

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA FUSIÓN DE CALCINAS AURÍFERAS CON EL USO DE CARBONATO DE CALCIO EN LA CARGA FUNDENTE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

MARÍA FERNANDA IZA JIMÉNEZ
mafertnt@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MARCELO LOZADA
Marcelo.lozada@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2011

© Escuela Politécnica Nacional 2011
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, María Fernanda Iza Jiménez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

María Fernanda Iza Jiménez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Fernanda Iza Jiménez, bajo mi supervisión.

Ing. Marcelo Lozada
DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto semilla PIS-04 “Estudio para el mejoramiento de la fusión de calcinas auríferas con el uso de carbonato de calcio en la carga fundente”, que se ejecuta en el Departamento de Metalurgia Extractiva

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mi Diosito, por ser esperanza y consuelo en mi vida, gracias por regalarme la oportunidad de vivir, y a la vida por todo lo bueno y lo no tan bueno que me ayuda a apreciar cada momento como único.

Gracias papi, por su apoyo, su paciencia, comprensión y siempre creer en mí.

Gracias a las estrellas que me regalo la vida, mis hermanos, Rafaelito, Daniel y Manuel.

A toda mi familia, mi abuelita Pepita, mis tías, en especial a mi tía Janeth, Georgina, Carmen y Matilde. A todos mis lindos primos.

Al Ing. Lozada por su apoyo en este proyecto como mi director de tesis, al ing. Ernesto de La Torre y muchas gracias Ing. Alis.

A la Doc Flori por ser una guía y una buena amiga.

A mis amigos, que maravilloso haberlos conocido, Ely, Magy, Fer Cando, Pauli I, Cris LI, Dorita, Angelita, Danny S, Carlitos, Fercho. Gracias por ser alegría en mi vida. A Eve Mina, Nelly, Jessy, Geova, Majo, Pauli L, Dark, Fabri, Majo R.

A las personas que no solo fueron una familia durante el desarrollo de mi tesis sino ángeles en mi vida durante este periodo de tiempo, Maguita, Santi, Sebas, Ricky, Eve C, Sra. Verito, Kleverito.

Definitivamente son las personas que quiero recordar con mucho cariño de esta etapa de mi vida en la universidad, todos han formado una parte importante en todo este camino.

DEDICATORIA

*A luz que sigue iluminando mi vida,
En memoria de mí amada mamita
Mi Rosita*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xviii
INTRODUCCIÓN	xx
 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	 1
1.1 El ensayo al fuego para análisis de metales preciosos	1
1.1.1. Ensayo al fuego	2
1.1.1.1. Composición y propiedades de la carga fundente	3
1.1.1.2. Fases del ensayo al fuego	10
1.1.2. Procesos de flotación	15
1.1.2.1. Flotación selectiva	17
1.1.2.2. Flotación colectiva	17
1.1.3. Tostación de minerales sulfurados	17
1.2. Estudio de las reacciones químicas en el ensayo al fuego	18
1.2.1. Equilibrio termodinámico	18
1.2.2. Reacciones en la fusión	21
1.3. Diagramas de equilibrio ternarios $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$, SiO_2 y $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	23
1.3.1 Sistema ternario	23
1.3.1.1. Diagrama de fases $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	24
1.3.1.2. Diagrama de fases $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	25
 2. PARTE EXPERIMENTAL	 29
2.1. Caracterización física, química y mineralógica de minerales procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	31
2.1.1. Reducción de tamaño del mineral de origen	31
2.1.2. Análisis granulométrico de los minerales de origen	32
2.1.3. Determinación de la densidad de los minerales de origen	32
2.1.4. Determinación del pH de los minerales de origen	33
2.1.5. Caracterización química de las muestras de origen mediante espectrofotometría de absorción atómica	33
2.1.6. Caracterización mineralógica global de las muestras de origen	34
2.1.7. Caracterización por microscopía óptica de secciones pulidas de los minerales	34
2.2. Ensayos de concentración por flotación	34
2.2.1. Condiciones de molienda para ensayos de flotación	35
2.2.2. Ensayos de flotación para mineral de Pacto y Pachijal	35
2.2.3. Ensayos de flotación para mineral de Virón y Bucay	37
2.2.4. Caracterización química de las muestras de concentradas mediante espectrofotometría de absorción atómica	39

2.2.5. Caracterización mineralógica global de las muestras concentradas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	39
2.3. Ensayos de tostación	39
2.4. Ensayos al fuego estándar con Na_2CO_3 en concentrados de minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	40
2.5. Ensayos al fuego reemplazando el Na_2CO_3 por CaCO_3 en la carga fundente	43
2.5.1. Ensayos al fuego de las calcinas de los minerales auríferos con reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3	43
2.5.2. Análisis de las escorias obtenidas de la fusión con sustitución total de Na_2CO_3 por CaCO_3	46
2.5.3. Estudio de las reacciones que se producen entre los componentes de la carga fundente CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO y SiO_2	47
2.5.3.1. Fusión de los componentes de la carga fundente: SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3	48
2.5.3.2. Fusión de los componentes de la carga fundente: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , SiO_2 y PbO	48
2.5.3.3. Fusión de Fe_2O_3 y componentes de la carga fundente: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , Na_2CO_3 y SiO_2	49
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1. Caracterización física y química de los minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	50
3.2. Análisis mineralógico global de los minerales de origen	51
3.3. Análisis microscópico en secciones pulidas de las muestras de origen	52
3.4. Ensayos de concentración por flotación selectiva para minerales de Pacto y Pachijal	56
3.5. Ensayos de concentración por flotación colectiva para minerales de Virón y Bucay	57
3.5.1. Análisis químico de los minerales concentrados de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	58
3.5.2. Análisis mineralógico de los concentrados de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	59
3.5.3. Análisis mineralógico de concentrados tostados mediante difracción de rayos X	60
3.6. Ensayos al fuego estándar para las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	61
3.6.1. Ensayos al fuego estándar de las calcinas de Pacto	61
3.6.1.1. Ensayos al fuego estándar del mineral de origen tostado de Pacto	62

3.6.1.2. Ensayos al fuego estándar del mineral concentrado tostado de Pacto	62
3.6.1.3. Ensayos al fuego estándar del relave concentrado tostado de Pacto	63
3.6.2. Ensayos al fuego estándar de la calcina de Pachijal	64
3.6.3. Ensayos al fuego estándar de la calcina de Virón	65
3.6.4. Ensayos al fuego estándar de la calcina de Bucay	65
3.7. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 para las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	66
3.7.1. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 de las calcinas de Pacto	66
3.7.1.1. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del mineral de origen tostado de Pacto	67
3.7.1.2. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del mineral concentrado tostado de Pacto	68
3.7.1.3. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del relave tostado de Pacto	72
3.7.2. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 de la calcina de Pachijal	73
3.7.3. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 de la calcina de Virón	76
3.7.4. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 de la calcina de Bucay	78
3.8. Análisis de las escorias obtenidas de los ensayos con sustitución total por CaCO_3 mediante espectrofotometría de absorción atómica y microscopía óptica de barrido	81
3.9. Estudio de las reacciones que se producen entre los componentes de la carga fundente CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO y SiO_2	83
3.9.1. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones entre SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3	84
3.9.2. Análisis de las fusiones entre $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y SiO_2	85
3.9.3. Análisis de las fusiones entre Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Na_2CO_3 y CaCO_3	85
3.10. Reacciones de SiO_2 con Na_2CO_3 y CaCO_3	88
3.11. Reacciones de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ con SiO_2 , CaCO_3 , Na_2CO_3 y PbO	89
3.12. Reacciones del Fe_2O_3 con $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SiO_2 , CaCO_3 , Na_2CO_3 y PbO	92
3.13. Estudio de la carga fundente utilizando CaCO_3 en un sistema ternario $\text{CaO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$	93
3.13.1. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para la calcina de Pacto	94
3.13.2. Diagrama de equilibrio ternario para el concentrado de Pachijal	97
3.13.3. Diagrama de equilibrio ternario para el concentrado de Virón	100

3.13.4. Diagrama de equilibrio ternario para el concentrado de Bucay	102
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
4.1. CONCLUSIONES	106
4.2. RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1 Electronegatividades de los principales cationes	11
Tabla 1.2. Formulaciones para el sistema $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	27
Tabla 2.1. Cargas fundentes estándar utilizadas en los ensayos al fuego para los minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	42
Tabla 2.2. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Pacto	44
Tabla 2.3. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Pachijal	45
Tabla 2.4. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Virón	45
Tabla 2.5. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Bucay	46
Tabla 3.1. Tamaño de partícula (d_{80}) y densidad real de las muestras de origen molidas durante 40 minutos de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay.	50
Tabla 3.2. pH de las muestras de origen molidas durante 40 minutos de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay.	50
Tabla 3.3. Análisis químico de los minerales de origen de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	51
Tabla 3.4. Análisis mineralógico global de los minerales de origen	52
Tabla 3.5. Análisis microscópico del mineral de Pacto (Sección 3,0 x 2,5 cm)	52
Tabla 3.6. Análisis microscópico del mineral de Pachijal (Sección 7,0 x 4,0 cm)	53
Tabla 3.7. Análisis microscópico del mineral de Virón (Sección 2,0 x 2,0 cm)	54
Tabla 3.8. Análisis microscópico del mineral de Bucay (Sección 2,5 x 2,0 cm)	55
Tabla 3.9. Resultado de flotación selectiva para el mineral de Pacto	56

Tabla 3.10. Resultado de flotación selectiva para el mineral de Pachijal	57
Tabla 3.11. Resultado de flotación colectiva para el mineral de Virón	57
Tabla 3.12. Resultado de flotación colectiva para el mineral de Bucay	58
Tabla 3.13. Análisis químico de minerales concentrados obtenidos de la primera etapa de flotación	58
Tabla 3.14. Análisis mineralógico global de los concentrados de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay	59
Tabla 3.15. Análisis mineralógico de las calcinas mediante difracción de rayos X	60
Tabla 3.16. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del mineral de origen tostado de Pacto	62
Tabla 3.17. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Pacto	63
Tabla 3.18. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del relave tostado de Pacto	63
Tabla 3.19. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Pachijal	64
Tabla 3.20. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Virón	65
Tabla 3.21. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Bucay	66
Tabla 3.22. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del mineral de origen tostado de Pacto	67
Tabla 3.23. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Pacto	69
Tabla 3.24. Características de la fusión para el concentrado de Pacto	71
Tabla 3.25. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del relave tostado de Pacto	72

Tabla 3.26. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Pachijal	74
Tabla 3.27. Características de la fusión para el concentrado de Pachijal	75
Tabla 3.28. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Virón	77
Tabla 3.29. Características de la fusión para el concentrado de Virón	77
Tabla 3.30. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Bucay	79
Tabla 3.31. Características de la fusión para el concentrado de Bucay	81
Tabla 3.32. Resultados del análisis químico de las escorias	82
Tabla 3.33. Resultados del análisis de elemental de las escorias mediante microscopia electrónica de barrido	83
Tabla 3.34. Análisis mediante difracción de rayos X de las fusiones entre la SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3	84
Tabla 3.35. Análisis mediante difracción de rayos X de las fusiones con $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	85
Tabla 3.36. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 1,2 g de Fe_2O_3	86
Tabla 3.37. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 15,9 g de Fe_2O_3	87
Tabla 3.38. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 15,9 g de Fe_2O_3	87
Tabla 3.39. Composición de la escoria de la calcina de Pachijal con el 100 % de reemplazo por CaCO_3	92
Tabla 3.40. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pacto	94
Tabla 3.41. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pacto	96
Tabla 3.42. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pachijal	97

Tabla 3.43. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pachijal	98
Tabla 3.44. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Virón	100
Tabla 3.45. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Virón	101
Tabla 3.46. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Bucay	103
Tabla 3.48. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Bucay	104
Tabla A1. Distribución del tamaño de partícula para el mineral de Pacto	116
Tabla A2. Peso de los concentrados y relave obtenidos del proceso de flotación	118
Tabla A3. Concentración de Au y Ag obtenidos en los ensayos estándar con Na_2CO_3	119

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Cambio de la viscosidad en función de la temperatura a CaO/SiO_2	5
Figura 1.2. Dependencia de la viscosidad con el contenido de Na_2O a $\text{CaO/SiO}_2=0,8$	6
Figura 1.3. Difractogramas de los reactivos de partida. a) Analítico; b) mineral. C: CaCO_3 ; D: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; H: $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$; S: SrSO_4	9
Figura 1.4. Relación entre CaO y Pb contenido en la escoria	10
Figura 1.5. Fragmentación de las cadenas de tetraedros de silicato por la adición de óxido básico	12
Figura 1.6. Sistema eutéctico ternario ABC	24
Figura 1.7. Diagrama de fases $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	25
Figura 1.8. Diagrama de fases ternario y binarios $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	26
Figura 1.9. Diagrama de fases ternario y binarios $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	26
Figura 1.10.Difracción de rayos X del sistema $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	28
Figura 2.1. Diagrama del proceso para el estudio de la fusión de calcinas con el uso de CaCO_3 en la carga fundente	30
Figura 2.2. Flotación selectiva para los minerales de Pacto y Pachijal	37
Figura 2.3. Flotación colectiva para los minerales de Virón y Bucay	38
Figura 2.4. Horno de crisol (izquierda) y mufla eléctrica (derecha)	41
Figura 3.1. Granos de pirita mayores a 2 mm en el mineral de Pacto	53
Figura 3.2. Granos de calcopirita mayores a 2 mm en el mineral de Pachijal	54
Figura 3.3. Asociaciones de calcopirita, pirita, arsenopirita y esfalerita en el mineral de Virón	55
Figura 3.4. Asociaciones de esfalerita, calcopirita y trazas de arsenopirita en el mineral de Bucay	56
Figura 3.5. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pacto origen	68

Figura 3.6. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pacto concentrado	70
Figura 3.7. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total por CaCO_3 (derecha)	71
Figura 3.8. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pacto relave	73
Figura 3.9. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total por CaCO_3 (derecha)	75
Figura 3.10. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de	
Figura 3.11. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de	
Figura 3.12. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de	
Figura 3.13. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total	
Figura 3.14. Energía libre estándar en función de la temperatura	90
Figura 3.15. Fotografía de las incrustaciones de Pb en la escoria de Pachijal por microscopía ele	
Figura 3.16. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	94
Figura 3.17. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pacto	95
Figura 3.18. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pacto	96
Figura 3.19. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pachijal	
Figura 3.20. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pachijal	
Figura 3.21. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pachijal	
Figura 3.22. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Virón	101
Figura 3.23. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Virón	102
Figura 3.24. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Bucay	103
Figura 3.25. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Bucay	
Figura 3.26. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ para el concentrado de Bucay	
Figura A1. Porcentaje pasado acumulado vs abertura del tamiz	117

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Análisis granulométrico del mineral aurífero de Pacto	116
ANEXO II	
Ensayos de flotación	118
ANEXO III	
Determinación de la media aritmetica, varianza y desviacion estandar para los resultados obtenidos de los ensayos convencionales	119
ANEXO IV	
Determinación de la energia libre de gibbs para las difernetes reacciones que se producen durante la fusión	120
ANEXO V	
Determinación de la composicion de SiO_2 , CaO y B_2O_3 para determinación de temperatura de fusión	121
ANEXO VI	
Fichas técnicas de los ensayos realizados.	124

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el mejoramiento de la fusión de calcinas auríferas provenientes de las zonas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, mediante la sustitución total y parcial de carbonato de sodio (Na_2CO_3) por carbonato de calcio (CaCO_3) dentro de la carga fundente. Los minerales de origen fueron reducidos de tamaño y caracterizados mediante un análisis físico, químico y mineralógico. A continuación los minerales fueron concentrados por flotación y sometidos a tostación. Las calcinas obtenidas fueron analizadas mineralógicamente para conocer su composición y así determinar la influencia que esta podría tener sobre los análisis de ensayo al fuego.

Las variables de comparación para este estudio fueron el peso del régulo, la concentración de Au en el régulo y la temperatura de operación. Se estudiaron las escorias obtenidas de las fusiones con CaCO_3 , mediante espectrofotometría de absorción atómica y microscopia electrónica de barrido.

Al realizar los análisis por ensayo al fuego para las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay con porcentajes de sustitución por CaCO_3 del 100 %, 40,0 %, 83,3 % y 67,0 %, respectivamente, fue necesario elevar la temperatura de operación de 900 °C a 1 200 °C. La concentración de Au obtenida al realizar la sustitución total por CaCO_3 para las calcinas de Pacto y Virón superan en 3,8 % y 5,4 % de lo cuantificado en los ensayos estándar en donde se utiliza Na_2CO_3 , mientras que las concentraciones de Au obtenidas para Pachijal y Bucay son menores en 28,5 % y 48,7 % a las estándar.

Como resultado del análisis mineralógico de las calcinas y análisis químico de las escorias obtenidas de las fusiones con reemplazo del 100 % por CaCO_3 y junto con el estudio de las fusiones entre los componentes de la carga fundente, se establecieron las reacciones que ocurren durante la fusión de las calcinas auríferas.





Se estudió el diagrama ternario CaO-SiO₂-B₂O₃ y se estableció que la temperatura de fusión de la calcina perteneciente a Pachijal es de aproximadamente 1 300 °C y la de Bucay es de 1 400 °C, lo cual justifica que estas calcinas no fundieran a la temperatura de operación de 1 200 C. Por lo contrario, para Pacto y Virón las temperaturas de fusión fueron menores a la temperatura de operación de 1 200 °C y se lograron concentraciones de Au semejantes a las estándar.

La sustitución total de Na₂CO₃ por CaCO₃ en la carga fundente para las calcinas de Pacto y Virón, sí fue aplicable para la cuantificación de Au. El reemplazo por CaCO₃ ayudó a disminuir costos en consumos de reactivos ya que el precio del Na₂CO₃ fue de 1,48 USD/kg y el de CaCO₃ fue de 0,22 USD/kg.

INTRODUCCIÓN

La producción anual de oro a nivel mundial, hasta el 2004 fue de 2 470 TM/año. En el año 2009, la producción de oro disminuyó a 1 890 TM/año. Actualmente, la producción mundial es de 2 300 TM/año de oro y la refinación primaria del oro corresponde a \$32,4 billones anuales. El principal productor de oro es Sudáfrica, seguido de Estados Unidos, Australia y China. El Au es utilizado en diferentes áreas; en la joyería el 82,5%, en la industria 13,0%, y en la inversión 4,5%. Este metal precioso tiene un valor en el mercado de 70,55 USD/g (Damarupurshad, 2005; Chaize 2004).

El ensayo al fuego se utiliza como método de cuantificación de los metales nobles pertenecientes al grupo del platino (Pd, Au, Ag). Este método presenta varias ventajas ante otros ensayos utilizados para el mismo propósito, por ejemplo, la precisión. La recuperación de los elementos pertenecientes a este grupo, mediante el ensayo al fuego, depende en gran medida de la composición y la calidad de la calcina y de la carga fundente (Shvetsov *et al.*, 2006; Marsden y House, 1994).

La carga fundente empleada en los ensayos al fuego estándar, contiene Na_2CO_3 , este compuesto, es un buen agente oxidante y reactivo desulfurizante; sin embargo, puede ser sustituido por CaCO_3 . El CaCO_3 presenta características similares al Na_2CO_3 , es un fundente ideal a temperaturas superiores a 1 040 °C. Además, reduce la insolubilidad del Pb a altas temperaturas (Yang *et al.*, 2009).

La sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 presenta ventajas, por ejemplo, la reducción de costos en los ensayos al fuego. Se conoce que 1 kg de CaCO_3 tiene el precio de 0,22 USD, mientras que 1 kg de Na_2CO_3 cuesta 1,48 USD. Además, como es de conocimiento general, el Na_2CO_3 es una sustancia de manejo controlado por el CONSEP, por lo que su uso es restringido. Por este motivo es necesario estudiar una nueva alternativa que sustituya el Na_2CO_3 por CaCO_3 para cuantificar Au, mediante ensayos al fuego.

La composición de los elementos que forman parte de la carga fundente es un factor determinante para conocer la temperatura de fusión de la mezcla, los compuestos que determinarán esta variable son el CaO , SiO_2 y el B_2O_3 , La temperaturas de fusión se observa claramente con el uso de los diagramas de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, en los cuales se podrá identificar la temperatura de fusión de la carga utilizada en el ensayo al fuego (Marsden y House, 1993).

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. EL ENSAYO AL FUEGO PARA ANÁLISIS DE METALES PRECIOSOS

Los metales preciosos tienen un gran valor económico e industrial en el mundo, actualmente la producción de oro a nivel mundial se encuentra alrededor del 2300 toneladas por año, la refinación primaria de este corresponde a \$32,4 billones anuales, el principal productor de oro es Sudáfrica, seguido de Estados Unidos, Australia y China. Las aplicaciones de este metal se pueden observar en diversos sectores, por ejemplo, en la joyería se encuentra aproximadamente el 82,5%, en la industria el 13,0%, y en la inversión es de aproximadamente el 4,5 % (Damarupurshad, 2005; Oro y Finanzas, 2010).

La producción de otros metales preciosos como la plata y el platino también tienen una gran demanda, la producción de plata corresponde a ocho veces la producción de oro, este elemento tiene varias aplicaciones en joyería, electrónica, entre otras; la producción de platino comparado con el oro es pequeña y su valor en el mercado es 56,44 USD/g (Damarupurshad, 2005; Oro y Finanzas, 2010).

El ensayo al fuego es un método de análisis químico, es el más utilizado para el análisis del oro y los elementos de la familia del platino, este análisis es un método destructivo en el cual se rompe la estructura del mineral para liberar el elemento de interés; mediante este se cuantifica la cantidad de oro que existe en un mineral, para lo cual se mezcla el mineral con la carga fundente y cuyas cantidades están relacionadas con la naturaleza de la muestra, se funde en un horno a temperatura entre 900 °C y 1200 °C, en un tiempo máximo de 1,5 h (Lenahan y De Manuel, 1997; Marsden y House, 1993; Chaize, 2004).

1.1.1. ENSAYO AL FUEGO

El ensayo al fuego es un método de análisis químico y es la técnica más sencilla para cuantificar oro, esta técnica se realiza para contenidos de plata superiores al 20%. La determinación directa por ensayo al fuego de la plata y el oro permite mejorar la precisión de los análisis para altos contenidos de los mismos en los minerales (Álvarez *et al.*, 2000).

En este método se utiliza una fórmula estandarizada, en la cual se coloca una cantidad de mineral entre 30 – 50 g, en un crisol de arcilla y se adiciona una carga o mezcla fundente compuesta esencialmente de bórax, carbonato de sodio, óxido de plomo (litargirio) y carbón. Se mezclan todos los componentes y se funde a aproximadamente 1 000 °C. El mineral que contiene los metales nobles debe mezclarse con las proporciones adecuadas de los compuestos que ayuden a la fusión (De la Torre y Guevara, 2005).

Existen varias alternativas que pueden reemplazar este método de análisis, a pesar que estas nuevas opciones son más rápidas también presentan problemas de precisión, entre las más conocidas se encuentran el análisis gravimétrico, volumétrico y procedimientos colorimétricos, además de otras técnicas como la absorción atómica, espectrografía óptica y fluorescencia de rayos X.

La espectrofotometría de absorción atómica también es utilizada para la cuantificación de pequeñas cantidades de oro. En minerales que contienen sulfuros de hierro la técnica tiene una desventaja, ya que el hierro absorbe a una longitud de onda similar a la del oro y se presentan errores en la determinación.

La fluorescencia de rayos X es una técnica aplicada en la metalurgia química, generalmente elementos de alto peso atómico como el oro son fácilmente analizados por fluorescencia de rayos X, es una técnica no destructiva; se ha encontrado que la fluorescencia de rayos gama también presenta una importante aplicación para este fin (Young, 1998).

Existe también otro método muy utilizado para análisis de muestras geológicas y es la técnica del colorímetro, la cual es muy utilizada cuando se tienen muestras pequeñas de oro. Este método está basado en la digestión de bromuro de potasio, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno, donde el oro está disuelto como AuBr_4^- , este es retenido en una esponja de poliuretano, y luego se eluye en acetona, la formación de un complejo con la tiocetona de Mitchler permite que la concentración de oro sea determinada por espectrofotometría. Con esta técnica se puede determinar oro hasta en una concentración de 50 ppb. Este método tiene la ventaja de requerir un corto tiempo para el análisis, bajo costo y puede ser utilizado en el mismo sitio donde se realiza la explotación (Tosiani *et al.*, 2000).

Con ayuda de la técnica del ICP-AES, que utiliza un espectrómetro de plasma inductivamente acoplado como equipo, el cual posee un sistema óptico con transmisión de la luz mediante fibra óptica, se obtienen resultados que son comparables con alcanzados mediante el ensayo al fuego. Para un mineral con contenido medio de Ag, con la primera opción se tiene un $54,27 \pm 1,06$ % de Ag cuantificada y con el ensayo al fuego $56,37 \pm 0,92$ % de Ag la desviación estándar de 1,062 y 0,92 respectivamente (Alvarez *et al.*, 2000).

1.1.1.1. Composición y propiedades de la carga fundente

La eficiencia de la separación de los compuestos indeseables y de las impurezas depende de la calidad de la escoria que se forma. Esta eficiencia puede ser medida en términos de oro y plata. El rendimiento depende de la naturaleza del mineral aurífero y de las propiedades de la carga fundente utilizada. La sílice es la base para la carga fundente que se va a utilizar, ya que por lo general tiene la capacidad de disolver los óxidos metálicos. La carga fundente se determina en función de los sulfuros presentes en los minerales en estudio. Es importante trabajar con un mineral que tenga un tamaño de partícula adecuado, de tal modo que cada partícula de este se encuentre en contacto con las partículas de cada componente de la carga fundente (Yang *et al.*, 2009).

Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)

El bórax es un compuesto que al fundirse forma un vidrio viscoso. Su punto de fusión es de $741\text{ }^\circ\text{C}$, a elevadas temperaturas es muy fluido. Es el encargado de disolver todos los óxidos metálicos. La característica principal de este compuesto es bajar los puntos de fusión de las escorias; sin embargo, el exceso del mismo disminuye la formación de una escoria homogénea y dificulta la separación de fases, debido a la reducción del coeficiente de expansión y la acción que tiene en impedir la cristalización (Marsden y House, 1993).

El $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ tiene mayor comportamiento disolutivo si el pH está entre 12 y 13, forman sales de BO^{-2} en un sistema alcalino (Marsden y House, 1993).

Carbonato de sodio (Na_2CO_3)

El Na_2CO_3 se utiliza para bajar la temperatura de fusión de la sílice, el compuesto tiene la ventaja de formar fácilmente silicatos alcalinos. En presencia de agentes oxidantes como el PbO se facilita la formación de sulfatos. Es importante mencionar que el Na_2CO_3 disminuye la viscosidad del fundido. El punto de fusión es de el Na_2CO_3 es de $850\text{ }^\circ\text{C}$ a $950\text{ }^\circ\text{C}$ (Marsden y House, 1993).

El Na_2O adicionado en la escoria tiene el efecto de controlar la fluidez de la misma, esto se demostró en estudios realizados con las escorias que contienen Al_2O_3 . Los productos básicos como el Na_2O son afines para la formación de silicatos (Hyuk *et al.*, 2009).

La viscosidad decrece con el aumento de la basicidad. En general, al adicionar iones O^{2-} se modifica la polimerización de la estructura del silicato, en la figura 1.1 se muestra el cambio de la viscosidad en función de la temperatura en dependencia con el grado de basicidad. Por ejemplo para este caso se tomó $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0,8$. La relación CaO/SiO_2 es un punto de vista práctico para calificar a una escoria, esta relación a parte de la basicidad brinda información acerca de la

fluidez y fusibilidad, en la industria esta debe tener un valor entre 0,7 y 0,8, en este rango se conjugan de la mejor forma las propiedades citadas, para valores menores a 0,7 la viscosidad de la escoria es muy alta, para valores mayores a 0,8 las escorias son poco fusibles a la temperatura de trabajo. Es recomendable trabajar con valores cercanos a 0,8, dado que la viscosidad es el factor más importante que afecta en las pérdidas de plomo, el porcentaje de Na_2O en A es de 5,7 %, en B es de 7,6 % y en C es de 9,6 % (Hyuk *et al.*, 2009; Calvo y Ballester, 2008; Yosuke *et al.*, 2009).

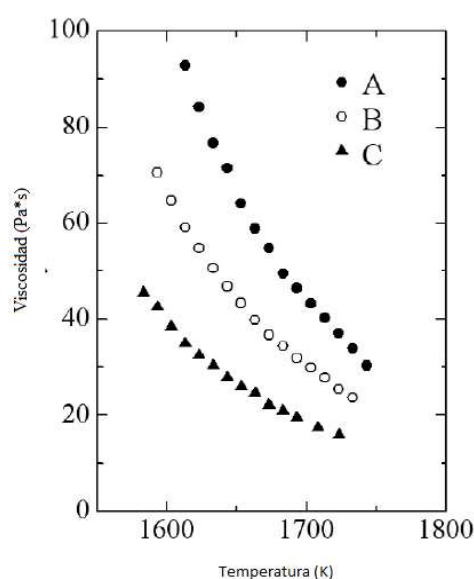


Figura 1.1. Cambio de la viscosidad en función de la temperatura

(Yosuke *et al.*, 2009)

La viscosidad de la escoria decrece con el incremento de la basicidad para 0,8 a 1,2 y junto con la mezcla de Na_2O con MgO . El efecto de Na_2O es significativo en rangos de temperatura cercanos al de cristalización, a esto se debe el decremento de la temperatura de fusión de la escoria. Esta dependencia se puede observar en la figura 1.2 (Hyuk *et al.*, 2009).

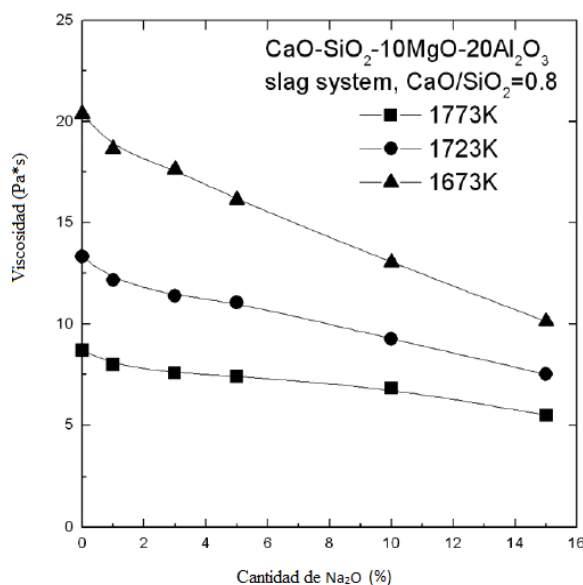


Figura 1.2. Dependencia de la viscosidad con el contenido de Na₂O a CaO/SiO₂=0,8

(Hyuk *et al.*, 2009)

Óxido de Plomo (PbO)

El PbO junto con la incorporación de un agente reductor en este caso el carbón, se reduce a Pb metálico.

El Pb actúa como colector de metales nobles, como son el Au y la Ag, su punto de fusión es de 883 °C (Marsden y House, 1993).

Pocos metales y metaloides son reducidos en una fusión analítica, para poder ser solubilizados en el Pb. Estos metales pueden ser Sb, Bi, As, Cu, Te y Hg.

El Bi, cuando se halla en altas concentraciones dentro de la muestra, no se puede eliminar del régulo metálico ya que es más difícil de oxidar que el Pb (durante la fusión y luego en la copelación).

Para eliminar la interferencia de elementos como Sb, As, Cu, se necesita que permanezcan oxidados durante la fusión para su incorporación a la escoria. Esto

depende de la concentración en la que se encuentren para que puedan contaminar el régulo.

El Pb tiene mayor afinidad para combinarse con el Fe que el Cu, esta dificultad se evita por acción del litargirio, que atenúa la probabilidad de reducir el Cu (Yang *et al.*, 2009).

La colección efectiva de los metales preciosos se realiza cuando hay una liberación, por fusión, de los metales preciosos. Las partículas de los metales nobles deben estar en estado líquido para su colección. Además depende del uso de fundentes y la temperatura de fusión adecuada.

Otra parte importante es el contacto de Pb con las partículas de los metales preciosos, esto se logra con altas concentraciones de Pb líquido reducido, experimentalmente se ha demostrado que no hay objeto en utilizar cantidades mayores a 25 g de Pb reducido con respecto a los pesos de las muestras usuales, a partir de esa cifra las pérdidas de los metales preciosos se deben a la solubilidad de Au en las escorias, perdidas que se incrementan si hubiera las fases speiss y mata (Yang *et al.*, 2009).

Carbono (C)

El carbono es un elemento que actúa como agente reductor, en el PbO elimina el oxígeno del compuesto. El PbO es reducido a Pb metálico.

El Pb actúa como colector de metales preciosos, el carbón se oxida pasando a dióxido de carbono (Marsden y House, 1993).

Sílice (SiO_2)

La temperatura de fusión es de $1\,723^{\circ}\text{C}$. La presencia de este compuesto en los minerales aumenta el punto de fusión, por lo tanto es necesario añadir óxidos de sodio y boro para disminuir el punto de fusión del sistema. Además, la sílice protege el crisol de la corrosión (Marsden y House, 1993).

