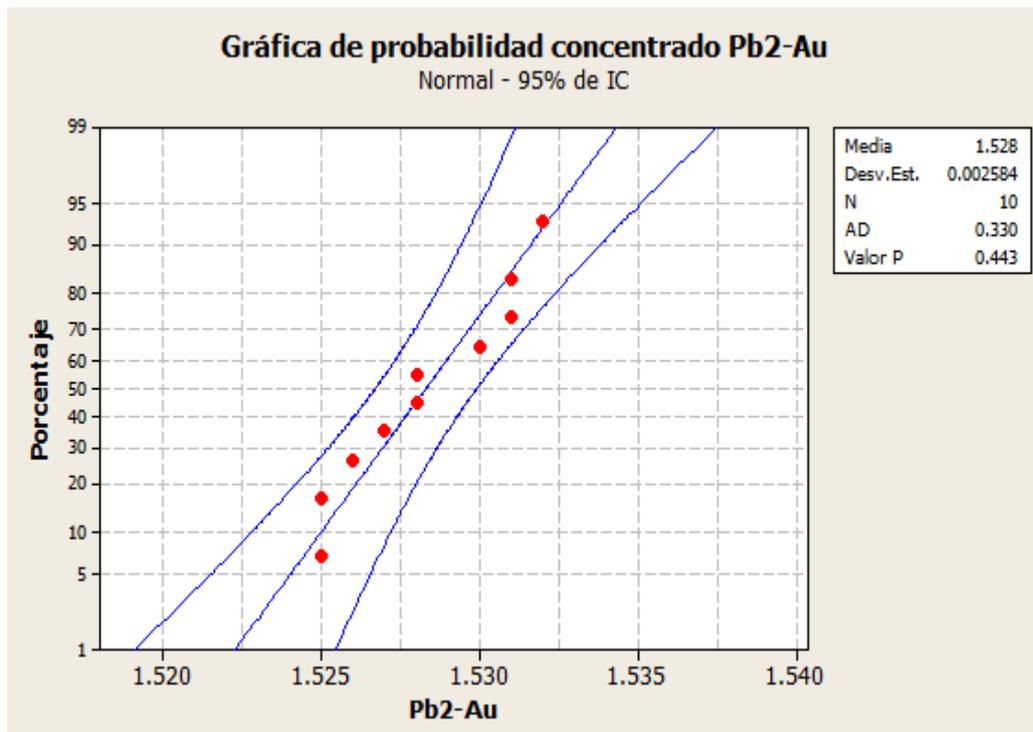


Figura 5.7: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

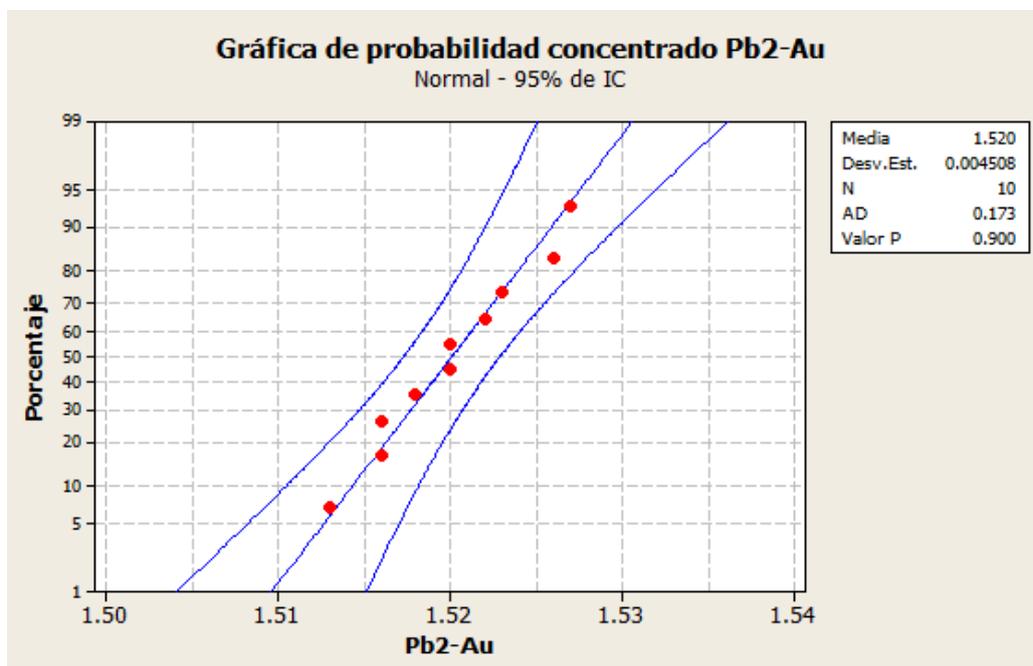


Figura 5.8: Determinando la probabilidad del concentrado de plomo (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