En estudios realizados de las escorias obtenidas en presencia de fayalita y otros óxidos, se observa que la viscosidad aumenta con el incremento de la fracción molar del SiO_2 . La variación del porcentaje de SiO_2 incide considerablemente en los valores de esta propiedad física; no obstante esta dispersión indica también un efecto de los otros óxidos presentes en la composición química de estos materiales.

La presencia de Fe_2O_3 produce efectos diferentes sobre las propiedades de la escorias. El FeO se considera un modificador de la red vítrea de la escoria; sin embargo, el Fe_2O_3 , el cual es anfótero puede causar un doble efecto. En estos estudios se pudo determinar que el Fe^{+3} tuvo un influencia relativa sobre la viscosidad de las escorias fayalíticas (Bazán *et al.*, 2006).

Carbonato de calcio (CaCO_3)

El CaCO_3 es un mineral abundante en la naturaleza y tiene una gran demanda en el mercado. Se lo conoce también como caliza o piedra caliza. Se utiliza como aditivo en la manufactura de materiales de construcción tales como cementos y yeso. Gran cantidad de este compuesto está destinado a la fabricación de vidrio.

La cinética y mecanismo de reacción en la descomposición térmica del CaCO_3 han sido ampliamente estudiados, por lo general, mediante técnicas termogravimétricas (Gaviria *et al.*, 2003; Brito y Delgado, 2005).

El CaCO_3 analítico presenta un difractograma típico, no así un difractograma de un mineral de CaCO_3 en el cual contiene algunas impurezas, esto se observa en la figura 1.3 (Gaviria *et al.*, 2003).

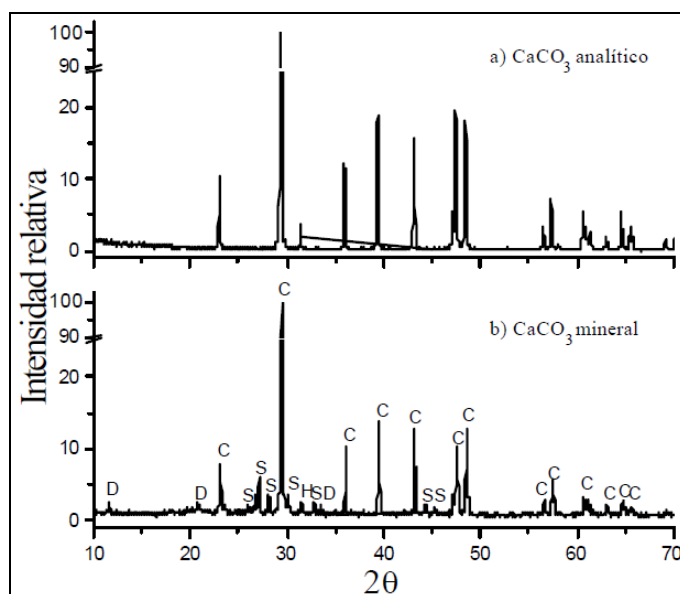


Figura 1.3. Difractogramas de los reactivos de partida. a) Analítico; b) mineral. C: CaCO_3 ; D: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; H: $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$; S: SrSO_4

(Gaviria *et al.*, 2003)

Como se observa en la figura 1.3 en el estudio analizado de manera individual al CaCO_3 , a la temperatura de 700-750 °C los únicos productos de la descomposición de CaCO_3 son el CaO y el CO_2 . Además los cambios en la morfología o microestructura del CaCO_3 afectan la cinética de la reacción de descomposición (Gaviria *et al.*, 2003).

La dependencia de las pérdidas de plomo con el contenido de CaO se observan en la figura 1.4. Este óxido actúa como fluidificante de la sílice al liberar en estado fundido O^{2-} , que destruye la forma polimérica del SiO_2 . En el caso que se observa es necesario alcanzar valores de 17 a 18 % de CaO , para conseguir una adecuada decantación del plomo y pérdidas menores al 1,5 % (Calvo y Ballester, 2008).

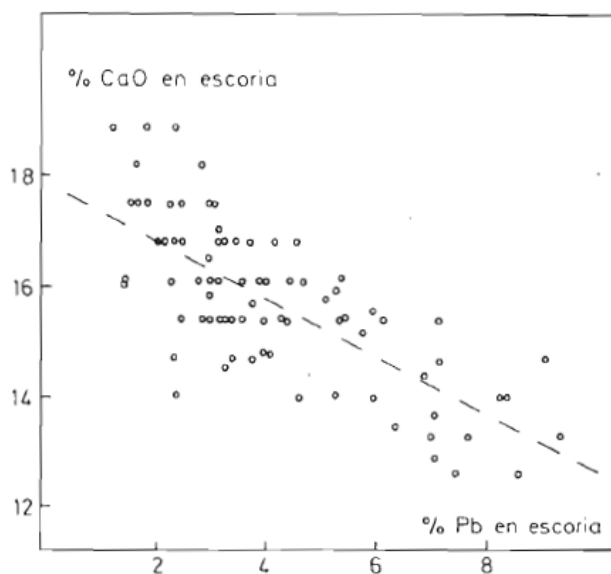


Figura 1.4. Relación entre CaO y Pb contenido en la escoria

(Calvo y Ballester, 2008)

1.1.1.2. Fases del ensayo al fuego

Fase Escoria

Esta fase está constituida, en mayor parte, por silicatos y boratos formados en la fusión. La composición de la escoria se basa, principalmente, en el diagrama ternario de óxidos, que componen la carga fundente. Esta fase presenta una estructura vidriosa y fácilmente quebradiza (Lenahan y De Manuel, 1997).

La formación de la escoria tiene dos objetivos principales. El primero es retener los óxidos conjuntamente con otros compuestos indeseables; y, el otro es el de retener los compuestos formados a partir de las impurezas, las cuales se desea remover (Da Costa, 1998).

Las características de las escorias son importantes en los procesos metalúrgicos, deben garantizar la remoción de las impurezas y compuestos indeseables. Además, la fácil separación de la escoria de la fase metálica.

Es necesario que propiedades como viscosidad, punto de fusión, densidad y tensión superficial sean controladas y así mismo la adición de fundentes o formadores de escoria (Da Costa, 1998; Colón, 2002).

Dentro de un modelo iónico de las escorias se distinguen dos grupos, los dadores y los receptores de O^{-2} , y se puede clasificar de esta forma a los óxidos entre dadores o receptores de O^{-2} , por ejemplo.



Los óxidos dadores de O^{-2} son clasificados como óxidos básicos y los receptores, ácidos. Una forma de clasificar a los óxidos como básicos y ácidos es mediante la electronegatividad de catión. Esto se refiere a la dificultad que se tiene en remover un electrón de un elemento. La tabla 1.1 presenta la clasificación de los óxidos según la electronegatividad del catión.

Tabla 1.1. Electronegatividades de los principales cationes

Clasificación de óxidos	Óxido	Electronegatividad del catión
Básicos	Na ₂ O	0,9
	BaO	0,9
	CaO	1,0
Intermedios	MnO	1,4
	FeO	1,7
	ZnO	1,5
	MgO	1,2
	Cr ₂ O ₃	1,6
	Al ₂ O ₃	1,5
	Fe ₂ O ₃	1,8
Ácidos	TiO ₂	1,6
	B ₂ O ₃	2,0
	SiO ₂	1,8
	P ₂ O ₅	2,1

(Da Costa, 1998)

El comportamiento de los óxidos intermedios depende de la actividad del ión O^{2-} , un ejemplo de este comportamiento es Al_2O_3 , presenta las siguientes posibilidades:



La adición de un óxido básico a un silicato líquido, eleva la formación de las cadenas menores, y la escoria se vuelve más fluida, gráficamente esto se puede observar en la figura 1.5.

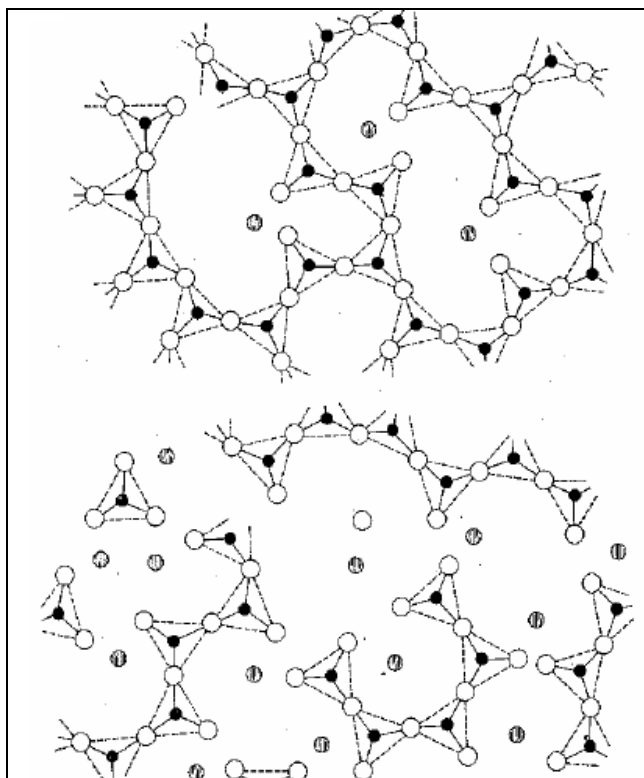


Figura 1.5. Fragmentación de las cadenas de tetraedros de silicato por la adición de óxido básico

(Da Costa, 1998)

En la figura 1.5 los óxidos básicos son incorporados y rompen la estructura de la sílice. Esto sucede hasta que toda la red de la sílice se ha roto, y no hay más óxidos metálicos que pueden ser reacomodados (Marsden y House, 1993; Correa, 2002).

Acido-base definición según Lux-Flood

Brönsted y Lowry, en 1923, definieron a los ácidos como las especies que tienden a donar protones y las bases como las especies que pueden aceptarlos, la formación de sales están igualmente incluidas dentro de los procesos ácido- base, donde existe la transferencia de un protón desde un ácido a una base. Según esta teoría la fuerza de un ácido depende de la menor o mayor capacidad de donar un protón, y la base a captarlo. Lewis por su parte llega a la conclusión que la neutralización consiste en la formación de un enlace coordinado entre la base que cede un par de electrones y el ácido que los acepta (Barras, 2006; Jiménez y De Manuel, 2002).

En 1939, Lux y Flood establecen que a altas temperaturas son básicas aquellas sustancias que ceden iones óxido, ácidas las que los aceptan y al mismo tiempo los incorporan a su red iónica, por ejemplo:



Lo antes mencionado es útil en sistemas anhidros de alta temperatura. Este tipo de procesos se encuentran en cerámica y metalurgia. Estos conceptos están en relación directa con la química de las soluciones acuosas de ácidos y bases (Barras, 2006).

Las escorias utilizadas en la fundición de metales preciosos son de tipo SiO_2 , B_2O_3 y Na_2O . Estas funden a temperaturas de entre 750 y 900 °C (Marsden y House, 1993).

Fase Mata

La fase mata lo componen los sulfuros de metales pesados. Estos pueden ser Fe, Co, Ni, Cu y Pb; se pueden formar matas por ejemplo: Cu-Fe, Cu_2S , FeS. Estas matas disuelven siempre O^{2-} , el aumento de la disolución corresponde a la medida de aumento de la relación Fe/Cu y la temperatura. A la fase mata se la conoce comúnmente como eje (Young, 1998).

Fase Speiss

La fase speiss tiene una apariencia metálica, está compuesta por soluciones recíprocas de arseniuros y antimoniuros de metales pesados generalmente de los metales de transición como Fe, Co, Ni. La densidad es próxima a la de los metales, en la fase speiss pueden disolverse fácilmente los metales preciosos, el oro tiene gran afinidad con el arsénico (Marsden y House, 1993).

Fase Metálica

De la fase metálica forman parte metales o aleaciones fundidas, los metales verdaderos los cuales en el estado sólido cristalizan y forman agrupaciones atómicas de tipo compacto, aumentan de volumen en aproximadamente 3 %, su entropía en 2 cal/°C atm g, su resistividad y su coeficiente de expansión térmico en 50 al 100 %.

Algunos no metales son solubles en los metales, estos pueden ser: H_2 , O_2 , S, N_2 , C, su solubilidad aumenta en la fusión del metal; sin embargo, la presencia de impurezas, afectan a las propiedades de los metales (Marsden y House, 1993).

La fase metálica, conocida comúnmente como régulo de Pb, está constituida por el Pb, que actúa en la fusión como colector de metales preciosos. Los metales preciosos de los minerales estudiados que son el Au y la Ag, los mismos que se separan del Pb mediante la copelación,

La copelación se utiliza para la refinación de los metales preciosos, su fundamento es la oxidación de los metales innobles aleados con el Au y la Ag, la copela está constituida comúnmente por magnesita, diatomita y cenizas de hueso, esta última, es la indicada para la fabricación de copelas porque facilita la absorción de los metales no nobles gracias a su capilaridad.

Luego, del proceso de copelación en la superficie de la copela, se obtiene el doré, el cual está compuesto por Au y la Ag (Marsden y House, 1993; Young, 1998; Martínón, 2003).

Dentro de la fusión, la selectividad no será perfecta, por lo cual se deben estudiar los equilibrios que ocurren entre fases. Existe un equilibrio entre las fases fundidas formadas, por ejemplo el equilibrio metal-escoria.

1.1.2. PROCESOS DE FLOTACIÓN

La primera etapa del proceso de flotación es la etapa de molienda. La molienda se realiza para liberar los minerales útiles de la ganga o roca. Al mineral molido se le incorporan los reactivos de flotación, para obtener la adherencia de las partículas de mineral deseado a las burbujas de aire.

Es necesario crear condiciones de hidrofobicidad sobre la superficie de los minerales deseados y condiciones hidrofílicas sobre el resto de las partículas. Los

reactivos que se utilizan en la flotación con los colectores, espumantes y modificadores (Gallegos, 2000).

El mecanismo de flotación consiste en la adhesión de las partículas de minerales a las burbujas de aire, estas partículas son llevadas a la superficie de la pulpa para ser removidas.

El mineral se acondiciona con modificadores, colectores y espumantes. La flotación contempla la presencia de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está representada por las materias a separar, la fase líquida es el agua y la fase gas es el aire (Araya, 1996).

Los sólidos finos liberados y el agua, se preparan en forma de pulpa con porcentaje de sólidos variables pero normalmente no superior a 40% de sólidos. Luego se inyecta el aire para poder formar las burbujas, que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas (Araya, 1996).

El KAX (xantato amílico de potasio), es el colector más utilizado para la mayoría de compuestos sulfurados que se encuentran presentes en el mineral; también en algunas ocasiones se puede utilizar el KEX (xantato etil de potasio) funciona generalmente como colector de la calcopirita. Los colectores son compuestos orgánicos que se absorben en la superficie del mineral dándole la propiedad de repelencia el agua (hidrofobisidad).

El aceite de pino es un agente tensoactivo que se adiciona como objetivo de estabilizar la espuma, disminuir la tensión superficial del agua, mejorar la cinética de interacción burbuja. Además, disminuye el fenómeno de unión de dos o más burbujas.

Aerofloat 208 es el reactivo utilizado para la colección de los metales preciosos, además tiene propiedades espumantes (Salager y Guedez, 2007).

1.1.2.1. Flotación selectiva

Los minerales sulfurados son fuente de metales no ferrosos como Pb, Cu, Zn, etc. Además, existe la presencia significativa de Ag y Au. Estos elementos se encuentran en mezclas complejas y requieren flotación diferencial en multi-tapas con asistencia de activadores y depresores.

Existen procesos de flotación que comprenden la depresión selectiva de pirita y esfalerita mientras que se flotan sulfuros de Cu. Otras separaciones importantes son las de Cu y Mo, o para la depresión de Pirrotita en flotación de Mo (Gallegos, 2000).

1.1.2.2. Flotación colectiva

Este método de flotación consiste en la separación de en dos grupos en los cuales el concentrado tiene dos ó más componentes de interés.

Este tipo de flotación se utiliza en minerales sulfurados que se caracterizan por la variedad de compuestos sulfurados dentro de su estructura identificados previamente (Gallegos, 2000).

1.1.3. TOSTACIÓN DE MINERALES SULFURADOS

La tostación de minerales sulfurados corresponde a la reacción entre sólidos y gases a altas temperaturas. Los nuevos sólidos obtenidos luego de este proceso ayudan a los posteriores ensayos de recuperación de elementos de valor (Lovera, 2002).

Dentro de los procesos de flotación se encuentran aquellos que se realizan en atmósfera oxidante en la cual los sulfuros de metales no ferrosos se transforman en óxidos, o en sulfatos (tostación de sulfatante) (Lovera, 2002).

La tostación de sulfuros en atmosfera oxidante se estudian en los diagramas de Ellingham, en estos diagramas se observa la termodinámica de las reacciones para varios metales. La temperatura dada para estos procesos es de 500 a 1 000 °C.

1.2. ESTUDIO DE LAS REACCIONES QUÍMICAS EN EL ENSAYO AL FUEGO

La termodinámica estudia las relaciones matemáticas cuantitativas entre las propiedades medibles de los sistemas; tomando en cuenta, las leyes y principios que están ligados a las transformaciones energéticas de la materia.

La termodinámica utiliza las variables de estado como temperatura, presión y composición, las mismas que se pueden manipular para fijar o alterar el estado de un sistema. En determinadas situaciones se puede utilizar también potenciales eléctrico, magnético, mecánico, gravitacional y superficial (Restrepo, 1998).

Al aplicar las ecuaciones termodinámicas en sistemas sólidos se tiene características muy especiales ya que estos presentan resistencia a los esfuerzos cortantes e inercia relativa a reaccionar (Restrepo, 1998; Lozada, 2006).

1.2.1. EQUILIBRIO TERMODINÁMICO

En la primera ley de la termodinámica se indica que para un sistema en equilibrio interno, existe una cantidad llamada energía interna E . En un sistema cerrado que pasa de estado inicial a otro final por cualquier medio o proceso, se mide el calor absorbido por el sistema Q y el trabajo W realizado por el sistema.

Se sabe que la diferencia entre Q y W será la misma por cualquier vía utilizada, esta diferencia, solo depende de los estados inicial y final del sistema. La

propiedad de estado que representa estos términos de energía toma el nombre de energía interna, la ecuación es:

$$\Delta E_{1-2} = Q - W \quad [1.8]$$

Esta ecuación también se la puede representar diferencialmente, entonces,

$$dE = \delta Q - \delta W \quad [1.9]$$

La ecuación anterior define solo un cambio en E durante un proceso. En términos de dos cambios medibles, integrando la ecuación 1.9, se obtiene:

$$E_2 - E_1 = \int_1^2 Q - \int_1^2 W \quad [1.10]$$

Donde:

E_1 es la energía interna en el estado 1

E_2 es la energía interna en el estado 2

La segunda ley de la termodinámica establece que la propiedad llamada entropía S es una propiedad de estado.

- En un sistema en equilibrio con sus alrededores (proceso reversible), la entropía de los alrededores mas la del sistema es constante:

$$d_{sis}^{rev} S + d_{alv}^{rev} S = 0 \quad [1.11]$$

- En un proceso espontáneo (irreversible):

$$d_{sis}^{rev} S + d_{alv}^{rev} S > 0 \quad [1.12]$$

La entropía está definida termodinámicamente como:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$$

[1.13]

Se establece la expresión para la segunda ley, esto es:

$$dS \geq 0$$

[1.14]

Cuando ocurre esto en un sistema y sus alrededores se trata de un sistema aislado, el cual puede ser adiabático, isométrico y cerrado. Esta expresión da la tendencia hacia la espontaneidad.

En un sistema en equilibrio, entonces:

$$dE = TdS - \delta W$$

[1.15]

En un proceso con una composición y masas fijas, el trabajo realizado esta asociado con el volumen, el δW se convierte en $P_{alr}dV$ y en un proceso reversible $P_{alr}=P_{sis}$, entonces:

$$dE = TdS - P_{alr}dV = TdS - PdV$$

[1.16]

Como el término de E esta expresado en términos de las variables independientes S y V, las cuales son difíciles de manipularse experimentalmente, se introdujo una nueva cantidad llamada energía libre G, esta energía se define como:

$$G = E + PV - TS$$

[1.17]

Diferenciando la ecuación 1.17 y sustituyendo en 1.16 se obtiene:

$$dG = VdP - SdT$$

[1.18]

La cantidad G depende de dos variables que pueden ser manejadas fácilmente P y T.

A condiciones de equilibrio, la ecuación 1.18 sería:

$$dG = 0 \quad [1.19]$$

En un proceso espontáneo e irreversible, a presión y temperatura constante, alcanza un mínimo en el equilibrio (Restrepo, 1998; Levenspiel, 2005).

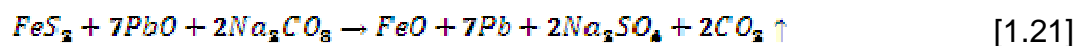
$$dG < 0 \quad [1.20]$$

1.2.2. REACCIONES EN LA FUSIÓN

En el punto de fusión se incrementa la energía de vibración, de manera que esta fuerza venza las fuerzas intermoleculares que existen en el compuesto. Estas interacciones no covalentes entre las moléculas explican el punto de fusión y otras propiedades de las sustancias que no son iónicas. De esta manera se obtiene el fundido, sabiendo que para presión constante la temperatura de fusión corresponde a la temperatura de cristalización, la cantidad de calor suministrado corresponde a la energía necesaria, para la transición de una mol del sólido al estado líquido (Maron y Prutton, 1996; Fogler, 2001).

Es importante conocer el mecanismo de cada reacción de los diferentes componentes de la carga fundente, la selección correcta de los componentes y sus cantidades son los factores más importantes para una fusión exitosa.

El Na_2CO_3 es un poderoso agente desulfurizante y oxidante, al estar en contacto con sulfuros y en presencia del PbO. Esto se puede observar en la siguiente reacción:



La sílice por su parte al igual que el bórax son agentes que ayudan a la formación de silicatos y boratos respectivamente, los cuales forman parte de la escoria (Marsden y House, 1993., Lenahan y De Manuel, 1997).



El bórax es de gran ayuda para una buena fluidez de la escoria, en una primera etapa el bórax se disocia para formar anhídrido bórico.

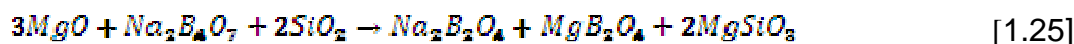


El anhídrido bórico formado se combina con los óxidos metálicos para formar los boratos.



Es importante reconocer las reacciones que ocurren durante la fusión y obtener información acerca de la proporción de los diferentes compuestos que forman la carga fundente.

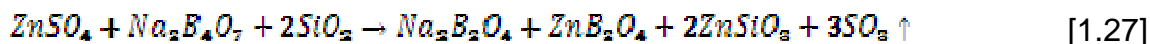
Se puede estudiar las reacciones en función de la carga fundente y del óxido con el cual se combinen; así por ejemplo, si es un óxido univalente la reacción sería la siguiente:



Si el óxido es trivalente la reacción sería:



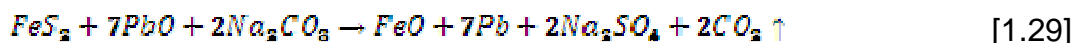
Al tener sulfatos que interviene en la fusión, se produce la reacción que se observa a continuación



La fusión de la sílice, la cual es la base fusión de la carga, la misma que tiene la capacidad de disolución de óxidos metálicos (Marsden y House, 1993., Lenahan y De Manuel, 1997).



La oxidación y fusión de piritas generalmente ocurre en tres etapas:



1.3. DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO TERNARIOS $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$, SiO_2 Y $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Una forma práctica de presentar información de un equilibrio de sistemas metalúrgicos es mediante el uso de diagramas de equilibrio de fases, estos diagramas recogen directamente las condiciones de equilibrio.

1.3.1 SISTEMA TERNARIO

Existen cuatro variables independientes en un sistema ternario de las cuales se puede mencionar presión, temperatura y dos concentraciones variables. Una solución ternaria requiere establecer su composición con respecto a dos de los componentes antes de fijar su composición total (Restrepo, 1998).

Las composiciones pueden representarse en coordenadas triangulares utilizando el método de Roozeboom también llamado Gibbs modificado, donde, cada lado del triángulo está dividido en cien partes y cada diez divisiones se superponen líneas paralelas de cada uno de los otros lados. La temperatura puede estar representada mediante líneas paralelas perpendiculares al plano del triángulo de composición. La temperatura de una superficie térmica puede estar indicada en intervalos de temperatura uniforme usando isotermas (Restrepo, 1998).

En la figura 1.6 se observa la representación prismática tridimensional para el equilibrio heterogéneo de un sistema.

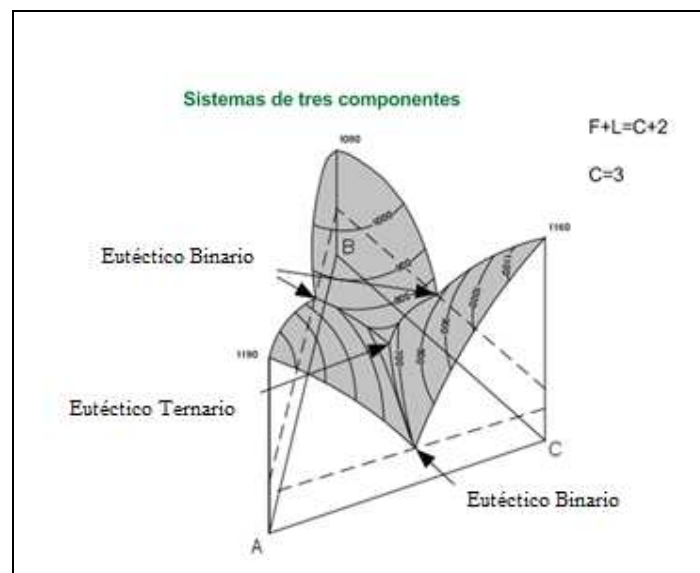


Figura 1.6. Sistema eutéctico ternario ABC

(Castillo, 1998)

1.3.1.1. Diagrama de fases $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

El diagrama de fase ternario a presión constante puede obtenerse como un modelo tridimensional, cuya base es un triángulo equilátero y en sus lados se representa la composición de cada óxido.

En las tres caras verticales de los diagramas ternarios encontramos los subsistemas binarios. Se pueden construir diseños bidimensionales los cuales se

obtienen como una proyección ortogonal sobre un triángulo de composición, en los diagramas ternarios las superficies líquidas se encuentran en un punto (Morando *et al.*, 2005; Restrepo, 1998).

El mineral al combinarse con la carga fundente, generalmente a temperaturas de 1 200 °C a 1 400 °C y al mantenerla por aproximadamente por 1,5 h logra separar las impurezas y enviarlas a la fase escoria.

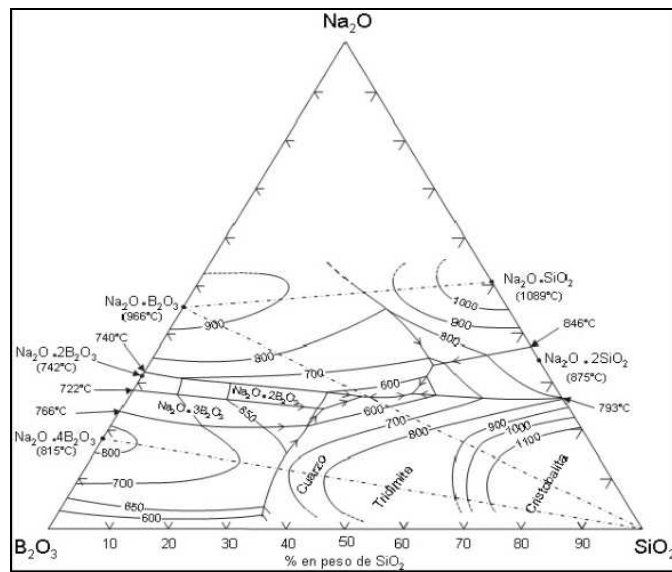


Figura 1.7. Diagrama de fases $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

(Marsden y House, 1993)

1.3.1.2. Diagrama de fases $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Para la descripción termodinámica se ha observado las características que presentan los diagramas de equilibrio ternarios $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, y en los cuales se han optimizado los parámetros para el sistema.

Se ha estudiado los diagramas binarios en los cuales se han realizado por el método de extrapolación. Estos diagramas presentan datos experimentales de la fase líquida los cuales concuerdan con los sistemas binarios optimizados (Grundy, 2006; Zhu *et al.*, 2006).

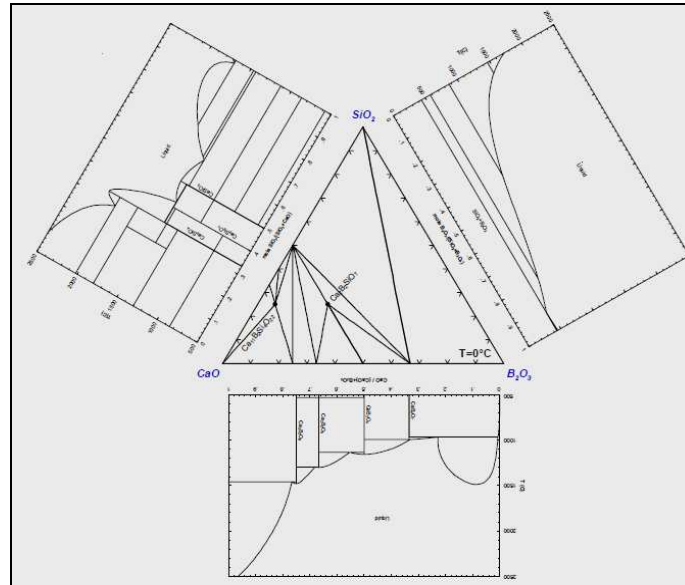


Figura 1.8. Diagrama de fases ternario y binarios CaO-B₂O₃-SiO₂
(Grundy, 2006)

En el diagrama ternario CaO-B₂O₃-SiO₂ representado en la figura 1.8 se puede observar las diferentes zonas de fusión que existen. Al representar las distintas composiciones se puede obtener el punto de fusión de la carga fundente.

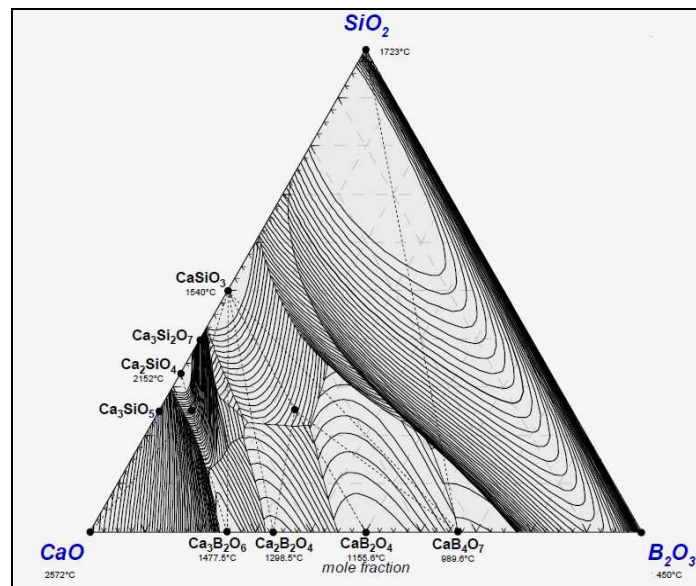


Figura 1.9. Diagrama de fases ternario y binarios CaO-B₂O₃-SiO₂
(Grundy, 2006)

Estos diagramas se originaron tomando en cuenta que los datos experimentales de los sistemas multicomponentes son datos de la fase líquida.

Se han realizado algunos estudios relacionados con las propiedades que presentan los sistemas $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ al ser sometidos a diferentes temperaturas, para este estudio se trabajó con diferentes de cantidades de CaO , B_2O_3 , SiO_2 .

Chiang utilizó diferentes formulaciones, basándose en la mezcla de diferentes cantidades de los compuestos en estudio, en el cual se observó la sinterización de las diferentes mezclas. La temperatura de los compuestos varía en un rango de $680\text{ }^\circ\text{C}$ a $710\text{ }^\circ\text{C}$, a excepción de la muestra CBS-3 donde la temperatura es de $830\text{ }^\circ\text{C}$ la cual presenta alta viscosidad y empieza a cristalizar aproximadamente a los $920\text{ }^\circ\text{C}$, la misma que es mayor al resto de muestras. La diferencia de cada prueba debido a la dosificación de los diferentes compuestos se observan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Formulaciones para el sistema $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Formulación	%CaO	%B ₂ O ₃	%SiO ₂
CBS-3	66,40	19,20	14,40
CBS-5	34,90	35,60	29,50
CBS-7	27,50	10,80	61,40
CBS-8	17,80	34,60	47,60
CBS-9	9,50	25,00	65,50
CBS-10	47,80	8,60	43,60

(Chiang *et al.*, 2008)

En este estudio Chiang analizó las mezclas que se observan en la tabla anterior a diferentes temperaturas, mediante difracción de rayos X observó los resultados que se presentan en la figura 1.10.

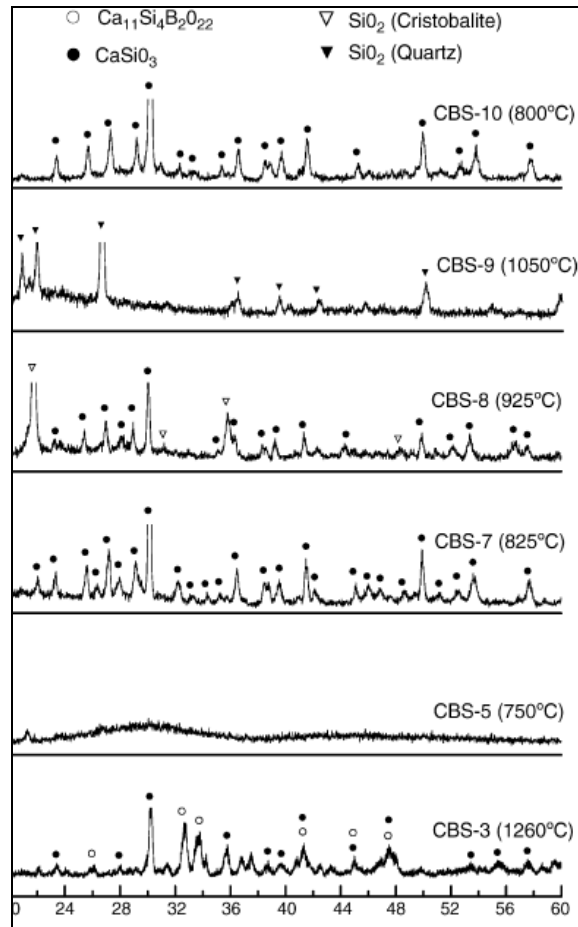


Figura 1.10. Difracción de rayos X del sistema $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

(Chiang *et al.*, 2008)

La muestra CBS-3 densifica a mayor temperatura, donde se obtiene CaSiO_3 y $\text{Ca}_{11}\text{Si}_4\text{B}_2\text{O}_{22}$. Aunque, en las demás fases se puede encontrar CaSiO_3 cuando fueron densificando.

2. PARTE EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se evaluó y comparó el método de ensayo al fuego convencional en el cual se emplea Na_2CO_3 ; con el propuesto al sustituir total y parcialmente CaCO_3 como componente de la carga fundente. Se estudiaron cuatro tipos de minerales de diferente procedencia, el primero de Pacto, esta zona se ubica al noroccidente de la provincia de Pichincha; el segundo de Pachijal, este sitio minero se encuentra también en la provincia de Pichincha a pocos kilómetros de Mindo. Además se trabajó con el mineral proveniente de Virón, que está situado en Santa Rosa, El Oro; y por último con el mineral procedente de Bucay, esta área se encuentra ubicada en la provincia de Guayas, en Pallatanga.

En primer lugar se redujo el tamaño de los minerales de origen, luego se efectuó la caracterización físico, química y mineralógica global del mineral molido. Se obtuvieron los concentrados de las diferentes muestras mediante procesos de flotación; estos concentrados se analizaron química y mineralógicamente. Posteriormente, los concentrados fueron tostados con el fin de eliminar los sulfuros y arseniuros que causan interferencias en los ensayos al fuego.

Con el fin de conocer las cantidades de Au y Ag presentes en los concentrados tostados, se realizaron ensayos al fuego con el uso de Na_2CO_3 como componente de la carga fundente estándar. Posteriormente se realizaron ensayos de fusión reemplazando parcial y totalmente el Na_2CO_3 por CaCO_3 , de estos ensayos, se obtuvieron las fases metálica y escoria. La fase metálica fue sometida al proceso de copelación y se determinó la cantidad de Au y Ag retenidos. Simultáneamente, se analizó la fase escoria mediante espectrofotometría de absorción atómica y microscopia óptica de barrido, además se observaron las características de escorificación.

Finalmente, se realizaron fusiones con temperatura controlada de los componentes de la carga fundente para establecer las posibles reacciones que se producen al sustituir el Na_2CO_3 por CaCO_3 . El producto de estos ensayos fue

analizado por difracción de rayos X. Los minerales siguieron las secuencias de operaciones que se muestra en la figura 2.1.

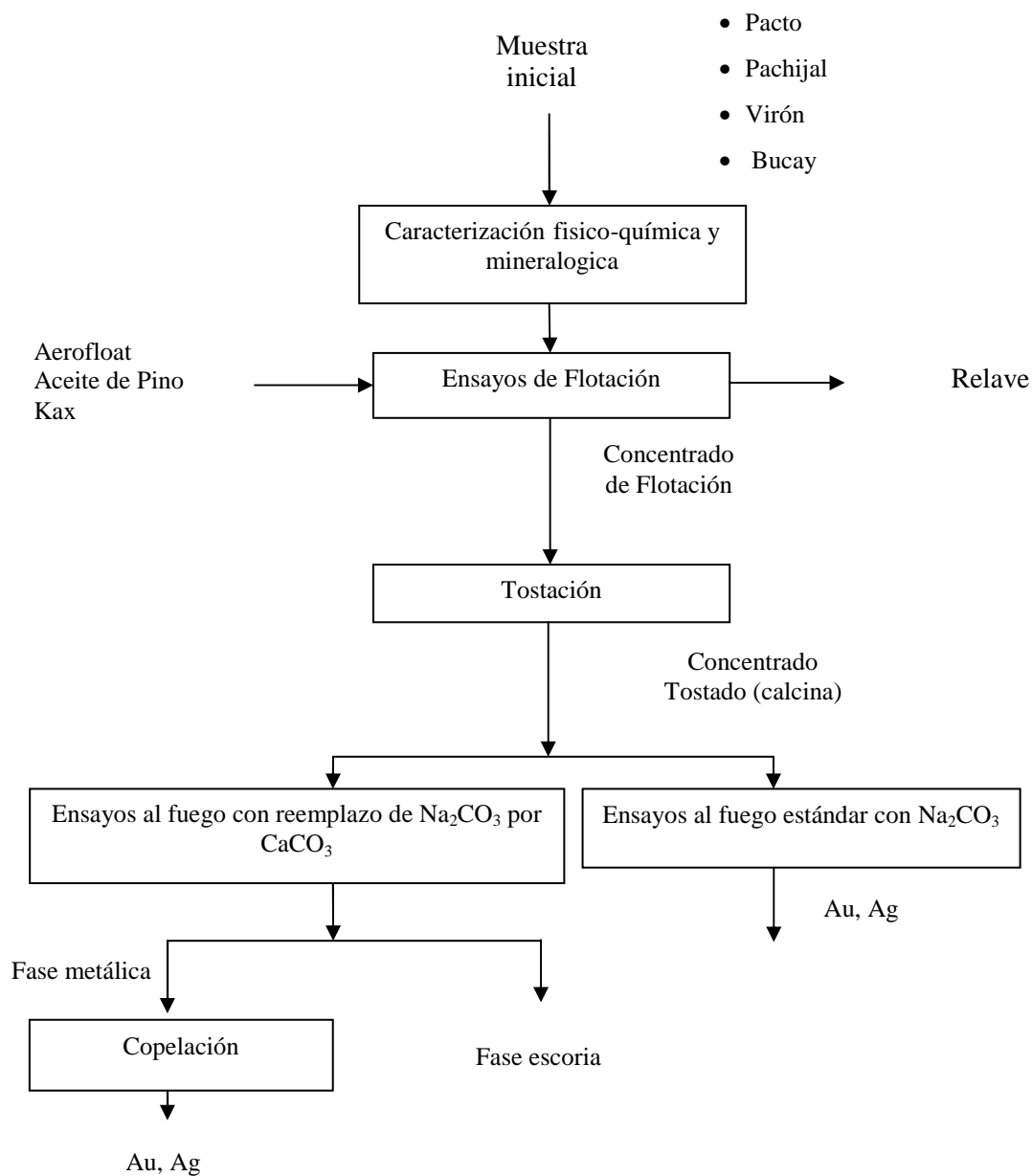


Figura 2.1. Diagrama del proceso para el estudio de la fusión de calcinas con el uso de CaCO_3 en la carga fundente

2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE MINERALES PROCEDENTES DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

En primer lugar, los minerales de origen cuyos tamaños de partícula eran mayores a una pulgada, fueron sometidos a un proceso de reducción de tamaño hasta un tamaño de partícula menor a 150 μm . El mineral molido se utilizó para realizar la caracterización física, química y mineralógica.

Para la caracterización de los minerales en estudio procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay; se realizaron pruebas físicas para determinar su granulometría (d₈₀) y densidad. La caracterización química incluyó medición del pH utilizando el equipo Hanna HI98120, y el contenido de Cu, Fe, Al, Pb, Na, Ca, Mg y Zn mediante espectrofotometría de absorción atómica con el equipo AAnalyst 300 (Perkin Elmer). Finalmente se realizó un análisis mineralógico global mediante difracción de rayos X con el equipo D8Advance (Bruker).

2.1.1. REDUCCIÓN DE TAMAÑO DEL MINERAL DE ORIGEN

Los tamaños de partícula de los minerales de origen fueron mayores a una pulgada, por este motivo fue necesaria la reducción de tamaño para realizar la caracterización física, química y mineralógica y los posteriores ensayos. En el laboratorio se procedió de la siguiente manera:

- Se redujo el tamaño del mineral con la ayuda de un molino de rodillos de fabricación nacional con capacidad de 300 kg/h.
- Se tamizó con un tamiz vibratorio de capacidad de 100 kg/h fabricado en el Ecuador, el mismo que tiene una abertura de 2 mm la cual corresponde a la malla # 16.
- Se cuarteó y homogenizó el material que pasó la malla #16.
- Se tomaron 2 kg del material homogenizado

- Se añadieron 1 200 mL de agua (62,5 % de sólidos) y la pulpa obtenida se colocó en el molino de bolas de construcción nacional de capacidad 2 kg.
- Se molió durante 40 minutos.
- La pulpa obtenida se filtró en un filtro prensa a 30 psi durante 10 minutos.
- Se recogió la torta y se secó en una estufa (MEMMERT) a 90 °C.
- El material seco se utilizó para la caracterización física, química y mineralógica.

2.1.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS MINERALES DE ORIGEN

Las muestras molidas durante 40 min fueron sometidas a separación mecánica utilizando una serie de tamices que conforman mallas estándar: #30 (600µm), #40 (425µm), #50 (300µm), #60(250µm), #80 (180µm), #100 (150µm), #150 (106µm), #200 (75µm), #270 (53µm), #325 (45µm) y #400 (38µm) Se colocaron 250 g de muestra en el tamiz superior y tamizó durante 15 min. Se pesaron las fracciones retenidas en los tamices y se registraron estos valores, con los pesos obtenidos se determinó el tamaño de partícula (d80).

2.1.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS MINERALES DE ORIGEN

Para la determinación de la densidad real de las muestras se utilizó la Norma NTE0856:1983, para lo cual se pesó el picnómetro limpio y seco (P_0), después se pesó el picnómetro más 1 g de muestra (P_1), luego se pesó el picnómetro más la muestra y más agua (P_2), y finalmente se pesó el picnómetro más agua sin muestra (P_3), con los pesos se determinó la densidad de la muestra aplicando la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{1}{1 + \frac{(P_2 - P_1)}{(P_3 - P_0)}}$$

[2.1]

Donde:

P_0 = Peso del picnómetro vacío (g)

P_1 = Peso del picnómetro más muestra (g)

P_2 = Peso del picnómetro más muestra y más agua (g)

P_3 = Peso del picnómetro más agua (g)

δ = Densidad (g/cm^3)

2.1.4. DETERMINACIÓN DEL pH DE LOS MINERALES DE ORIGEN

Para determinar el pH de los minerales se realizó una pulpa 40 % de sólidos y con ayuda de un pHmetro (Hanna HI98120) se reporto el resultado medido, de esta forma se obtuvo los valores de pH para las diferentes muestras.

2.1.5. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE ORIGEN MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para la caracterización química de las muestras de origen y concentrados, se pulverizaron las muestras, las mismas que fueron sometidas a disgregación ácida. Se tomaron 100 mg de cada muestra; los ácidos utilizados para el ataque fueron: HF, HNO₃, HCl; este procedimiento se realizó en reactores de teflón. Junto con las muestras se preparó un blanco con los ácidos analíticos utilizados. Los reactores se colocaron en el microondas durante 2,5 minutos por cada reactor utilizando 3 mL de HF y 3 mL de HNO₃; luego de enfriar el reactor se añadió 5 mL de HCl y se colocó en el microondas por el mismo tiempo.

Posteriormente se aforó la solución en un matraz de 100 mL y se determinó la concentración de Cu, Zn, Fe, Al, Pb, Na, Ca, Mg y Si en las muestras mediante espectrofotometría de absorción atómica.

2.1.6. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA GLOBAL DE LAS MUESTRAS DE ORIGEN

Para la caracterización mineralógica global de las muestras de origen, se pulverizaron 100 g de muestra durante 1 min, para esto se utilizó un pulverizador Bleuler-Mill. Se analizaron 2 g del mineral pulverizado mediante difracción de rayos X, con el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac Plus.

2.1.7. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA ÓPTICA DE SECCIONES PULIDAS DE LOS MINERALES

Se realizó el análisis por microscopia óptica de secciones pulidas con el microscopio Petrográfico Leica con luz reflejada para conocer la composición mineralógica de los minerales estudiados. El procedimiento se describe a continuación:

- Se corta una sección de la roca mineralizada de cada mineral que presentan sulfuros en su estructura, esto se realizó con una cortadora Diamant Boart TS350FD
- Se lijó una roca de origen de cada mineral con las lijas #100 y #220.
- La roca lijada se pulió con el equipo Vector Buehler.
- La roca pulida se estudió con el microscopio Petrográfico Leica.

2.2. ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

Se realizaron los ensayos de flotación de los minerales de origen donde las condiciones de operación variaron según el mineral estudiado. Para los minerales de Pacto y Pachijal se realizó flotación selectiva y para los minerales de Virón y Bucay flotación colectiva. Previo a los ensayos de concentración por flotación, el material homogenizado obtenido del procedimiento descrito en la sección 2.1.1 fue preparado mediante la operación de molienda.

Los ensayos de flotación para la obtención de los concentrados, se llevaron a cabo en una celda de flotación Denver (D-12) la cual tiene una capacidad de 4 L y la agitación es de 1600 rpm.

2.2.1. CONDICIONES DE MOLIENDA PARA ENSAYOS DE FLOTACIÓN

La operación de molienda realizada para preparar el mineral se describe a continuación:

- Se tomaron 2 kg del mineral homogenizado.
- Se añadieron 1 200 mL de agua para preparar una pulpa con 62.5 % de sólidos.
- La pulpa obtenida se colocó en el molino de bolas de construcción nacional.
- Se añadió cal y silicato de sodio a la pulpa, ambos reactivos funcionan como modificantes en el proceso de flotación. La cal se utilizó únicamente para los minerales que fueron concentrados por flotación selectiva para elevar el pH de la pulpa, el silicato de sodio inhibe o evita la absorción de los colectores en los minerales que no se desea flotar.
- Se molió durante 40 minutos, a este tiempo se obtuvo un d80 próximo a 102 μm , la pulpa final fue empleada en los subsiguientes ensayos de flotación.

2.2.2. ENSAYOS DE FLOTACIÓN PARA MINERAL DE PACTO Y PACHIJAL

El mineral de Pacto y Pachijal fue sometido a ensayos de flotación selectiva, los mismos que tienen por objeto concentrar la mayor cantidad del sulfuro de interés, estos compuestos pueden ser la calcopirita, pirita, esfalerita o galena, según la naturaleza del mineral.

- Se colocó la pulpa obtenida de la molienda en la celda de flotación con 2 800 mL de agua para obtener una pulpa del 33% de sólidos.

- En la primera fase la cual toma el nombre de etapa de acondicionamiento 1, se midió el pH
- Se adicionaron 20 g/TM de aceite de pino y 15 g/TM de aerofloat 208, la pulpa se agitó durante 5 minutos.
- Transcurrido los 5 minutos la pulpa pasó a la etapa de flotación 1, donde se introdujo aire a la celda y se agitó durante 3 min, lo que permitió flotar el sulfuro de interés y recoger el concentrado en una bandeja con ayuda de una paleta plástica.
- El relave de la primera flotación pasó a la etapa de acondicionamiento 2, en la cual se añadieron 30 g/TM de KAX y 10 g/TM de aceite de pino.
- La mezcla obtenida fue agitada durante 5 minutos.
- Cumplido este tiempo se introdujo aire y con agitación continua el mineral pasó a la etapa de flotación 2
- La flotación 2 duró 7 minutos, el mineral flotante fue recogido en una bandeja metálica.
- El relave y los concentrados provenientes de la flotación 1 y la flotación 2 se dejaron reposar durante un par de horas para luego retirar el exceso de agua.
- Finalmente se secaron en una estufa eléctrica (MEMMERT) hasta obtener el mineral totalmente seco.
- Se retiraron las bandejas de la estufa y se pesaron para obtener la cantidad de mineral de cada etapa de la flotación selectiva.
- Se analizaron concentraciones de Au y Ag para realizar los balances metalúrgicos de cada mineral.

En la figura 2.2 se muestran las etapas de la flotación selectiva.

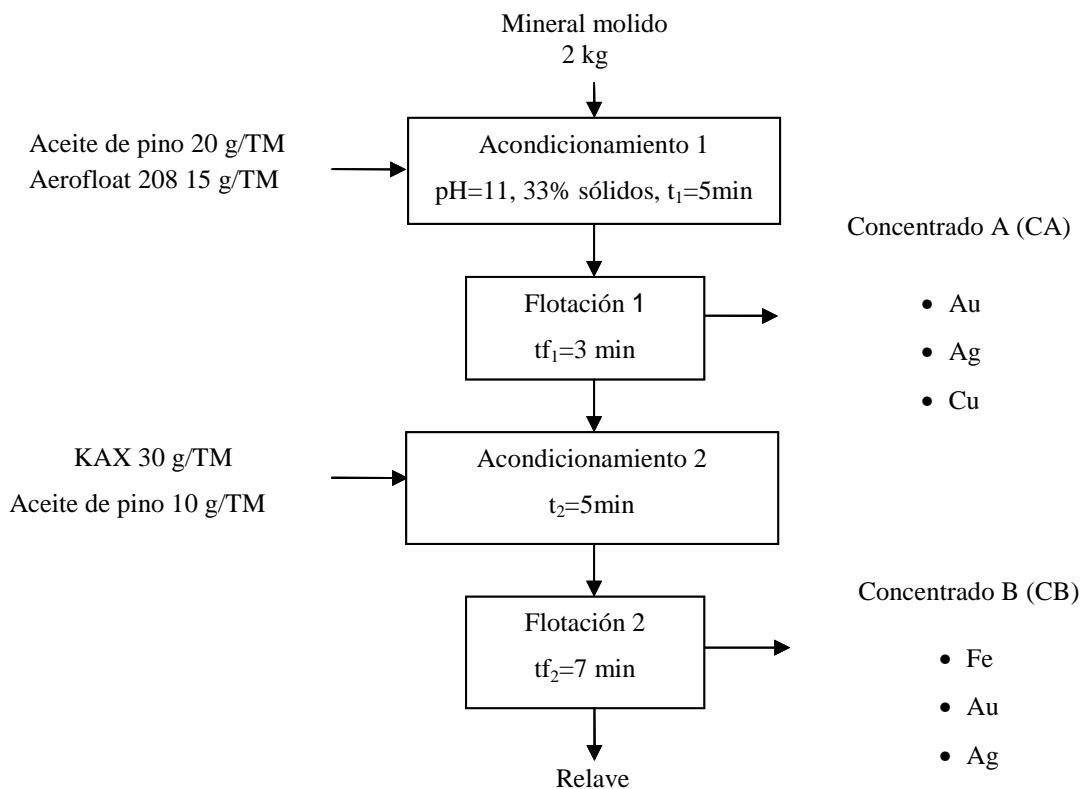


Figura 2.2 Flotación selectiva para los minerales de Pacto y Pachijal

Donde t_1 y t_2 son los tiempos de agitación en las etapas de acondicionamiento 1 y 2; tf_1 y tf_2 son los tiempos de flotación 1 y 2 respectivamente.

2.2.3. ENSAYOS DE FLOTACIÓN PARA MINERAL DE VIRÓN Y BUCAY

Para los minerales de Virón y Bucay se realizaron ensayos de flotación colectiva, en la cual se espera obtener un concentrado con alta cantidad de sulfuros el cual toma el nombre de concentrado A (CA).

- Se utilizó la pulpa obtenida de la molienda junto con 2 800 mL de agua con lo que se preparó una pulpa de 33 % de sólidos dentro de la celda de flotación Denver.
- En una primera etapa de acondicionamiento 1, se midió el pH y se colocaron 25 g/TM de aceite de pino, 15 g/TM de aerofloat 208 y 50 g/TM de KAX.

- Se agitó durante 5 minutos y luego pasó a la etapa de flotación 1.
- En esta etapa de flotación 1 se introdujo aire y se agitó durante 10 minutos para obtener el concentrado A.
- Se efectuó un segundo acondicionamiento con el fin de no eliminar los compuestos de interés en el relave.
- En el segundo acondicionamiento se añadió 10 g/TM de aceite de pino y 10 g/TM de KAX, transcurridos 5 minutos de agitación, la pulpa pasó a la etapa de flotación 2
- La flotación 2 duró 10 minutos de la cual se obtuvieron el concentrado B y un relave final.
- Las minerales contenidos en las bandejas metálicas se dejaron sedimentar durante un par de horas transcurrido este tiempo se eliminó el exceso de agua, las muestras fueron introducidas en la estufa eléctrica para secarlas, luego se pesó el mineral seco de cada etapa de la flotación colectiva.

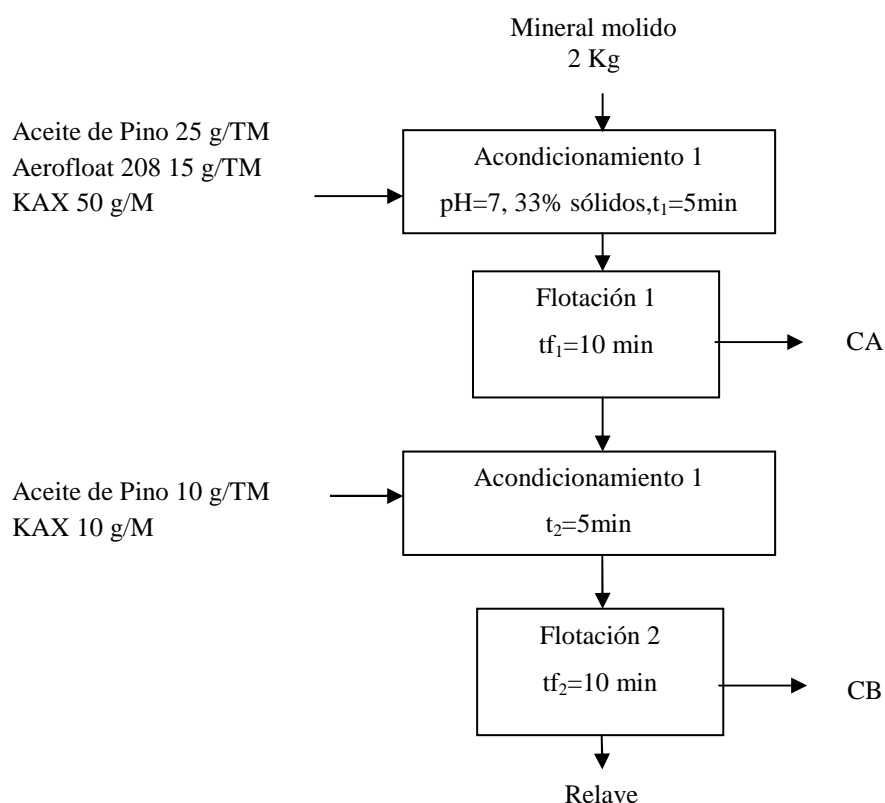


Figura 2.3 Flotación colectiva para los minerales de Virón y Bucay

2.2.4. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE CONCENTRADAS MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Las muestras concentradas fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica, el procedimiento seguido se encuentra descrito en la sección 2.1.4.

2.2.5. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA GLOBAL DE LAS MUESTRAS CONCENTRADAS DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

Se realizó la caracterización mineralógica de los concentrados de flotación de los minerales provenientes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, para esto se procedió de igual forma que lo descrito en la sección 2.1.5.

2.3. ENSAYOS DE TOSTACIÓN

Para realizar los ensayos de fusión, los concentrados de flotación fueron sometidos a tostación con el fin de eliminar los compuestos volátiles, como el azufre, arsénico y antimonio, se realizaron las pruebas de tostación para los concentrados obtenidos en los ensayos de flotación.

Para los ensayos de tostación se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza electrónica (Mettler PE11, capacidad 10 kg)
- Una mufla eléctrica (Sepor, temperatura máxima 1 000 °C)

El proceso experimental realizado para la tostación se explica a continuación:

- Se pesaron 30 g de muestra concentrada por flotación de Pacto, Virón y Bucay; y para el mineral de Pachijal se tomaron 20 g de muestra concentrada. La

cantidad de muestra tomada del mineral Pachijal fue menor para evitar el excesivo desprendimiento de compuestos volátiles como arseniuros.

- Para el concentrado del mineral de Pacto, la tostación comenzó a una temperatura de 20 °C y alcanzó una temperatura de 800 °C, el tiempo de tostación fue de 2 h.
- Los concentrados de Pachijal, Virón y Bucay se colocaron en la mufla durante 4 h, la temperatura inicial fue 20 °C y la temperatura final fue 960 °C. Estas condiciones se aplicaron al considerar estudios realizados que establecieron las condiciones óptimas de tostación (Miranda, 2005; Acosta, 2004).
- Se retiraron las muestras de la mufla y se dejaron enfriar
- Se analizaron las calcinas mediante difracción de rayos X para determinar la cantidad de óxidos metálicos presentes después del proceso de tostación.

2.4. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR CON Na_2CO_3 EN CONCENTRADOS DE MINERALES DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

En este trabajo se utilizó el ensayo al fuego estándar el cual ha sido empleado tradicionalmente para la determinación de metales preciosos como se explica en la sección 1.1.1. Este método permitió determinar la cantidad de Au presente en la muestra y el comportamiento general del mineral con la carga fundente estándar. La concentración de Au se utilizó como referencia para los posteriores ensayos al fuego.

Con las calcinas de los minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, se realizaron ensayos con la carga fundente estándar que consta de Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO, SiO_2 y C. Los ensayos estándar se realizaron para conocer la cantidad de Au que contiene la muestra, esta cantidad fue tomada como referencia para los ensayos en donde se reemplazó el Na_2CO_3 por CaCO_3 . Para los ensayos convenciones se utilizó una mufla eléctrica (Sepor) la cual tiene una temperatura de operación máxima de 1 000 °C, este equipo se puede observar en la figura 2.4. Además se

utilizó un horno de crisol que tiene la ventaja de utilizar GLP como combustible y puede llegar a temperaturas de 1 200 °C.



Figura 2.4. Horno de crisol (izquierda) y mufla eléctrica (derecha)

El procedimiento experimental para los ensayos convencionales se describe a continuación:

- Se tomaron 30 g de la muestra tostada de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay. También se tomaron 30 g del mineral de origen de Pacto y de su relave obtenido mediante los ensayos de flotación descritos en la sección 2.2.2. Para el mineral de Pachijal, los 20 g de muestra fueron sometidos a un pre-tratamiento con el fin de eliminar el cobre presente, para ello se colocó la muestra en un vaso de precipitación y se añadió ácido sulfúrico 70 g/L, se trabajó con 30 % de sólidos y se agitó durante 2,5 h, transcurrido este tiempo se lavó la muestra con abundante agua y se dejó secar.
- La carga fundente para las diferentes calcinas, se especifica en la tabla 2.1, la cantidad de Na_2CO_3 varía de un mineral a otro debido al contenido de óxidos que presentan las calcinas. Según el contenido de sílice en cada mineral se determinó la cantidad de este compuesto en la carga fundente, esto se explica en la sección 1.1.1.1.

Tabla 2.1. Cargas fundentes estándar utilizadas en los ensayos al fuego para los minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay

Carga fundente	Mineral			
	Pacto	Pachijal	Virón	Bucay
Na_2CO_3 (g)	40	50	60	60
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (g)	30	30	30	30
PbO (g)	40	40	40	40
SiO_2 (g)	-	30	-	-
C (g)	3	3	3	3

(Correa, 2002., Acosta, 2004)

- Se homogenizaron el mineral junto con la carga fundente y se colocaron en un crisol de arcilla.
- Para Pacto, Pachijal y Virón se colocó el crisol en la mufla eléctrica a 900 °C por 45 min, en el caso particular de Bucay el crisol fue colocado en la mufla a 960 °C durante igual tiempo.
- Se retiró el crisol de la mufla y se vertió el contenido en una lingotera. También se observaron las propiedades de escorificación como fluidez, color y brillo.
- Se dejó enfriar por algunos minutos y se procedió a separar la escoria de la fase metálica
- Se pesó el régulo metálico, y se sometió al proceso de copelación
- La copelación se realizó a la temperatura de 960 °C durante 40 min.
- Se retiró la copela de la mufla y se dejó enfriar por algunos minutos
- Se retiró el doré de la copela, se lo pesó y luego se realizó el ataque con HNO_3 (1:1). En los casos en los que el doré tuvo alto contenido de oro se realizó la encuartación. Para encuartar, se adicionó el triple del peso del doré en plata y se copeló nuevamente con una lámina de Pb y se obtuvo un nuevo doré. Debido a este ataque ácido la plata a solución.
- El Au se lavó con agua destilada para eliminar la solución ácida y se colocó en un crisol cerámico
- El crisol se colocó en la estufa eléctrica a 90 °C para que el agua se evapore.
- El crisol con Au se introdujo en la mufla por 10 minutos a 900 °C.
- Se retiró el crisol cerámico, se dejó enfriar y se pesó el Au.

Para el caso de los relaves de flotación en los cuales se presentaron bajos contenidos de Au y Ag, se procedió de la siguiente forma:

- Después del proceso de copelación se retiró el doré y se pesó.
- El doré se colocó en un tubo de ensayo donde se atacó con agua regia(HNO_3 - HCl 1:3).
- Al tener el Au y la Ag en solución se aforó en un matraz de 100 mL y se determinó la concentración de Au y Ag mediante espectrofotometría de absorción atómica.

2.5. ENSAYOS AL FUEGO REEMPLAZANDO EL Na_2CO_3 POR CaCO_3 EN LA CARGA FUNDENTE

Para estudiar la influencia de la sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 en las cargas fundentes empleadas para los ensayos al fuego de las calcinas procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, se realizaron pruebas reemplazando el Na_2CO_3 progresivamente hasta obtener la sustitución total por CaCO_3 . Para realizar estos ensayos se trabajó con las calcinas obtenidas de la tostación que fueron las mismas utilizadas en los ensayos estándar de la sección 2.4.1.

Al mismo tiempo se realizó el estudio de las reacciones que podrían ocurrir en la fusión al sustituir el Na_2CO_3 por CaCO_3 .

2.5.1. ENSAYOS AL FUEGO DE LAS CALCINAS DE LOS MINERALES AURIFEROS CON REEMPLAZO DE Na_2CO_3 POR CaCO_3

Para Pacto se utilizaron las calcinas de origen, concentrado y relave, y para Pachijal, Virón y Bucay se emplearon los concentrados tostados.

Para cada prueba en donde se reemplazó Na_2CO_3 por CaCO_3 se realizaron 2 pruebas paralelas, el procedimiento experimental fue el mismo utilizado para los ensayos estándar, el cual es detallado en la sección 2.4.1. Sin embargo, las cantidades de Na_2CO_3 y CaCO_3 , temperatura y equipos utilizados variaron para los ensayos que se describen en esta sección.

Para el mineral proveniente de Pacto se realizaron 7 pruebas de sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 , para estos se emplearon una mufla y horno de crisol

La máxima temperatura a la que es posible trabajar en la mufla eléctrica es de 1 000 °C. En ciertos ensayos, debido al aumento del carbonato del calcio dentro de la carga fundente, la temperatura de operación aumentó, en consecuencia se requirió utilizar un horno de crisol en donde se pueden alcanzar temperaturas de hasta 1 200 °C. Esto se fundamenta en las propiedades del CaCO_3 que se describen en la sección 1.1.1.1. Las cantidades de CaCO_3 y las condiciones de operación se pueden observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Pacto

Ensayo	Reemplazo	Temperatura (°C)	Equipo
Estándar	0 g CaCO ₃	900	Mufla eléctrica
	40 g Na ₂ CO ₃		
1	5 g CaCO ₃		
	35 g Na ₂ CO ₃		
2	10 g CaCO ₃		
	30 g Na ₂ CO ₃		
3	15 g CaCO ₃	960	
	25 g Na ₂ CO ₃		
4	20 g CaCO ₃		
	20 g Na ₂ CO ₃		
5	30 g CaCO ₃		
	10 g Na ₂ CO ₃		
6	40 g CaCO ₃		
	0 g Na ₂ CO ₃		
7	40 g CaCO ₃	1200	Horno de crisol a gas
	0 g Na ₂ CO ₃		

Se realizaron 4 ensayos con las calcinas procedentes de Pachijal y se reemplazó gradualmente el Na_2CO_3 por CaCO_3 . A mayor cantidad de CaCO_3 dentro de la carga fundente, la fusión en la mufla eléctrica no fue posible, por lo tanto los siguientes ensayos se realizaron en el horno de crisol. La tabla 2.3 muestra las cantidades de CaCO_3 y las condiciones de operación.