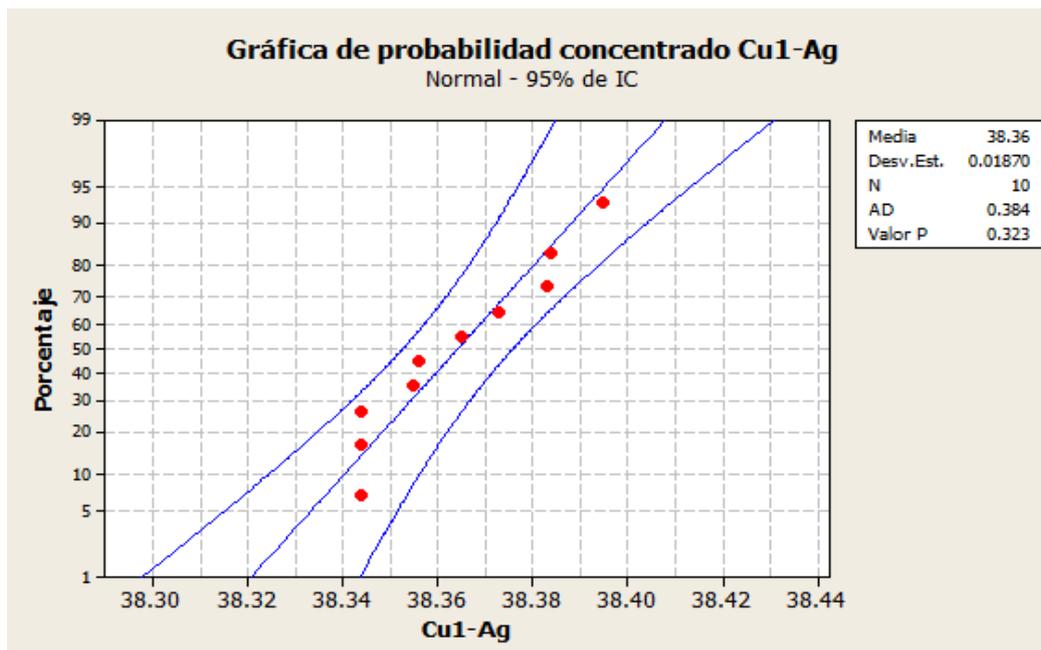


Figura 5.9: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

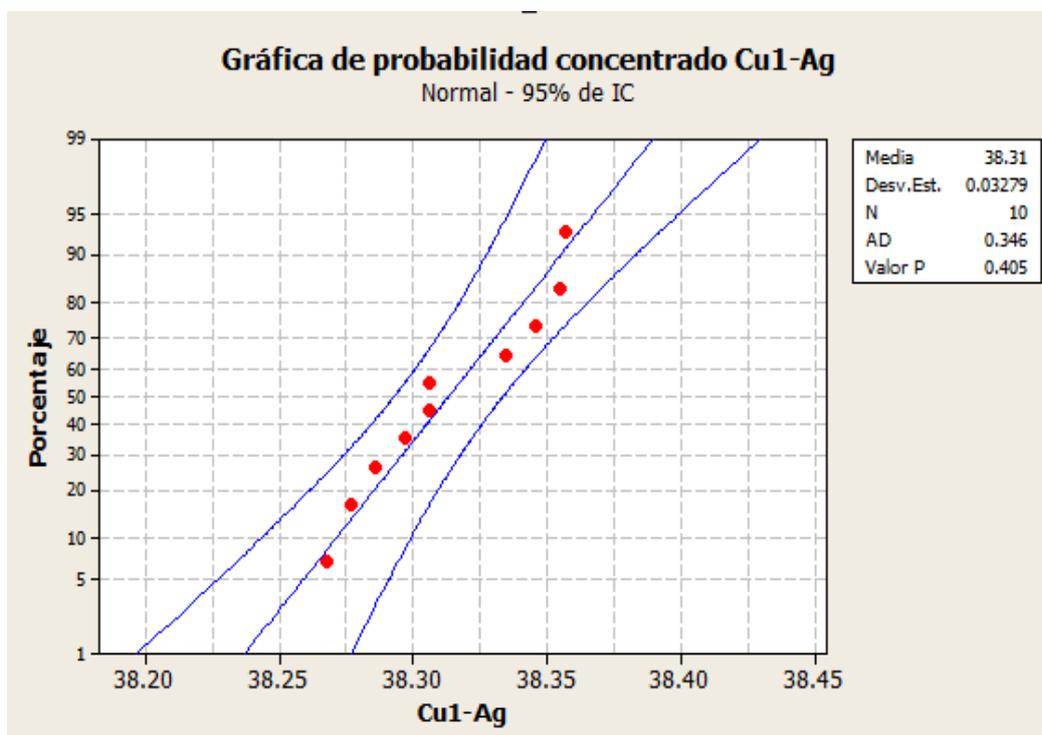


Figura 5.10: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

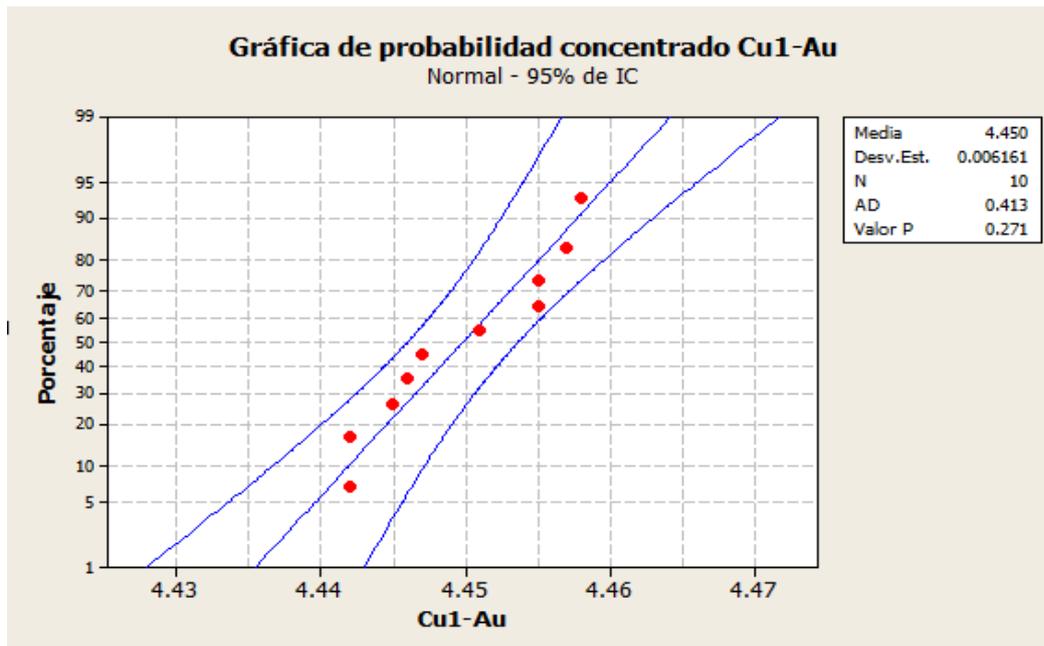


Figura 5.11: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

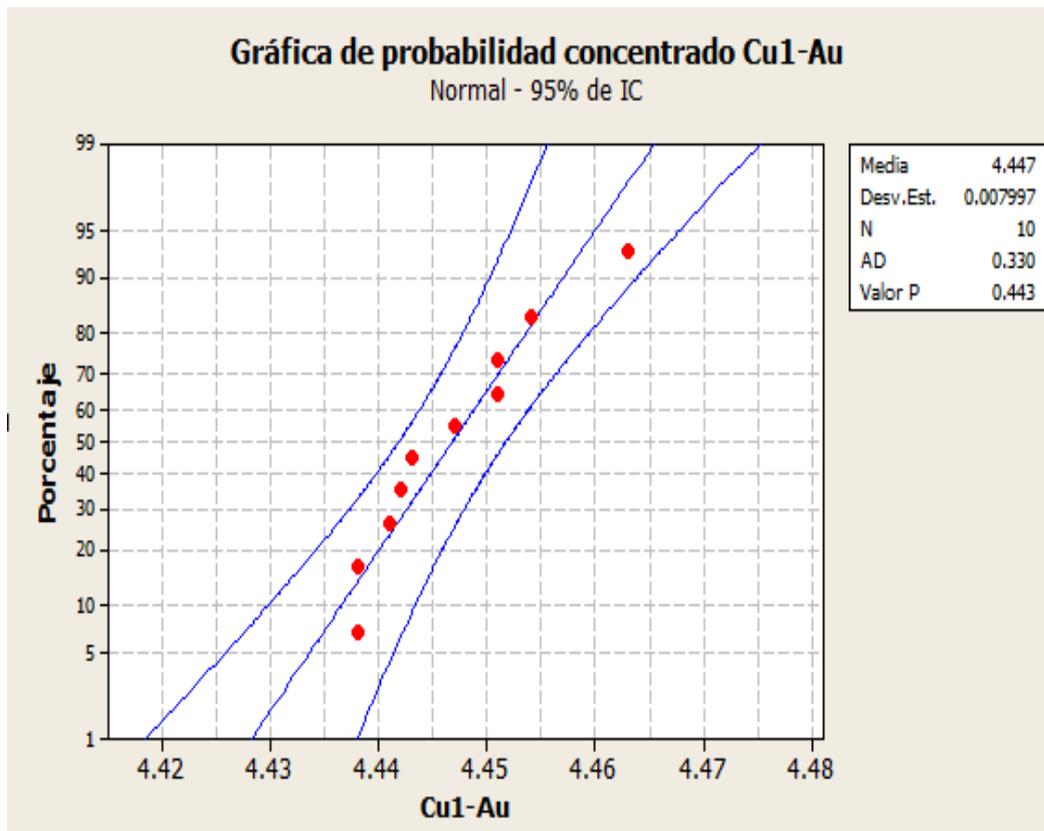


Figura 5.12: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

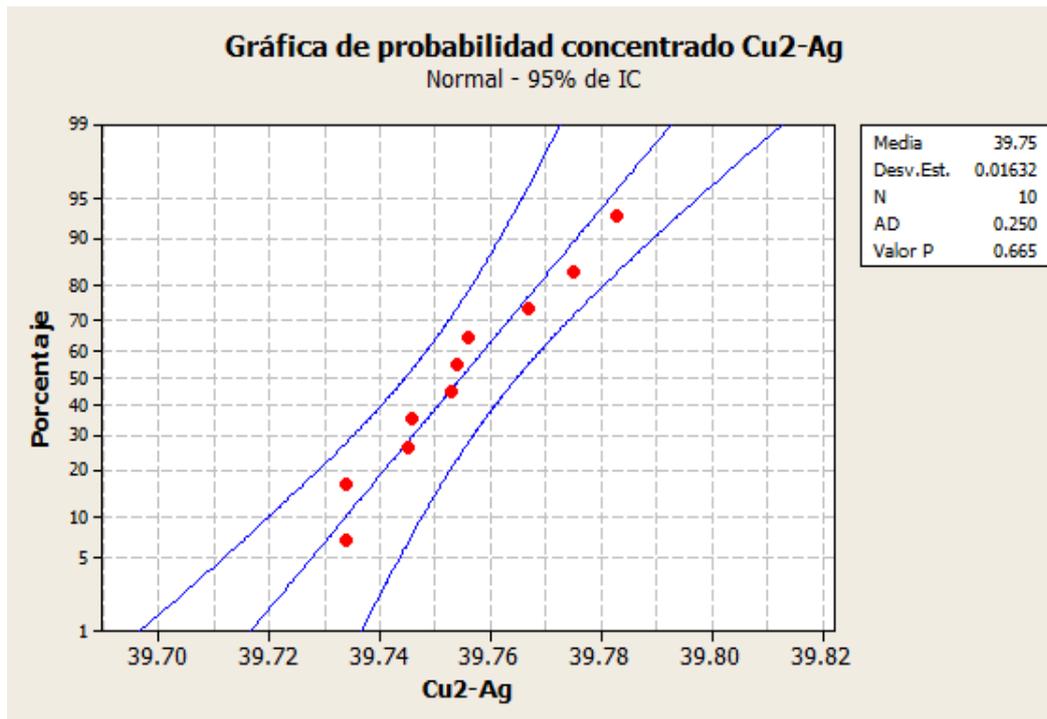


Figura 5.13: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

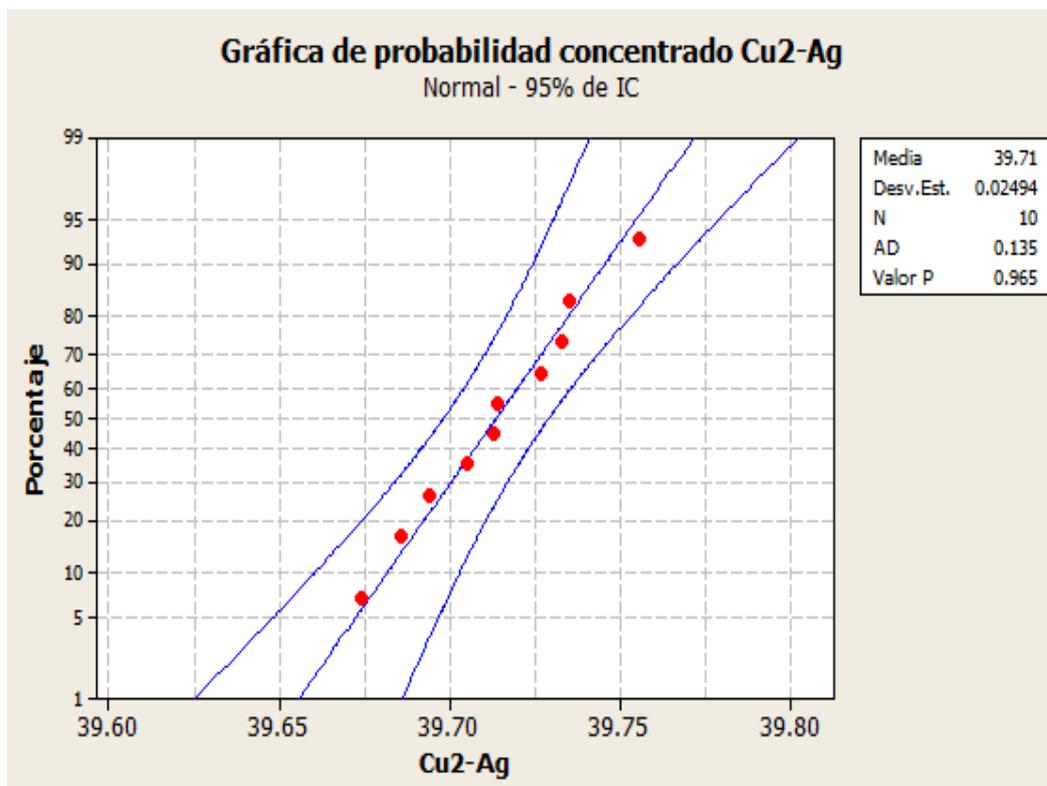


Figura 5.14: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

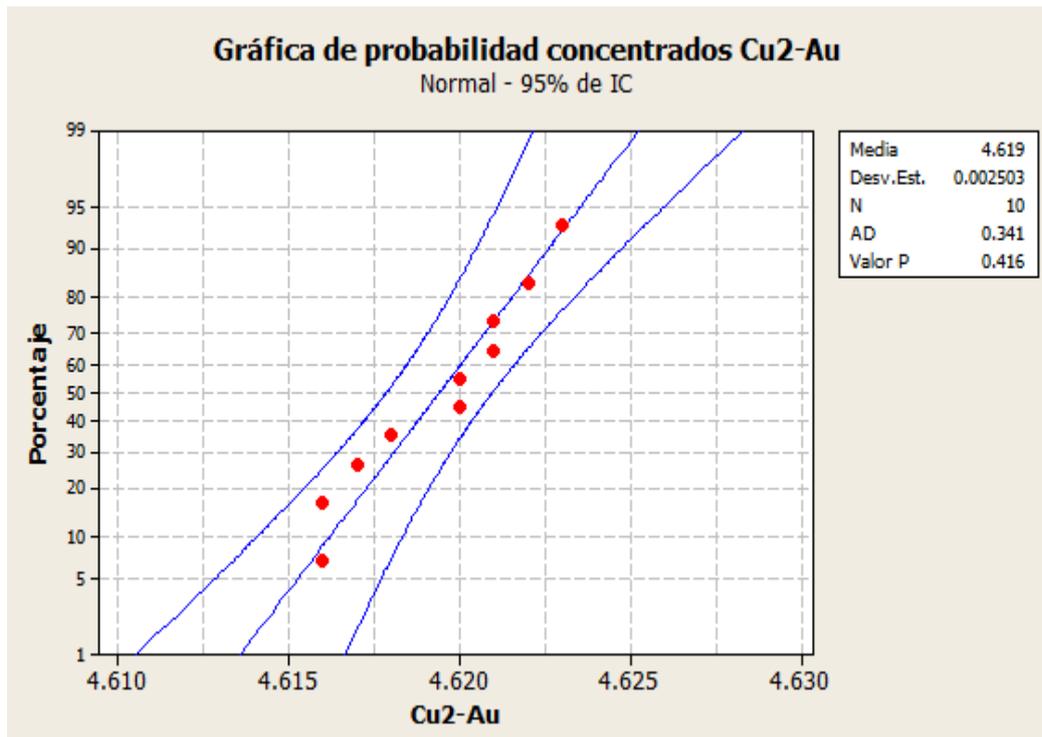


Figura 5.15: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

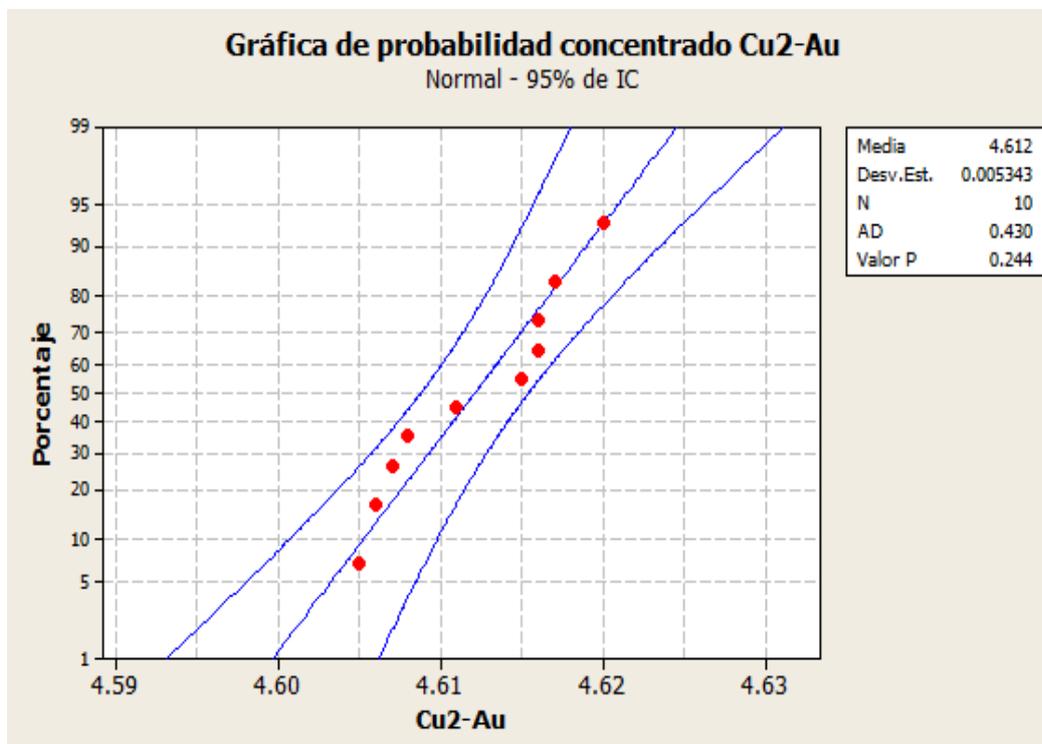


Figura 5.16: Determinando la probabilidad del concentrado de Cobre (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

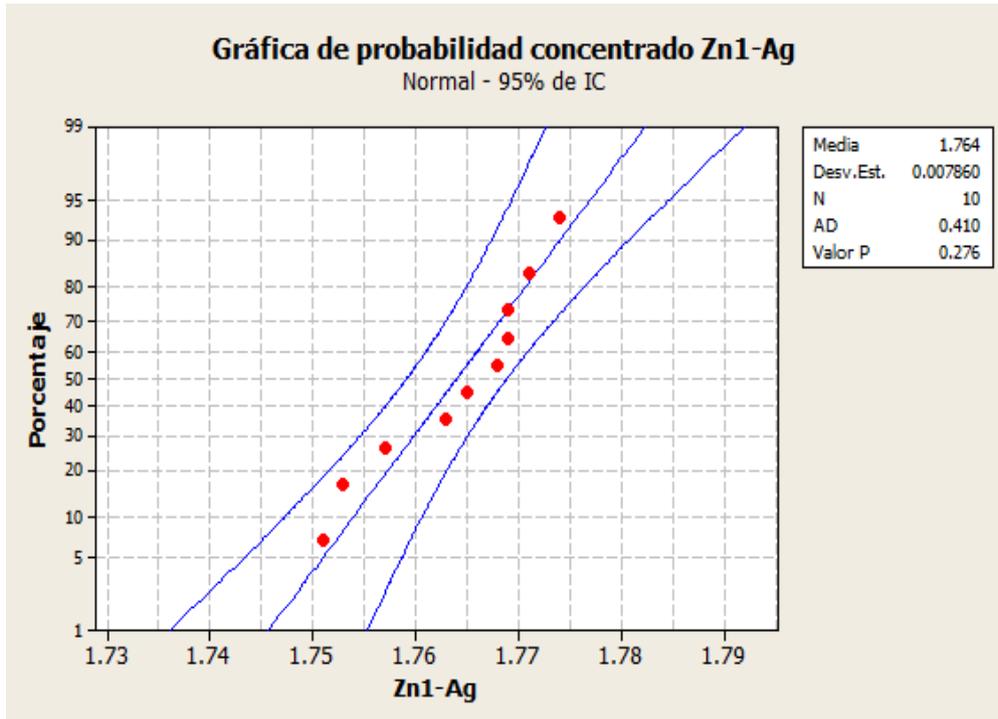


Figura 5.17: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

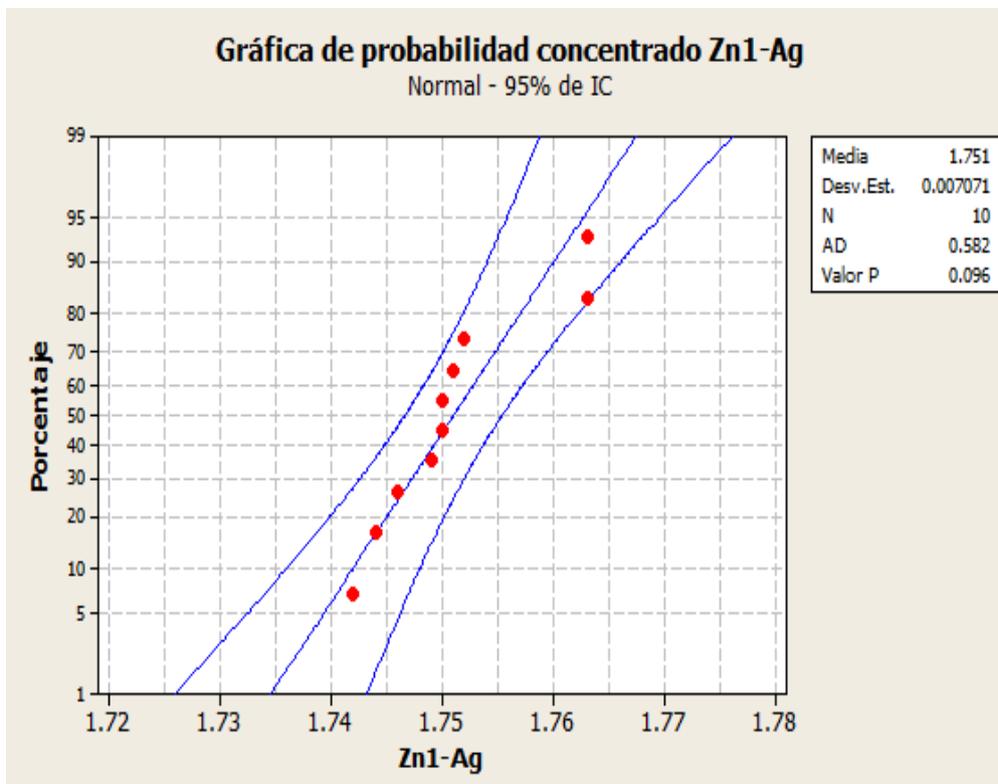


Figura 5.18: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

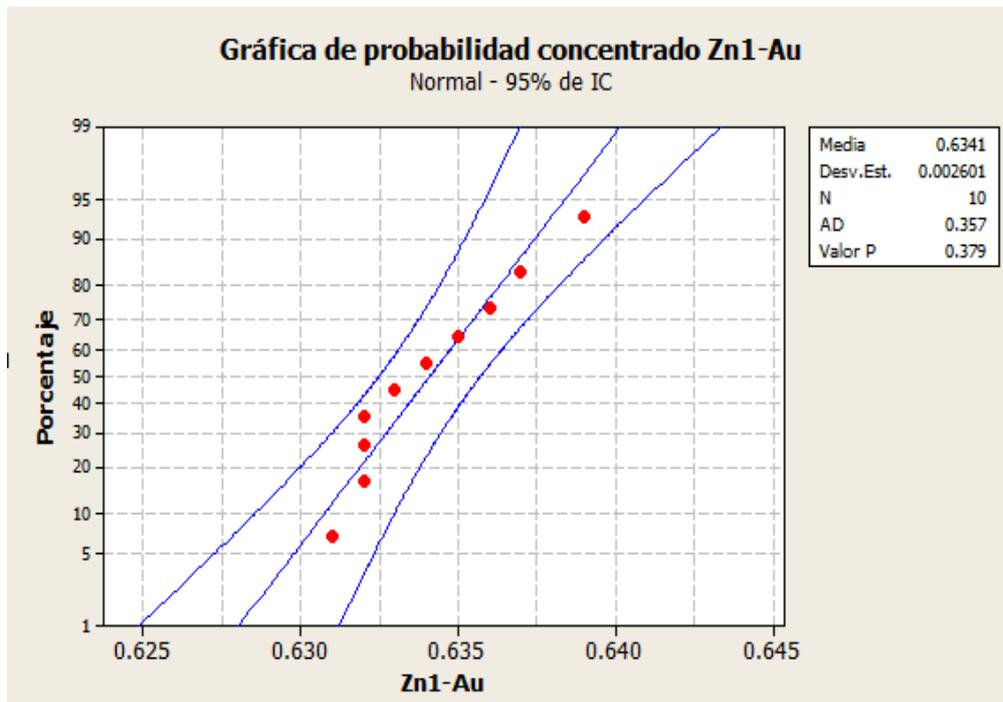


Figura 5.19: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

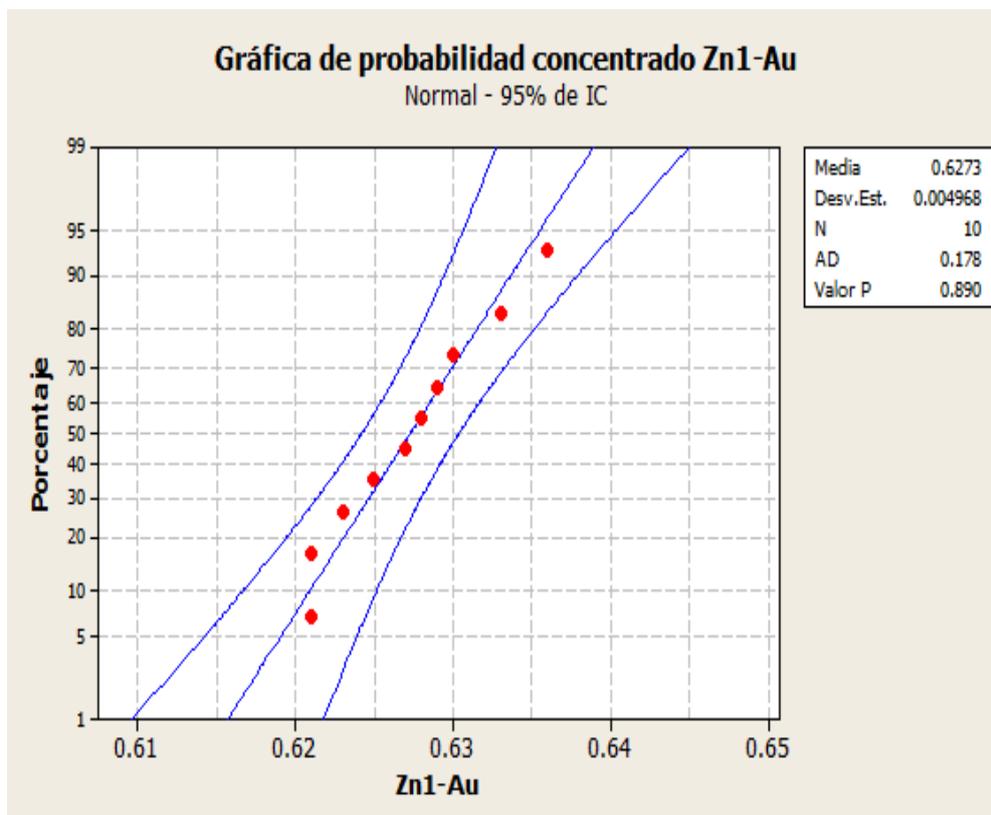


Figura 5.20: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (1) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