Tabla 2.3. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Pachijal

Ensayo	Reemplazo	Temperatura (°C)	Equipo
Estándar	0 g CaCO_3	900	Mufla eléctrica
	50 g Na_2CO_3		
1	10 g CaCO_3		
	40 g Na_2CO_3		
2	20 g CaCO_3	1200	Horno de crisol a gas
	30 g Na_2CO_3		
3	25 g CaCO_3		
	25 g Na_2CO_3		
4	50 g CaCO_3		
	0 g Na_2CO_3		

Para las calcinas de Virón se realizaron pruebas de sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 , estos ensayos se efectuaron en la mufla eléctrica; sin embargo en ciertas ocasiones se utilizó el horno de crisol. Las cantidades de CaCO_3 y condiciones de operación se pueden observar en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Virón

Ensayo	Reemplazo	Temperatura (°C)	Equipo
Estándar	0 g CaCO ₃	900	Mufla eléctrica
	60 g Na ₂ CO ₃		
1	7 g CaCO ₃		
	50 g Na ₂ CO ₃		
2	14 g CaCO ₃		
	43 g Na ₂ CO ₃		
3	30 g CaCO ₃	960	
	30 g Na ₂ CO ₃		
4	50 g CaCO ₃	1200	Horno de crisol a gas
	7 g Na ₂ CO ₃		

5	60 g CaCO_3		
	0 g Na_2CO_3		

Se realizaron 6 pruebas de fusión para las calcinas de Bucay. Al igual que los ensayos anteriores para los minerales de Pacto, Pachijal y Virón, para los primeros ensayos se utilizó la mufla eléctrica y para los posteriores se empleó el horno de crisol.

Los reemplazos realizados junto con las condiciones de operación se observan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Ensayos de reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 para el mineral de Bucay

Ensayo	Reemplazo	Temperatura (C)	Equipo
Estándar	0g CaCO_3	960	Mufla eléctrica
	60 g Na_2CO_3		
1	10g CaCO_3		
	50 g Na_2CO_3		
2	20 g CaCO_3		
	40 g Na_2CO_3		
3	30 g CaCO_3		
	30 g Na_2CO_3		
4	40 g CaCO_3	1200	Horno de crisol a gas
	20 g Na_2CO_3		
5	50 g CaCO_3		
	10 g Na_2CO_3		
6	60 g CaCO_3		
	0 g Na_2CO_3		

2.5.2. ANÁLISIS DE LAS ESCORIAS OBTENIDAS DE LA FUSIÓN CON SUSTITUCION TOTAL DE Na_2CO_3 POR CaCO_3

La fase escoria se estudió mediante espectrofotometría de absorción atómica con el fin de conocer los elementos mayoritarios presentes en esta fase (Ca, Na, Si, B,

Fe, Cu, Pb, Al), la preparación de la muestra para ser analizada por este método es similar a la descrita en la sección 2.1.4.

Además, se realizó un estudio complementario por microscopia electrónica de barrido de la cual se obtuvo la composición química de las escorias. Para realizar este análisis se tomó un fragmento de la escoria obtenida en la fusión. El equipo utilizado es un microscopio electrónico de barrido Tescan (SEM-EDX) con analizador Quantax y software Esprit 1.8 Bruker, a temperatura de 23 °C, aumento 50 veces, voltaje 20 kV y una distancia de trabajo de 26 mm.

2.5.3. ESTUDIO DE LAS REACCIONES QUE SE PRODUCEN ENTRE LOS COMPONENTES DE LA CARGA FUNDENTE CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO Y SiO_2

Para este estudio, se realizaron diferentes combinaciones entre los componentes de la carga fundente. Las cantidades utilizadas para realizar estos ensayos fueron tomadas con base en la carga con la cual se obtuvo los mejores resultados en los ensayos de fusión, de esta forma se observó el comportamiento de los compuestos entre sí.

Además se estudió la influencia del porcentaje de óxidos de hierro que contiene la calcina sobre las reacciones que se producen en la fusión. En estos ensayos se añadió Fe_2O_3 en la misma proporción que el contenido dentro de la calcina, este contenido se obtuvo del análisis mineralógico por difracción de rayos X.

Para estos ensayos se procedió de la siguiente manera:

- Se pesaron las cantidades de los diferentes componentes de la carga fundente para cada ensayo.
- Se colocó el crisol con la mezcla homogenizada en la mufla eléctrica a 1000 °C.

- Luego de que la mezcla fue fundida, se bajó la temperatura lentamente con el fin de favorecer la cristalización y poder analizar mediante difracción de rayos X.

2.5.3.1. Fusión de los componentes de la carga fundente: SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3

El objetivo de este ensayo fue determinar las reacciones que podrían ocurrir en la fusión de la sílice, Na_2CO_3 y CaCO_3 , y la posible formación de silicatos de calcio, y silicatos de sodio. Las cantidades de los reactivos utilizadas en tres combinaciones se detallan a continuación, la temperatura de trabajo fue de 1 000 °C.

- 40 g de Na_2CO_3 y 20 g de SiO_2
- 40 g de CaCO_3 y 20 g de SiO_2
- 20 g de Na_2CO_3 , 20 g de CaCO_3 y 20 g de SiO_2

2.5.3.2. Fusión de los componentes de la carga fundente: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , SiO_2 y PbO

Se realizó el estudio de las cargas fundentes en las cuales actúa bórax, este compuesto reacciona con facilidad con los óxidos metálicos dando paso a la formación de boratos, para luego enviarlos a la escoria, esto se explica en la sección 1.1.1.1. Las combinaciones ensayadas se definen a continuación la temperatura de trabajo fue de 1 000 °C.

- 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y 40 g de CaCO_3
- 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 40 g de CaCO_3 y 20 g de SiO_2
- 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 20 g de SiO_2 y 40 g de PbO

2.5.3.3. Fusión de Fe_2O_3 y componentes de la carga fundente: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , Na_2CO_3 y SiO_2

La cantidad de Fe_2O_3 añadida representa la cantidad de este presente en la calcina, esta cantidad se combinó con los otros componentes de la carga fundente, la temperatura de trabajo fue de 1 000 °C.

- 1,2 g de Fe_2O_3 , 20 g de SiO_2 , 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y 40 g de CaCO_3
- 15,9 g de Fe_2O_3 , 20 g de SiO_2 , 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y 40 g de CaCO_3
- 15,9 g de Fe_2O_3 , 20 g de SiO_2 , 30 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y 40 g de Na_2CO_3

La cantidad añadida de 1,2 g representa la cantidad de Fe_2O_3 presente en calcinas con bajo contenido de este compuesto, y 15,9 g representa una calcina con alto contenido de Fe_2O_3 .

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS MINERALES DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

Se determinaron la granulometría (d80) y la densidad real de los minerales de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, según la metodología descrita en las secciones 2.1.1 y 2.1.2.

La tabla 3.1 muestra los resultados del análisis granulométrico y densidad real de los minerales de origen obtenidos luego del proceso de molienda.

Tabla 3.1. Tamaño de partícula (d80) y densidad real de las muestras de origen molidas durante 40 minutos de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay.

	Pacto	Pachijal	Virón	Bucay
d80 (μm)	106	110	108	102
Densidad real (g/cm^3)	2,36	2,80	2,61	2,76

En la tabla 3.1 se puede observar que los tamaños de partícula obtenidos por la molienda son mayores a 100 μm , lo cual es importante para un buen proceso de flotación como se señala en la sección 1.1.1.

Se trataron minerales que contienen sulfuros en su estructura, por este motivo el pH de las muestras tendió a ser ácido, los resultados obtenidos se observan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. pH de las muestras de origen molidas durante 40 minutos de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay.

	Pacto	Pachijal	Virón	Bucay
pH	6,7	7,7	6,6	7,6

El análisis químico obtenido mediante espectrofotometría de absorción atómica de las muestras de origen para determinar la concentración de Cu, Fe, Pb, Al, Ca, Na, K, Zn y Mg se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis químico de los minerales de origen de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay

	%Cu	%Fe	%Pb	%Al	%Ca	%Na	%K	%Zn	%Mg
Pacto	0,4	0,3	4,9	11,7	0,7	29,2	11,3	0,8	0,6
Pachijal	9,0	17,9	1,6	12,1	0,1	34,1	12,9	0,7	0,1
Virón	0,3	1,2	0,1	11,4	1,1	36,8	12,9	0,1	1,0
Bucay	1,0	3,9	1,2	11,3	0,3	45,6	8,5	0,9	1,7

Los resultados del análisis químico mostraron que el mineral de Pachijal poseía mayor porcentaje de Cu que los minerales de Pacto, Virón y Bucay, este elemento podría estar ligado al Fe siendo parte de la calcopirita. El Fe se encontraba en elevados porcentajes en los cuatro minerales estudiados, este elemento podría estar combinado con el azufre y formar compuestos sulfurados.

Otros elementos mayoritarios en todos los minerales son Al, Na y K, estos elementos se encontraron sobre el 11,0 % de la composición total de cada mineral.

3.2. ANÁLISIS MINERALÓGICO GLOBAL DE LOS MINERALES DE ORIGEN

Se realizó el análisis mineralógico global de los diferentes minerales de origen procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay mediante difracción de rayos X. Los resultados se observan en la tabla de 3.4.

Tabla 3.4. Análisis mineralógico global de los minerales de origen

Mineral	Fórmula	Pacto	Pachijal	Bucay	Virón
Cuarzo	SiO ₂	80%	67%	86%	57%
Calcopirita	CuFeS ₂	1%	26%	1%	3%
Pirita	FeS ₂	2%	-	2%	1%
Calcita	CaCO ₃	-	5%	3%	2%
Arsenopirita	AsFeS	-	2%	-	2%
Esfalerita	ZnS	-	-	8%	-
Pirritita	Fe ₇ S ₈	-	-	-	35%
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	3%	-	-	-
Muscovita (Grupo micas)	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	2%	-	-	-
Grupo plagioclasa (albita, andesina, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	8%	-	-	-
Clinocloro	(Mg,Fe) ₅ Al(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	4%	-	-	-

De los resultados obtenidos en el análisis mineralógico, se puede mencionar que los minerales de Pacto y Bucay tenían el menor contenido de sulfuros. Por ejemplo, el mineral de Pacto tenía 1 % de calcopirita y 2 % de pirita.

Por otro lado, las muestras de Pachijal y Virón contenían una mayor cantidad de sulfuros que las de Pacto y Bucay. Para el caso de Pachijal, el contenido de calcopirita fue del 26 % y para Virón, el contenido de pirritita fue del 35 %.

3.3. ANÁLISIS MICROSCÓPICO EN SECCIONES PULIDAS DE LAS MUESTRAS DE ORIGEN

Se realizó el análisis microscópico en las secciones pulidas de los minerales procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay. Para la muestra de Pacto se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla de 3.5.

Tabla 3.5. Análisis microscópico del mineral de Pacto (Sección 3,0 x 2,5 cm)

Mineral	Color	% Aproximad o en volumen	Granulometría	Observaciones
Pirita	Blanco amarillento	15 %	Grandes playas > 2 mm	Pirita visible macroscópicamente incluida en la ganga

Ganga	Gris oscuro	85 %	---	---
-------	-------------	------	-----	-----

La sección pulida del mineral estudiado contenía pirita, que es un compuesto que se encuentra con frecuencia asociado al Au y se presenta con un color blanco amarillento característico de este sulfuro. La cantidad de pirita dentro de la muestra ocupaba grandes zonas y formaba granos visibles. La fotografía de la sección pulida se observa en la figura 3.1.

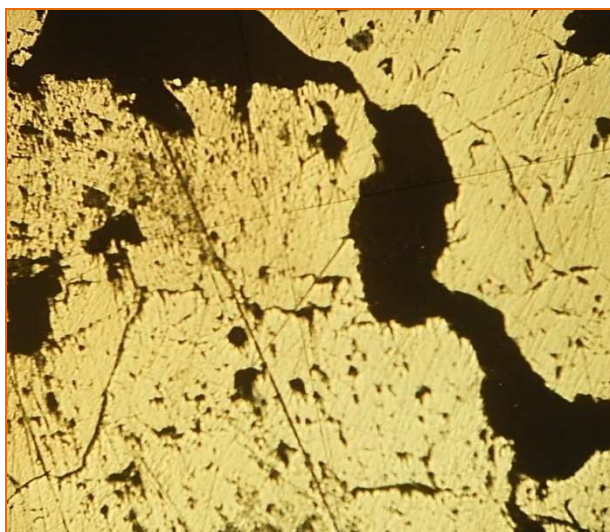


Figura 3.1. Granos de pirita mayores a 2 mm en el mineral de Pacto

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis microscópico para la muestra de Pachijal, en este mineral se puede observar un alto contenido de calcopirita.

La calcopirita se asocia comúnmente con la pirita. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 3.6 y la figura 3.2.

Tabla 3.6. Análisis microscópico del mineral de Pachijal (Sección 7,0 x 4,0 cm)

Mineral	Color	%Aproximado en volumen	Granulometría	Observaciones
Calcopirita	Amarillo intenso	25 %	Grandes playas > 2 mm	Calcopirita visible macroscópicamente incluida en la ganga y muy alterada,
Ganga	Gris oscuro	75 %	---	---

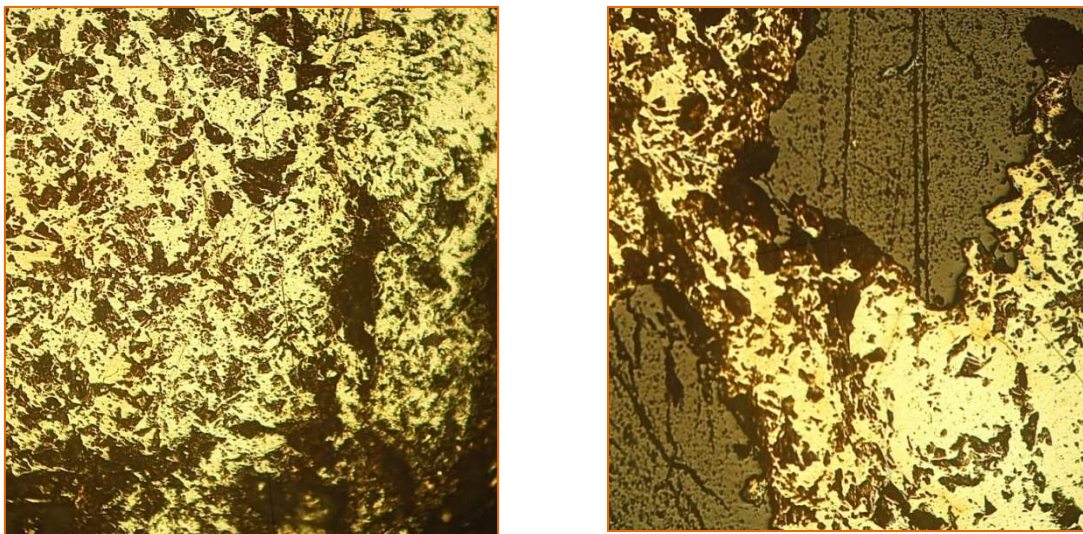


Figura 3.2. Granos de calcopirita mayores a 2 mm en el mineral de Pachijal

En el análisis microscópico del mineral de origen procedente de Virón que se encuentra en la tabla 3.7 se observó la gran variedad de sulfuros presentes en la muestra.

Tabla 3.7. Análisis microscópico del mineral de Virón (Sección 2,0 x 2,0 cm)

Mineral	Color	% Aproximado en volumen	Granulometría	Observaciones
Calcopirita	Amarillo intenso	45 %	Grandes playas > 2 mm	Masivo de sulfuros, con calcopirita visible macroscópicamente
Pirita	Blanco amarillento	35 %	Grandes playas > 2 mm	Pirita visible macroscópicamente
Arsenopirita	Blanco	10 %	0.2 –0.4 mm	Granos grandes asociados a calcopirita y pirita
Esfalerita	Gris claro	Trazas	Granos 0,01 -0,30 mm	Granos grandes asociados a calcopirita y pirita
Ganga	Gris oscuro	10 %	---	---

Este mineral presentó porcentajes aproximados mayores al 35 % de calcopirita y pirita. La arsenopirita y la esfalerita fueron compuestos minoritarios presentes en los minerales, la arsenopirita se encuentra asociado con el Au al igual que la pirita. La esfalerita por su parte también estuvo asociada al oro. En el mineral de Virón, la esfalerita se encontró en trazas, formando granos de 0,01-0,30 mm.

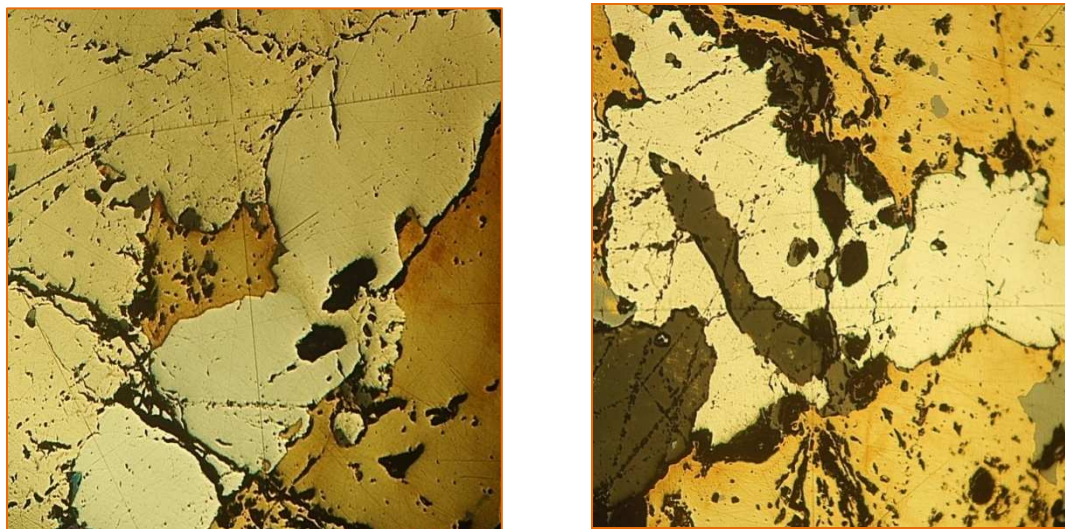


Figura 3.3. Asociaciones de calcopirita, pirita, arsenopirita y esfalerita en el mineral de Virón

El mineral de Bucay presentó, al igual que la muestra de Virón, diversidad de sulfuros en su estructura.

Tabla 3.8. Análisis microscópico del mineral de Bucay (Sección 2,5 x 2,0 cm)

Mineral	Color	% Aproximado en volumen	Granulometría	Observaciones
Esfalerita	Gris claro	20 %	Grandes playas > 2 mm., con inclusiones de calcopirita.	Grandes playas visibles macroscópicamente ubicadas dentro de la ganga
Calcopirita	Amarillo intenso	10 %	Granos 0,005 mm incluidos en esfalerita. Granos libres 0,5 mm	Pequeñas inclusiones en esfalerita y granos libres incluidos en la ganga
Arsenopirita	Blanco	Trazas	0.04- 0,5 mm	Granos libres en forma de rombos, incluidos en la ganga
Ganga	Gris oscuro	70 %	---	---

En este mineral, la esfalerita fue el compuesto mayoritario y ocupó el 20 % dentro del mineral, este sulfuro contenía en su estructura pequeñas y dispersas incrustaciones de calcopirita. En la figura 3.4 se puede observar claramente a la arsenopirita en forma de rombos incluidos en la ganga.

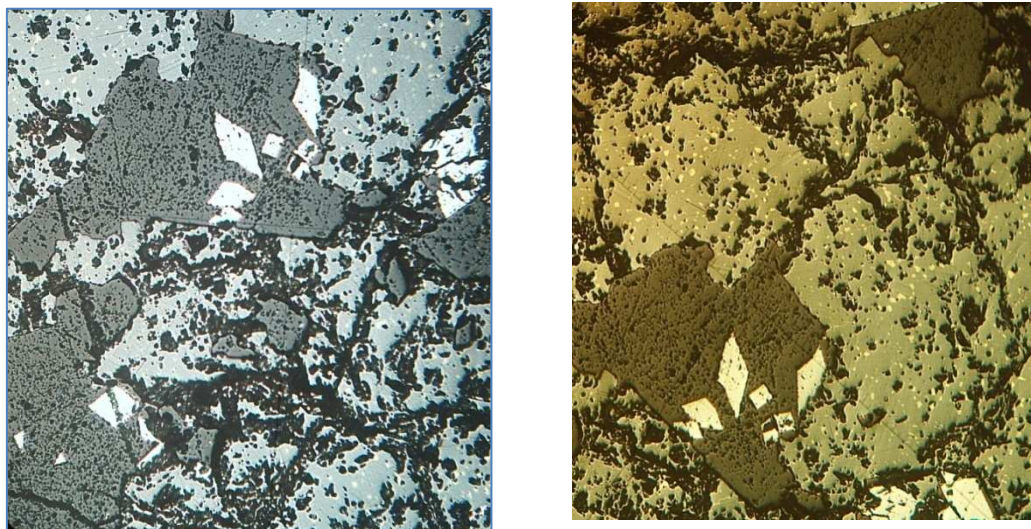


Figura 3.4. Asociaciones de esfalerita, calcopirita y trazas de arsenopirita en el mineral de Bucay

3.4. ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN SELECTIVA PARA MINERALES DE PACTO Y PACHIJAL

Se realizaron los ensayos de flotación selectiva para los minerales de Pacto y Pachijal según lo descrito en la sección 2.2.2, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.9 y 3.10.

Para el mineral de Pacto se obtuvo 301,67 g/TM de Au en la primera etapa de flotación, en la segunda etapa, se logró concentrar 60,33 g/TM. Las condiciones de trabajo para obtener estos resultados fueron pH 11, dosis de aceite de pino de 20 g/TM, dosis de aerofloat 208 de 15 g/TM y dosis de KAX de 30 g/TM.

Tabla 3.9. Resultado de flotación selectiva para el mineral de Pacto

Fracción	Peso (g)	Peso (%)	Au (g/TM)	Recuperación Au (%)	Ag (g/TM)	Recuperación Ag (%)
CA	81,5	4,1	301,7	81,3	1400,8	87,5
CB	120,6	6,1	60,3	16,3	186,8	11,7
Relave	1788,2	89,9	8,9	2,4	13,4	0,8
Total	1990,3	100,0	370,9	100,0	1600,9	100,0

Para la concentración del mineral de Pachijal por flotación selectiva, se trabajó a las mismas condiciones descritas anteriormente. En el concentrado A se obtuvo 48,85 g/TM de Au y en el concentrado B 8,42 g/TM de Au, como se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultado de flotación selectiva para el mineral de Pachijal

Fracción	Peso (g)	% Peso	Au (g/TM)	Recuperación Au (%)	Ag (g/TM)	Recuperación Ag (%)
CA	101,7	5,1	48,9	85,1	221,5	89,4
CB	119,0	5,9	8,4	14,7	26,1	10,5
Relave	1766,5	88,9	0,1	0,2	0,2	0,1
Total	1987,2	100,0	57,4	100,0	247,7	100,0

En la flotación selectiva se obtuvo 221,5 g/TM de Ag en el concentrado A, mientras que en el concentrado B la concentración de Ag fue de 26,1 g/TM.

3.5. ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN COLECTIVA PARA MINERALES DE VIRÓN Y BUCAY

Para los minerales de Virón y Bucay se realizaron ensayos de flotación colectiva, para estas pruebas se procedió como se indica en la sección 2.2.3.

La tabla 3.11 presenta los resultados obtenidos por flotación colectiva del mineral de Virón. Se puede observar que la cantidad de Au presente en los concentrado A y B fueron 54,00 g/TM y 5,81 g/TM de Au respectivamente. Las condiciones de operación para la flotación colectiva fueron pH 7, dosis de aceite de pino de 25 g/TM, dosis de aerofloat 208 de 15 g/TM y dosis de KAX de 50 g/TM.

Tabla 3.11. Resultado de flotación colectiva para el mineral de Virón

Fracción	Peso (g)	% Peso	Au (g/TM)	Recuperación Au (%)	Ag (g/TM)	Recuperación Ag (%)
CA	150,5	7,6	54,0	90,2	48,0	88,6
CB	20,7	1,0	5,8	9,7	6,2	11,4
Relave	1818,6	91,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	1989,8	100,0	59,9	100,0	54,2	100,0

Para el mineral de Bucay la cantidad de Au concentrada en la primera etapa de flotación fue 69,80 g/TM y en la segunda flotación fue 8,73 g/TM. Las condiciones de flotación son las mismas descritas para el mineral de Virón. Los resultados se observan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Resultado de flotación colectiva para el mineral de Bucay

Fracción	Peso (g)	% Peso	Au (g/TM)	Recuperación Au (%)	Ag (g/TM)	Recuperación Ag (%)
CA	134,4	6,8	69,8	88,8	327,5	89,7
CB	36,9	1,9	8,7	11,1	37,2	10,2
Relave	1806,5	91,3	0,1	0,1	0,3	0,1
Total	1977,8	100,0	78,6	100,0	364,9	100,0

La flotación colectiva para el mineral de Bucay retuvo en el concentrado A 327,5 g/TM de Ag, al realizar la segunda etapa de acondicionamiento y flotación se concentró 37,2 g/TM de Ag.

3.5.1. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS MINERALES CONCENTRADOS DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

Se analizaron químicamente los concentrados obtenidos de la primera etapa de flotación de los minerales, el procedimiento realizado para este análisis se describe en la sección 2.2.4.

Tabla 3.13. Análisis químico de minerales concentrados obtenidos de la primera etapa de flotación

	%Cu	%Fe	%Pb	%Al	%Ca	%Na	%Zn	%Mg
Pacto	0,7	3,4	1,1	8,4	1,9	24,3	1,08	0,55
Pachijal	13,5	16,0	0,1	9,9	0,1	31,9	1,12	0,16
Virón	3,0	12,9	0,1	9,4	0,6	34,8	0,03	0,68
Bucay	0,5	2,6	0,1	7,5	2,1	26,4	0,94	0,30

Los porcentajes de Cu, Fe y Al obtenidos del análisis químico son mayores a los porcentajes que se presentan en las muestras de origen.

La disminución de la cantidad de Pb dentro del mineral es la más significativa en relación a los resultados obtenidos del análisis químico de las muestras de origen que se presentan en la tabla 3.2, este elemento pudiera estar ligado a la formación de galena (PbS) dentro de los minerales.

3.5.2. ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LOS CONCENTRADOS DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

Se realizaron los análisis mineralógicos de los minerales concentrados obtenidos mediante los procesos de flotación. Conocer la composición de los concentrados en estudio es importante ya que con los mismos se realizaron los posteriores ensayos al fuego.

Tabla 3.14. Análisis mineralógico global de los concentrados de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay

Mineral	Fórmula	Pacto	Pachijal	Bucay	Virón
Cuarzo	SiO ₂	82%	8%	32%	45%
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	-	10%	9%	7%
Muscovita (Grupo micas)	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	2%	2%	3%	-
Grupo plagioclasa (albita, andesina, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	8%	2%	2%	10%
Clinocloro	(Mg,Fe) ₅ Al(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	-	8%	2%	2%
Calcopirita	CuFeS ₂	2%	39%	-	3%
Pirita	FeS ₂	6%	8%	18%	9%
Calcita	CaCO ₃	-	19%	5%	5%
Arsenopirita	AsFeS	-	4%	17%	2%
Esfalerita	ZnS	-	-	3%	-
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	-	-	5%	-
Wollastonita	CaSiO ₃	-	-	4%	6%
Pirritina	Fe(1-x)S	-	-	-	11%

Los resultados obtenidos del análisis mineralógico se compararon con los análisis de los minerales de origen mostrados en la tabla 3.14. Se determinó que

mediante la flotación se logró concentrar una mayor cantidad de sulfuros en cada muestra, alcanzando así porcentajes de sulfuros en los minerales de Pachijal y Bucay de 51 y 38 % respectivamente.

Los minerales de Pacto y Virón presentaron un contenido de sulfuros del 8 y 25 % del total, sin embargo al comparar estos resultados con los obtenidos en el análisis mineralógico de las muestras de origen se tiene que la muestra de origen de Virón presenta 35 % de Fe_7S_8 y en el concentrado 9 %.

3.5.3. ANÁLISIS MINERALÓGICO DE CONCENTRADOS TOSTADOS MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Los concentrados fueron sometidos al proceso de tostación con el fin de eliminar los sulfuros y arseniuros presentes que son los causantes de la formación de las fases no deseadas mata y speiss en fusión. El procedimiento realizado está descrito en la sección 2.3. Las calcinas se analizaron mediante difracción de rayos X y los resultados del análisis se pueden observar en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Análisis mineralógico de las calcinas mediante difracción de rayos X

Mineral	Fórmula	Pacto	Pachijal	Bucay	Virón
Cuarzo	SiO_2	59%	7%	16%	32%
Caolinita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	-	6%	5%	-
Muscovita (Grupo micas)	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	5%	4%	2%	-
Grupo plagioclasa(albita, andesina, anortita)	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$	10%	2%	6%	6%
Clinocloro	$(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	2%	4%	2%	-
Calcopirita	CuFeS_2	2%	-	-	-
Calcita	CaCO_3	8%	3%	4%	4%
Hematita	Fe_2O_3	4%	3%	53%	50%
Magnetita	Fe_3O_4	6%	50%	10%	3%
Maghemita	Fe_2O_3	4%	13%	2%	5%
Tenorita	CuO	-	8%	-	-

Al comparar los análisis mineralógicos de los concentrados y calcinas que se muestran en las tablas 3.14 y 3.15, se puede observar que los sulfuros y arseniuros presentes en los concentrados fueron eliminados en la tostación, por lo tanto se evitó la formación de fases no deseadas en la fusión.

Además se puede observar que los sulfuros reaccionaron químicamente y se transformaron en óxidos metálicos que no estaban presentes antes de la tostación. Por ejemplo, los concentrados de Virón no contenían óxidos, pero después de la tostación, las calcinas presentaron en su composición óxidos metálicos como hematita y tenorita. La presencia de los óxidos metálicos favoreció la formación de boratos y silicatos que son componentes de la fase escoria.

Las calcinas de Pacto se caracterizaron por tener un bajo contenido de óxidos metálicos, así el contenido de hematita fue 4 %, mientras que el contenido de hematita de las calcinas de Bucay y Virón fueron 53 y 50 % respectivamente. Por otro lado, la calcina de Pachijal tuvo el porcentaje más elevado del óxido magnetita (50 %).

3.6. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR PARA LAS CALCINAS DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

3.6.1. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR DE LAS CALCINAS DE PACTO

Para los ensayos al fuego con el mineral de Pacto se trabajó con muestras de origen, concentrado obtenido de la primera etapa de flotación selectiva y relave final, las mismas que fueron tostadas previamente. Se realizaron los ensayos al fuego estándar como se indica en la sección 2.4.1.

3.6.1.1. Ensayos al fuego estándar del mineral de origen tostado de Pacto

Como resultado de los ensayos al fuego estándar del mineral de origen tostado y con la carga fundente que se observa en la tabla 2.1, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.16. La temperatura de operación fue de 900 °C en la mufla eléctrica.

Tabla 3.16. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del mineral de origen tostado de Pacto

Ensayo	Peso Régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	27,10	23,33	80,00
2	25,60	19,67	79,67
3	27,10	23,33	80,00
4	25,60	19,67	79,67
5	24,10	24,33	80,33
\bar{X}	25,90	22,07	79,93
S	1,12	1,99	1,25

A partir de los resultados obtenidos en las cinco pruebas realizadas a 900 °C, se calculó los valores promedio de las concentraciones de Au y Ag y la desviación estándar. Los valores promedio (\bar{X}) del peso del régulo (25,90 g) y de la concentración de Au (22,07 g/TM) fueron utilizados como referencia para los posteriores ensayos con reemplazo del Na_2CO_3 .

3.6.1.2. Ensayos al fuego estándar del mineral concentrado tostado de Pacto

En este estudio se realizaron cuatro ensayos cuyos resultados se muestran en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Pacto

Ensayo	Peso Régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	28,00	301,67	1900,80
2	28,10	313,00	1884,00
3	33,40	311,67	1851,67
4	33,00	309,00	1857,33
\bar{X}	30,63	308,83	1873,45
S	2,58	4,30	19,96

El peso del régulo y la concentración de Au que se tomaron como referencia para ser comparados con los resultados obtenidos en los ensayos con reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 fueron 30,63 g y 308,83 g/TM respectivamente.

3.6.1.3. Ensayos al fuego estándar del relave concentrado tostado de Pacto

Para los ensayos realizados con el relave tostado de Pacto se utilizó la carga fundente que se muestra en la tabla 2.1. Los resultados se observan en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del relave tostado de Pacto

Ensayo	Peso régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	31,08	8,91	13,37
2	29,50	7,71	10,50
3	30,10	5,74	14,35
4	33,00	9,12	14,67
\bar{X}	30,92	7,87	13,22
S	1,33	1,34	1,64

Se calculó el valor promedio de concentración de Au y este valor correspondió a 7,87 g/TM. Otro valor de referencia que se utilizó fue el peso del régulo de Pb cuyo valor fue 30,92 g.

Se observó que la concentración de Au en el concentrado tostado (308,83 g/TM) es mayor que la concentración de Au en el mineral de origen tostado (22,07g/TM) y en el relave tostado (7,87 g/TM).

3.6.2. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR DE LA CALCINA DE PACHIJAL

Para la calcina de Pachijal se realizaron los ensayos estándar según el procedimiento descrito en la sección 2.4.1.

Los ensayos estándar se realizaron con el material seco después de ser sometido a un pre-tratamiento, el cual consistió en una lixiviación ácida con una solución de 70 g/L de H₂SO₄ durante 2,5 h. La calcina de Pachijal se caracterizó por poseer altas concentraciones de Cu, como se puede observar en la tabla 3.3. Con el pre - tratamiento se logró disminuir esta concentración de Cu que pudo haber interferido en la formación de las fases deseadas durante la fusión y posteriormente en el proceso de copelación. Los resultados de estos ensayos estándar se observan en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Pachijal

Ensayo	Peso régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	32,20	48,85	221,45
2	34,00	50,01	219,98
3	28,10	49,31	221,65
4	33,60	50,40	220,98
\bar{X}	31,98	49,64	221,02
S	2,33	0,60	0,65

Se realizaron cuatro ensayos estándar a la temperatura de operación de 900 °C, de estos ensayos se obtuvieron las concentraciones de Au en el doré y se calculó la media aritmética, este valor calculado fue 49,64 g/TM. La concentración de Au que se cuantificó en la calcina de Pachijal fue menor a la del concentrado tostado de Pacto que fue 308,83 g/TM de Au.

3.6.3. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR DE LA CALCINA DE VIRÓN

Para realizar los ensayos al fuego de la calcina de Virón, se procedió como se indica en la sección 2.4.1. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.20. Los ensayos se realizaron a la temperatura de operación de 900 °C.

Tabla 3.20. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Virón

Ensayo	Peso régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	20,60	54,00	48,00
2	23,30	48,16	54,00
3	23,00	53,30	49,67
4	22,90	49,20	53,70
\bar{X}	22,45	51,17	51,34
S	1,08	2,22	2,58

Se obtuvo el peso del régulo de cada ensayo estándar realizado, el peso promedio del régulo fue de 22,45 g. Luego de los procesos de copelación y ataque ácido se determinó la concentración de Au para cada ensayo al fuego. Se calculó el promedio y desviación estándar y estos valores fueron 51,17 g/TM y 2,22 S respectivamente. La concentración de Au cuantificada de la calcina de Virón (51,17 g/TM) fue similar a la concentración de Au que estuvo presente en la calcina de Pachijal (49,64 g/TM).

3.6.4. ENSAYOS AL FUEGO ESTÁNDAR DE LA CALCINA DE BUCAY

Se trabajó con la calcina de Bucay como se describe en la sección 2.4.1, los resultados obtenidos de los ensayos estándar se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21. Peso del régulo y concentraciones de Au y Ag del doré obtenido en los ensayos estándar del concentrado tostado de Bucay

Ensayo	Peso régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	27,6	69,80	327,45
2	25,7	64,89	334,60
3	30,6	66,51	360,70
4	32,3	64,10	314,40
\bar{X}	29,05	66,33	334,29
S	2,56	1,80	16,88

A partir de los resultados de los cuatro ensayos realizados, se calculó el promedio de la concentración de Au que se comparó con los resultados obtenidos de los ensayos con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 . El peso promedio del régulo de Pb fue 29,05 g y la concentración promedio de Au fue 66,33 g/TM. Esta concentración fue menor que la del concentrado tostado de Pacto, cuyo contenido de Au (303,83 g/TM) fue el más alto de todas las calcinas estudiadas.

3.7. ENSAYOS AL FUEGO CON SUSTITUCIÓN DE Na_2CO_3 POR CaCO_3 PARA LAS CALCINAS DE PACTO, PACHIJAL, VIRÓN Y BUCAY

Se realizó la sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 en la carga fundente empleada en los ensayos al fuego de las calcinas según los procedimientos descritos en la sección 2.5.1.

3.7.1. ENSAYOS AL FUEGO CON SUSTITUCIÓN DE Na_2CO_3 POR CaCO_3 DE LAS CALCINAS DE PACTO

Para el mineral de Pacto se realizaron pruebas con muestras de origen, concentrado y relave tostados.

3.7.1.1. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del mineral de origen tostado de Pacto

Los resultados de estos ensayos se pueden observar en la tabla 3.28. A la temperatura de operación de 900 °C y con 15 g de CaCO_3 , la mezcla de carga fundente y mineral no fundió, por lo tanto fue necesario elevar la temperatura de operación en la mufla eléctrica a 960 °C. A esta temperatura se realizaron los ensayos de sustitución por CaCO_3 del 0 % al 100 %. Al 50 % de sustitución por CaCO_3 el peso del régulo fue de 31,4 g, este valor difiere en 1,1 g del peso del régulo obtenido en el ensayo estándar.

Además se observó que el peso del régulo de Pb del ensayo con sustitución total de Na_2CO_3 por CaCO_3 fue 31,2 g, este valor fue menor al peso del régulo obtenido del ensayo estándar únicamente en 0,4 g.

Tabla 3.22. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del mineral de origen tostado de Pacto

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Régulo (g)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
Estándar	0	0,0	900	32,5	22,07	79,93
1	5	12,5		26,0	17,89	78,50
2	10	25,0		25,0	15,33	81,33
3	15	37,5	960	25,7	19,83	81,83
4	20	50,0		31,4	23,33	77,00
5	30	75,0		17,9	22,17	51,00
6	40	100,0		29,0	23,50	76,33
7	40	100,0	1200	32,1	24,67	73,33

A 960 °C, la concentración de Au en el ensayo con sustitución total fue menor en 1,43 g/TM que la concentración de Au del ensayo estándar. Por otro lado, a 1200 °C con reemplazo total por CaCO_3 se obtuvo una concentración de Au de

24,67 g/TM, y este valor difiere en 2,60 g/TM del ensayo estándar, lo mencionado se puede observar en la figura 3.5.

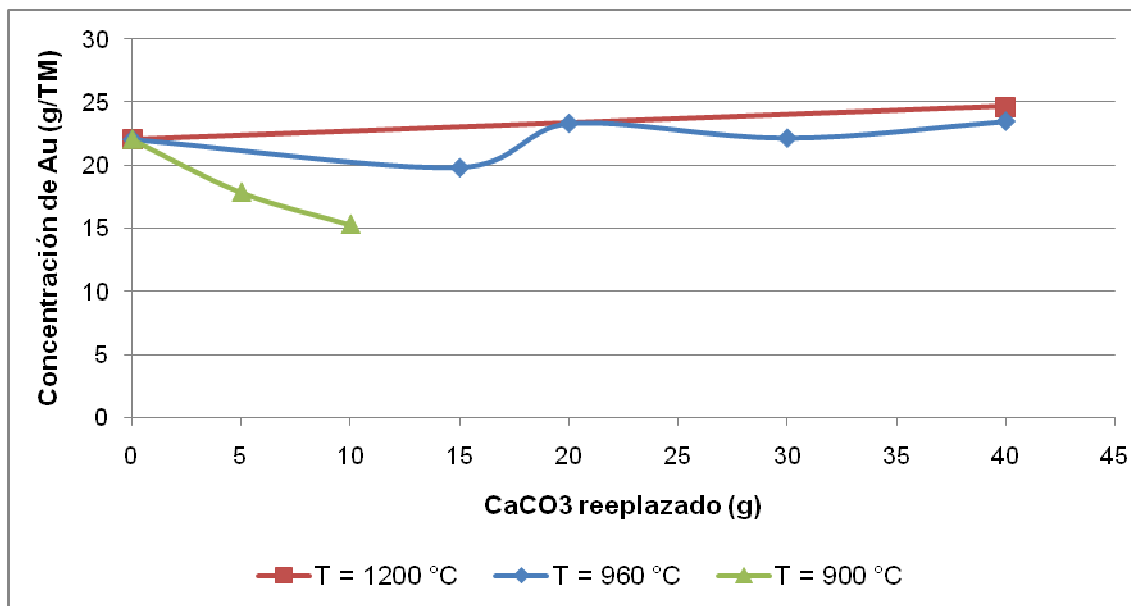


Figura 3.5. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pacto origen

En la figura 3.5 se puede observar, que al sustituir el 50 % Na_2CO_3 por CaCO_3 lo cual corresponde a 20 g de CaCO_3 y 20 g de Na_2CO_3 , se obtuvo una concentración de Au de 23,33 g/TM, esta concentración es menor a la concentración de Au en 1,26 g/TM. Consecuentemente, está también sería una buena opción para cuantificar Au en esta calcina.

3.7.1.2. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del mineral concentrado tostado de Pacto

Como se mencionó en la sección 2.5.1, se realizaron ensayos paralelos para cada muestra con el fin de obtener resultados confiables, estos resultados fueron comparados con los obtenidos en los ensayos estándar que se muestran en la tabla 3.17. Los resultados de los ensayos al fuego con sustitución parcial y total

de Na_2CO_3 por CaCO_3 para los concentrados tostados de Pacto se muestran en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Pacto

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Régulo (g)	Doré (g/TM)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
Estándar	0	0,0	900	30,60	2173,16	308,83	1864,33
1	5	12,5		30,00	2132,85	317,33	1815,52
2	10	25,0		26,60	1683,33	319,33	1364,00
3	15	37,5	960	23,00	2066,83	285,33	1781,50
4	20	50,0		21,60	2051,17	320,67	1750,50
5	30	75,0		24,10	1724,17	291,50	1432,67
6	40	100,0		14,80	1130,33	177,33	953,00
7	40	100,0	1200	29,20	1961,97	321,17	1640,80

En la tabla 3.23 se puede observar claramente que el peso del régulo de Pb disminuye al aumentar la cantidad de CaCO_3 en la carga fundente. Por ejemplo, en el ensayo estándar a 900 °C, el peso del régulo fue 30,6 g mientras que a 960 °C y 100 % de sustitución por CaCO_3 , el peso fue de 14,8 g. Sin embargo, al aumentar la temperatura de operación a 1200 °C, la concentración de Au cuantificada difiere en 12,34 g/TM de la concentración de Au lograda en el ensayo estándar.

En la figura 3.6, se observa que a mayor cantidad de CaCO_3 se requiere mayor temperatura de operación para alcanzar concentraciones de Au similares a las logradas en los ensayos estándar. La concentración de Au disminuye debido a que la mezcla ya no funde totalmente, sin embargo a 1200 °C y con 50 % de sustitución la concentración de Au fue solamente menor en 0,5 g/TM a la que se obtuvo con sustitución total por CaCO_3 .

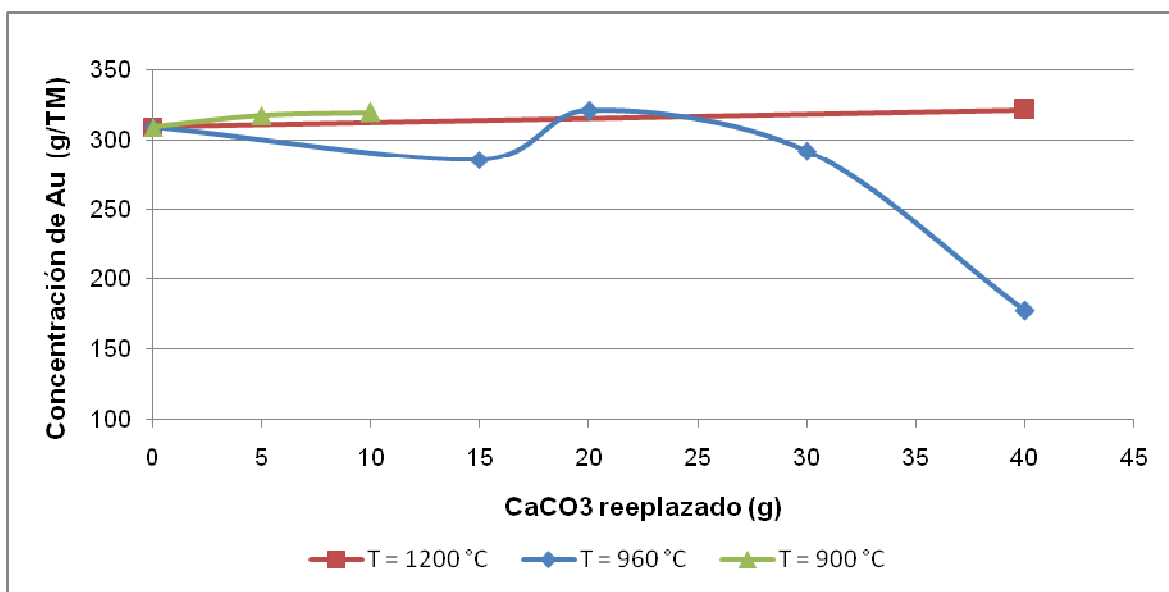


Figura 3.6. Concentración de Au en función del reemplazo de Na₂CO₃ por CaCO₃ en mineral de Pacto concentrado

Teóricamente, el peso del régulo debería ser mayor al peso del Pb obtenido de la reducción del PbO añadido a la carga fundente. Esto no sucede en la realidad porque siempre se pierde Pb en la fase escoria. Se calculó el peso del régulo teórico para compararlo con los pesos de los régulos obtenidos experimentalmente. Para esto se utilizó la reacción 3.2 de reducción de PbO a Pb con carbón.



La carga fundente está compuesta por 40 g de PbO, estequímicamente se debió haber obtenido un régulo de 37,1 g, pero en los ensayos estándar el valor promedio de la fase metálica fue de 30,6 g para el caso de Pacto. El peso del régulo obtenido mediante la sustitución total por CaCO₃ fue de 29,2 g, si bien la diferencia entre este valor y el estándar fue de 1,4 g, la concentración de Au alcanzada fue mayor que en el caso del ensayo estándar y se demostró que el Pb pudo coleccionar los metales preciosos en la fase metálica.

Las características de la fusión observadas durante los ensayos al fuego con sustitución por CaCO_3 se observan en la tabla 3.24.

Tabla 3.24. Características de la fusión para el concentrado de Pacto

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Observaciones
Estándar	0	0,0	900	Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color verde
1	5	12,5		Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color verde
2	10	25,0		Fundido homogéneo y fluido, escoria color verde opaco
3	15	37,5	960	Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color verde
4	20	50,0		Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color verde
5	30	75,0		Fundido viscoso, escoria color verde opaco
6	40	100,0		Fundido viscoso, escoria color verde opaco
7	40	100,0	1200	Fundido homogéneo y fluido, escoria color verde oscuro y vidrioso

A 1 200 °C la fusión de la muestra se dio exitosamente, se obtuvo un fundido fluido y poco viscoso. La diferencia entre la apariencia de las escorias obtenidas en los ensayos estándar y los de sustitución total fue el color. La escoria del ensayo con 100 % de sustitución por CaCO_3 presentó un color verde oscuro mientras que la escoria del ensayo estándar fue verde clara.

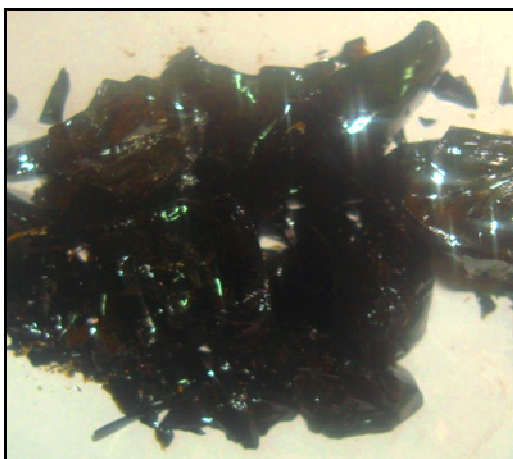


Figura 3.7. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total por CaCO_3 (derecha)

3.7.1.3. Ensayos al fuego con sustitución de Na_2CO_3 por CaCO_3 del relave tostado de Pacto

Los resultados de estos ensayos se observan en la tabla 3.29. Al realizar el reemplazo en más del 25 % del CaCO_3 la temperatura de operación aumentó a 960 °C. A esta temperatura se realizó el ensayo con sustitución total de CaCO_3 donde se obtuvo un régulo de 27,8 g, este es el menor valor logrado en todos los ensayos realizados para el relave tostado de Pacto.

Tabla 3.25. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del relave tostado de Pacto

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Régulo (g)	Doré (g/TM)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
1	0	0,0	900	30,9	21,09	7,87	13,22
2	5	12,5		31,5	23,50	7,80	15,70
3	10	25,0		29,5	19,27	6,77	12,50
4	15	37,5	960	31,8	17,38	6,60	10,78
5	20	50,0		31,9	22,10	7,43	14,67
6	30	75,0		30,0	16,93	7,33	9,60
7	40	100,0		27,8	17,29	6,30	10,99
8	40	100,0	1200	28,9	21,33	7,50	13,66

La concentración de Au obtenida a 1 200 °C y 100 % de reemplazo por CaCO_3 fue de 7,50 g/TM y se diferencia de la concentración de Au alcanzada en el ensayo estándar en 0,37 g/TM por debajo de este. La concentración de Au en el relave tostado es la menor en comparación con los resultados obtenidos en los ensayos con las muestras de origen y concentrados.

Como se observó en los ensayos de los minerales tostados de origen y concentrado, a 50 % de reemplazo de CaCO_3 y 960 °C de temperatura la concentración de Au fue de 7,43 g/TM.

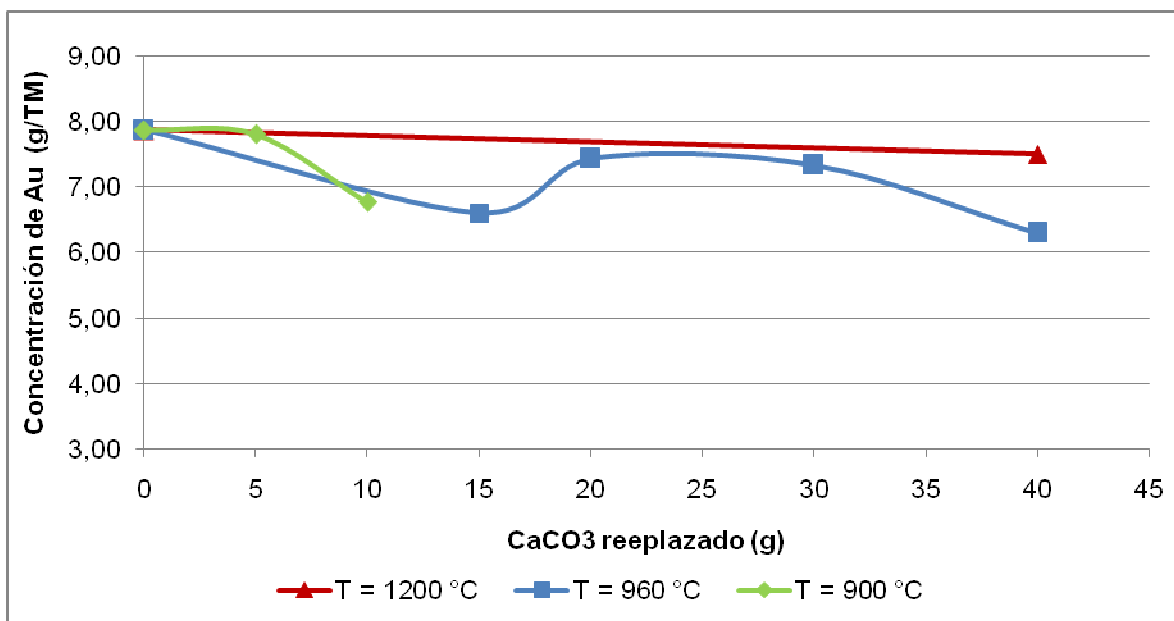


Figura 3.8. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pacto relave

Para las muestras tostadas de origen, concentrado y relave, se observó que con 50 % y 100 % de sustitución por CaCO_3 se lograron concentraciones de Au similares a las estándar. Es importante mencionar que la temperatura de operación tuvo que ser aumentada a medida que el porcentaje de sustitución de CaCO_3 incrementó dentro de la carga fundente, esto se explica porque el CaCO_3 funde a mayor temperatura que el Na_2CO_3 y esto influye directamente en la temperatura de fusión de la mezcla de la carga fundente con la calcina. La temperatura final a la cual se lograron los mejores resultados con sustitución total fue de 1 200 °C en el horno de crisol.

3.7.2. ENSAYOS AL FUEGO CON SUSTITUCIÓN DE Na_2CO_3 POR CaCO_3 DE LA CALCINA DE PACHIJAL

Para las calcinas de Pachijal, al aumentar la cantidad de CaCO_3 dentro de la carga fundente en más del 20 % de reemplazo, fue necesario incrementar la temperatura de operación a 1 200 °C, esto se realizó debido a que a 960 °C no se

logró fundir la mezcla. Este comportamiento fue diferente al observado para el mineral de Pacto en donde la mezcla si fundió a la temperatura de operación de 960 °C al realizar el reemplazo por CaCO_3 en más del 20 %.

Otra razón que justifica la necesidad de aumentar la temperatura de operación fue el comportamiento que tienen los compuestos como óxidos metálicos y sílice presentes en el mineral que elevan la temperatura de fusión.

El peso del régulo de Pb obtenido en el ensayo estándar a 900 °C fue de 32,00 g, este peso es mayor en 3,90 g al peso del régulo logrado en el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 . Esta diferencia de pesos entre el régulo del ensayo estándar y el de sustitución total fue mayor que la diferencia de pesos del régulo en las calcinas de Pacto.

Tabla 3.26. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Pachijal

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura de operación (°C)	Régulo (g)	Doré (g/TM)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
Estándar	0	0,0	900	32,00	268,54	49,64	218,90
1	10	20,0		26,00	270,33	49,50	220,83
2	20	40,0	1200	25,00	248,80	40,10	208,70
3	25	50,0		25,70	247,92	32,67	215,25
4	50	100,0		28,10	233,17	35,50	197,67

Las características que se observaron durante y después de la fusión para el ensayo estándar y las pruebas con sustitución por CaCO_3 se detallan en la tabla 3.30. A 1 200 °C el fundido fue viscoso y poco fluido, al dejar enfriar la escoria esta presentó un color negro opaco que contrasto con escoria de color negro vidrioso del ensayo estándar.

Tabla 3.27. Características de la fusión para el concentrado de Pachijal

Ensayo	CaCO ₃ (g)	Sustitución por CaCO ₃ (%)	Temperatura (°C)	Observaciones
Estándar	0	0,0	900	Fundido homogéneo fluido, escoria vidriosa color negro
1	10	20,0		Fundido homogéneo fluido, escoria vidriosa color negro
2	20	40,0	1200	Fundido homogéneo fluido, escoria vidriosa color negro
3	25	50,0		Fundido fluido, escoria color negro opaco
4	50	100,0		Fundido homogéneo fluido, escoria color negro opaco

En la figura 3.9 se observa la diferencia de las escorias obtenidas tanto del ensayo convencional como del ensayo en donde se realizó la sustitución total por CaCO₃, la escoria de esta última presenta incrustaciones de Pb.



Figura 3.9. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total por CaCO₃ (derecha)

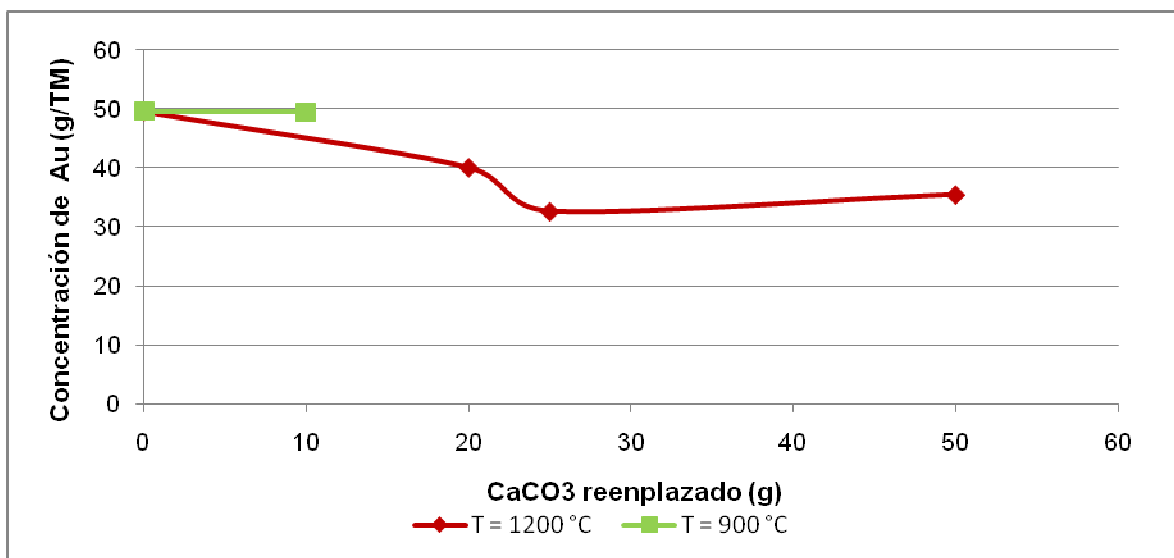


Figura 3.10. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Pachijal concentrado

En la figura 3.10 se observa la diferencia que existe entre la concentración de Au en el ensayo estándar a 900 °C y el ensayo a 1 200 °C, esta diferencia fue de 14,14 g/TM, por lo tanto esta no sería una posibilidad para cuantificar Au en esta calcina, ya que esta presenta una diferencia elevada.

3.7.3. ENSAYOS AL FUEGO CON SUSTITUCION DE Na_2CO_3 POR CaCO_3 DE LA CALCINA DE VIRÓN

En los ensayos al fuego del concentrado tostado de Virón se observa que al superar el 50 % de reemplazo por CaCO_3 , la temperatura de operación tuvo que elevarse a 960 °C, a estas condiciones el régulo pesó 29,30 g, este valor es superior en 6,80 g al peso del régulo obtenido en los ensayos estándar. Sin embargo al aumentar la cantidad de CaCO_3 en más del 83,3 % fue necesario trabajar a 1 200 °C para que la mezcla funda. Estos resultados se observan en la tabla 3.28.

Tabla 3.28. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Virón

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Régulo (g)	Doré (g/TM)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
Estándar	0	0,0	900	22,5	102,17	51,17	51,00
1	7	11,7		22,7	107,83	46,17	61,67
2	14	23,3		33,1	89,17	49,17	40,00
3	30	50,0	960	29,3	96,00	51,17	44,83
4	50	83,3	1200	30,7	102,53	54,20	48,33
5	60	100,0		30,5	112,67	54,10	58,57

La concentración de Au en el ensayo estándar fue 51,17 g/TM y en el ensayo realizado con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 fue de 54,10 g/TM. Al colocar 50 g de CaCO_3 lo que corresponde a un reemplazo del 83,3 % se logró una concentración de Au de 54,20 g/TM, por lo tanto esta es una buena opción para cuantificar Au.

Las características que fueron posibles observar durante la experimentación de las fusiones con reemplazo por CaCO_3 se muestran en la tabla 3.29. En el ensayo realizado en el horno de crisol a 1 200 °C se obtuvo una escoria de color café opaco mientras que la escoria de los ensayos estándar fue color café vidrioso.

Tabla 3.29. Características de la fusión para el concentrado de Virón

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Observaciones
Estándar	0	0,0	900	Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color café
1	7	11,7		Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color café
2	14	23,3		Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color café
3	30	50,0	960	Fundido homogéneo y fluido, escoria vidriosa color café
4	50	83,3	1200	fundido fluido, escoria color café opaco
5	60	100,0		fundido fluido, escoria color café opaco

La figura 3.11 muestra la diferencia en la concentración de Au que se presentó entre el ensayo estándar y el ensayo con 83,3 % de reemplazo por CaCO_3 , esta diferencia corresponde a 3,03 g/TM de Au.

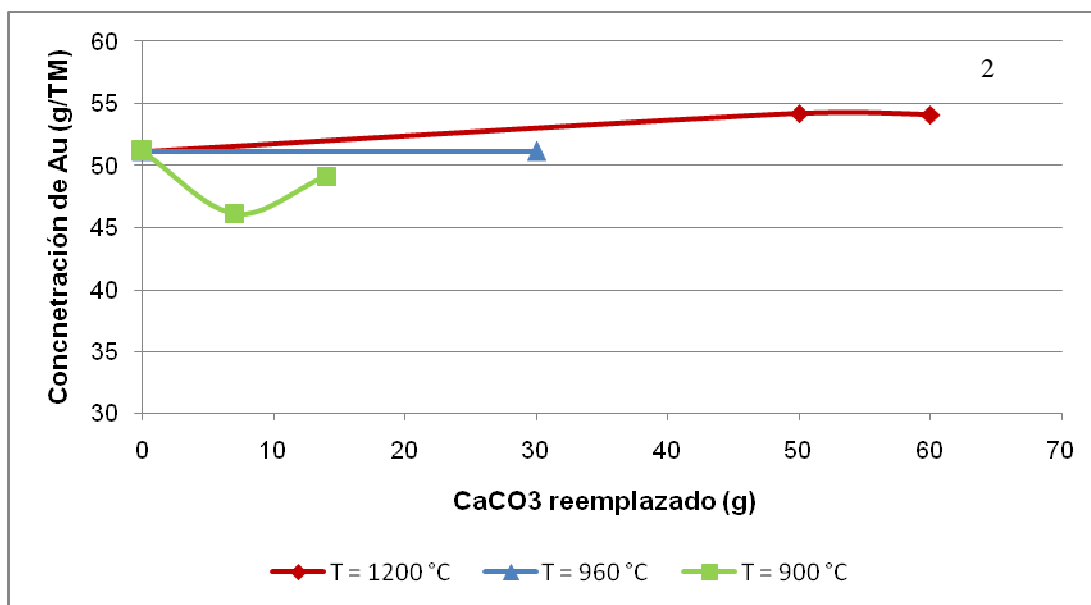


Figura 3.11. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Virón concentrado

La mayor concentración de Au en los ensayos al fuego de la calcina de Virón fueron realizados a la temperatura de operación de 1200 °C y 100 % de reemplazo por CaCO_3 , a estas condiciones se obtuvo una mezcla fundida totalmente y las concentraciones de Au y Ag fueron 54,10 g/TM y 58,57 g/TM respectivamente.

3.7.4. ENSAYOS AL FUEGO CON SUSTITUCIÓN DE Na_2CO_3 POR CaCO_3 DE LA CALCINA DE BUCAY

Para los ensayos con el concentrado tostado de Bucay, las fusiones realizadas desde el 17 al 50 % de reemplazo por CaCO_3 se trabajaron en la mufla eléctrica a 960 °C, con el aumento la cantidad de CaCO_3 dentro de la carga fundente se

utilizó el horno de crisol y se operó a 1 200 °C. Además se realizaron ensayos a 900 °C pero la mezcla no fundió.

Los régulos obtenidos durante la sustitución parcial de CaCO_3 , presentaron valores cercanos al estándar, por ejemplo al 33,3 % de reemplazo, el peso de la fase metálica fue de 28,9 g, este valor difiere del peso estándar en 1,3 g.

En el ensayo con sustitución total por CaCO_3 , se logró un régulo de 21,6 g, la retención de los metales preciosos fue inferior a la retención lograda en el ensayo estándar. La diferencia del régulo obtenido en el ensayo con 100 % de sustitución con el peso del régulo del ensayo estándar fue de 6,00 g, luego del proceso de copelación para este ensayo se obtuvo un doré de 371,33 g/TM y 34 g/TM de Au.

Tabla 3.30. Cantidad de CaCO_3 en la carga fundente, temperatura de operación, peso del régulo obtenido y concentraciones de Au y Ag en los ensayos al fuego del concentrado tostado de Bucay

Ensayo	CaCO_3 (g)	Sustitución por CaCO_3 (%)	Temperatura (°C)	Régulo (g)	Doré (g/TM)	Au (g/TM)	Ag (g/TM)
Estándar	0	0,0	960	27,6	559,33	66,33	493,00
1	10	17,0		26,7	535,88	65,80	470,08
2	20	33,0		28,9	540,13	66,13	474,00
3	30	50,0		35,6	459,33	65,20	393,00
4	40	67,0	1200	35,3	543,30	62,80	480,50
5	50	83,0		25,7	492,37	63,10	429,27
6	60	100,0		21,6	371,33	34,00	337,33

En la figura 3.12 se muestra que cuando se aumentó el porcentaje de CaCO_3 al 100 % dentro de la carga fundente, la concentración de Au disminuyó. Sin embargo, hasta el ensayo con el 83 % de reemplazo, se observó que las concentraciones únicamente difirieron en un máximo de 3,53 g/TM de la estándar.