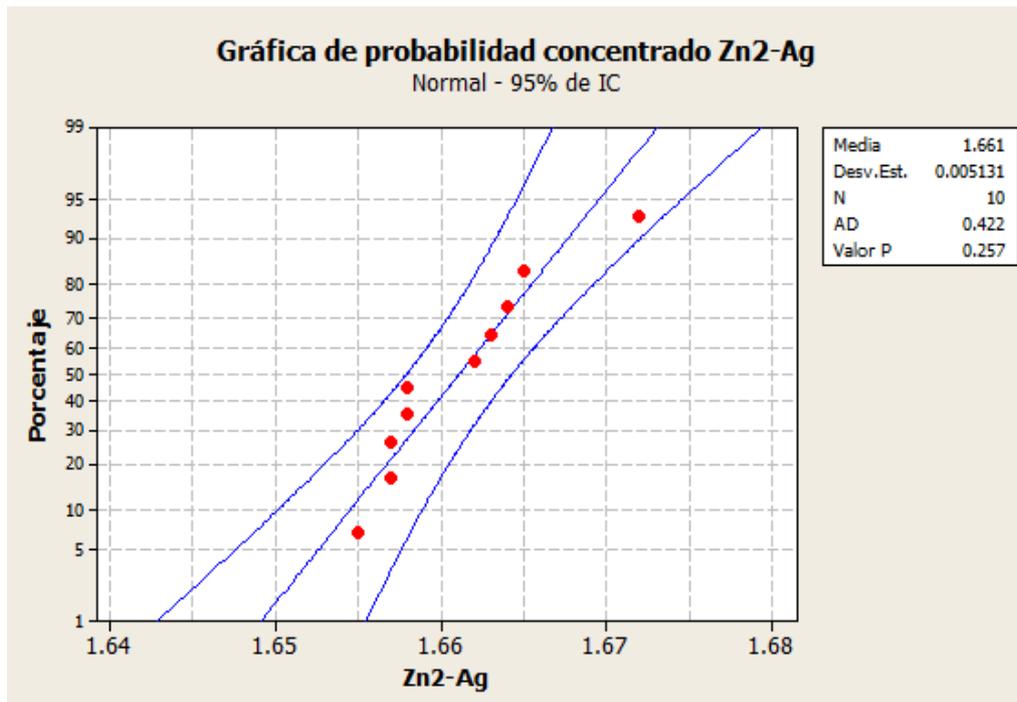


Figura 5.21: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

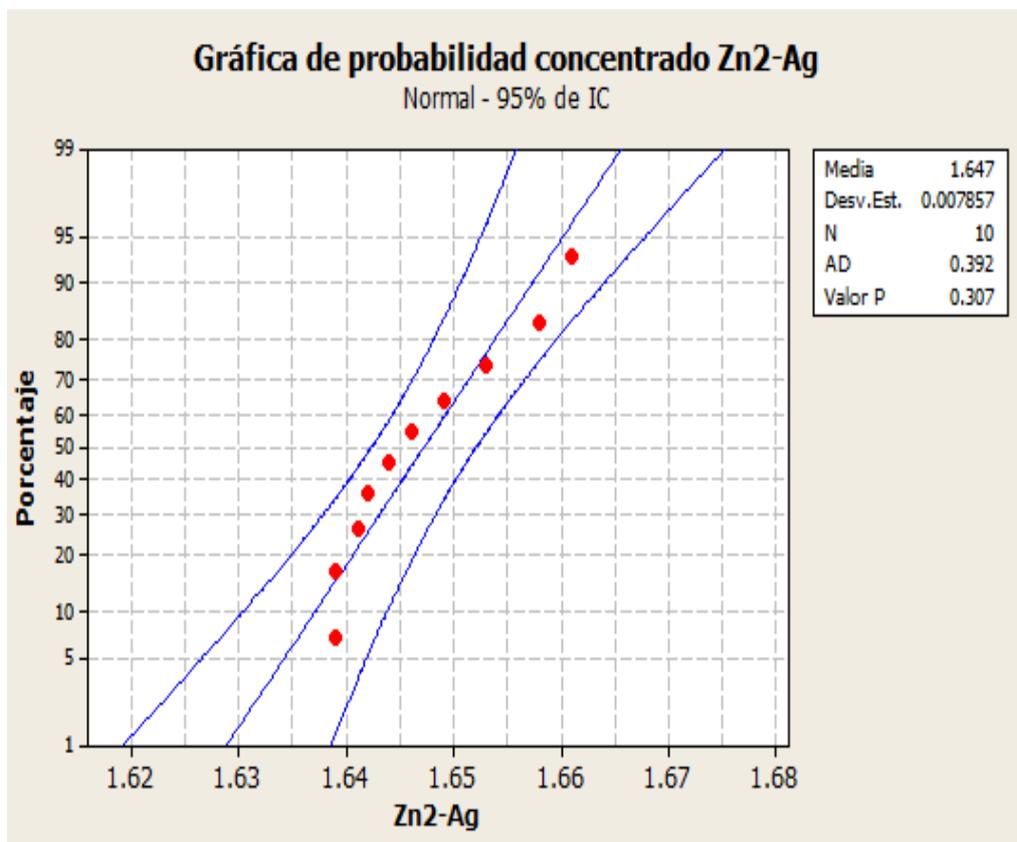


Figura 5.22: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Ag al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

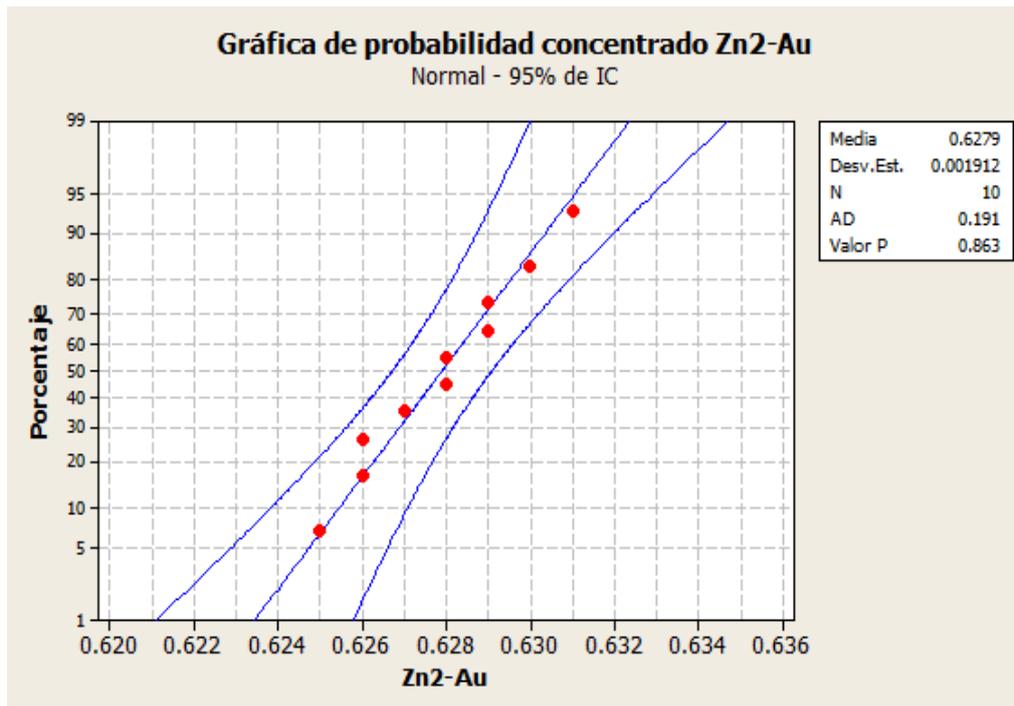


Figura 5.23: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método mejorado.

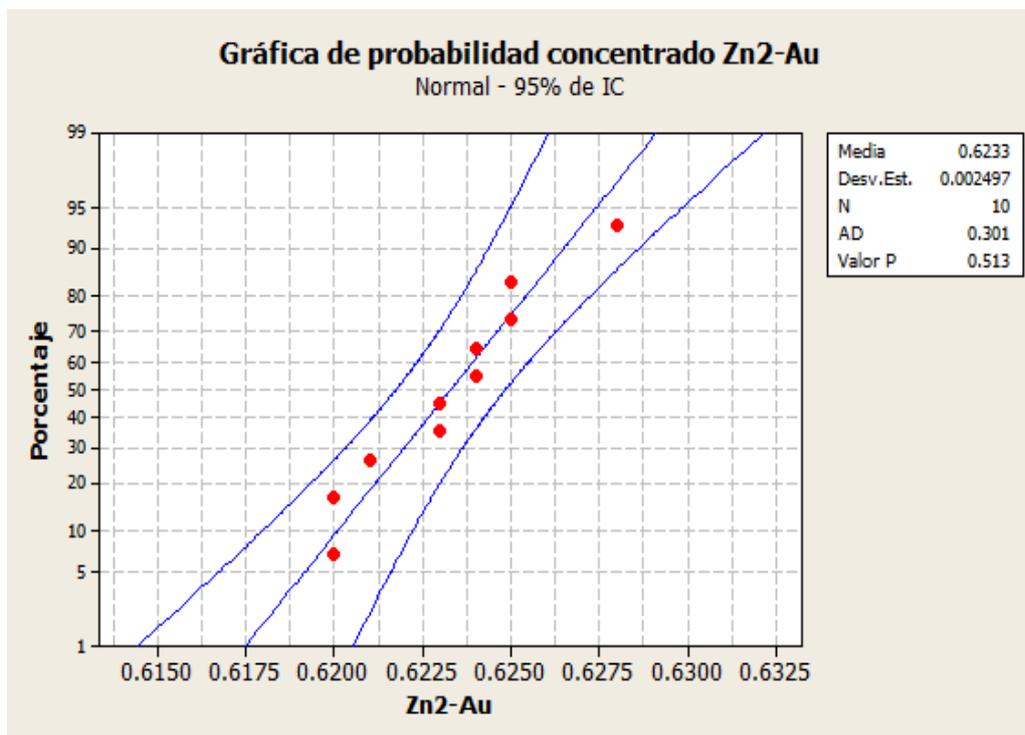
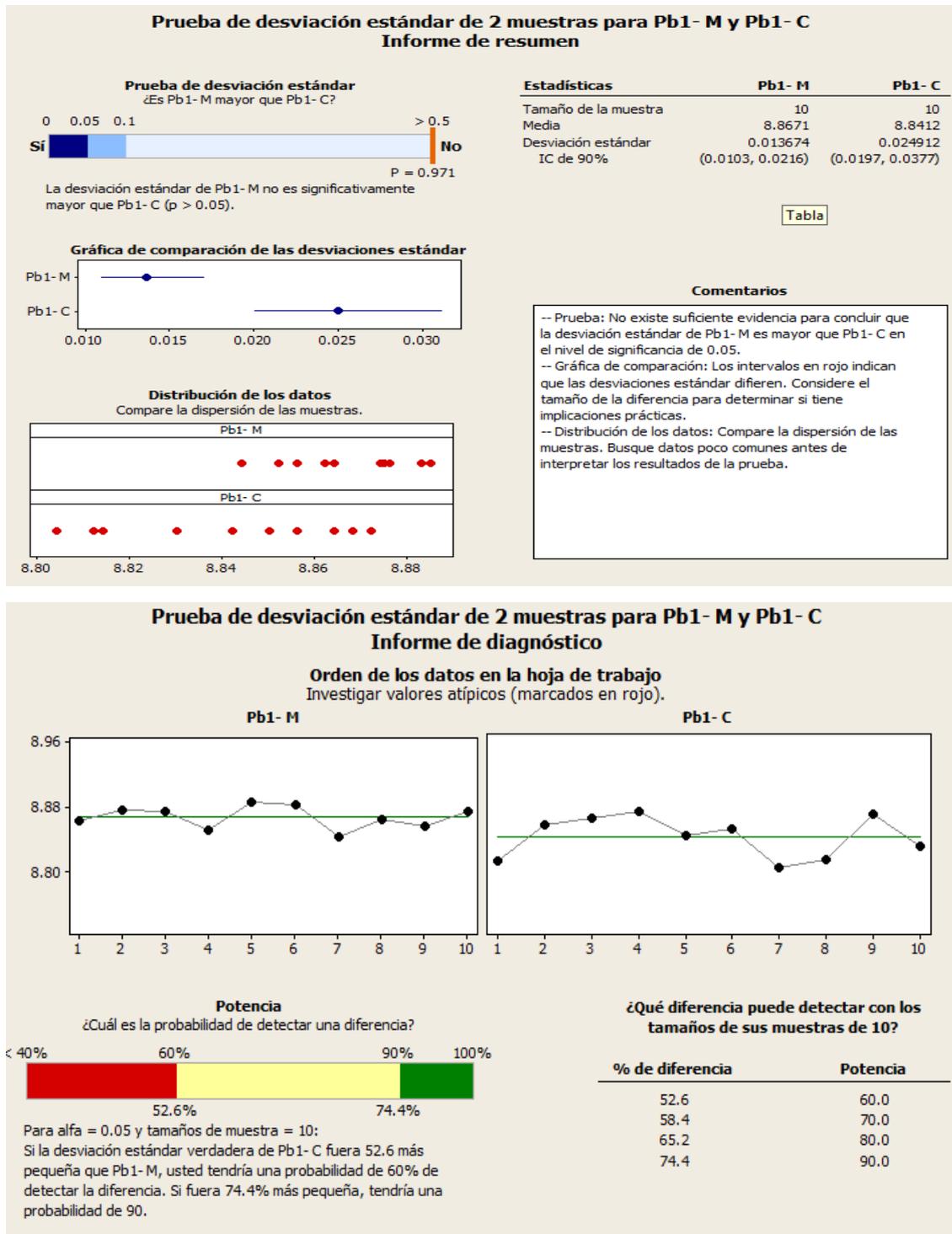


Figura 5.24: Determinando la probabilidad del concentrado de zinc (2) para determinación de Au al 95% de confiabilidad POR MINITAB método clásico.

5.2 Grafica de comparación de los ensayos en concentrado de Pb, Cu y Zn, con precalentamiento de crisoles y sin precalentamiento de crisoles para determinar la prueba de desviación de estándar.



Prueba de desviación estándar de 2 muestras para Pb1- M y Pb1- C Informe de diagnóstico

Orden de los datos en la hoja de trabajo
Investigar valores atípicos (marcados en rojo).

Pb1- M

Pb1- C

Potencia
¿Cuál es la probabilidad de detectar una diferencia?