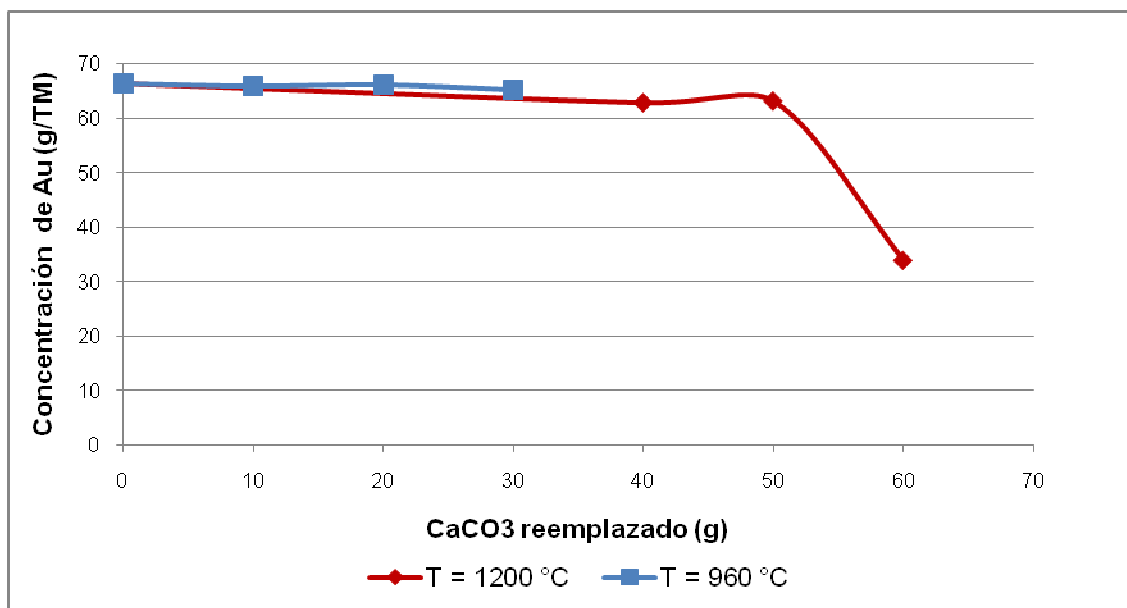


Figura 3.12. Concentración de Au en función del reemplazo de Na_2CO_3 por CaCO_3 en mineral de Bucay concentrado

En la figura 3.12 se muestra la diferencia de las escorias obtenidas en los ensayos estándar y con 100 % de reemplazo de CaCO_3 , se puede observar que la fusión en el ensayo con reemplazo total no alcanzó la temperatura necesaria para obtener un fundido homogéneo. Además se puede ver la presencia de incrustaciones de Pb en la escoria.



Figura 3.13. Escoria perteneciente al ensayo estándar (izquierda) y escoria con sustitución total por CaCO_3 (derecha)

Las características que se presentan durante la fusión de las calcinas con sus respectivas cargas fundentes se observan en la tabla 3.31.

Tabla 3.31. Características de la fusión para el concentrado de Bucay

Ensayo	CaCO ₃ (g)	Sustitución por CaCO ₃ (%)	Temperatura (°C)	Observaciones
Estándar	0	0	960	Fundido homogéneo y fluido Escoria color café-rojo
1	10	17		Fundido homogéneo y fluido Escoria color café-rojo
2	20	33		Fundido homogéneo y fluido Escoria color café-rojo
3	30	50		Fundido homogéneo y fluido Escoria color café-rojo
4	40	67	1200	Fundido fluido Escoria color café oscuro opaco
5	50	83		Fundido fluido Escoria color café oscuro opaco
6	60	100		Fundido fluido Escoria color café oscuro opaco

3.8. ANÁLISIS DE LAS ESCORIAS OBTENIDAS DE LOS ENSAYOS CON SUSTITUCIÓN TOTAL POR CaCO₃ MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA Y MICROSCOPIA ÓPTICA DE BARRIDO

Se realizó el análisis de las escorias obtenidas de la fusión de las calcinas de los minerales procedentes de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay, esto se realizó con el fin de conocer la influencia de un nuevo componente dentro de la carga fundente como es el CaCO₃ sobre la composición química de las escorias. Los resultados de este análisis se observan en la tabla 3.32.

El procedimiento para el análisis de las escorias por espectrofotometría de absorción atómica se observa en la sección 2.5.2.

Tabla 3.32. Resultados del análisis químico de las escorias

Elemento (%)	Pacto	Pachijal	Virón	Bucay
Fe	2,5	2,9	1,0	4,3
Pb	4,4	4,7	3,5	6,8
Cu	0,1	0,3	0,1	0,0

De este análisis es importante observar la cantidad de Pb presente en la escoria, ya que de todos los elementos que intervienen en la fusión, éste y los metales nobles deberían formar parte únicamente de la fase metálica.

En la tabla 3.32, se puede observar que las cantidades de Pb en las escorias de Pachijal (4,7 %) y Bucay (6,8 %) son mayores que el contenido de Pb en las muestras de Pacto (4.43 %) y Virón (3.48 %) y esto justifica que el peso de la fase metálica obtenida en los ensayos al fuego de Pachijal y Bucay fue menor al peso del fase metálica obtenida en los ensayos al fuego de las calcinas de Pacto y Virón.

La cantidad de Fe dentro de las escorias de Pachijal y Bucay es de 2,9 y 4,3 % respectivamente, estos valores son mayores a los obtenidos en las escorias de Pacto con 2,5 % y Virón con 1,0 % de Fe.

El Cu fue el elemento que se encontró en mayor proporción dentro de la calcina de Pachijal con un valor de 13,5 %, en la escoria este porcentaje fue 0,3 %, lo cual se debe al pre-tratamiento que realizó en esta calcina

Se realizó un análisis elemental de las escorias finales mediante microscopia electrónica de barrido, de este análisis de obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.33. Resultados del análisis de elemental de las escorias mediante microscopia electrónica de barrido

Elemento (%)	Pacto	Pachijal	Virón	Bucay
Ca	20,7	5,9	30,6	25,7
C	19,3	5,0	7,8	6,6
O	15,2	17,0	10,3	12,8
Si	13,4	14,9	8,9	11,2
Na	9,6	22,1	5,8	9,3
Pb	4,8	16,6	6,4	10,3
Fe	3,5	8,3	13,2	10,6
Al	2,7	1,1	1,9	3,8
Mg	0,7	-	0,8	0,6
B	10,2	9,1	10,4	9,2

Al igual que los resultados obtenidos mediante espectrofotometría de absorción atómica por microscopia electrónica se determinó que la cantidad de Pb en la escoria de los ensayos al fuego de las calcinas de Pachijal y Bucay fueron mayores que la cantidad de Pb en las escorias de Pacto y Virón. Así el contenido de Pb en las escorias de Pachijal y Bucay fueron 16,6 y 10,3 % respectivamente. Mediante este análisis se observa que los elementos Ca, Si, Na, Fe y B se encuentran en mayor proporción dentro de la escoria.

Del análisis químico realizado mediante espectrofotometría de absorción atómica y microscopia óptica de barrido, se observó que el Si es un elemento mayoritario dentro de las escorias de todas las calcinas, en el caso de Pachijal la presencia de este elemento es de 14,9 %. El porcentaje de Si en el resto de calcinas está en función directa con la Si inherente de cada mineral.

3.9. ESTUDIO DE LAS REACCIONES QUE SE PRODUCEN ENTRE LOS COMPONENTES DE LA CARGA FUNDENTE CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO Y SiO_2

Se realizaron las fusiones descritas en la sección 2.5.3. Para definir las reacciones que se llevan a cabo durante la fusión se colocaron las diferentes

cantidades de los compuestos de la carga fundente que forman parte del ensayo al fuego, los resultados obtenidos para cada fusión fueron analizados mediante difracción de rayos X.

3.9.1. ANÁLISIS MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LAS REACCIONES ENTRE SiO_2 , Na_2CO_3 Y CaCO_3

Las fusiones en las cuales intervienen los compuestos SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3 se analizaron mediante difracción de rayos X, estas reacciones se llevaron a cabo a 1 000 °C en la mufla eléctrica. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 3.34.

Tabla 3.34. Análisis mediante difracción de rayos X de las fusiones entre la SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3

Mineral %	Fórmula	$\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-SiO}_2$	$\text{CaCO}_3\text{-SiO}_2$
Cuarzo	SiO_2	70	15	35
Calcita	CaCO_3	3	-	64
Calcopirita	CuFeS_2	3	-	-
Tridimita	SiO_2	4	2	-
Bayerita	Al(OH)_3	5	-	-
Bixbiyite	Mn_2O_3	2	-	-
Magnesita	MgCO_3	10	3	-
Portlandita	Ca(OH)_2	3	-	-
Natrite	Na_2CO_3	-	72	-
Ortoclase	KAlSi_3O_8	-	6	-
Melanterita	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-	2	-

En la tabla 3.34 se observa que luego de la fusión los compuestos SiO_2 , Na_2CO_3 y CaCO_3 no reaccionan entre sí para formar los silicatos que se requieren para la escoria, esto se debe a la falta de temperatura que se necesita para la formación de silicatos.

Sin embargo, en la tabla 1.1 de la sección 1.1.1.2 se observó que existe mayor afinidad ácido-base entre el Na_2O y SiO_2 por lo tanto la posibilidad de formar Na_2SiO_3 aumenta. La SiO_2 tiene menor probabilidad de formar CaSiO_3 .

3.9.2. ANÁLISIS DE LAS FUSIONES ENTRE $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ Y SiO_2

Para la fusión en donde intervienen el CaCO_3 y $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ se obtuvo como resultado la formación $\text{Ca}_3\text{B}_2\text{O}_6$ (Takedaita) esta se encuentra en una proporción del 38 % dentro de la escoria. A pesar del resultado obtenido aun se encontró sin reaccionar una cantidad razonable de CaCO_3 esta cantidad es de 35 %, los resultados de este ensayo se observan en la tabla 3.35.

Para las fusiones entre CaCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SiO_2 y $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SiO_2 , PbO los resultados obtenidos no brindaron información acerca de los productos de estas fusiones.

Tabla 3.35. Análisis mediante difracción de rayos X de las fusiones con $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Mineral %	Fórmula	$\text{CaCO}_3\text{-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
Cuarzo	SiO_2	-
Tridimita	SiO_2	8
Calcita	CaCO_3	35
Portlandita	Ca(OH)_2	8
Lime(cal)	CaO	4
Ilmenita	FeTiO_3	2
Takedaita	$\text{Ca}_3\text{B}_2\text{O}_6$	38
Reedmergnerite	$\text{Na(BSi}_3\text{O}_8)$	5

3.9.3. ANÁLISIS DE LAS FUSIONES ENTRE Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Na_2CO_3 Y CaCO_3

Se analizaron las fusiones de Fe_2O_3 con los diferentes compuestos de la carga fundente, las combinaciones realizadas se observan en la sección 2.5.3. Para fines demostrativos en este trabajo se utilizó 1,2 g y 15,9 g de Fe_2O_3 , esto se

realizó para simular el comportamiento de un mineral ante la fusión con bajo y alto contenido de óxidos en su estructura.

Los resultados obtenidos por difracción de rayos X permitieron reconocer los productos de las reacciones entre Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, y CaCO_3 , pero no se pudo cuantificarlos debido a la abundancia de picos del difractograma y su composición.

Tabla 3.36. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 1,2 g de Fe_2O_3

Mineral	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-CaCO}_3$
Silicato de calcio y sodio	$\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{18})$
Borato de calcio	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$
Cuarzo	SiO_2
Takedaita	$\text{Ca}_3\text{B}_2\text{O}_6$
Tridimita	SiO_2
Fayalita	FeSiO_4
Natrite	Na_2CO_3
Ortoclasa	KAlSi_3O_8
Melanterita	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Magnesita	MgCO_3
Calcita	CaCO_3
Portlandita	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Lime(cal)	CaO
Ilmenita	FeTiO_3
Reedmergnerite	$\text{Na}(\text{BSi}_3\text{O}_8)$

El Fe_2O_3 tiene afinidad por formar FeSiO_4 (fayalita), por otro lado se puede señalar que el $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ reacciona con el CaCO_3 para formar boratos, por ejemplo $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$ y $\text{Ca}_3\text{B}_2\text{O}_6$.

Tabla 3.37. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 15,9 g de Fe_2O_3

Mineral	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-CaCO}_3$
Borato de calcio	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$
Cuarzo	SiO_2
Calcita	CaCO_3
Hematita	Fe_2O_3
Halite	NaCl
Takedaita	$\text{Ca}_3\text{B}_2\text{O}_6$
Tridimita	SiO_2
Natrite	Na_2CO_3

Cuando se trabajó con 15,9 g de Fe_2O_3 no se lograron obtener los silicatos de hierro que se observaron al realizar los ensayos con 1,2 g de Fe_2O_3 , y esto puede deberse a la falta de temperatura de operación. En este caso se vuelve a marcar la afinidad que existe entre $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y el CaCO_3 para formar $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$.

Los resultados de los ensayo de fusión con los compuestos Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y Na_2CO_3 se observan en la tabla 3.38.

Tabla 3.38. Análisis mediante difracción de rayos X de las reacciones utilizando 15,9 g de Fe_2O_3

Mineral	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-Na}_2\text{CO}_3$
Borato de sodio	NaBO_2
Silicato de sodio	Na_2SiO_3
Cuarzo	SiO_2
Hematita	Fe_2O_3
Borato de calcio	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$
Natrite	Na_2CO_3
Halite	NaCl
Calcita	CaCO_3
Sodium alum	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Tridimita	SiO_2
Fayalita	FeSiO_4

Al utilizar Na_2CO_3 como componente de la carga fundente existe la formación de boratos y silicatos de sodio, por ejemplo, NaBO_2 (borato de sodio) y Na_2SiO_3 (silicato de sodio), experimentalmente se observó que al tener CaCO_3 se forma $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$, pero no CaSiO_3 .

La presencia de Na_2CO_3 dentro de la carga fundente disminuye la temperatura de fusión de la misma, esto sucede porque un óxido básico como el Na_2O rompe la estructura del SiO_2 el cual funde a $1\,723\text{ }^\circ\text{C}$, pero al adicionar CaCO_3 se requiere mayor temperatura para obtener CaO que es el óxido básico necesario para romper la estructura del SiO_2 . Por tanto a $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$, $15,9\text{ g}$ de Fe_3O_4 y $40,0\text{ g}$ de CaCO_3 no se formó el FeSiO_4 , debido a que la temperatura de fusión de este sistema es mayor a $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$.

3.10. REACCIONES DE SiO_2 CON Na_2CO_3 Y CaCO_3

A partir de las reacciones propuestas en la sección 2.5.6, se analizó las posibles reacciones que se producen al sustituir Na_2CO_3 por CaCO_3 .

La reacción de descomposición Na_2CO_3 a $600\text{ }^\circ\text{C}$, se representa a continuación:



Por otro lado, el CaCO_3 se descompone a más de $900\text{ }^\circ\text{C}$, y la reacción de descomposición es la siguiente



El Na_2O y CaO obtenidos en las reacciones 3.3 y 3.4 son óxidos básicos los cuales están en capacidad de formar sales con los óxidos ácidos, esto se puede observar en la tabla 1.1 de la sección 1.1.2.



$$\Delta G = -22,8 \frac{kcal}{mol}$$



$$\Delta G = -81,09 \frac{kcal}{mol}$$

Los valores de ΔG nos indican que ambas reacciones, están produciéndose en el sistema en estudio, donde la reacción 3.6 termodinámicamente es más favorable que la reacción 3.5.

3.11. REACCIONES DE $Na_2B_4O_7$ CON SiO_2 , $CaCO_3$, Na_2CO_3 Y PbO

El $Na_2B_4O_7$ por su parte se descompone en $Na_2B_2O_4$ y en B_2O_3 como se indica en la sección 1.2.2, la descomposición de este compuesto empieza aproximadamente a los 600 °C, debido a la diferencia de electronegatividades, el Na_2O tiene mayor facilidad para unirse al B_2O_3 .



$$\Delta G^\circ = -142,44 \frac{kcal}{mol}$$



$$\Delta G^\circ = -178,44 \frac{kcal}{mol}$$

La reacción 3.9 es más espontánea que la reacción 3.8. En el diagrama de Ellingham se puede observar la variación ΔG° en función de la temperatura para las reacciones de formación de silicatos y boratos. Por ejemplo, la reacción de formación de Na_2SiO_3 es más espontánea que la reacción de formación CaSiO_3 a 1 000 °C, y la reacción de formación del CaB_4O_7 es más espontánea que la reacción de formación de CaSiO_3 .

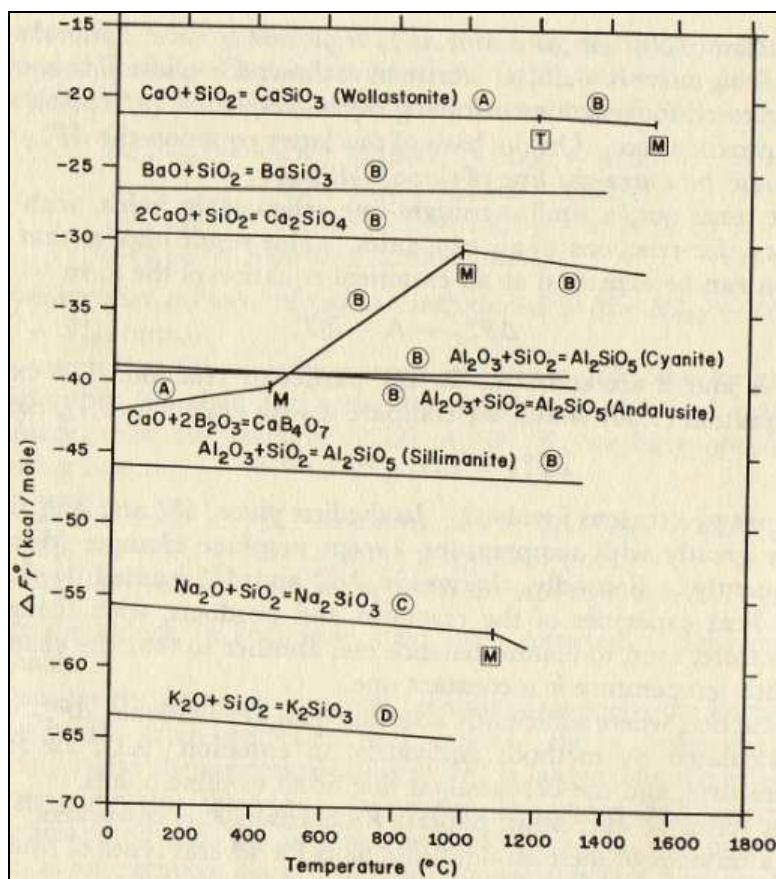
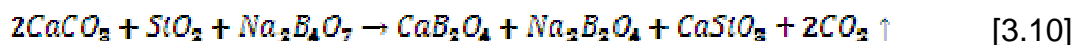


Figura 3.14. Energía libre estándar en función de la temperatura

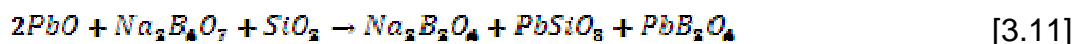
(Garrels y Christ., 1965)

Al realizar los reemplazos parciales por CaCO_3 , las reacciones involucradas en la fusión entraron en un sistema de competencia, donde la reacción que se favoreció fue la más espontánea.

Sobre la base del estudio de las reacciones del $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ con CaCO_3 y SiO_2 se estableció la reacción 3.10.



En el caso de las calcinas de Pachijal y Bucay en los cuales la cantidad de Pb en la escoria fue elevado, se podría plantear la reacción 3.11.



El PbO teóricamente podría formar silicatos o boratos según las reacciones 3.12 y 3.13.



Con el objeto de comprobar la formación de silicatos o boratos de Pb se realizó el análisis puntual de la escoria proveniente de Pachijal que se caracterizó por tener incrustaciones de Pb mediante microscopía óptica de barrido.

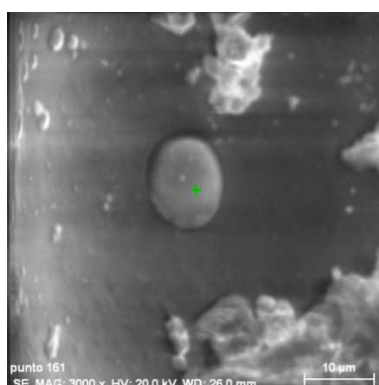


Figura 3.15. Fotografía de las incrustaciones de Pb en la escoria de Pachijal por microscopía electrónica de barrido

En la figura 3.15 se observa la escoria obtenida de Pachijal con el 100 % de reemplazo. La escoria presentó incrustaciones de Pb, esto se debió a que la mezcla de la calcina con la carga fundente no fundió totalmente.

En la tabla 3.39 se observan los resultados del análisis de la porción de la escoria, en donde se evidenció la presencia de Pb. A partir del análisis se pudo determinar que este elemento se encontraba en forma mayoritaria con 97,9 % y el contenido de Cu fue de 0,8 %.

Tabla 3.39. Composición de la escoria de la calcina de Pachijal con el 100 % de reemplazo por CaCO_3

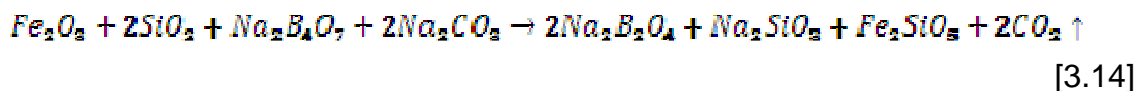
Elemento	Contenido (%)
Pb	97,9
Ca	1,1
Cu	0,8

En las incrustaciones que se observan dentro de la escoria se determinó que el contenido de Pb es de 97,9 %.

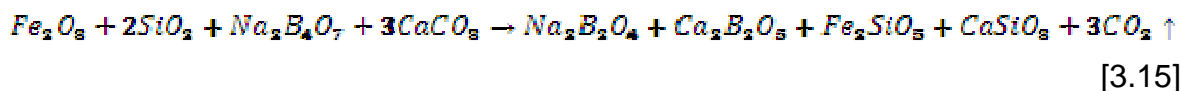
Se constató que el Pb no formó compuestos con el B ni tampoco con el Si, así que de manera experimental no se pudo verificar la formación de PbSiO_3 y PbB_2O_4 .

3.12. REACCIONES DEL Fe_2O_3 CON $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SiO_2 , CaCO_3 , Na_2CO_3 Y PbO

Se debe considerar que el Fe_2O_3 es un óxido intermedio según la tabla 1.1 de la sección 1.1.1.2, pero lo que mostraron los resultados obtenidos mediante difracción de rayos X fue que el Fe_2O_3 se comportó como un óxido básico ya que reaccionó con la SiO_2 para la formación de Fe_2SiO_5 . La formación de este compuesto se da únicamente en las calcinas con bajos contenidos de óxidos metálicos como las calcinas de Pacto y Virón que contenían 10 y 58 % respectivamente del total de los compuestos por difracción de rayos X. Primero se estudió la reacción con Na_2CO_3 y se obtuvo la reacción 3.14.



Sobre la base de la reacción 3.14 y el comportamiento del Fe_2O_3 se planteó la reacción que ocurrió al sustituir Na_2CO_3 por $CaCO_3$ y se obtuvo la reacción 3.15.



3.13. ESTUDIO DE LA CARGA FUNDENTE UTILIZANDO $CaCO_3$ EN UN SISTEMA TERNARIO $CaO-SiO_2-B_2O_3$

Para realizar este estudio fue necesario determinar la cantidad de CaO , SiO_2 y B_2O_3 presentes tanto en la calcina como en la carga fundente. Para esto, se analizaron los resultados de la tabla 3.15 donde están cuantificados los compuestos presentes en la calcina. Primero, se calculó el aporte de SiO_2 proveniente de las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay y se sumó a la cantidad de SiO_2 adicionada en la carga fundente en el caso de Pachijal. Después se calculó la cantidad de CaO generado por la reacción de descomposición del $CaCO_3$ presente en cada calcina y en cada carga fundente. Luego, se calculó la cantidad de B_2O_3 producto de la descomposición del $Na_2B_4O_7$ presente en cada carga fundente. Finalmente, se calculó los porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 que serán estudiados en este sistema ternario. Los cálculos se detallan en el anexo V.

La temperatura de fusión está determinada por la composición de la carga fundente, por lo que al colocar los porcentajes calculados de CaO , B_2O_3 y SiO_2 se pudo establecer la temperatura de fusión para este sistema.

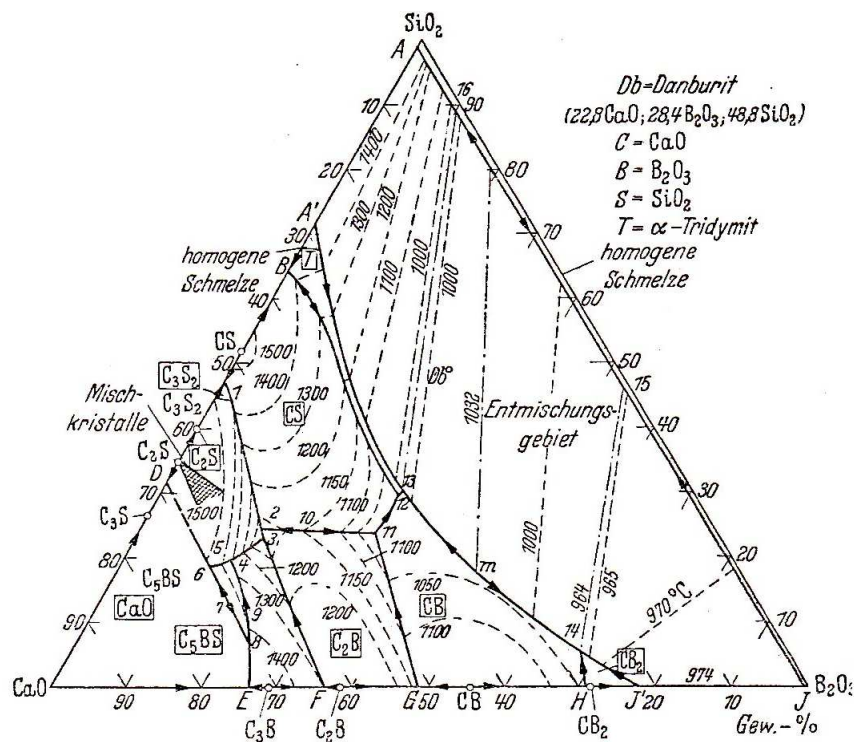


Figura 3.16. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

(Landolt, 1995)

3.13.1. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO TERNARIO $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ PARA LA CALCINA DE PACTO

En el diagrama ternario de la figura 3.17 se colocó las proporciones de los compuestos que intervienen en este sistema, las composiciones representadas en el diagrama se encuentran en la tabla 3.40. Se calcularon los porcentajes para el reemplazo de 50 % y 100 % porque fueron los ensayos que presentaron los resultados más próximos a los ensayos estándar.

Tabla 3.40. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pacto

Compuesto	100 % reemplazo	50 % reemplazo
CaO	37,3	47,4
B ₂ O ₃	42,9	27,3
SiO ₂	19,9	25,3

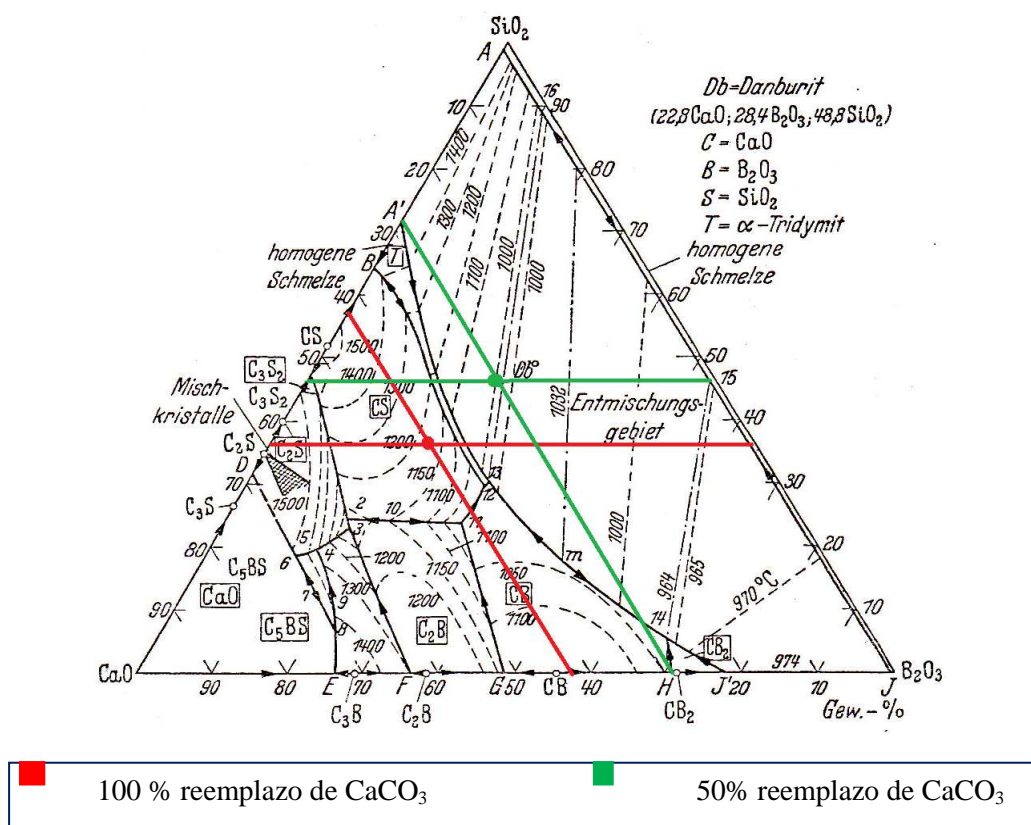


Figura 3.17. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pacto

En la figura 3.17 se puede observar la temperatura de fusión determinada con los diagramas de fase para la mezcla de la calcina de Pacto con la carga fundente en la que se sustituyó totalmente el Na_2CO_3 por CaCO_3 . La temperatura de fusión encontrada osciló entre $1\,150\,^{\circ}\text{C}$ y $1\,200\,^{\circ}\text{C}$, lo que explicó la necesidad de elevar la temperatura de operación hasta $1\,200\,^{\circ}\text{C}$ en el horno de crisol. También se estudió el sistema ternario para el caso en que se sustituyó 50% por CaCO_3 . La temperatura de fusión establecida fue $1\,000\,^{\circ}\text{C}$.

Además se estudió en el diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ la composición de los óxidos obtenidos en los ensayos estándar, esta composición se observa en la tabla 3.41.

Tabla 3.41. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pacto

Compuesto	Composición (%)
Na_2O	36,7
B_2O_3	22,0
SiO_2	41,3

Este estudio se realizó con el fin de conocer la diferencia que existió entre la temperatura de fusión en los ensayos al fuego estándar y las temperatura de fusión con 100 % de reemplazo por CaCO_3 en la calcina. La temperatura de fusión determinada para este sistema varió entre 700 y 800 °C, esto se puede observar en la figura 3.18.

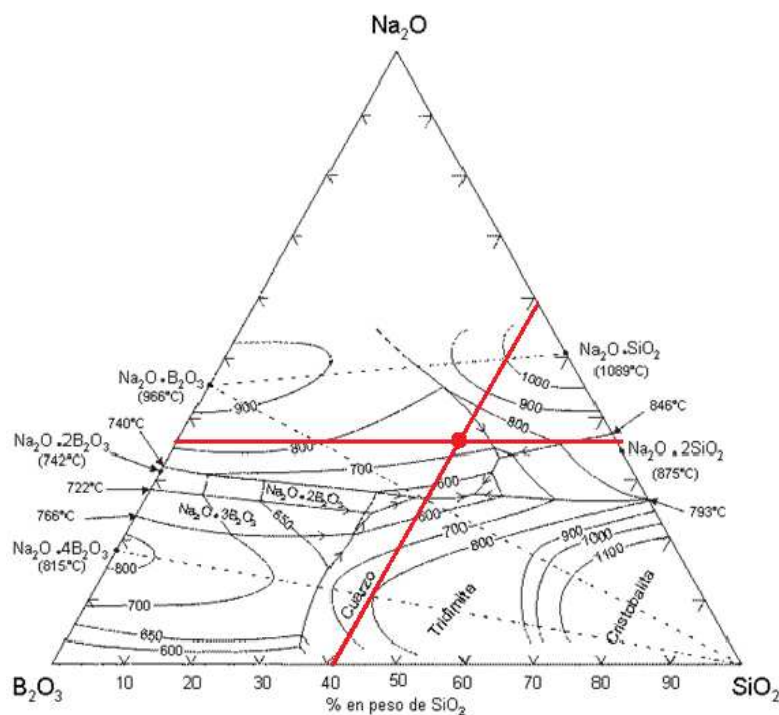


Figura 3.18. Diagrama de equilibrio ternario Na_2O - B_2O_3 - SiO_2 para el concentrado de Pacto

La temperatura de fusión determinada para los ensayos estándar es menor a la temperatura de fusión para los ensayos con sustitución total de CaCO_3 en aproximadamente 400 °C.

3.13.2. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO TERNARIO PARA EL CONCENTRADO DE PACHIJAL

En la fusión de la calcina de Pachijal con 100 % de CaCO_3 dentro de la carga fundente se obtuvo 14,14 g/TM de Au menos que la concentración de Au lograda en el ensayo estándar, se determinó los porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 presentes en la calcina y en la carga fundente, estos porcentajes se observan en la tabla 3.42.

Tabla 3.42. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pachijal

Compuesto	100 % reemplazo
CaO	45,2
B_2O_3	16,8
SiO_2	38,0

Las composiciones de los óxidos están representadas en el diagrama de equilibrio $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$.