< 40% 60% 90% 100%

52.6% 74.4%

Para $\alpha = 0.05$ y tamaños de muestra = 10:
Si la desviación estándar verdadera de Pb1- C fuera 52.6% más pequeña que Pb1- M, usted tendría una probabilidad de 60% de detectar la diferencia. Si fuera 74.4% más pequeña, tendría una probabilidad de 90%.

¿Qué diferencia puede detectar con los tamaños de sus muestras de 10?

% de diferencia	Potencia
52.6	60.0
58.4	70.0
65.2	80.0
74.4	90.0

Figura 5.25-26: Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 1.

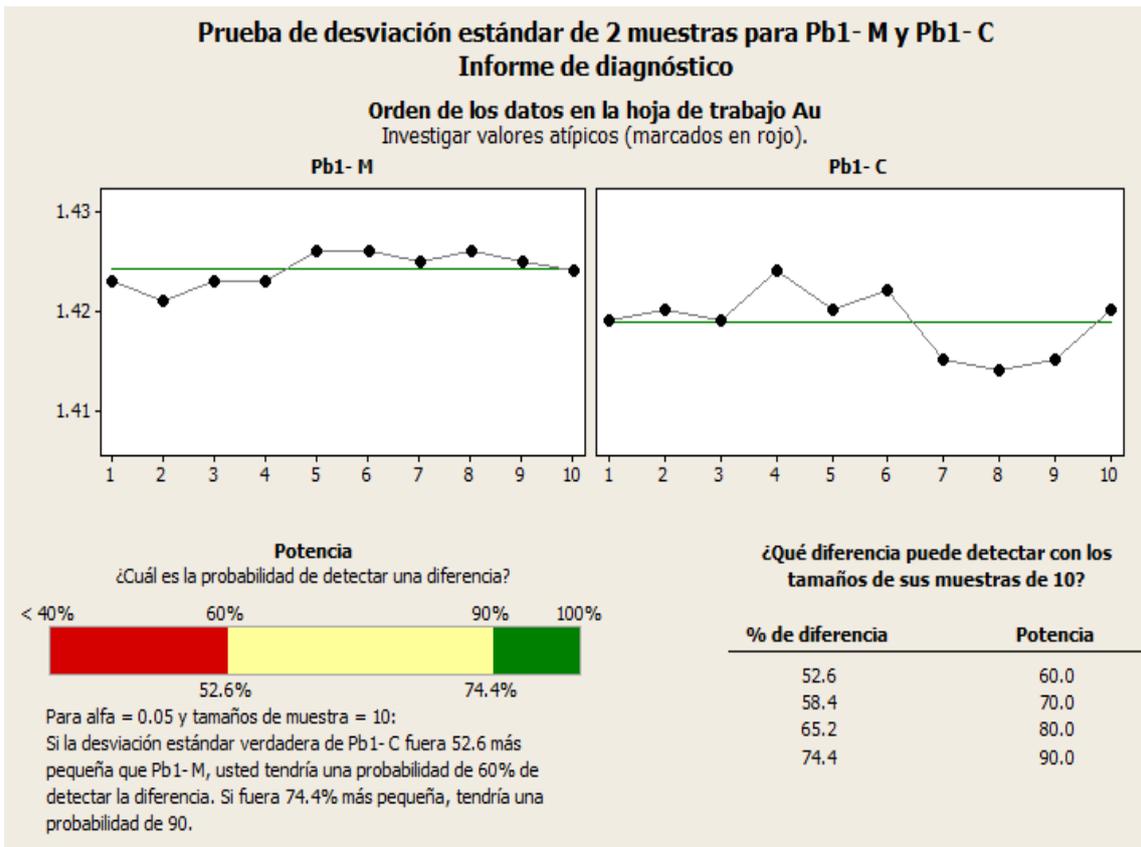
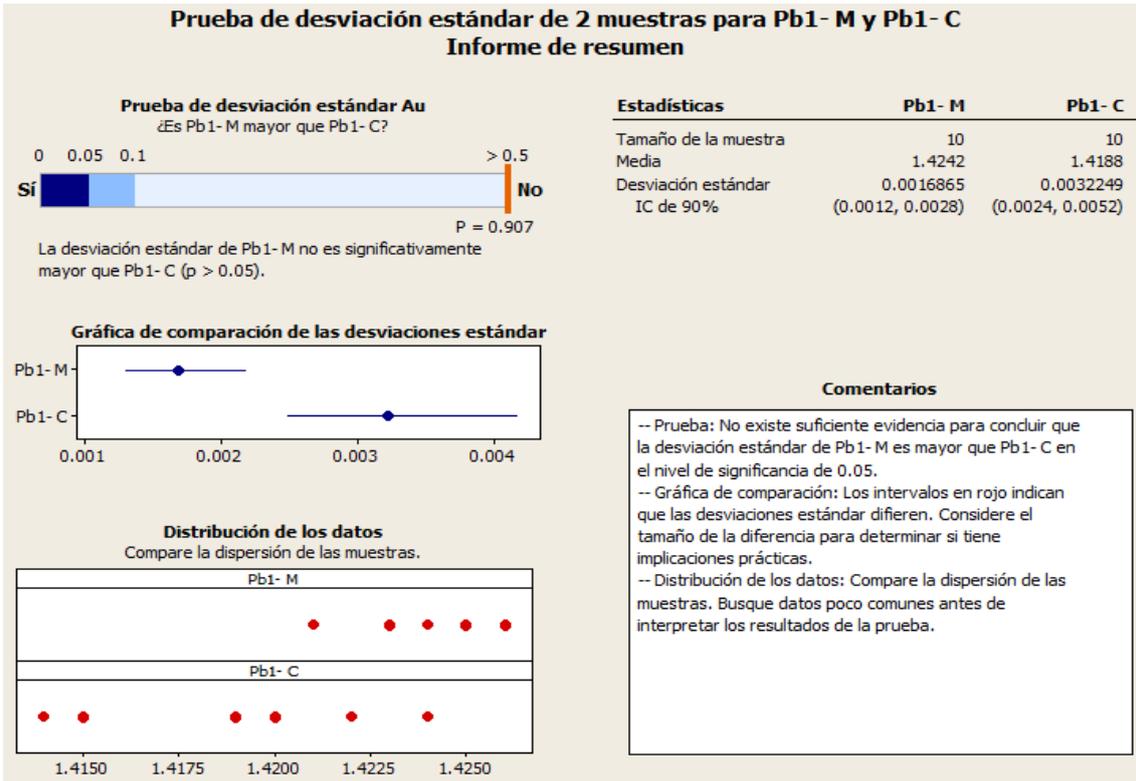


Figura 5.27-28: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 1.

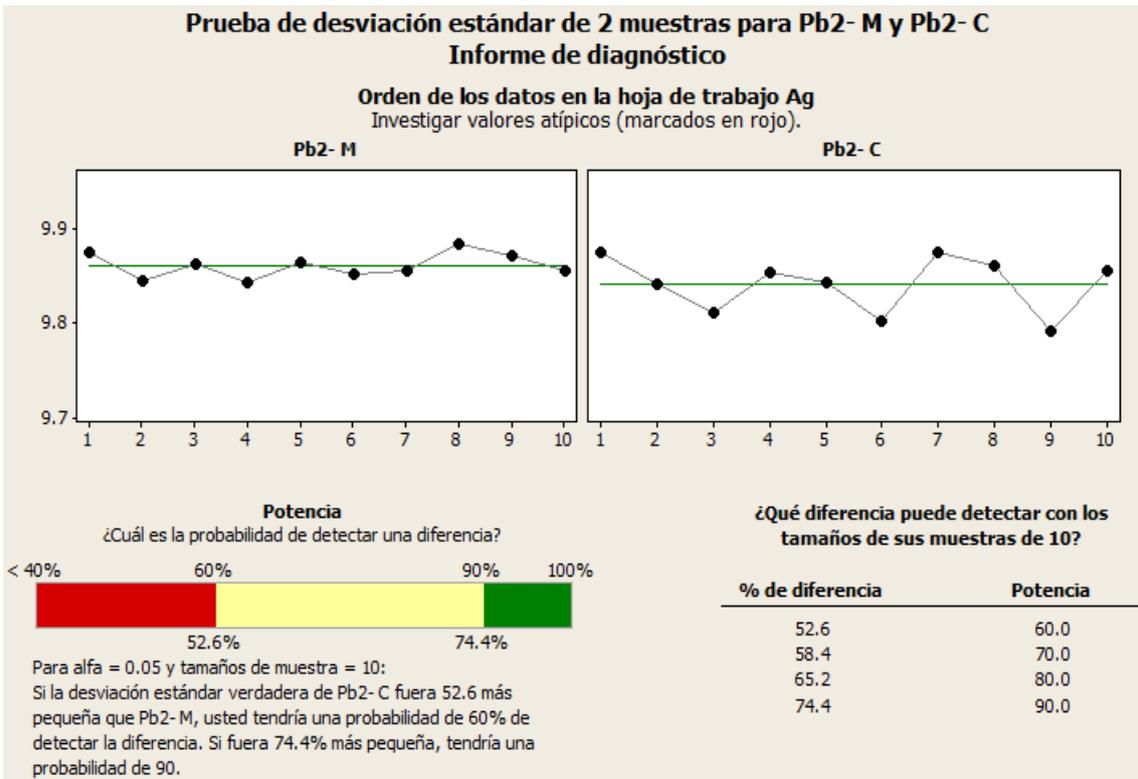
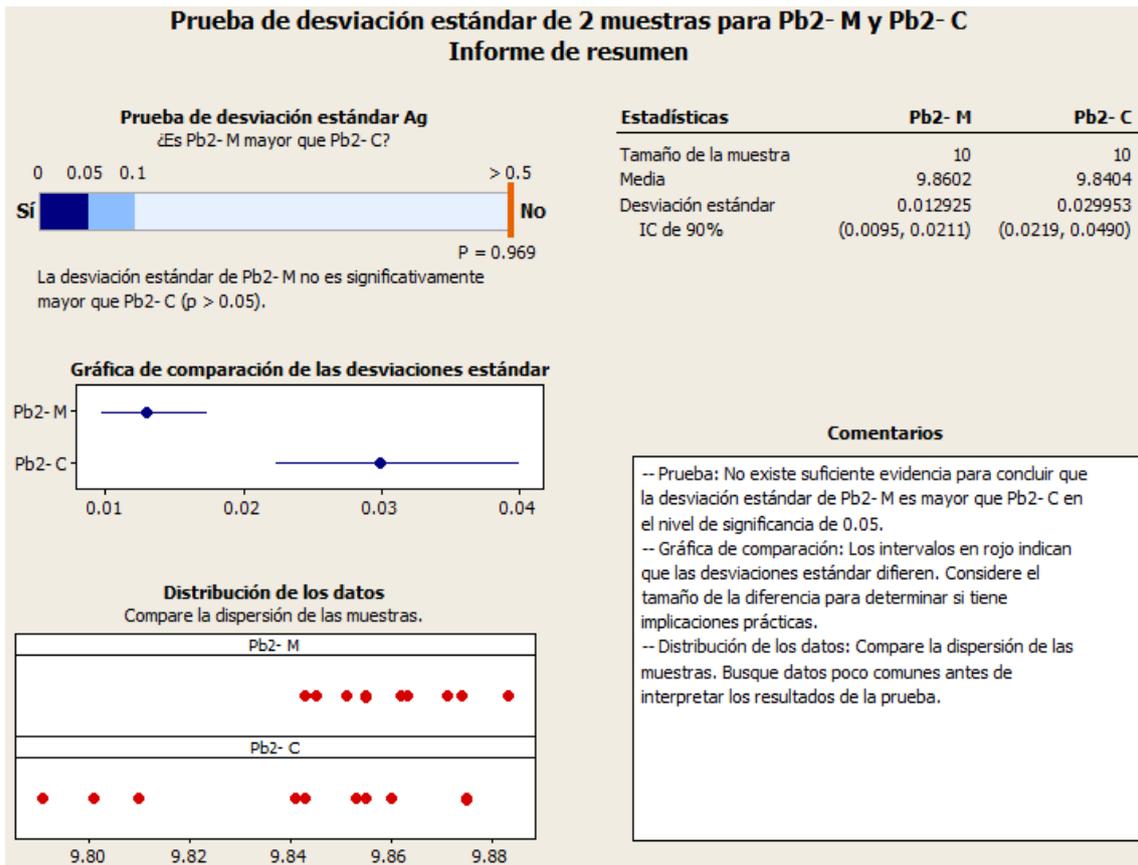


Figura 5.29-30: Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 2.

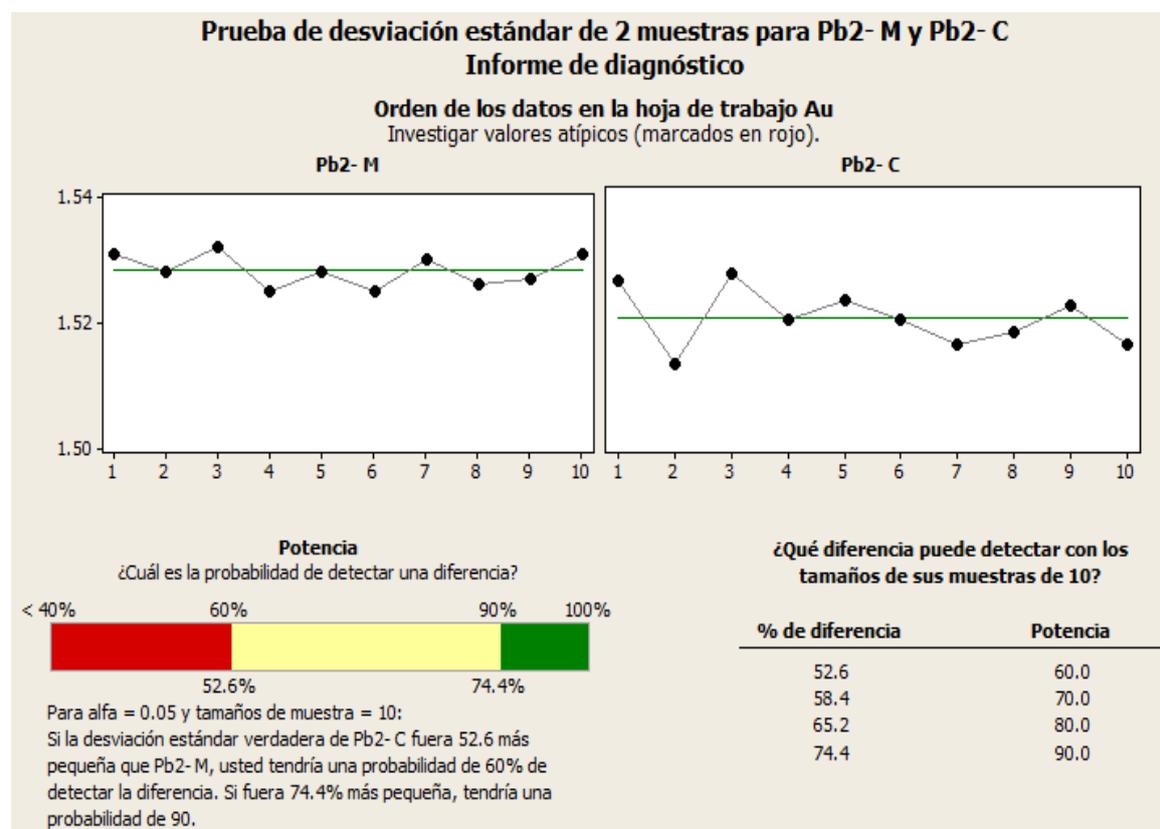
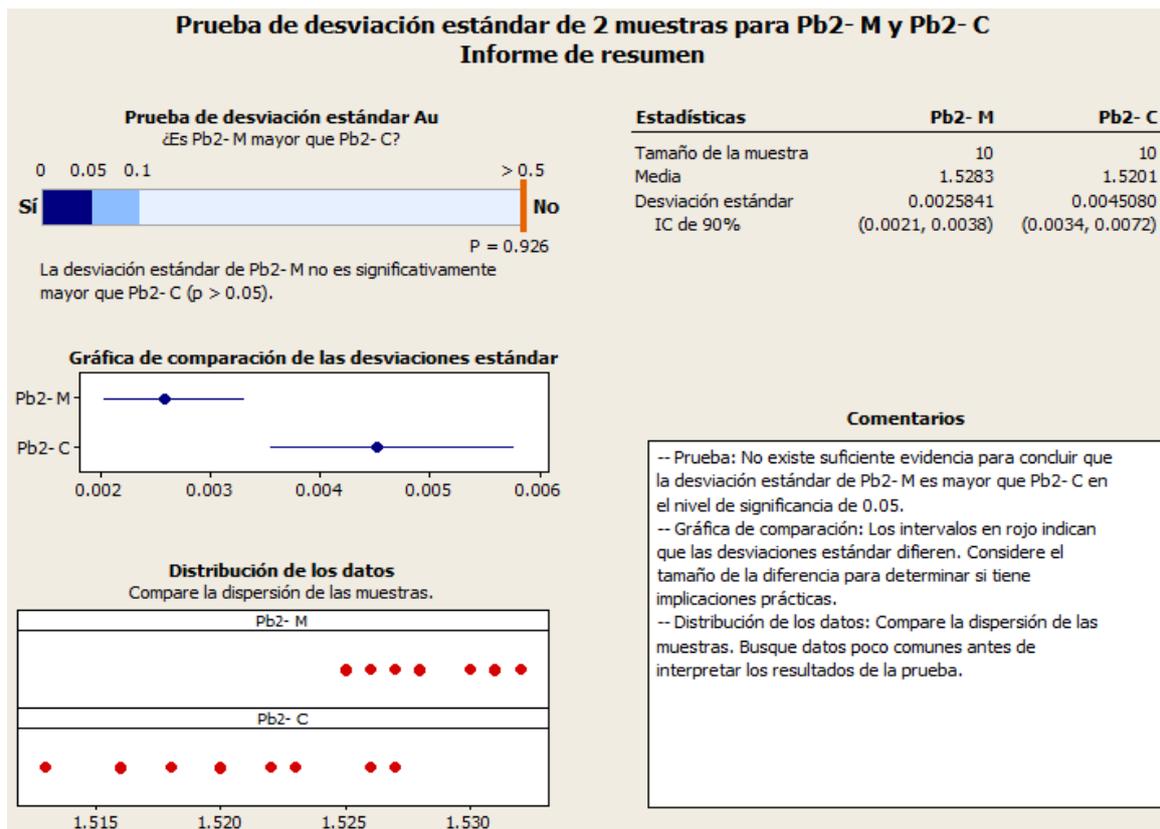


Figura 5.31-32: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de plomo 2.

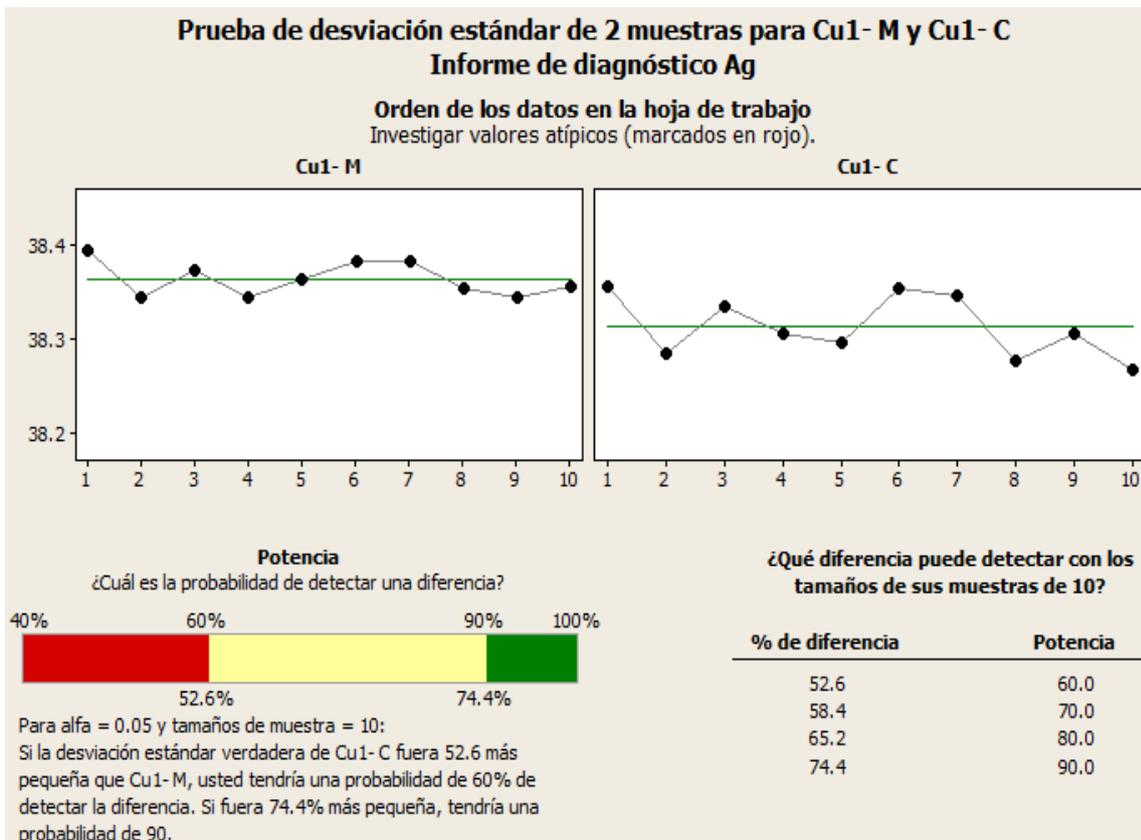
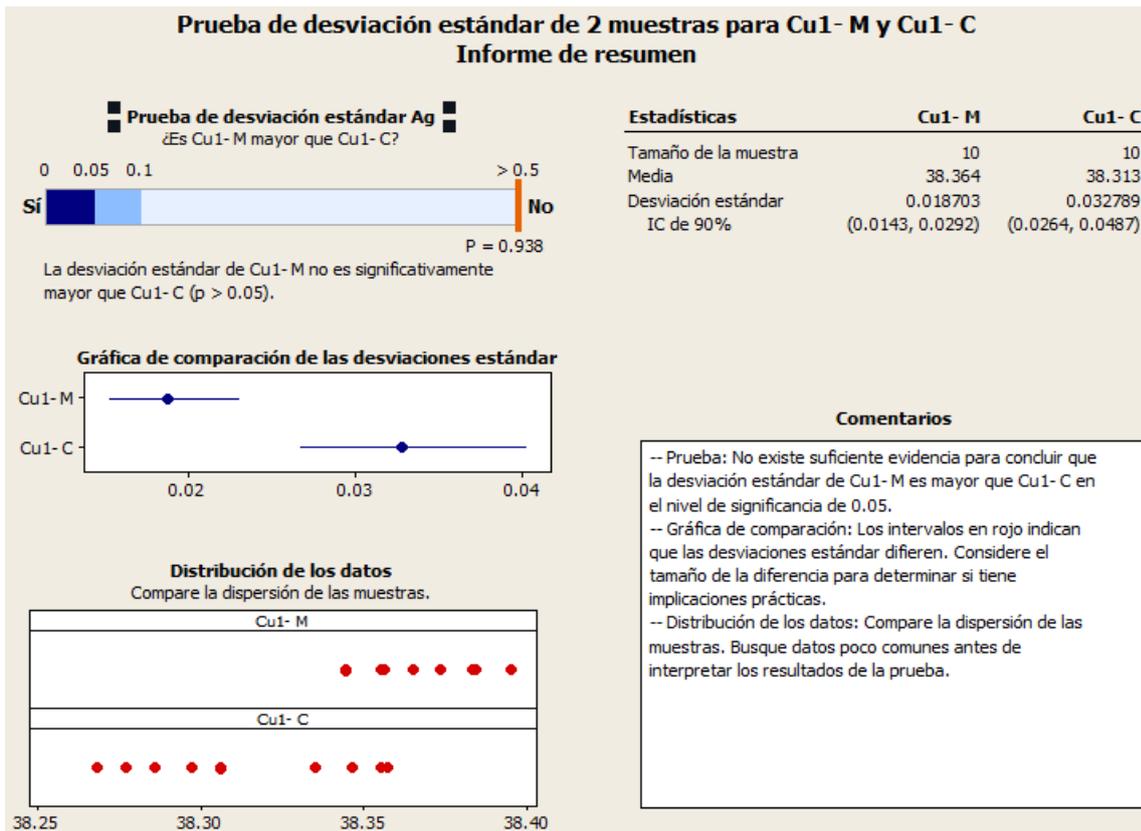


Figura 5.33-34: Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 1.

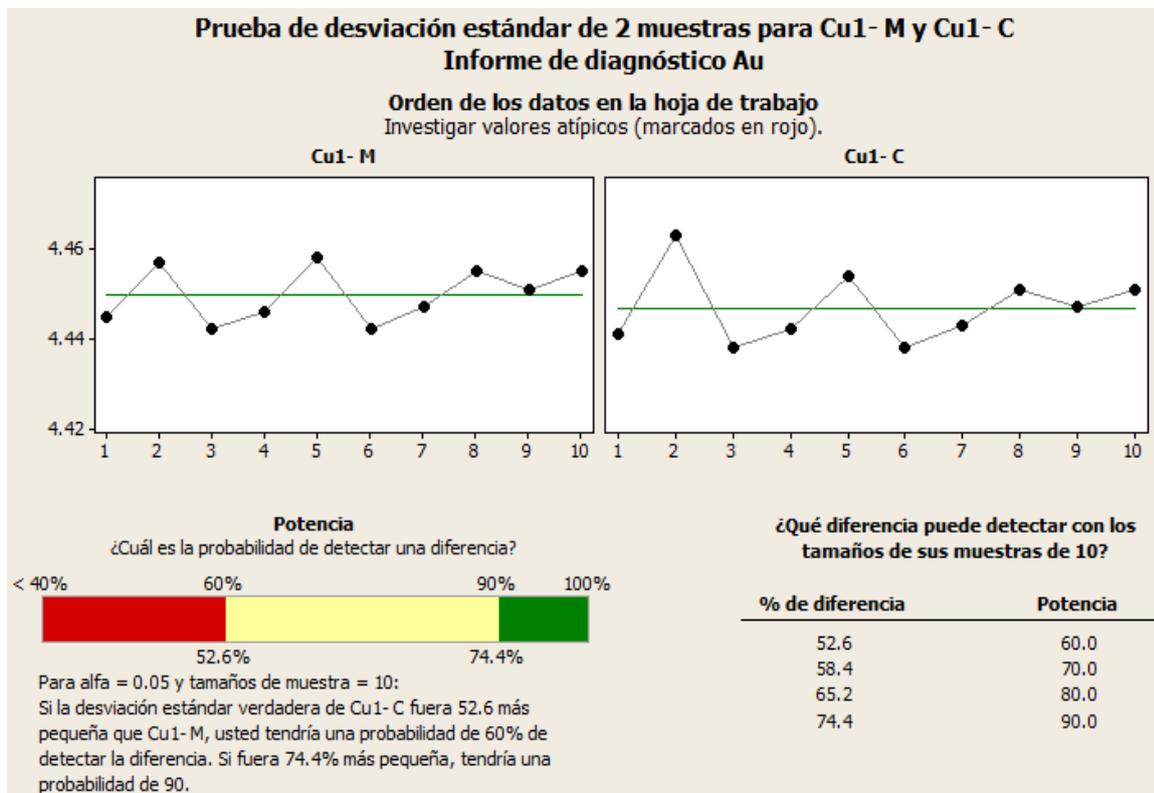
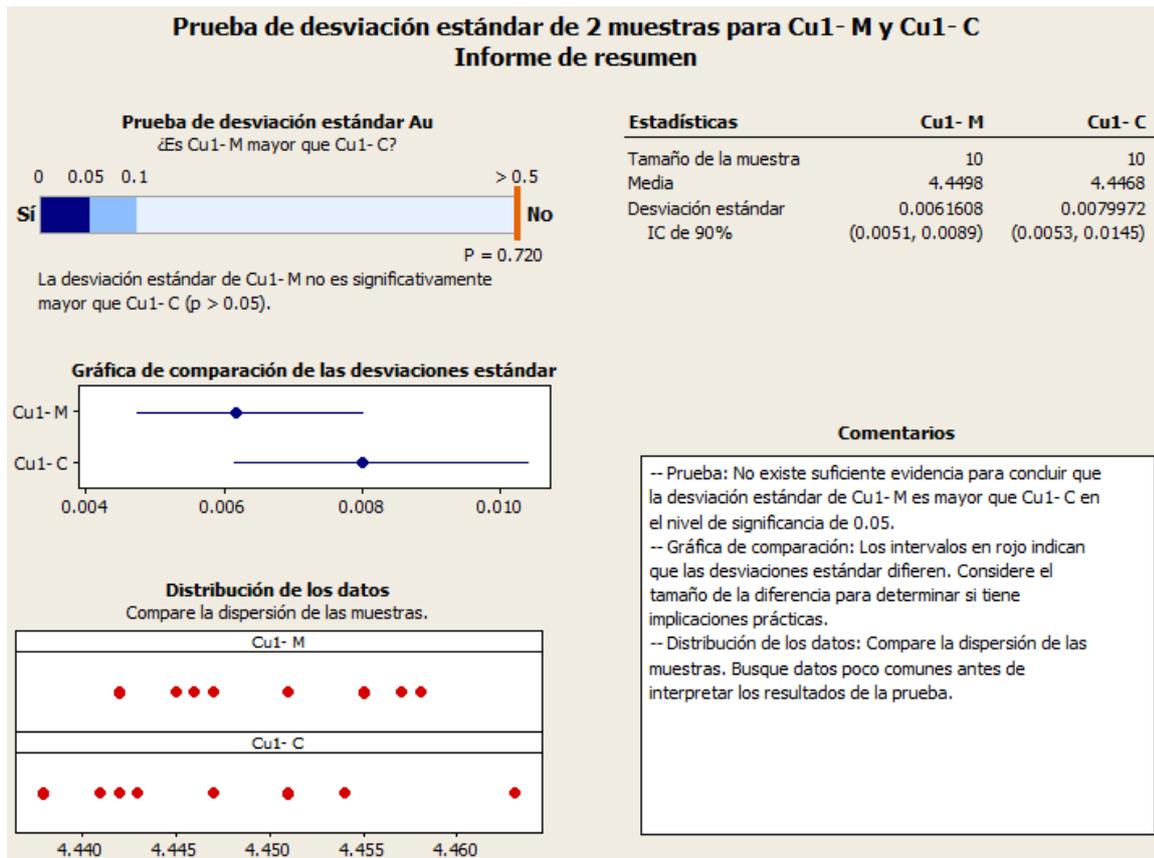


Figura 5.35-36: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 1.