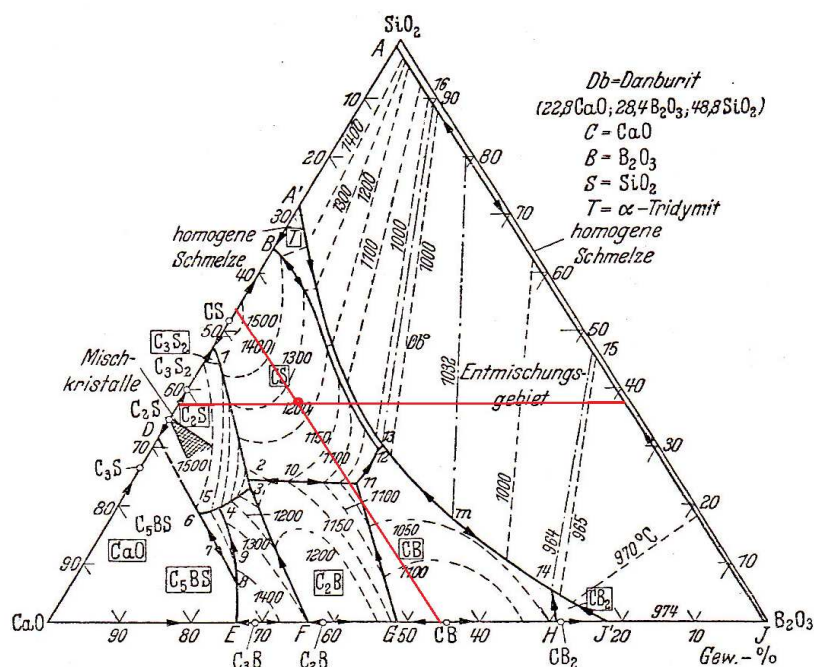


Figura 3.19. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para el concentrado de Pachijal

Es importante señalar que la cantidad de SiO_2 presente en la calcina fue de 3,56 g, esta cantidad es insuficiente para la formación de los silicatos que se requieren en la escoria, por lo tanto, fue necesario aumentar 20 g de SiO_2 como se explica en la tabla 2.1 de la sección 2.4.1. La temperatura de fusión para el mineral de Pachijal está entre 1 200 y 1 300 °C, esto se observa en la figura 3.19.

En el diagrama $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ se determinó la temperatura de fusión para la calcina de Pachijal en el ensayo estándar. Los valores representados en el diagrama de la figura 3.20 son los porcentajes que se muestran en la tabla 3.43.

Tabla 3.43. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Pachijal

Compuesto	Composición (%)
Na_2O	33,8
B_2O_3	20,2
SiO_2	45,9

La temperatura de fusión se encontró entre 700 y 800 °C, esto se observa en la figura 3.20.

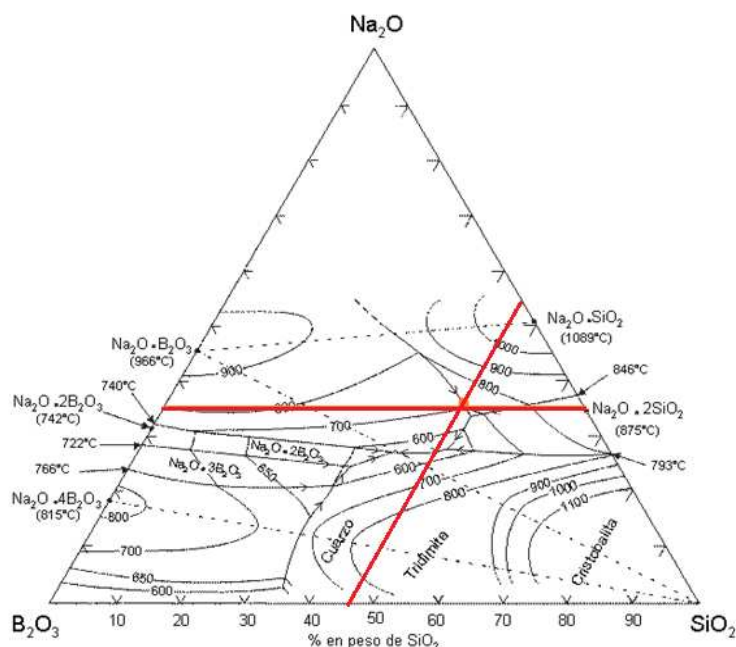


Figura 3.20. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ para el concentrado de Pachijal

Se analizó la fusión de Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Na_2CO_3 y CaCO_3 como se indica en la sección 3.9.3. Los resultados del estudio de esta fusión con 1,2 g y 15,9 g de Fe_2O_3 y junto con los resultados de las fusiones de las calcinas con 100 % de reemplazo por CaCO_3 en las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay.

Se observó que para las calcinas de Pacto y Virón que presentaron en su estructura bajos porcentajes de óxidos metálicos el ensayo al fuego alcanzó resultados cercanos al estándar. Mientras, para la calcina de Pachijal y Bucay que presentaron altos contenidos de óxidos metálicos la concentración de Au lograda no se acercó a lo cuantificado en el ensayo estándar.

Se determinó la composición de CaO , Fe_2O_3 y SiO_2 . La composición de los óxidos corresponde a 38,72, 28,67 y 32,60 % respectivamente, estos porcentajes fueron representados en el diagrama de equilibrio ternario Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO que se muestra en figura 3.21.

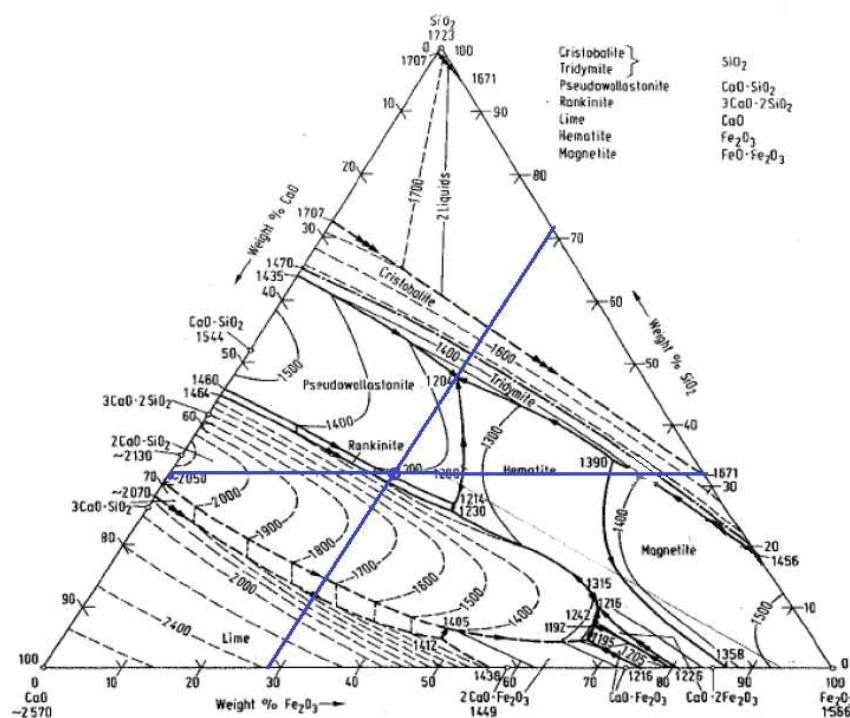


Figura 3.21. Diagrama de equilibrio ternario CaO - Fe_2O_3 - SiO_2 para el concentrado de Pachijal

La temperatura de fusión ubicada en el diagrama $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ es próxima a $1300\text{ }^\circ\text{C}$, en este punto se considera la formación del compuesto CaO.SiO_2 (Pseudowollastonite).

3.13.3. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO TERNARIO PARA EL CONCENTRADO DE VIRÓN

Para el concentrado de Virón al sustituir el 83,3 % de CaCO_3 se obtuvo 54,20 g/TM de Au y con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 se logró 54,10 g/TM de Au estos valores son cercanos al valor estándar obtenido de 51,17 g/TM de Au. La calcina en estudio presenta 9,98 g de sílice que van a formar parte de la fusión, la misma que es una cantidad pequeña con relación a la presente en las otras calcinas y en este caso es la suficiente para dar paso a la formación de silicatos, la composición que se representa en el diagrama de la figura 3.22 se puede observar en la tabla 3.44.

Tabla 3.44. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Virón

Compuesto	100 % reemplazo	83,3 % reemplazo
CaO	62,3	57,9
B_2O_3	19,6	21,5
SiO_2	18,5	20,6

En el diagrama ternario de la figura 3.22, se puede observar que tanto para el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 como para los ensayos parciales con el 83,3 % de CaCO_3 el resultado final es similar para ambos casos, la temperatura de fusión que para ambos casos es de $1200\text{ }^\circ\text{C}$, aunque para el ensayo con el 83,3 % de CaCO_3 en reemplazo y el 16,7 % de Na_2CO_3 la temperatura de fusión es levemente cercana a $1150\text{ }^\circ\text{C}$.

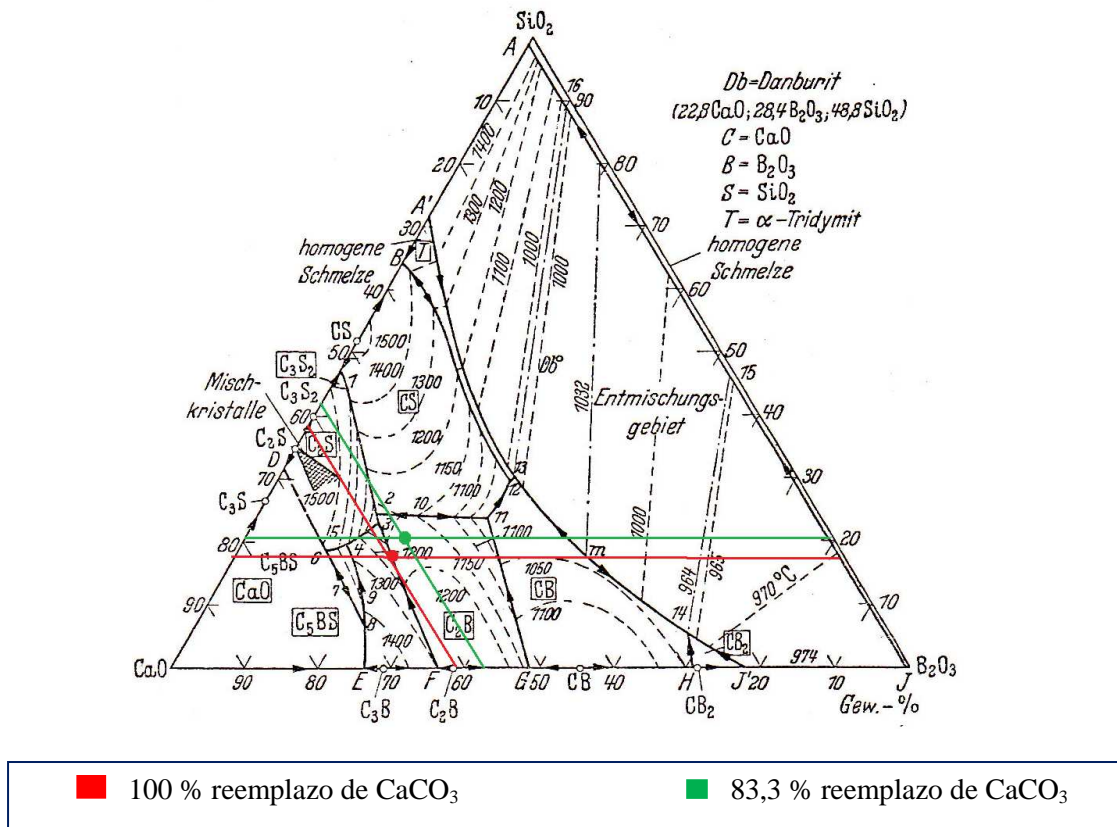


Figura 3.22. Diagrama de equilibrio ternario CaO-B₂O₃-SiO₂ para el concentrado de Virón

Se estudio el diagrama ternario Na₂O-B₂O₃-SiO₂ colocando en su esquema la composición indicada en la tabla 3.45.

Tabla 3.45. Porcentajes de Na₂O, B₂O₃ y SiO₂ en el sistema ternario para la calcina de Virón

Compuesto	Composición (%)
Na ₂ O	50,5
B ₂ O ₃	30,3
SiO ₂	19,4

La temperatura de fusión para la composición de la tabla 3.45 se ubica en el diagrama ternario Na₂O-B₂O₃-SiO₂ de la figura 3.23, esta temperatura corresponde a 750 °C.

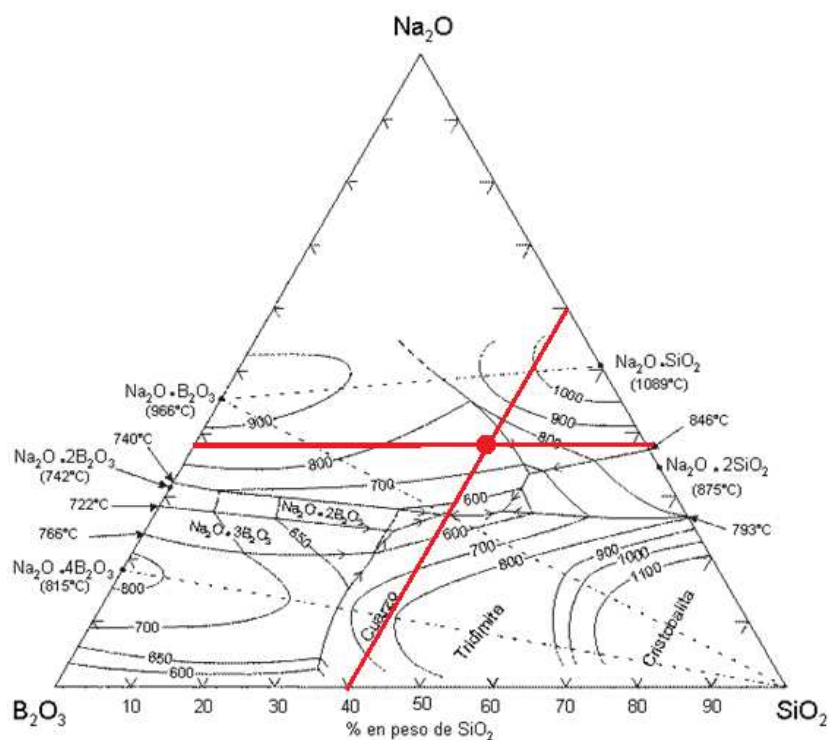


Figura 3.23. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ para el concentrado de Virón

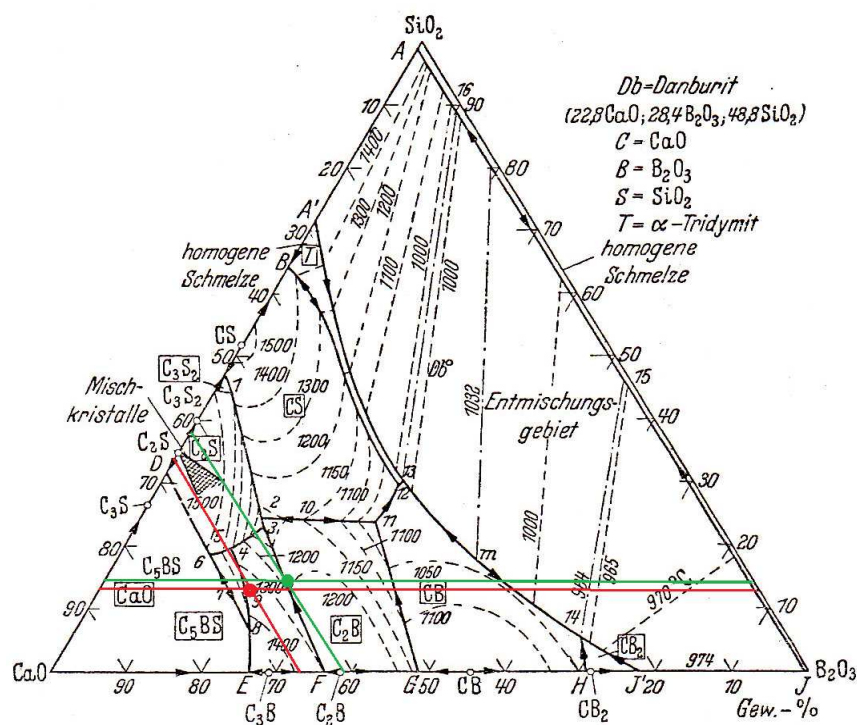
La diferencia entre las temperaturas de fusión de este mineral con reemplazo total por CaCO_3 y el estándar fue de aproximadamente 400 °C.

3.13.4. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO TERNARIO PARA EL CONCENTRADO DE BUCAY

La concentración de Au obtenida de los ensayos con sustitución parcial por CaCO_3 como componente de la carga fundente fue casi constante, esto se puede observar claramente en la figura 3.24, al realizar el ensayo con sustitución total por CaCO_3 la concentración de Au difiere en 32,33 g/TM de la lograda en el ensayo estándar. Los porcentajes representado en el diagrama ternario $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ de la figura 3.24 se encuentran en la tabla 3.46.

Tabla 3.46. Porcentajes de CaO , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Bucay

Compuesto	100 % reemplazo	83 % reemplazo
CaO	66,3	62,1
B_2O_3	20,5	23,1
SiO_2	13,2	14,8



■ 100 % reemplazo de CaCO_3

■ 83 % reemplazo de CaCO_3

Figura 3.24. Diagrama de equilibrio ternario $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ para el concentrado de Bucay

Se observó que en diagrama de la figura 3.24, con el 83,3 % de reemplazo por CaCO_3 la temperatura de fusión es de 1 200 °C y para el ensayo con sustitución total la temperatura de fusión estuvo entre 1 300 y 1 400 °C.

La temperatura de fusión para el concentrado de Bucay con la carga fundente estándar fue próxima a 900 °C, la diferencia entre esta y la temperatura de fusión

con la carga fundente y el reemplazo del 100 % de CaCO_3 fue de 400 °C. El diagrama ternario $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ se muestra en la figura 3.25.

Tabla 3.48. Porcentajes de Na_2O , B_2O_3 y SiO_2 en el sistema ternario para la calcina de Bucay

Compuesto	Composición (%)
Na_2O	50,5
B_2O_3	30,4
SiO_2	19,1

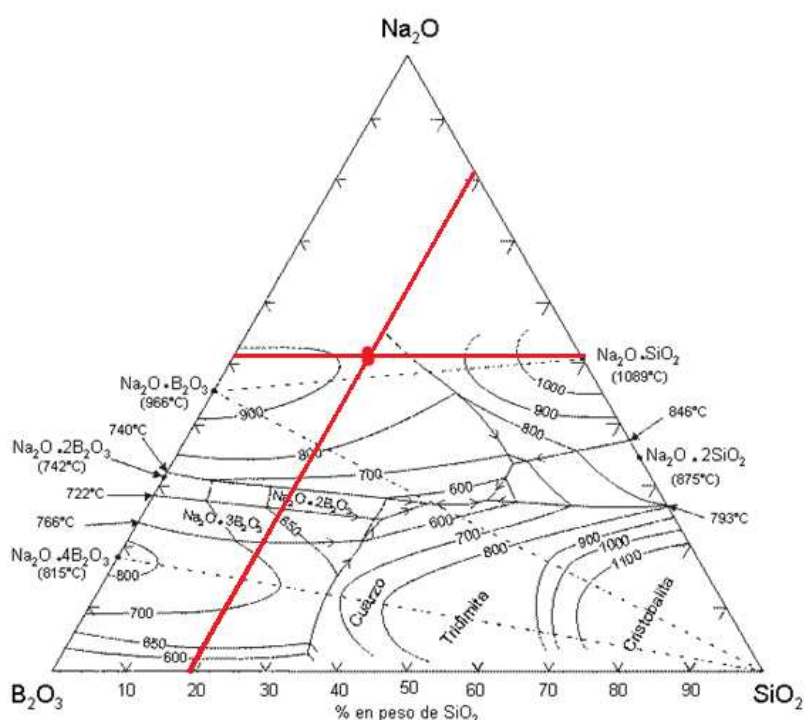


Figura 3.25. Diagrama de equilibrio ternario $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ para el concentrado de Bucay

Este mineral contiene una importante cantidad de Fe_2O_3 en su estructura, esta cantidad influye en la fusión de la misma con la carga fundente propuesta para este estudio, esto se puede observar a continuación en el diagrama ternario $\text{CaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, las proporciones utilizadas son las siguientes 29,6 % de SiO_2 , 42,7 % de CaO y 27,7 % de Fe_2O_3 .

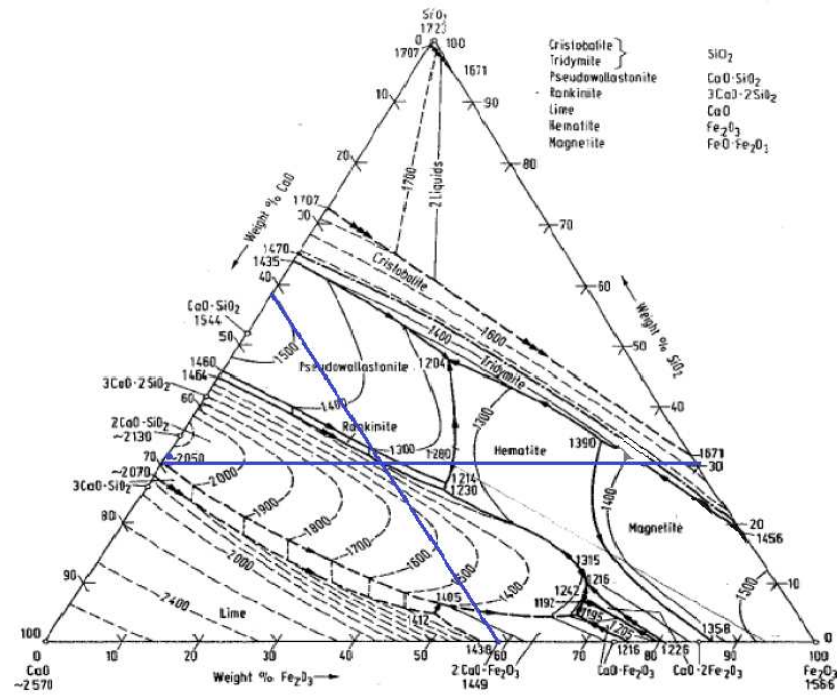


Figura 3.26. Diagrama de equilibrio ternario Fe_2O_3 - CaO - SiO_2 para el concentrado de Bucay

Se observa que la temperatura de fusión para este caso es de 1 400 °C, y en la cual existe la formación de $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ (Rankinite).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Al aumentar la cantidad de CaCO_3 la temperatura de fusión de la mezcla de la calcina con la carga fundente aumenta, esto sucede porque la temperatura de descomposición del CaCO_3 es de 900 °C.

La temperatura de operación para las calcinas de Pacto, Pachijal y Virón en los ensayos estándar fue de 900 °C, mientras que para Bucay fue de 960 °C esto comprueba que un elevado contenido de óxidos metálicos aumenta la temperatura de fusión y por lo tanto es necesario trabajar a mayor temperatura de operación.

Fue necesario elevar la temperatura de operación al aumentar el porcentaje de sustitución por CaCO_3 , así la temperatura de operación requerida fue de 1 200 °C cuando las cargas fundentes para la fusión de las calcinas de Pacto, Pachijal, Virón y Bucay alcanzaron porcentajes de sustitución de 100 %, 40,0 %, 83,3 % y 67,0 %, respectivamente.

Las concentraciones de Au obtenidas por fusión al sustituir totalmente CaCO_3 para Pacto y Virón superan a las del ensayo estándar en 12,34 g/TM y 2,93 g/TM, mientras que las concentraciones de Au para Pachijal y Bucay son menores en 14,14 g/TM y 32,33 g/TM a las estándar.

Experimentalmente se demuestra que en la fusión, el Pb proveniente del PbO no forma parte únicamente de la fase metálica, sino que se distribuye tanto en la fase metálica como en la escoria, esto se comprueba al comparar el peso del Pb obtenido por estequiometría con el peso del régulo. Así el contenido de Pb en las escorias de Pachijal y Bucay fueron 16,6 y 10,3 %, respectivamente

Para la calcina de Pacto la concentración de Au obtenida mediante el ensayo al fuego estándar fue de 308,83 g/TM, mientras que en el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 la concentración de Au lograda fue de 321,17 g/TM, este valor varia en 12,34 g/TM de lo cuantificado en el ensayo estándar.

Para la calcina de Pachijal la concentración de Au obtenida mediante el ensayo al fuego estándar fue de 49,64 g/TM, mientras que en el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 la concentración de Au lograda fue de 35,50 g/TM, este valor difiere por debajo de lo cuantificado en el ensayo el estándar en 14,14 g/TM.

Para la calcina de Virón la concentración de Au obtenida mediante el ensayo al fuego estándar fue de 51,17 g/TM, mientras que en el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 la concentración de Au lograda fue de 54,10 g/TM, este valor varia en 2,93 g/TM por encima de lo cuantificado en el ensayo estándar.

Para la calcina de Bucay la concentración de Au obtenida mediante el ensayo al fuego estándar fue de 66,33 g/TM, mientras que en el ensayo con el 100 % de reemplazo por CaCO_3 la concentración de Au lograda fue de 34,00 g/TM, este valor varia en 32,33 g/TM de lo cuantificado en el ensayo estándar.

La formación de silicatos y boratos de sodio es más factible que la formación de silicatos y boratos de calcio, esto se comprobó mediante el estudio del ΔG° .

En las calcinas de Pacto y Virón las cuales se caracterizan por tener menor contenido de óxidos metálicos que las calcinas de Pachijal y Bucay si fundieron a la mayor temperatura de operación (1 200 °C), mientras que las calcinas de Pachijal y Bucay no fundieron debido a que su contenido de óxidos elevan la temperatura de fusión.

A la temperatura de operación de 1 000 °C, 1,2 g de Fe_2O_3 y 40,0 g de CaCO_3 se obtiene como resultado la formación de FeSiO_4 mientras que para la misma temperatura y 15,9 g de Fe_2O_3 el silicato de hierro no se forma, esto sucedió porque la temperatura de fusión no fue la suficiente para la formación del silicato.

A la temperatura de operación de 1 000 °C y 15,9 g de Fe₂O₃ en presencia de 40,0 g de Na₂CO₃ se forma FeSiO₄, a diferencia de lo que sucede a la misma temperatura, 15,9 g de Fe₂O₃ y 40,0 g de CaCO₃, esto sucede debido a que la presencia de Na₂CO₃ disminuye la temperatura de fusión de la mezcla y permite la formación del FeSiO₄.

Se concluye que las reacciones de fusión de la SiO₂ y Fe₂O₃ al sustituir totalmente el Na₂CO₃ por CaCO₃ son las siguientes:



Al estudiar el diagrama ternario CaO-SiO₂-B₂O₃ se establece que la temperatura de fusión de la calcina perteneciente a Pachijal es de aproximadamente 1 300 °C y la de Bucay es de 1 400 °C lo cual justifica que estas calcinas no fundieron a la temperatura de operación de 1 200 C.

Las temperaturas de fusión de las calinas de Pacto y Virón fueron menores a 1 200 °C esto se identificó en el diagrama ternario CaO-SiO₂-B₂O₃, por esta razón estas calcinas fundieron a la temperatura de operación 1 200 °C, y se logró concentraciones de Au semejantes a las estándar.

Para la calcina de Pacto la diferencia entre la temperatura de fusión con la carga fundente estándar y la carga con el 100 % de reemplazó por CaCO₃ es de 400 °C, para Pachijal de 500 °C, para Virón de 400 °C y en Bucay fue 400 °C.

Al realizar el reemplazo por CaCO₃ para las calcinas auríferas de Pachijal y Bucay la cantidad de Au por tonelada métrica obtenida es mucho menor que el Au cuantificado mediante los ensayos estándar, por lo tanto este no es método aplicable para la cuantificación de Au para estas calcinas

La sustitución total de Na_2CO_3 por CaCO_3 en la carga fundente para las calcinas de Pacto y Virón si es aplicable para la cuantificación de Au. Además el CaCO_3 no es controlado por el CONSEP y ayuda a disminuir costos por consumos de reactivos ya que el precio del Na_2CO_3 es de 1,48 USD/kg y el de CaCO_3 es de 0,22 USD/kg.

4.2. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio complementario con otro compuesto que tenga similares características que el CaO, para la formación de escorias en el análisis de ensayo al fuego, este compuesto puede ser el MgO.

Para muestras que presentan un alto contenido de Cu y compliquen la fusión de la calcina para la escorificación del mismo, se puede trabajar con cantidades menores de muestra.

Se pueden realizar lavados ácidos o básicos previos a la fusión de las calcinas con su respectiva carga fundente, para eliminar los elementos que compliquen la escorificación en el ensayo al fuego.

A partir de los datos obtenidos, se debería incluir al CaCO_3 como componente de las cargas fundentes usadas en el Departamento de Metalurgia Extractiva para reducir costos por consumos de reactivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, A., Miranda, S. y Rodríguez, J., 2000, "Certificación química del producto final de las plantas de Au (doré)", <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/descarga/simposio%202002/docos/te067.pdf>, (Abril, 2010)
2. Araya, T., 1996, "Concentración por Flotación", Editorial Centro de Investigaciones de Minería y Metalurgia, Santiago, Chile, p. 29.
3. Barras, J., 2006, "Ácidos y bases", Revista de la Facultad de Ingeniería Química, 18 (3), 153.
4. Bazán, V., Goñi, Ch., Catella, L., Brandaleze, E., Verdeja, L. y Parra, R., 2006, "Estimación de la viscosidad de escorias fayalíticas utilizando el modelo de cálculo kv y el método experimental del plano inclinado" Revista Metalúrgica, 42 (2), 84.
5. Brito, L. y Delgado, J., 2005, "Estudio preliminar de la potencialidad de algunos minerales cubanos para fabricar biomateriales", <http://www.hab2005.sld.cu/arrepdf/T069.PDF>, (Marzo, 2010)
6. Calvo, F. y Ballester, A., 2008, "Perdidas de plomo en la escoria de un horno de fusión reductora influencia de los componentes de la escoria", Revista de la Universidad Complutense, 83, 397.
7. Colón, H., 2002, "Fuerzas intermoleculares de líquidos y sólidos", http://bc.inter.edu/LinkClick.aspx?link=RE%2FH%C3%A9ctor+Col%C3%B3n%2FQUIM+2212+Qu%C3%ADmica+Inorg%C3%A1nica%2FQuímicaGeneral_II_Cap_11a.pdf&tabid=733&mid=1375.pdf, (Abril, 2010).

8. Correa, J., 2002, "Fusión de concentrados auríferos", Tesis Previa a la Obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 34-56.
9. Chaize, T., 2004, "Producción mundial de oro entre 1840 y 2003", <http://www.dani2989.com/gold/produccionmundialdeoro23112004es.pdf>, (Junio, 2010).
10. Chiang, Ch., Wang, S., Wang, Y. y Wei, W., 2008, "Densification and microwave dielectric properties of CaO-B₂O₃-SiO₂ system glass-ceramics", *Sciencedirect journal*, **43**, 599.
11. Da Costa, A., 1998, "Termodinámica aplicada a aciaria", <http://www.equilibrium.trix.net/parte6.PDF>, (Junio, 2010).
12. Damarupurshad, A., 2005, "The precious metals trade general information handbook", <http://www.infomine.com/publications/docs/DMESouthAfrica/PreciousMetalsTradeHandbook.pdf>. (Julio, 2010).
13. De la Torre, E. y Guevara, A., 2005, "Recuperación de oro a partir de minerales refractarios polisulfurados", Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, pp. 2-6.
14. Fogler, S., 2001, "Elementos de ingeniería de las reacciones químicas" 3ra Edición, Editorial Prentice Hall, Naucalpan de Juárez, México, pp. 194,202-205.
15. Gallegos, J., 2000, "Seminario sobre la Flotación de Minerales tipo Sulfuros complejos de cobre, plomo y zinc.", Editorial Universidad Católica de Lovaina, Lovaina, Bélgica, pp. 43-45

16. Gaviria, J., Quattrini, D., Fougá, G., Bohé, A. y Pasquevich, D., 2003, "Estudio cinético de la descomposición del CaCO_3 por cromatografía gaseosa", Conamet, 1 (9), 30.
17. Grundy, A., Nemna, S., Decterov, S. y Pelton, A., 2006, "Thermodynamic optimization of the $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ system", http://www.crct.polymtl.ca/factsage/posters/factsage_poster2.pdf, (Agosto, 2010).
18. Hyuk, K., Dong, J., Young, S. y Joo, H., 2009, "The viscous behaviour of high Al_2O_3 containing blast furnace type slags", en Sanchez, M., Parra, R., Riveros, G. y Díaz, C., "Proceeding of the VIII international conference on molten slags, fluxes and salts", 1era edición, Editorial Gecamin, Santiago, Chile, p. 249.
19. Jiménez, L. y De Manuel, E., 2002, "La neutralización ácido-base a debate", Enseñanza de las ciencias, 20 (3), 451.
20. Lenahan, W.C. y Murray-Smith, R., 1997, "Assay and analytical practice in the South African mining industry", Editorial CTP, Johannesburg, South Africa, pp. 49, 55
21. Levenspiel, O., 2005, "Ingeniería de las reacciones químicas", 2da. edición, Editorial Reverté, New York, U.S.A, pp. 24, 85-92.
22. Lovera, A., Núñez, P. y Delgado, E., 2002, "Tostación de minerales sulfurados", Revista de la Facultad de Minería del Perú, 9(10), 24
23. Lozada, D., 2006, "Diseño de escorias para la pirometalurgia del oro y la plata", Tesis Previa a la Obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 18, 21.