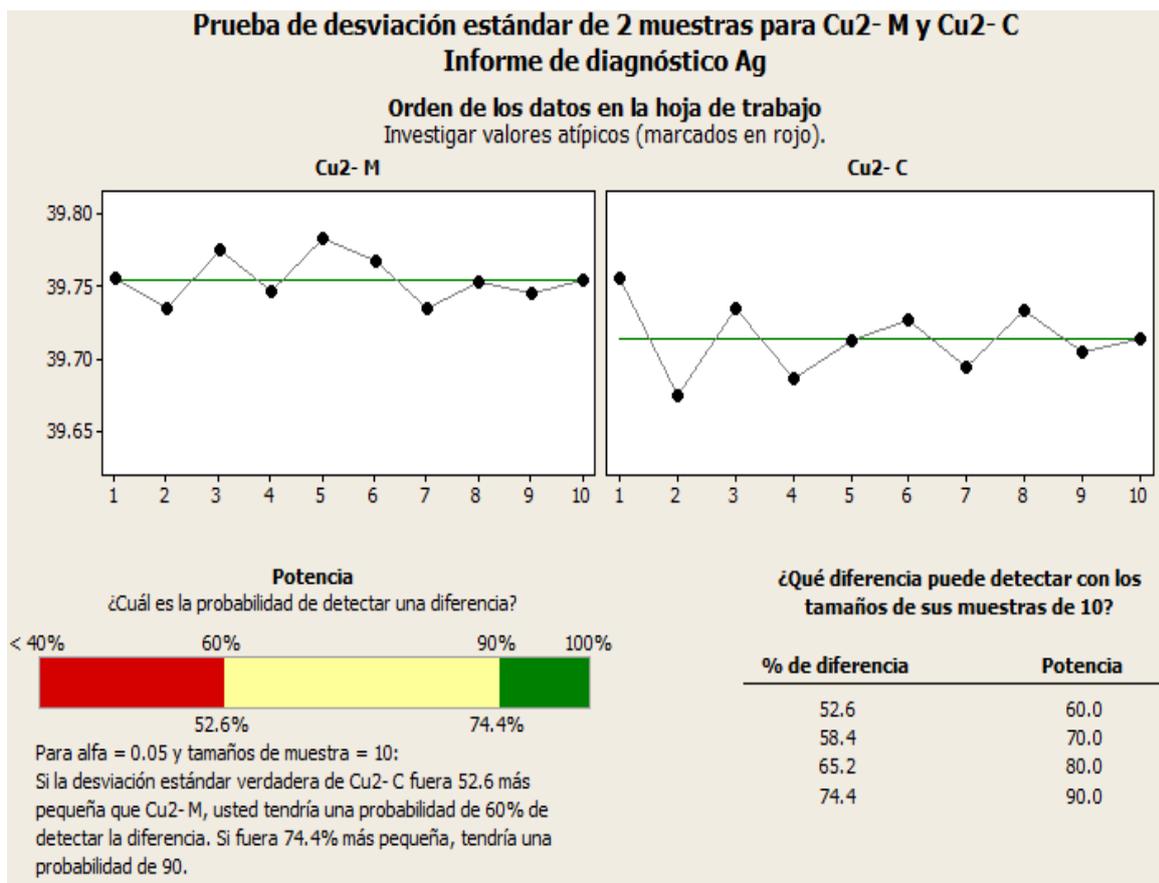
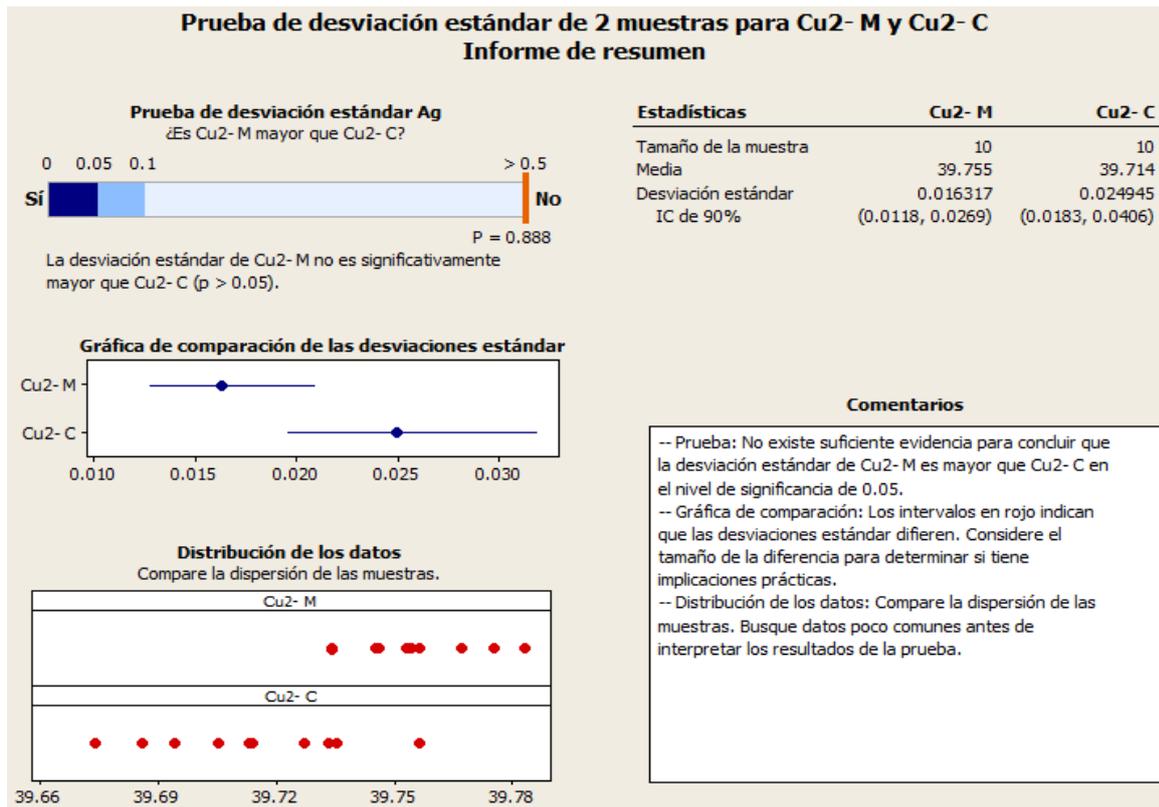


Figura 5.37-38: Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 2.

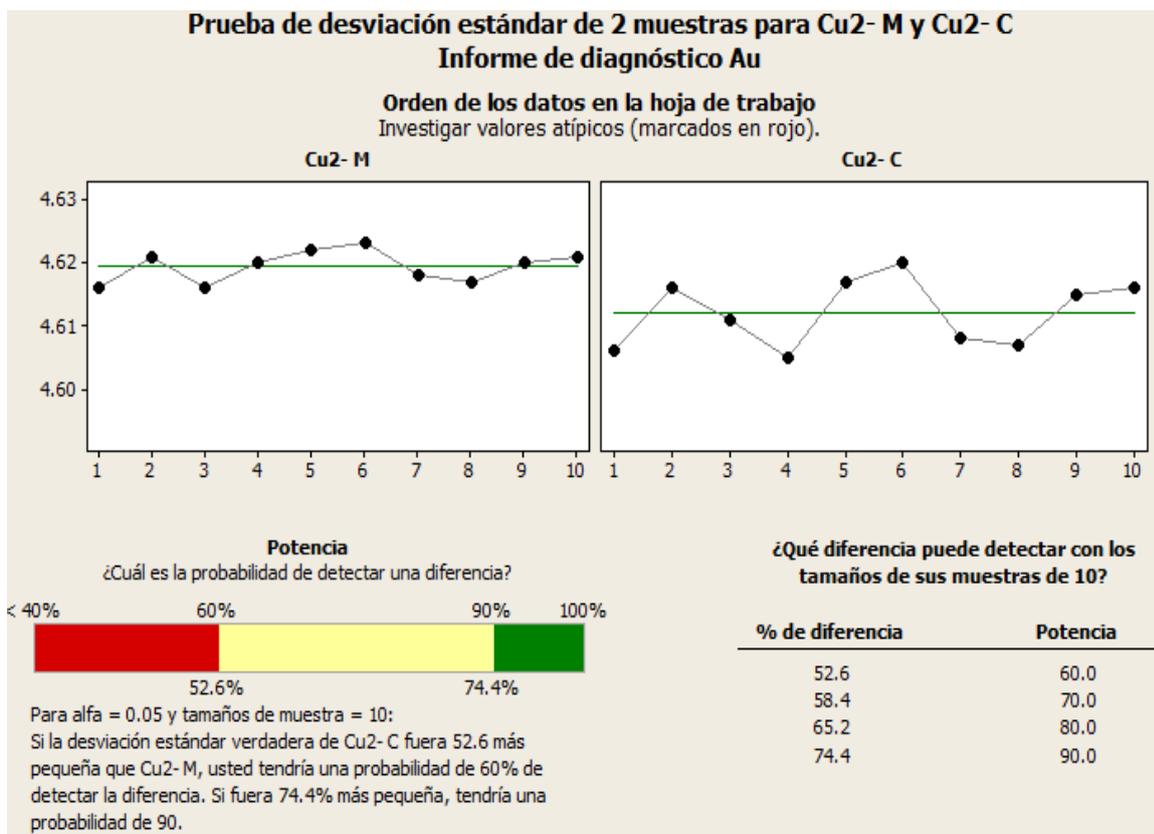
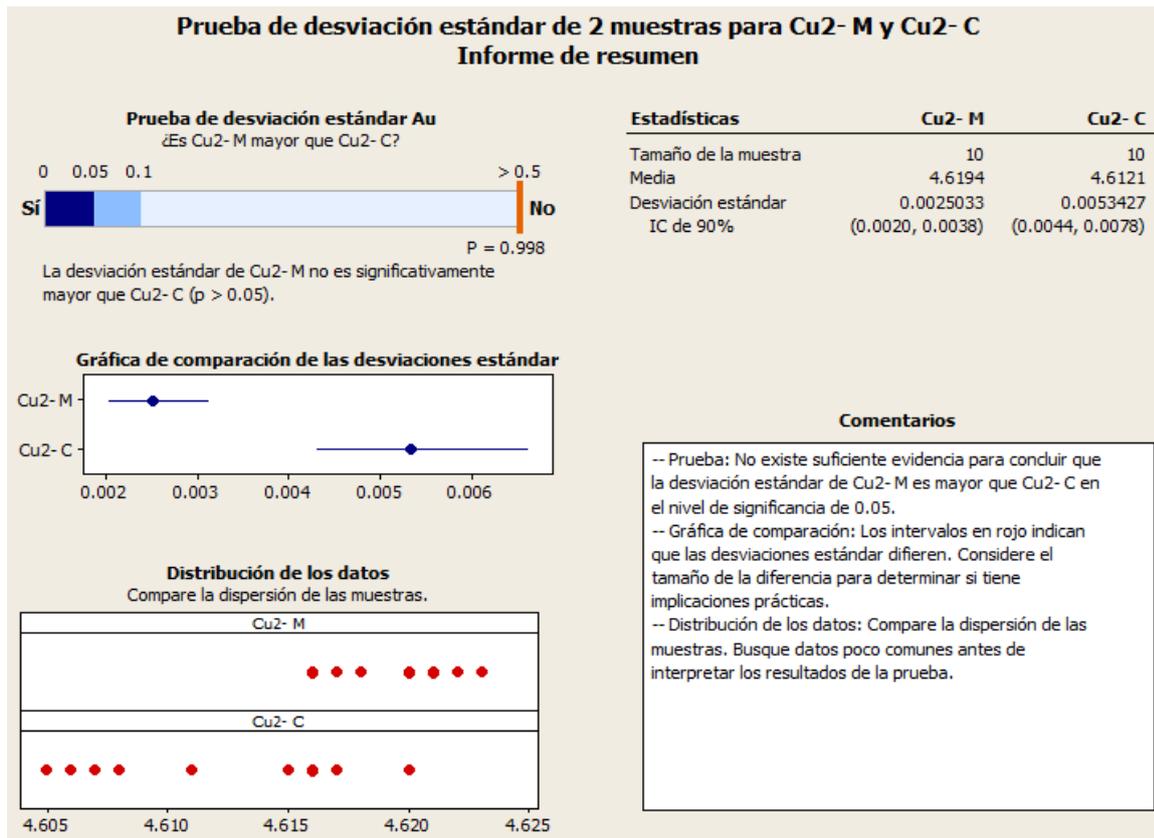


Figura 5.39-40: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Cobre 2.

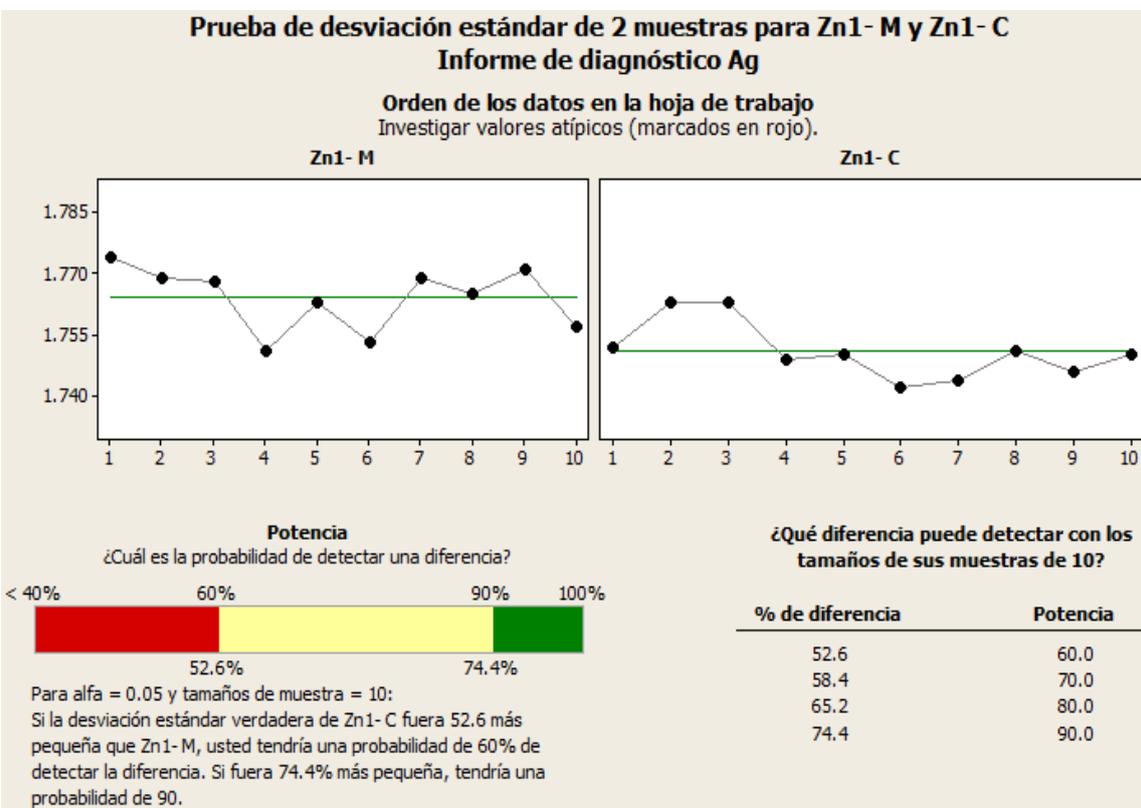
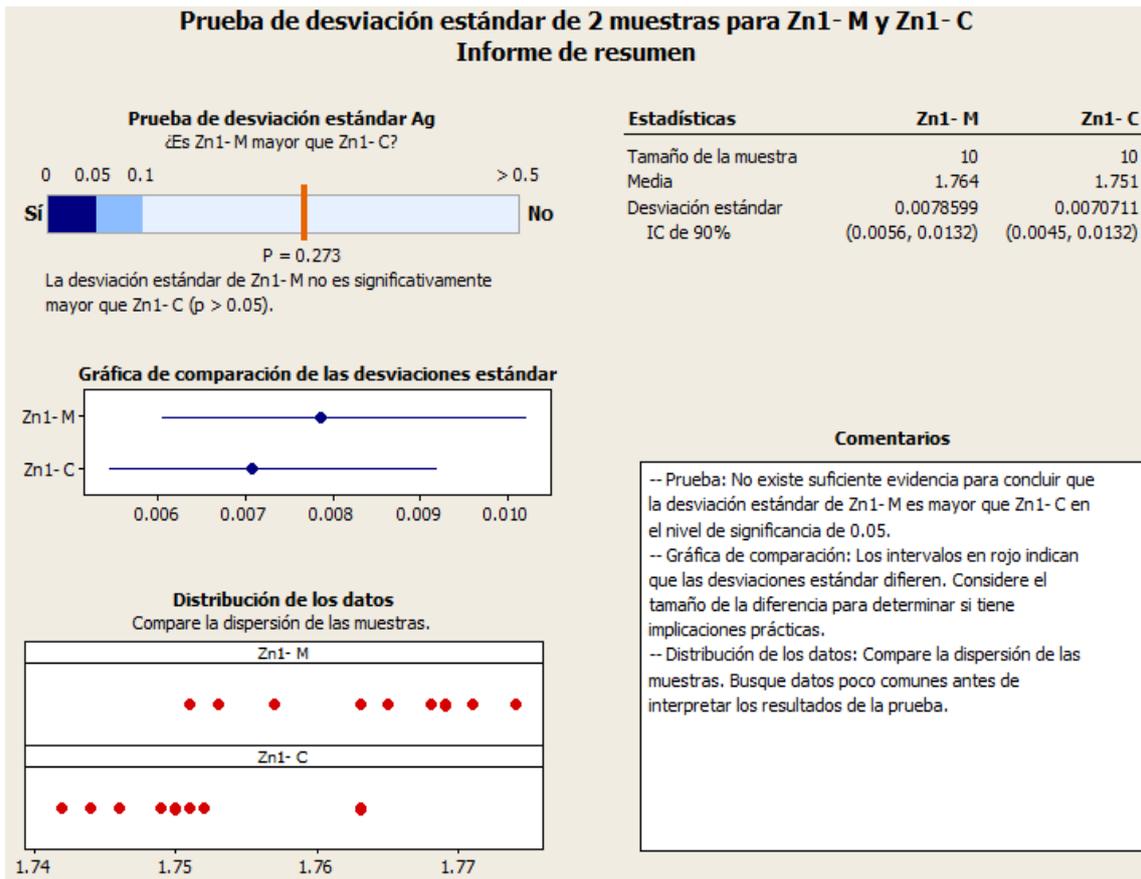


Figura 5.41-42: Desviación estándar de Ag. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 1.

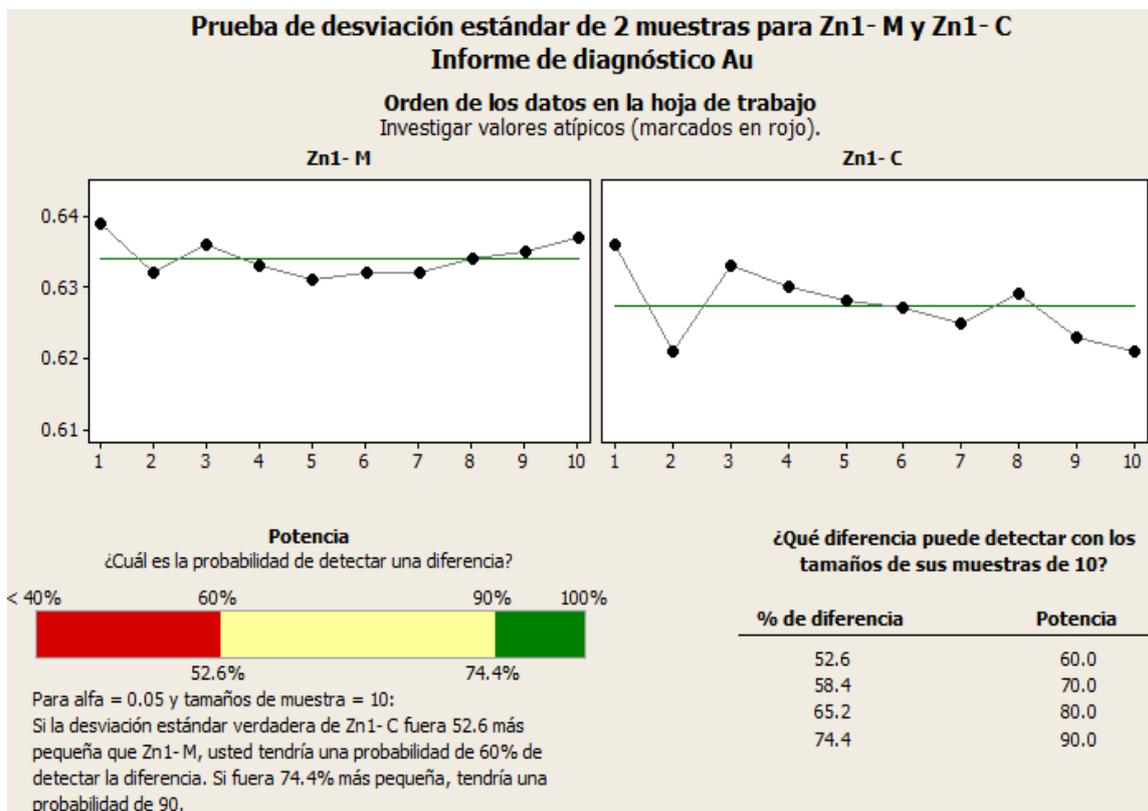
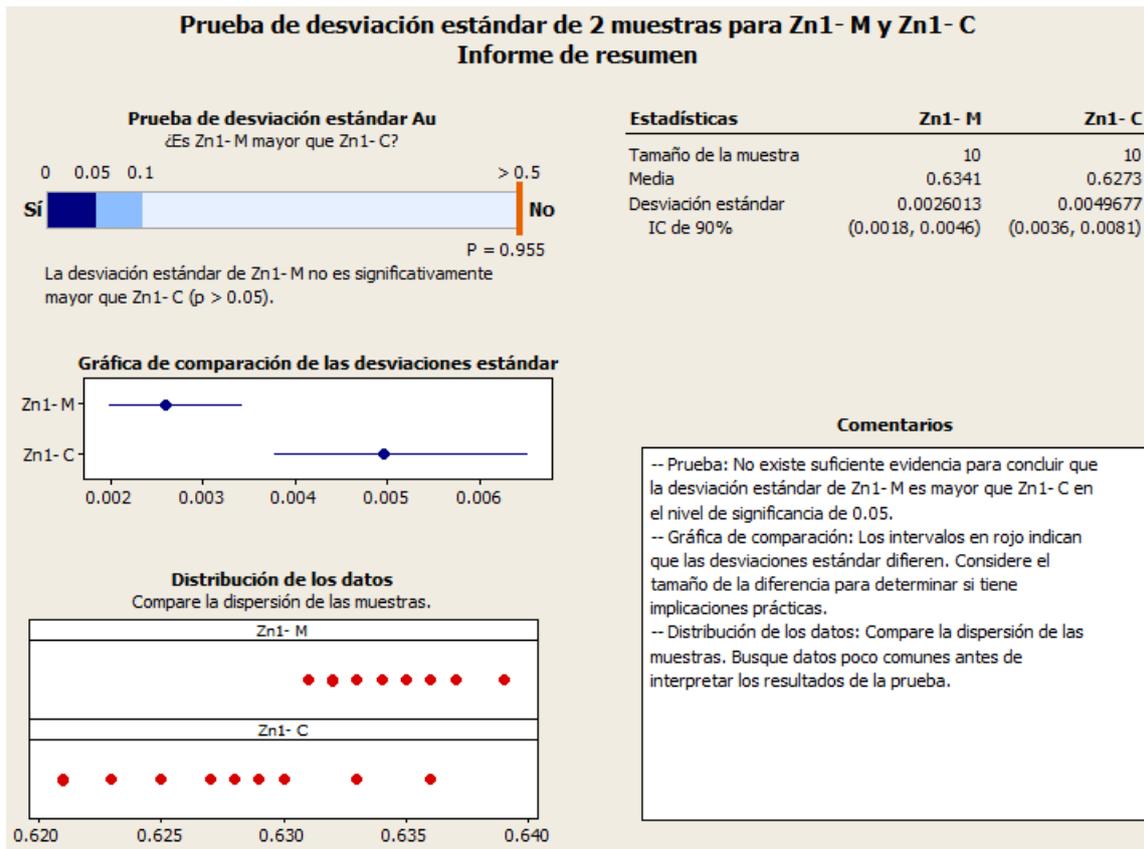


Figura 5.43-44: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 1.

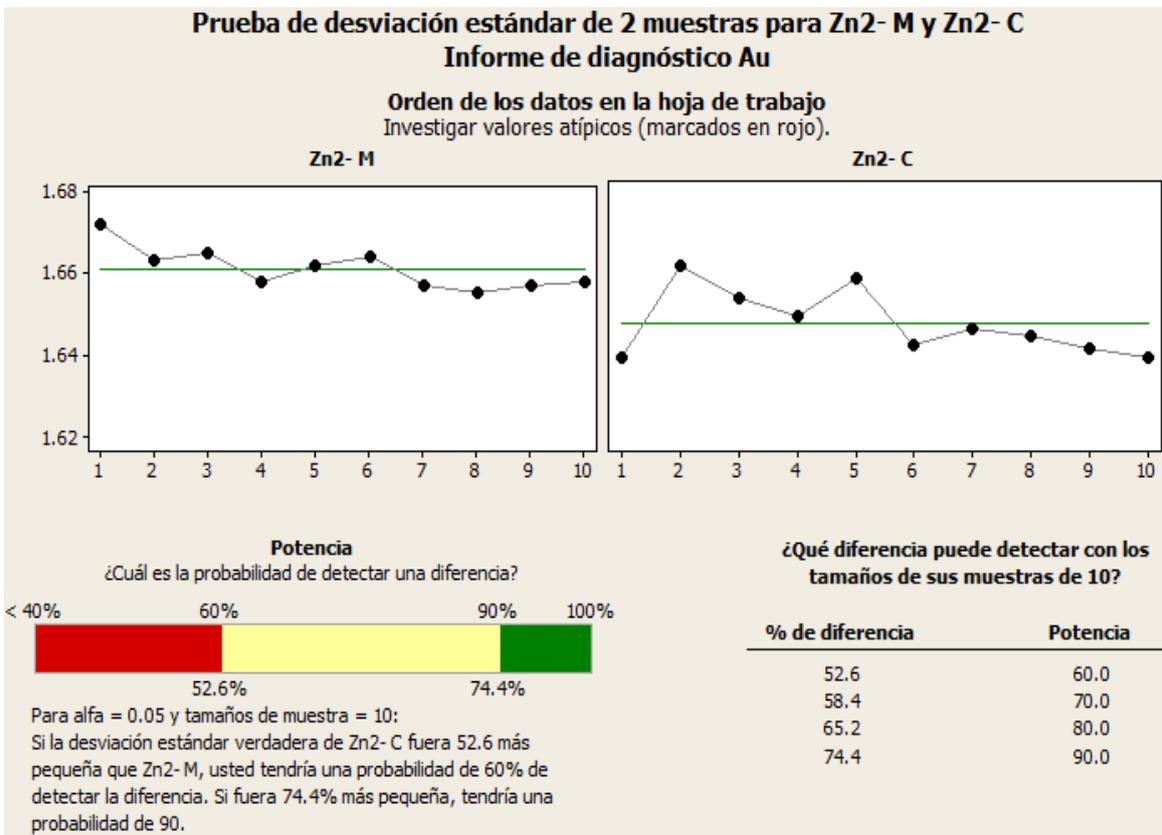
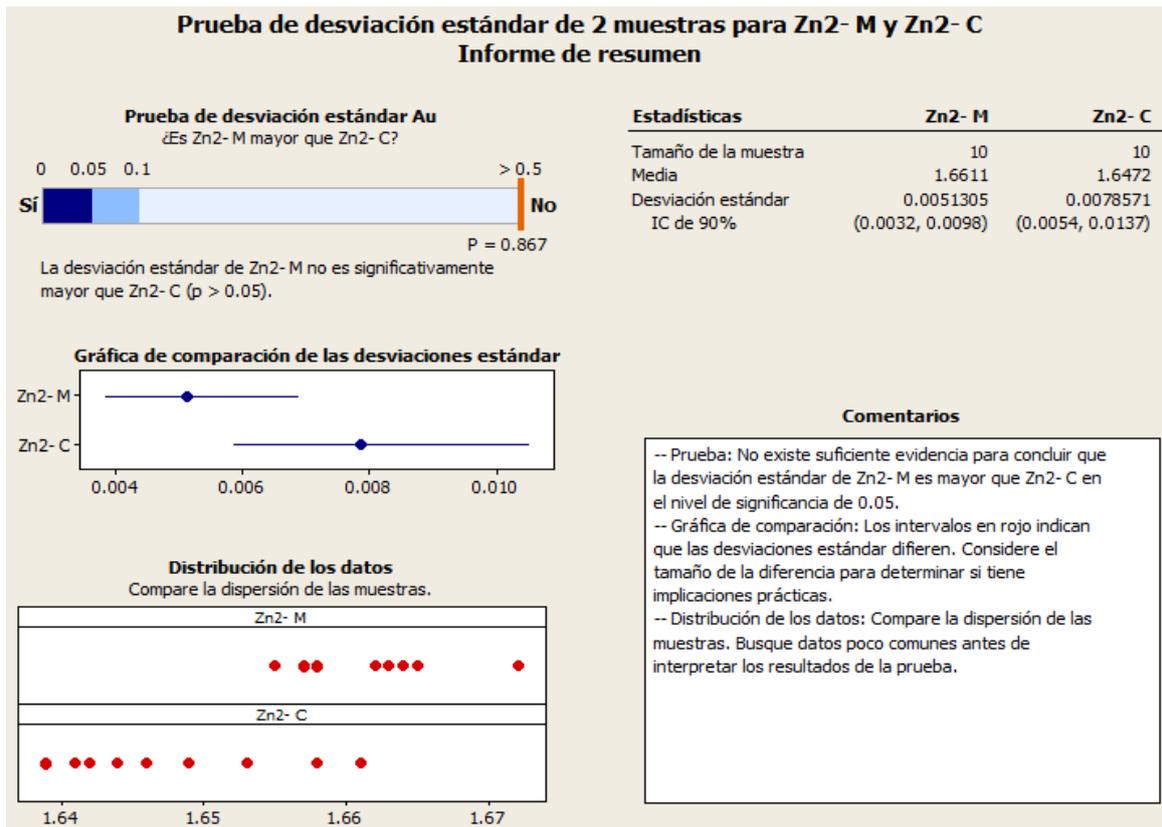


Figura 5.45-46: Desviación estándar de Ag, comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 2.

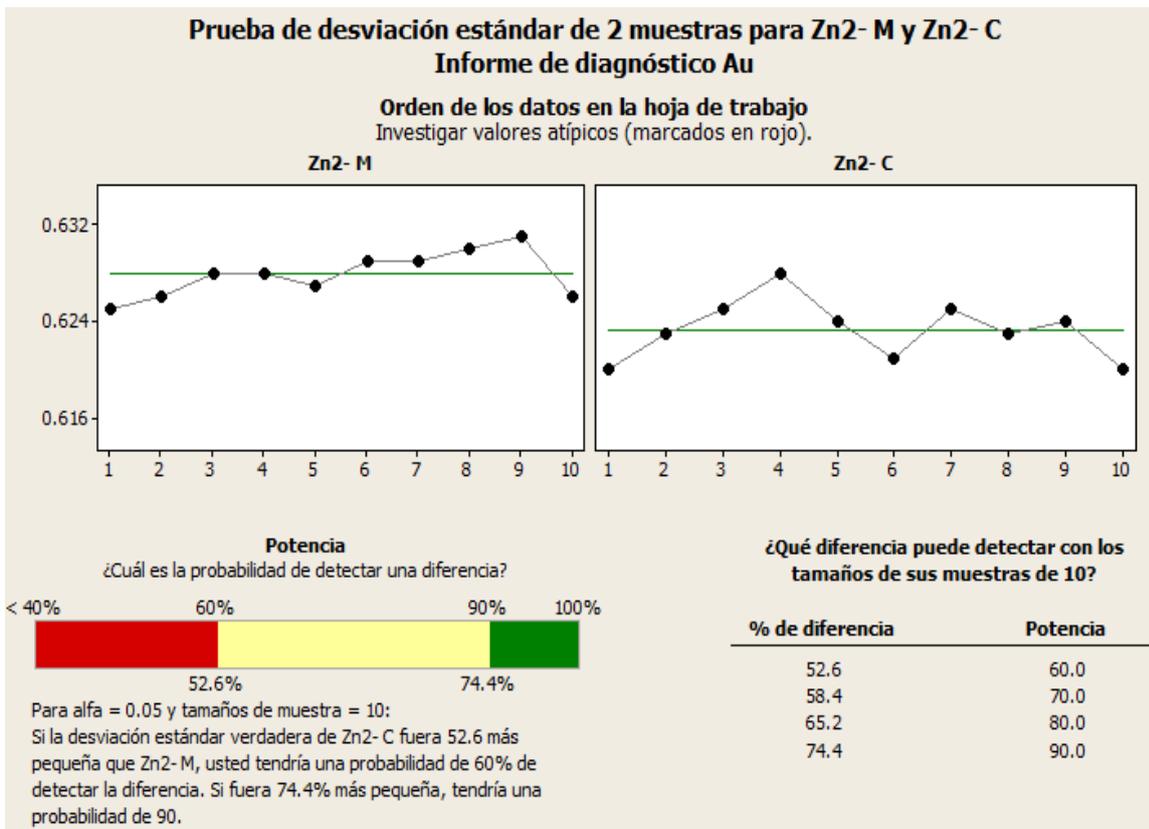
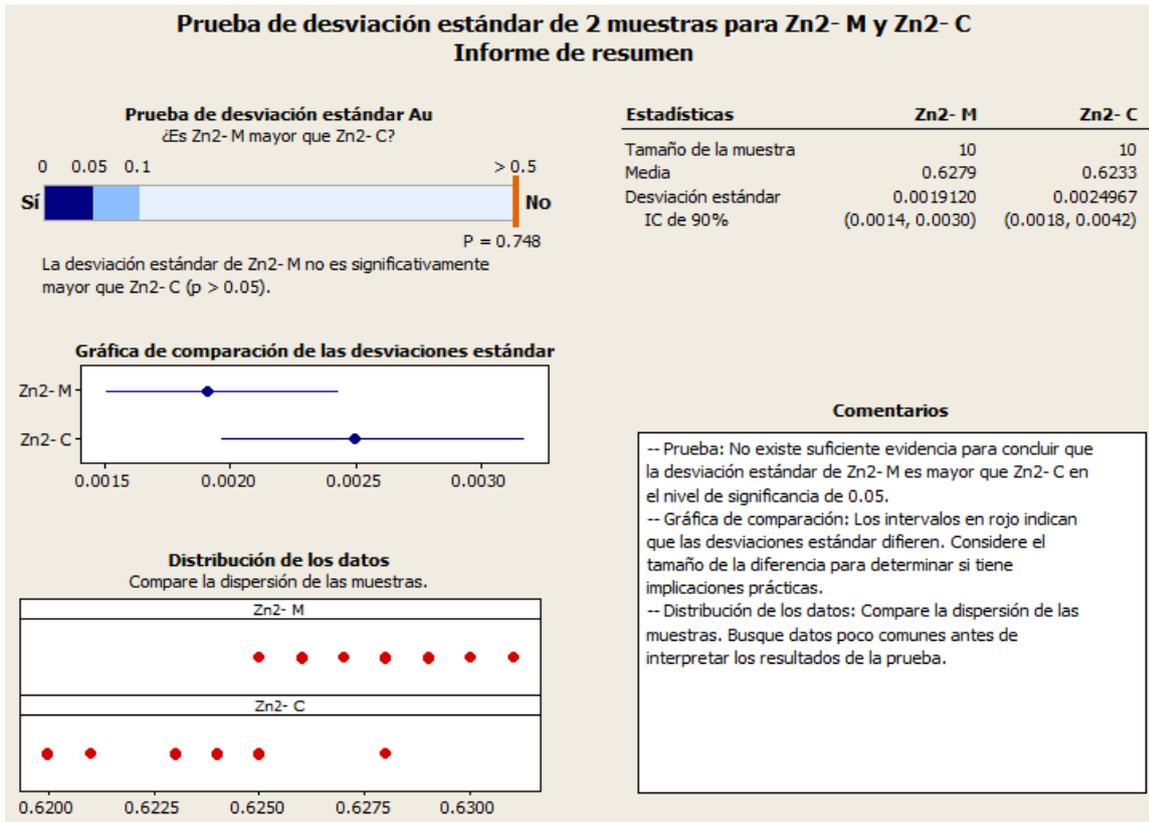


Figura 5.47-48: Desviación estándar de Au. Comparación mediante el MINITAB del método mejorado y clásico de concentrado de Zinc 2.

5.3 Discusión de resultados

1. De acuerdo al análisis de los datos en figura 5.1 llegamos a la conclusión de que en el concentrado de Plomo 1, los resultados de la plata de los 10 réplicas, con el método mejorado (precalentamiento de crisoles), nos muestran la probabilidad para el ensayo al 95 % de confiabilidad, y claramente los resultados no se encuentran fuera de las líneas extremas, indicando que dichos datos son confiables y que están dentro del margen de %error
2. De acuerdo al análisis de los datos en figura 5.2 llegamos a la conclusión de que en el concentrado de Plomo 1, los resultados de la plata de los 10 réplicas, con el método clásico (sin precalentamiento de crisoles), nos muestran la probabilidad para el ensayo al 95 % de confiabilidad, y claramente los resultados no se encuentran fuera de las líneas extremas, indicando que dichos datos son confiables y que están dentro del margen de %error
3. De acuerdo al análisis de los datos en figura 5.3 llegamos a la conclusión de que en el concentrado de Plomo 1, los resultados de oro de las 10 réplicas, con el método mejorado (precalentamiento de crisoles), nos muestran la probabilidad para cada ensayo al 95 % de confiabilidad, y claramente los resultados no se encuentran fuera de las líneas extremas, indicando esto que dichos datos son confiables y que están dentro del margen de %error
4. De acuerdo al análisis de los datos en figura 5.3 llegamos a la conclusión de que en el concentrado de Plomo 1, los resultados de oro de las 10 réplicas, con el método clásico (sin precalentamiento de crisoles), nos muestran la probabilidad para cada ensayo al 95 % de confiabilidad, y claramente los resultados no se encuentran fuera de las líneas extremas, indicando esto que dichos datos son confiables y que están dentro del margen de %error

5. Comparando los resultados obtenidos por el método mejorado y el método clásico descritas en las figuras 5.1 hasta la figura 5.24 se infiere que los datos encontrados están inmersos dentro del porcentaje de error.
6. De acuerdo al análisis de dos muestras la desviación estándar para la plata, ver la figura 5.25-26, llegamos a la conclusión de que en los concentrado de Plomo 1, cuyos resultados de la plata de las 10 réplicas con el método mejorado (precalentamiento de crisoles) y método clásico (sin precalentamiento de crisoles), no existe suficiente evidencia para concluir que la desviación estándar de Pb1-M es mayor que Pb1-C en nivel de significancia de 0,05
7. De acuerdo al análisis de dos muestras la desviación estándar para el oro, ver la figura 5.27-28, llegamos a la conclusión de que los concentrado de Plomo 1, cuyos resultados de la plata de las 10 réplicas con el método mejorado (precalentamiento de crisoles) y método clásico(sin precalentamiento de crisoles), no existe suficiente evidencia para concluir que la desviación estándar de Pb1-M es mayor que Pb1-C en nivel de significancia de 0,05
8. De acuerdo a la desviación estándar de dos muestras tanto con el método mejorado y clásico hay pequeña diferencia, pero estadísticamente el margen de error es muy pequeño por lo que se concluye que no hay diferencia alguna y de que los datos generados con el método mejorado y método clásico son confiables estadísticamente al 95% de confiabilidad.
9. Se optó por el tiempo de 30 minutos como el óptimo debido a que si se aumentaba el tiempo de fusión (45 minutos) se observaba la perdida de Au y Ag en las muestras tal como se indica en tabla 4.7

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, comparando el método tradicional, con el del precalentamiento de crisoles se infiere que se pudo mejorar el procedimiento para la determinación de Au y Ag por ensayo al fuego en la empresa Minerals of Laboratories S.R.L (MINLAB S.R.L)
2. En función al trabajo experimental efectuado, se redujo el tiempo en el proceso de fundición de 1 hora a 30 minutos por ensayo.
3. Se logró disminuir los costos en la operación por vía seca, al haber acondicionado un precalentamiento de crisoles, el cual evita que la muestra se derrame y/o rebalse, evitando de esta manera un gasto anual de 30 480 S./, treinta mil cuatrocientos ochenta soles, También se logró la estimación comparativa económica de consumo eléctrico entre el método clásico y con precalentamiento de crisoles donde tenemos un ahorro económico de 9 477 S./ nueve mil cuatrocientos setenta y siete soles.
4. Mediante el precalentamiento se redujo el shock térmico y la contaminación, lo cual se puede observar en el anexo N° 02 y anexo N° 07, donde se nota claramente la diferencia al interior de los crisoles cuyos bordes en el anexo N° 02 nos muestra una reacción más violenta,
5. Mediante el precalentamiento de crisoles, se redujo también la caída de temperatura, de 1050°C a 845°C y de 1050°C a 934°C, ver anexo N° 04 y 06.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener una fusión adecuada, se recomienda homogenizar bien la muestra una vez que este pesada y dosificada.
2. Se recomienda eliminar el aire en la bolsa que envuelve a la muestra, en el momento de colocarla en los crisoles calientes. Ya que la presencia de aire podría provocar una pequeña explosión provocando perdida de muestra.
3. Usar equipo de protección personal de acuerdo al área de trabajo, en todo momento y durante el periodo de guardia.
4. Se recomienda capacitar al personal para evitar cualquier incidente y accidente.
5. Se recomienda encender la campana extractora, al iniciar la jornada laboral en dicha área.
6. Se recomienda implementar otro horno de fundición, específicamente para la copelación de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arias Jara, Alfredo Fundamentos y aplicaciones de transferencia de 2011 masa, 1ª edición, Perú – Huamanga.
2. Bugbee E., 1940, A textbook of fire assaying, tercera edición, Colorado School of Mines Press Golden, Colorado, pp 204
3. Bolufer P., 2009, los nuevos vidrios, técnica industrial 279, Metalúrgicos, departamento de metalurgia extractiva, Universidad de Concepción, Chile, pp 272-291.
4. Coudurier L., y Wilkomireky 1971, Fundamentos de los procesos metalúrgicos, Metalúrgicos, departamento de metalurgia extractiva, Universidad de Concepción, Chile, pp 272-291.
5. Gamboa Quispe Julián Félix Informe de prácticas profesionales, Determinación cuantitativa de oro y plata por ensayo al fuego en la Unidad Santa María –compañía minera poderosa, Ayacucho – Perú 2014.
6. Gilchrist J., 1989, Extracción metalurgia, Third Edition, Pergamon Press, Oxford, pp 431.
7. Guido Ricardo Toapanta, tesis, Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando Cobre como colector. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, Setiembre, 2011, <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1189/1/101175.pdf>
8. Lenehan W.C., y Murray – Smith 1986, Assaying analytical practice in the south african mining industry; The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp 41-230
9. Muñoz G., 1993, Recuperación de oro por fusión a partir de concentrados polisulfurados de menas ecuatorianas, tesis de grado, escuela politécnica nacional, Quito, pp 153.
10. Patiño Pallares Carlos A Mejoramiento del control químico analítico en la Extracción metalúrgica del oro y de la plata en los laboratorios del grupo de

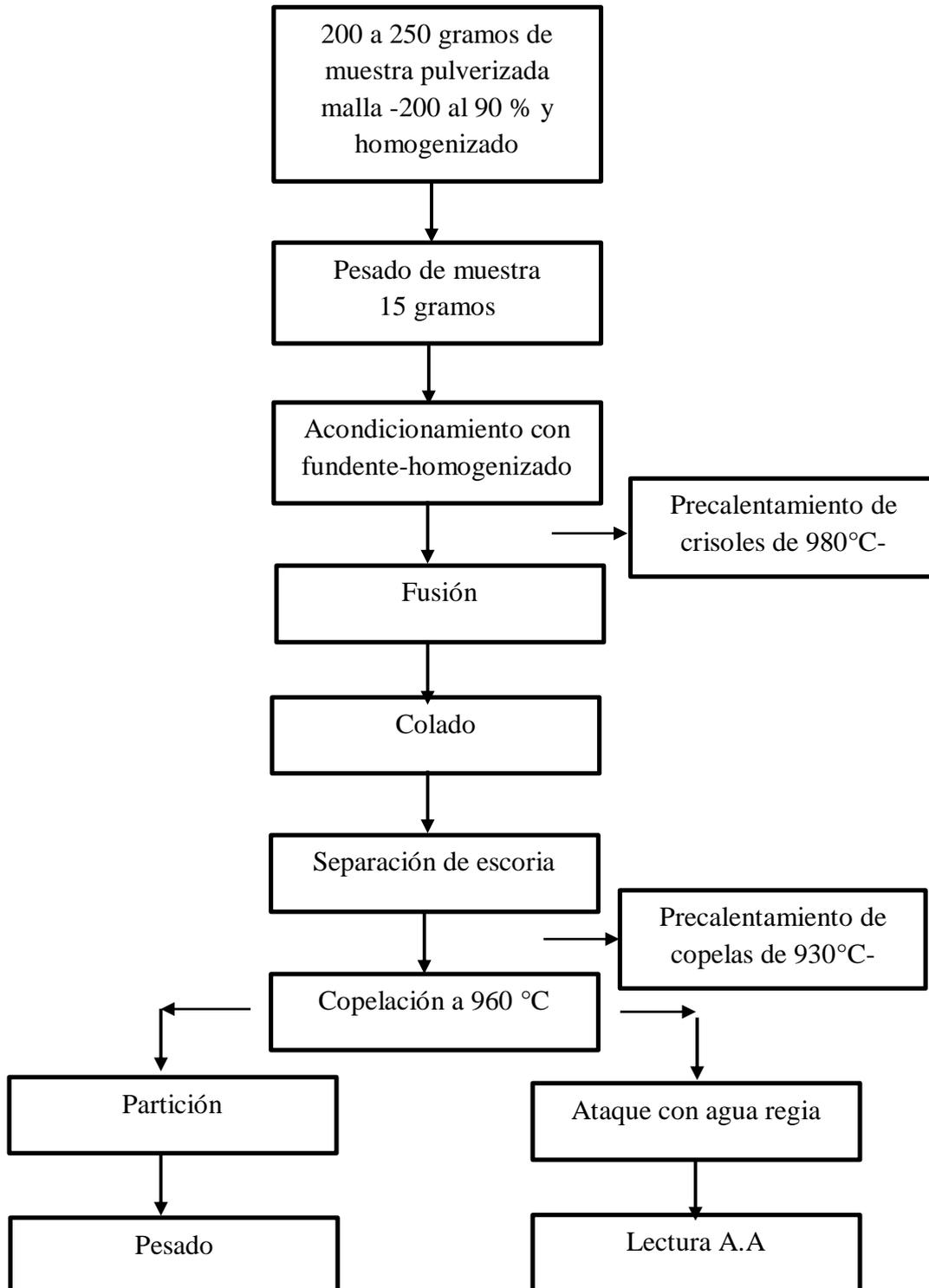
investigación en minerales biohidrometalurgia y ambiente de la uis”. Colombia, 2003, <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/379/2/114381.pdf>

- 11 Ruiz Torres Eddi E Informe de prácticas pre profesionales, laboratorio fritmin E.I.R.L Nazca – Perú, 2014
- 12 Samamé Boggio Mario Metales y minerales, 1ra edición 1981 Lima- Perú.
- 13 Schuhmann Jr.Ingeniería Metalúrgica, tomo I, centro regional 1968 de, ayuda técnica, México.
- 14 Smith E.1987, The sampling and assy of the precios metals. Met-Chem, Research, Inc., Boulder, Colorado, pp 492.
- 15 Vogel Arthur I Química Analítica Cualitativa, 6ta edición Agosto de 1990, pp 372.
- 16 Yunus A. CENGEL, Transferencia de calor, segunda edición 2004 Editores, S.A. DEC, V México

ANEXOS

Anexo N° 01

Diagrama de flujo para la secuencia en el análisis de ensayo al fuego, con precalentamiento de crisoles a la temperatura de 980°C -1000°C



Anexo N° 02

Crisoles sin previo calentamiento la cual conlleva que la muestra se derrame y se nota la decrepitación que ha sufrido la muestra en todo el contorno de los crisoles.



Anexo N° 03

Resistencia del horno quemado con los parches y condición sub estándar de trabajo por los continuos derrames de muestras al fundir y poniendo en inoperatividad el equipo.



Anexo N° 04

Caída de la temperatura del horno al ingresar muestra con crisoles sin calentamiento.



Anexo N° 05

Crisoles calentados, donde se agrega las muestras y enseguida se ve la combustión del plástico.



Anexo N° 06

Caída de la temperatura después de ingresar muestras con crisoles previamente calentados y que dentro de 5 a 6 minutos se puede ver la rápida subida de temperatura del horno la cual está por encima de temperatura de fusión de la plata y los demás reactivos usados.



Anexo N° 07

Crisoles donde se observa los contornos más limpios que las que se ven en el anexo N° 02, que las decrepitaciones han disminuido como también no hay muestra derramada, gracias al precalentamiento de los crisoles



Anexo N° 08

Hoja de costos de materiales que son usadas para el proceso de ensayo al fuego, mediante la cual haremos una evaluación por precalentamiento y sin precalentamiento de crisoles



Señores :
Atención : Ing. Inocencio Pillaca
Fecha : Lima, 03 de octubre del 2017

Mediante la presente le hacemos llegar la cotización para su evaluación.

COTIZACION N° 530-17

DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
25 KG. FUNDENTE A GRANEL (baldes x 25 kg.) Litargio 68.49% Carbonato 20.55% Bórax 4.11% Sílice 6.85%	16.50	412.50
06 UNID. RESISTENCIAS KANTHAL A1	180.00	1,080.00
04 UNID. PLACAS PORTA RESISTENCIAS DE 6 CANALES	200.00	800.00
01 UNID. PISO DE TRABAJO REFRACTARIO CON CARBURO DE SILICIO de 40 x 60 cm x 1"	380.00	380.00

VALOR DE VENTA S/. 2,672.50
IGV 18% S/. 481.05
TOTAL S/. 3,153.55