24. Maron, S. y Prutton, C., 1996, "Fundamentos de Fisicoquímica", Editorial Limusa, México D.F, México, pp. 172, 188.
25. Marsden, J. y House, L., 1993, "The chemistry of gold extraction", Editorial Ellis Horwood Limited, England, pp.456-478.
26. Martinón, M., 2003, "Química en arqueología y la arqueología de la química: el ensayo", Gallaecia. 22, 383.
27. Morando, C., Garbellini, O. y Palacio, H., 2005, "Estructuras de solidificación esperadas en sistemas eutécticos ternarios simples", Anales AFA, 17, 234.
28. Oro y Finanzas., 2010, "Oferta y demanda mundial de oro", <http://www.oroymas.com/2010/03/oferta-y-demanda-mundial-de-oro/pdf> (Junio, 2010).
29. Restrepo, O., 1998, "Discusión general de los diagramas de fase", <http://www.unalmed.edu.co/~cpgarcia/diagramasfases.pdf>, (Agosto, 2010).
30. Salager, J. y Guedez, A., 2007, "Fundamentos de la flotación", <http://www.firp.ula.ve/archi/cuaderno/335.pdf>, (Febrero, 2010)
31. Shvetsov, V., Pakhomova, V. y Adelshina, N., 2006, "Estimation of systematic errors at the fluxing stage of fire assay", Journal of Analytical Chemistry, 61 (2), 108.
32. Tosiani, T., Torres, M. y Mendoza, W., 2000, "Análisis de oro en muestras geológicas: método colorimétrico para ser utilizado en el campo", Interciencia, 25 (7), 342.
33. Yang, Q., Engstrom, F. y Bjorkman, B., 2009, "Modification study of steel slag to prevent the slag disintegration after metal recovery and to enhance slag utilization", en Sanchez, M., Parra, R., Riveros, G. y Díaz, C.,

"Proceeding of the VIII international conference on molten slags, fluxes and salts", 1era edición, Editorial Gecamin, Santiago, Chile, pp. 34-40.

34. Yosuke, M.; Takashi, W.; Miyuki, H. y Kazuhiro, N., 2009, "The effect of Na_2O on the viscosity of mould flux", en Sanchez, M., Parra, R., Riveros, G. y Díaz, C., "Proceeding of the VIII international conference on molten slags, fluxes and salts", 1era edición, Editorial Gecamin, Santiago, Chile, p. 1086.
35. Young, R., 1998, "Analysis for gold", <http://www.topnews.in/expert-analysis-gold-and-silver-futures-trading-2200863.pdf>, (Abril, 2010)
36. Zhu, H., Liu, M. y Zhou, H., 2006, "Preparation and properties of low-temperature co-fired ceramic of $\text{CaO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ ", Journal Mater Science, 17, 637.

ANEXOS

ANEXO I

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MINERAL AURÍFERO DE PACTO

Muestra: MINERAL DE PACTO

Ensayo N°1

Condiciones de Operación

Peso de la muestra: 150 g

Tiempo: 15 min

N°tamices: 14

Tabla A1. Distribución del tamaño de partícula para el mineral de Pacto

Malla (#)	Abertura (µm)	P retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasado Acumulado
30	600	1,4	0,9	0,9	99,1
40	425	0,5	0,3	1,3	98,7
50	300	1,6	1,1	2,4	97,6
60	250	1,2	0,8	3,2	96,8
80	180	0,8	0,5	3,7	96,3
100	150	6,2	4,2	7,9	92,1
150	106	13,7	9,2	17,1	82,9
200	75	25,1	16,9	34,1	65,9
270	53	28,4	19,2	53,2	46,8
325	45	24,3	16,4	69,6	30,4
400	38	8,7	5,9	75,5	24,5
fondo	<38	36,4	24,5	100,0	0,0

Con los resultados obtenidos del tratamiento de los datos, se graficó el porcentaje pasado acumulado en función de la abertura del tamiz. Se determinó gráficamente el tamaño de partícula d80.

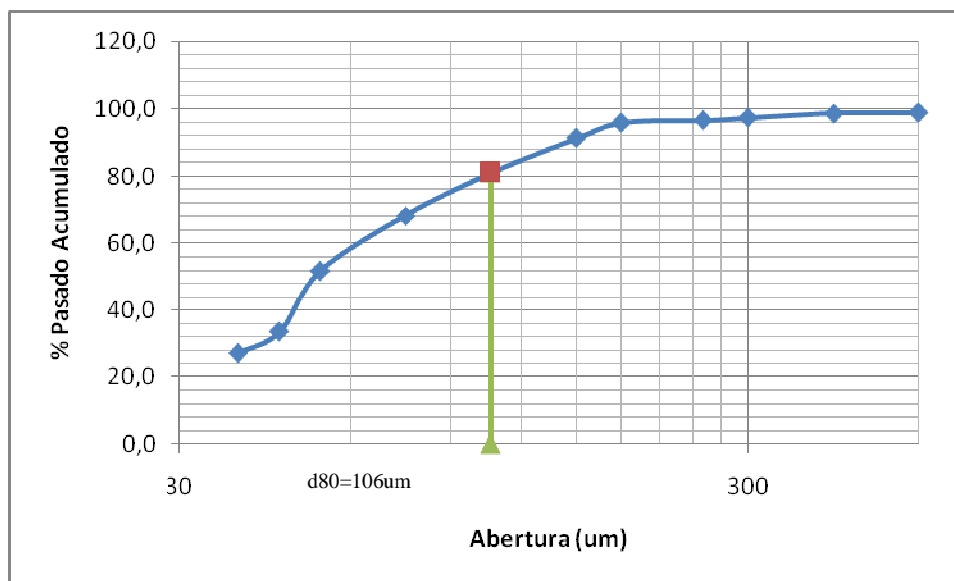


Figura A1. Porcentaje pasado acumulado vs. abertura del tamiz

ANEXO II

ENSAYOS DE FLOTACIÓN

De los ensayos realizados para la concentración mediante flotación, se siguió el procedimiento descrito en la sección 2.2.1 y 2.2.2, como resultado de las pruebas de flotación se obtuvieron los pesos de cada etapa.

Tabla A2. Peso de los concentrados y relave obtenidos del proceso de flotación

Fracción	Peso (g)
CA	81,50
CB	120,60
Relave	1788,20
Total	1990,30

Para conocer el porcentaje en peso se divide cada resultado parcial para el total

$$\% \text{Peso} = \frac{81,50}{1990,30} * 100\% = 4,09\%$$

Se realizó ensayo al fuego para cada etapa de la flotación, de esta forma se conoció el contenido de Au y Ag.

ANEXO III

DETERMINACIÓN DE LA MEDIA ARITMETICA, VARIANZA Y DESVIACION ESTÁNDAR PARA LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS CONVENCIONALES

Ejemplo de cálculo

Los resultados obtenidos al realizar los ensayos convencionales para el mineral concentrado de Pacto son los siguientes

Tabla A3. Concentración de Au y Ag obtenidos en los ensayos estándar con Na_2CO_3

Ensayos	Au (g /TM)	Ag (g/TM)
1	301,67	1900,80
2	313,00	1884,00
3	311,67	1851,67
4	309,00	1857,33
X	308,83	1873,45

De los cuatro ensayos realizados se determino la media aritmética \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{301,67 + 313,00 + 311,67 + 309,00}{4} = 308,83 \text{ g } \frac{\text{Au}}{\text{TM}}$$

Para el cálculo de la varianza, se resta cada valor $X_i - \bar{X} = Y_i$

$$301,67 - 308,83 = -7,17$$

Cada resultado se eleva al cuadrado

$$Y_i^2 = (-7,17)^2 = 51,36$$

Se determina el promedio de los Y_i obtenidos y el resultado es S^2

$$S^2 = 19,19$$

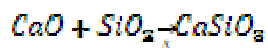
La desviación estándar se logra extrayendo la raíz cuadrada a la varianza

$$\sqrt{S^2} = S = 4,38$$

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA LIBRE DE GIBBS PARA LAS DIFERENTES REACCIONES QUE SE PRODUCEN EN LA FUSIÓN

Se tiene una reacción por ejemplo la descomposición de Na_2CO_3 en Na_2O y CO_2 .



De la ecuación $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln k$ se calcula ΔG° el cual se encuentra en bibliografía, La constante k se define como la división de las actividades de los reactivos sobre las actividades de los productos.

$$k = \frac{a_{\text{CaSiO}_3}}{a_{\text{CaO}} * a_{\text{SiO}_2}}$$

Las actividades de los sólidos es uno, entonces la constante k es uno, por tanto el termino $RT \ln k$ se anula, entonces $\Delta G = \Delta G^\circ$

$$\Delta G^\circ = -357,5 + 144,3 + 190,4$$

$$\Delta G = -22,8 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

Se realizó el mismo procedimiento para las reacciones restantes, y de este modo conocer la reacción más favorable mediante la espontaneidad de dichas reacciones.

ANEXO V

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE SiO_2 , CaO Y B_2O_3 PARA DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE FUSIÓN

De los resultados obtenidos mediante el análisis de difracción de rayos X, de los concentrados tostados, se calculó la cantidad de silicio presente en el mineral, por ejemplo para el concentrado de Pacto.

Mineral	Fórmula	Pacto %
Cuarzo	SiO_2	59
Caolinita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	-
Muscovita (Grupo micas)	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	5
Grupo plagioclasa(albita, andesina, anortita)	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$	10
Clinocloro	$(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	2
Calcopirita	CuFeS_2	2
Calcita	CaCO_3	8
Hematita	Fe_2O_3	4
Magnetita	Fe_3O_4	6
Maghemita	Fe_2O_3	4
Tenorita	CuO	-

La cantidad de sílice que se encuentra en la muestra es de 59 % del total, el mineral después de la tostación es de 28,5 g, entonces la cantidad de sílice es de $0,59 * 28,5 = 16,82 \text{ g de SiO}_2$

Sin embargo, existe silicio en los demás compuestos para los cuales se calculó la cantidad de sílice que se puede formar al reaccionar con el oxígeno.

Ejemplo

Grupo plagioclasa $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$ 2 PM: 329,22 g/gmol

La cantidad del grupo plagioclasa es del 10%, lo que corresponde a 2,85 g.

$$2,85 \text{ g M} * \frac{1 \text{ mol}}{329,22 \text{ g}} * \frac{3 \text{ mol de Si}}{1 \text{ mol M}} * \frac{28 \text{ g de Si}}{1 \text{ mol de Si}} = 0,72 \text{ g de Si}$$



$$0,72 \text{ g} * \frac{1 \text{ mol Si}}{28 \text{ g Si}} * \frac{1 \text{ mol de SiO}_2}{1 \text{ mol Si}} * \frac{60 \text{ g SiO}_2}{1 \text{ mol SiO}_2} = 1,54 \text{ g SiO}_2$$

De esta forma se obtiene la cantidad de sílice presente en la muestra dentro de los compuestos, a la cantidad obtenida se suma la cantidad de sílice que se encuentra como tal, obteniendo como resultado 19,49 g de SiO₂.

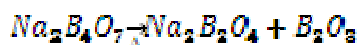
La cantidad de óxido de calcio y de anhídrido bórico se obtienen estequiometricamente.



Para el caso del mineral en estudio se colocó 40 g de CaCO₃.

$$40 \text{ g CaCO}_3 * \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{100 \text{ g CaCO}_3} * \frac{1 \text{ mol CaO}}{1 \text{ mol CaCO}_3} * \frac{56 \text{ g CaO}}{1 \text{ mol CaO}} = 22,4 \text{ g CaO}$$

De igual forma para la cantidad de anhídrido bórico



$$30 \text{ g Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 * \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}{202 \text{ g Na}_2\text{B}_4\text{O}_7} * \frac{1 \text{ mol B}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{B}_4\text{O}_7} * \frac{70 \text{ g B}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol B}_2\text{O}_3} = 10,39 \text{ g B}_2\text{O}_3$$

Compuesto	Cantidad (g)
SiO ₂	19,49
CaO	22,40
B ₂ O ₃	10,39

La cantidad de óxidos totales es de 52,28 g

$$\%SiO_2 = \frac{19,49}{52,28} * 100\% = 37,28\%$$

$$\%CaO = \frac{22,40}{52,28} * 100\% = 45,20\%$$

$$\%B_2O_3 = \frac{10,39}{52,28} * 100\% = 16,77\%$$

Estas son las proporciones que se representan en el diagrama ternario CaO-B₂O₃-SiO₂.

ANEXO VI**FICHAS TÉCNICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.**

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°1**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°1****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,710 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00360 g.
- **Ataque ácido:** 15 min.

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00063 g.**Peso de Ag:** 0,00297 g.

Au: 21,00 g/TM.

Ag: 99,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°2

Muestra: Pacto.

Ensayo N°2

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 19,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00303 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00043 g.

Peso de Ag: 0,00260 g.

Au: 14,333g/TM.

Ag: 86,667g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°3

Muestra: Pacto.

Ensayo N°3

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 17,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00309 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00037 g.

Peso de Ag: 0,00272 g.

Au: 12,333 g/TM.

Ag: 90,667 g/TM

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°4

Muestra: Pacto.

Ensayo N°4

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 17,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00297 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00035 g.

Peso de Ag: 0,00262 g.

Au: 11,667g/TM.

Ag: 87,333 g/TM

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°5

Muestra: Pacto.

Ensayo N°5

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 40 \text{ g}$

- PbO = 40 g
- SiO₂ = 0 g
- Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 17,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00309 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00037 g.

Peso de Ag: 0,00272 g.

Au: 12,333 g/TM.

Ag: 90,667 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°

Muestra: Pacto.

Ensayo N°

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)

- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
- Na_2CO_3 = 40 g
- PbO = 40 g
- SiO_2 = 0 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min

- **Régulo:** 17,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00297 g.

- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00035 g.

Peso de Ag: 0,00262 g.

Au: 11,667 g/TM.

Ag: 87,333 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°7

Muestra: Pacto.

Ensayo N°7

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 22,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00335 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00065 g.

Peso de Ag: 0,00270 g.

Au: 21,667 g/TM.

Ag: 90,000 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 29,340 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00321 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00050 g.**Peso de Ag:** 0,000271 g.**Au:** 16,667 g/TM.**Ag:** 90,333 g/TM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°9**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°9****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00338 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00101 g.**Peso de Ag:** 0,00237 g.

Au: 33,667 g/TM.

Ag: 79,000 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°10

Muestra: Pacto.

Ensayo N°10

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 27,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00310 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00070 g.

Peso de Ag: 0,00240 g.

Au: 23,33 g/TM.

Ag: 80,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°11

Muestra: Pacto.

Ensayo N°11

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00298 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00059 g.

Peso de Ag: 0,00239 g.

Au: 19,67g/TM.

Ag: 79,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°12

Muestra: Pacto.

Ensayo N°12

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 27,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00310 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00070 g.

Peso de Ag: 0,00240 g.

Au: 23,33 g/TM.

Ag: 80,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°13

Muestra: Pacto.

Ensayo N°13

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g

- SiO_2 = 0 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00298 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00059 g.

Peso de Ag: 0,00239 g.

Au: 19,67 g/TM.

Ag: 79,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°14

Muestra: Pacto.

Ensayo N°14

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 40 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{SiO}_2 = 0 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 900°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 24,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00314 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00073 g.

Peso de Ag: 0,00241 g.

Au: 24,33 g/TM.

Ag: 80,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°15

Muestra: Pacto.

Ensayo N°15

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 29,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00271 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00031 g.

Peso de Ag: 0,00240 g.

Au: 10,33 g/TM.

Ag: 80,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°16**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°16****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 27,5 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00227 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00059 g.**Peso de Ag:** 0,00168 g.**Au:** 19,67 g/TM.**Ag:** 56,00 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°17**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°17****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00326 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00087 g.**Peso de Ag:** 0,00239g.**Au:** 29,00 g/TM.

Ag: 79,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°18

Muestra: Pacto.

Ensayo N°18

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00350 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00098 g.

Peso de Ag: 0,00252g.

Au: 32,67 g/TM.

Ag: 84,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°19

Muestra: Pacto.

Ensayo N°19

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,400 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00212 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00048 g.

Peso de Ag: 0,00164g.

Au: 16,00 g/TM.

Ag: 54,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°20

Muestra: Pacto.

Ensayo N°20

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 32,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00315 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00063 g.

Peso de Ag: 0,00254g.

Au: 21,00 g/TM.

Ag: 84,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°21

Muestra: Pacto.

Ensayo N°21

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 29,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00313 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00060 g.

Peso de Ag: 0,00253g.

Au: 20,00 g/TM.

Ag: 84,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°22

Muestra: Pacto.

Ensayo N°22

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 40 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 10 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 900°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 29,200 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00326 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00042 g.

Peso de Ag: 0,00284g.

Au: 14,00 g/TM.

Ag: 94,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°23

Muestra: Pacto.

Ensayo N°23

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,200 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00303 g.
- **Ataque acido:** 30 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00048 g.

Peso de Ag: 0,00255g.

Au: 16,00 g/TM.

Ag: 85,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°24**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°24****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,900 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00309 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00049 g.**Peso de Ag:** 0,00260g.**Au:** 16,33g/TM.**Ag:** 87,87 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°25**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°25****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00311 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00078 g.**Peso de Ag:** 0,00233g.**Au:** 26,67 g/TM.

Ag: 71,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°26

Muestra: Pacto.

Ensayo N°26

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,900 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00295 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00080 g.

Peso de Ag: 0,00215 g.

Au: 26,67 g/TM.

Ag: 71,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°27

Muestra: Pacto.

Ensayo N°27

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 29,200 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00312 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00032 g.

Peso de Ag: 0,00280 g.

Au: 10,67 g/TM.

Ag: 93,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°28

Muestra: Pacto.

Ensayo N°28

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 27,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00282 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00030 g.

Peso de Ag: 0,00252g.

Au: 10,00 g/TM.

Ag: 84,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°29

Muestra: Pacto.

Ensayo N°29

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 29,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00321 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00048 g.

Peso de Ag: 0,00273 g.

Au: 16,00 g/TM.

Ag: 91,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°30

Muestra: Pacto.

Ensayo N°30

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 40 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 10 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 900°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 29,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00320 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00050 g.

Peso de Ag: 0,00270 g.

Au: 16,67 g/TM.

Ag: 90,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°31

Muestra: Pacto.

Ensayo N°31

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,900 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00308 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00084 g.

Peso de Ag: 0,00224 g.

Au: 28,00 g/TM.

Ag: 74,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°32**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°32****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00312 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00084 g.**Peso de Ag:** 0,00228 g.**Au:** 28,00 g/TM.**Ag:** 76,00 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°33**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°33****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00245 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,000360 g.**Peso de Ag:** 0,00209 g.**Au:** 12,00 g/TM.

Ag: 69,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°34

Muestra: Pacto.

Ensayo N°34

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 17,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00210 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00031 g.

Peso de Ag: 0,00179 g.

Au: 10,33 g/TM.

Ag: 59,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°35

Muestra: Pacto.

Ensayo N°35

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 11,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00289 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00032 g.

Peso de Ag: 0,00257 g.

Au: 10,67 g/TM.

Ag: 85,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°36

Muestra: Pacto.

Ensayo N°36

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (crudo)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00197 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00074 g.

Peso de Ag: 0,00123 g.

Au: 24,67 g/TM.

Ag: 41,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°37

Muestra: Pacto.

Ensayo N°37

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 15 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 20,900 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00249 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00042 g.

Peso de Ag: 0,00207 g.

Au: 14,33 g/TM.

Ag: 69,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°38

Muestra: Pacto.

Ensayo N°38

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 25 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 15 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 960°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 26,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00319 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00043 g.

Peso de Ag: 0,00276 g.

Au: 14,33 g/TM.

Ag: 92,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°39

Muestra: Pacto.

Ensayo N°39

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 20 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 26,808 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00304 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00098 g.

Peso de Ag: 0,00206 g.

Au: 32,67 g/TM.

Ag: 68,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°40**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°40****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 20 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 26,470 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00276 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00100 g.**Peso de Ag:** 0,00176 g.**Au:** 33,33 g/TM.**Ag:** 58,67 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°41**Muestra:** Pacto.**Ensayo N°41****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (cruda)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 20 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 22,800 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00237 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00084 g.**Peso de Ag:** 0,00153 g.**Au:** 28,00 g/TM.

Ag: 51,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°42

Muestra: Pacto.

Ensayo N°42

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00237 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00065 g.

Peso de Ag: 0,00172 g.

Au: 21,67 g/TM.

Ag: 57,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°43

Muestra: Pacto.

Ensayo N°43

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 14,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00202 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00068 g.

Peso de Ag: 0,00134 g.

Au: 22,67 g/TM.

Ag: 44,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°44

Muestra: Pacto.

Ensayo N°44

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,900 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00235 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00046 g.

Peso de Ag: 0,00189 g.

Au: 21,67 g/TM.

Ag: 57,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°45

Muestra: Pacto.

Ensayo N°45

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00345 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00046 g.

Peso de Ag: 0,00299 g.

Au: 15,33 g/TM.

Ag: 99,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°46

Muestra: Pacto.

Ensayo N°46

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 26,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00313 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00059 g.

Peso de Ag: 0,00254 g.

Au: 19,67 g/TM.

Ag: 84,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°47

Muestra: Pacto.

Ensayo N°47

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00297 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00060 g.

Peso de Ag: 0,00237 g.

Au: 20,00 g/TM.

Ag: 79,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°48**Muestra:** Pacto (Concentrado).**Ensayo N°48****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 35 g
 - CaCO_3 = 5 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 30,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06408 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,01002 g.**Peso de Ag:** 0,05403 g.**Au:** 334,00 g/TM.**Ag:** 1802,03 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°49**Muestra:** Pacto (concentrado).**Ensayo N°49****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 35 g
 - CaCO_3 = 5 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 31,3 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06339 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00902 g.**Peso de Ag:** 0,05487 g.**Au:** 300,67 g/TM.

Ag: 1829,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°50

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°50

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06355 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00952 g.

Peso de Ag: 0,05403 g.

Au: 317,33 g/TM.

Ag: 1801,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°1

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°1

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,00297 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00964 g.

Peso de Ag: 0,02781 g.

Au: 321,33 g/TM.

Ag: 927,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°2

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°2

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 15 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 22,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06267 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00856 g.

Peso de Ag: 0,05478 g.

Au: 285,33 g/TM.

Ag: 1803,67g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°3

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°3

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 15 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 23,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06134 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00856 g.

Peso de Ag: 0,05278 g.

Au: 285,33 g/TM.

Ag: 1765,67g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°4

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°4

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 20 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 20 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 960°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 22,800 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06069 g.
- **Ataque ácido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,01043 g.

Peso de Ag: 0,05026 g.

Au: 347,67 g/TM.

Ag: 1675,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°55

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°55

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 20 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 20,3 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06238 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00941 g.

Peso de pauta: 0,05297 g.

Au: 313,67 g/TM.

Ag: 1765,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°56

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°56

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,05241 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00848g.

Peso de Ag: 0,04393 g.

Au: 282,67 g/TM.

Ag: 1464,33 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°7**Muestra:** Pacto (concentrado).**Ensayo N°7****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 15 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 23,800 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,05335 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00845 g.**Peso de Ag:** 0,0449 g.**Au:** 281,67 g/TM.

Ag: 1496,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°8

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°8

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 0 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06557 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00797 g.

Peso de Ag: 0,0576 g.

Au: 265,67 g/TM.

Ag: 1920,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°59

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°59

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 0 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 0,06591 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00939 g.

Peso de Ag: 0,05652 g.

Au: 313,00 g/TM.

Ag: 1884,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°0

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°0

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 0 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C

- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 33,400 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06571 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,01016 g.

Peso de Ag: 0,05555 g.

Au: 338,67 g/TM.

Ag: 1851,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°1

Muestra: Pacto (Concentrado).

Ensayo N°1

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 0 g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 33,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,06499 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00927 g.

Peso de Ag: 0,05572 g.

Au: 309,00 g/TM.

Ag: 1857,33 g/TM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°2

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°2

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 10 g
 - CaCO_3 = 30 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 25,200 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,05295 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00855 g.

Peso de Ag: 0,0444 g.

Au: 285,00 g/TM.

Ag: 1480,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°3

Muestra: Pacto (concentrado).

Ensayo N°3

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 10 g
 - CaCO_3 = 30 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 33,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,0505 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00895 g.

Peso de Ag: 0,04156 g.

Au: 298,00 g/TM.

Ag: 1385,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°4**Muestra:** Pacto (concentrado).**Ensayo N°4****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0 g
 - CaCO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 40 min
- **Régulo:** 26,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,0332 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00581 g.**Peso de Ag:** 0,02741 g.**Au:** 193,67 g/TM.**Ag:** 913,67 g/TM.

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°5**Muestra:** Pacto (concentrado).**Ensayo N°5****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0 g
 - CaCO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 40 min
- **Régulo:** 26,100 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,0346 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00483 g.**Peso de Ag:** 0,02977 g.**Au:** 161,00 g/TM.

Ag: 992,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°66

Muestra: Pacto (relave).

Ensayo N°66

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 40 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 0 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 40 min
- **Régulo:** 32,5 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 102,00 g/TM
- **Ataque ácido:** 15 min

RESULTADOS

Au: 22,07 g/TM.

Ag: 79,93 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°7

Muestra: Pacto (relave).

Ensayo N°7

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0 g
 - CaCO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 40 min
- **Régulo:** 32,1 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min

- **Peso del Doré:** 98,00 g/TM
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

Au: 24,67 g/TM.

Ag: 73,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°8

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°8

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- **Tostación :** 4h
- **Lixiviación con Acido sulfúrico**
 - o **Concentración:** 70 g/l
 - o **Tiempo:** 2,5 h

FUSIÓN

- **Muestra :** 20 g. (Concentrado)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 0 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g

- Carbón = 3 g

- Temperatura: 900°C
- Tiempo de fusión: 45 min
- Régulo: 34,5000

COPELACIÓN

- Tiempo: 40 min.
- Peso Doré: 0,00814 g.
- Ataque ácido: 15 min

RESULTADOS

- Peso de Au: 0,00159 g.
- Peso de Ag: 0,00664 g.
- Au: 50,60 g/TM.
- Ag: 220,67 g/TM

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°9

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°9

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- Tostación : 4h
- Lixiviación con Acido sulfúrico
 - o Concentración: 70 g/l
 - o Tiempo: 2,5 h

FUSIÓN

- Muestra : 20 g. (Concentrado)
- Carga fundente experimental:

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g

- Na_2CO_3 = 40 g
- CaCO_3 = 10 g
- PbO = 40 g
- SiO_2 = 30 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 36,000

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min.
- **Peso Doré:** 0,00823 g.
- **Ataque acido:** 15 min

RESULTADOS

- **Peso de Au:** 0,00162 g.
- **Peso de Ag:** 0,00661 g.
- **Au:** 54,00 g/TM.
- **Ag:** 221,33 g/TM

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°70

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°70

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- **Tostación :** 4h
- **Lixiviación con Acido sulfúrico**
 - o **Concentración:** 70 g/l
 - o **Tiempo:** 2,5 h

FUSIÓN

- **Muestra :** 20 g. (Concentrado)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 40 g
 - CaCO_3 = 10 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 23,00 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min.
- **Ataque acido:** 15 min
- **Peso Doré:** 0,00799 g.

RESULTADOS

- **Peso de Au:** 0,00138 g.
- **Peso de Ag:** 0,00661 g.
- **Au:** 46,00 g/TM.
- **Ag:** 220,33 g/TM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°1

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°1

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- Tostación : 4h
- Lixiviación con Acido sulfúrico
 - o Concentración: 70 g/l
 - o Tiempo: 2,5 h

FUSIÓN

- Muestra : 20 g. (Concentrado)
- Carga fundente experimental:
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 20 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g
 - Carbón = 3 g
- Temperatura: 1200°C
- Tiempo de fusión: 45 min
- Régulo: 36,000

COPELACIÓN

- Tiempo: 40 min.
- Peso Doré: 0,00746 g.
- Ataque acido: 15 min

RESULTADOS

- Peso de Au: 0,00120 g.
- Peso de Ag: 0,00623 g.
- Au: 40,10g/TM.
- Ag: 208,70 g/TM

Ficha técnica N°72**Muestra:** Pachijal.**Ensayo N°72****Objetivo:** Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**PRETRATAMIENTO**

- Tostación : 4h
- Lixiviación con Acido sulfúrico
 - o Concentración: 70 g/l
 - o Tiempo: 2,5 h

FUSIÓN

- Muestra : 20 g. (Concentrado)
- Carga fundente experimental:
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g
 - Carbón = 3 g
- Temperatura: 1200°C
- Tiempo de fusión: 45 min
- Régulo: 36,000 g.

COPELACIÓN

- Tiempo: 40 min.
- Ataque acido: 15 min
- Peso Doré: 0,00788 g.

RESULTADOS

- Peso de Au: 0,00098 g.
- Peso de Ag: 0,00690 g.
- Au: 32,67 g/TM.
- Ag: 230,00 g/TM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°73**Muestra:** Pachijal.**Ensayo N°73****Objetivo:** Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**PRETRATAMIENTO**

- **Tostación :** 4h
- **Lixiviación con Acido sulfúrico**
 - o **Concentración:** 70 g/l
 - o **Tiempo:** 2,5 h

FUSIÓN

- **Muestra :** 20 g. (Concentrado)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 25 g
 - CaCO_3 = 25 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 30,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min.
- **Ataque acido:** 15 min
- **Peso Doré:** 0,00700 g.

RESULTADOS

- **Peso de Au:** 0,00098 g.
- **Peso de Ag:** 0,00602 g.
- **Au:** 32,67 g/TM.
- **Ag:** 200,50 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°74

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°74

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- **Tostación :** 4h
- **Lixiviación con Acido sulfúrico**
 - o **Concentración:** 70 g/l
 - o **Tiempo:** 2,5

FUSIÓN

- **Muestra :** 20 g. (Concentrado)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0 g
 - CaCO_3 = 50 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 30 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min

- Régulo: 32,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min.
- **Ataque acido:** 15 min
- **Peso Doré:** 0,00685 g.

RESULTADOS

- **Peso de Au:** 0,00102 g.
- **Peso de Ag:** 0,00583 g.
- **Au:** 34,00 g/TM.
- **Ag:** 194,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°75

Muestra: Pachijal.

Ensayo N°75

Objetivo: Ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

PRETRATAMIENTO

- **Tostación :** 4h
- **Lixiviación con Acido sulfúrico**
 - o **Concentración:** 70 g/l
 - o **Tiempo:** 2,5 h

FUSIÓN

- **Muestra :** 20 g. (Concentrado)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0 g
 - CaCO_3 = 50 g
 - PbO = 40 g

- SiO_2 = 30 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 24,1 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min.
- **Ataque ácido:** 15 min
- **Peso Doré:** 0,00714 g.

RESULTADOS

- **Peso de Au:** 0,00111 g.
- **Peso de Ag:** 0,00603 g.
- **Au:** 37,00 g/TM.
- **Ag:** 200,50 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°76

Muestra: Virón

Ensayo N°76

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 7 g
 - Na_2CO_3 = 50 g

- PbO = 40 g
- SiO₂ = 0 g
- Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00412 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00145 g.

Peso de Ag: 0,00267 g.

Au: 48,33 g/TM.

Ag: 89,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°77

Muestra: Virón.

Ensayo N°77

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 7 g
 - Na_2CO_3 = 50 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
 - **Tiempo de fusión:** 45 min
 - **Régulo:** 23,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00235 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00132 g.

Peso de Ag: 0,00103 g.

Au: 44,00 g/TM.

Ag: 34,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°78

Muestra: Virón.

Ensayo N°78

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 14 g
 - Na_2CO_3 = 43 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 31,200 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00293 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00154 g.

Peso de Ag: 0,00139 g.

Au: 51,33 g/TM.

Ag: 46,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°79**Muestra:** Virón.**Ensayo N°79****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 14 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 43 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{SiO}_2 = 0 \text{ g}$
 - **Carbón = 3 g**
- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 35,000 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00242 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00141 g.**Peso de Ag:** 0,00101 g.**Au:** 47,00 g/TM.**Ag:** 33,67 g/

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°80**Muestra:** Virón.**Ensayo N°80****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - PbO = 40 g
 - SiO_2 = 0 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 30,100g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00312 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00154 g.**Peso de Ag:** 0,00158 g.

Au: 51,33 g/TM.

Ag: 52,67 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°1

Muestra: Virón.

Ensayo N°1

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 28,500 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00264 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00153 g.

Peso de Ag: 0,00111 g.

Au: 51,00 g/TM.

Ag: 37,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°2

Muestra: Virón.

Ensayo N°2

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 50 g
 - Na_2CO_3 = 7g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 30,7 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00315 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00170 g.

Peso de Ag: 0,00145 g.

Au: 56,70 g/TM.

Ag: 48,33

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°3

Muestra: Virón.

Ensayo N°3

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 60 g
 - Na_2CO_3 = 0g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g

- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 30,5 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00315 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00170 g.

Peso de Ag: 0,00145 g.

Au: 56,70 g/TM.

Ag: 48,33 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°84

Muestra: Virón.

Ensayo N°84

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - CaCO_3 = 0 g
 - Na_2CO_3 = 60g

- PbO = 40 g
- Carbón = 3 g

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 20,6 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00306 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00162 g.

Peso de Ag: 0,00144 g.

Au: 54,00 g/TM.

Ag: 48,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°85

Muestra: Virón

Ensayo N°85

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**

- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
- $\text{CaCO}_3 = 0 \text{ g}$
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 60 \text{ g}$
- $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
- $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$

- **Temperatura:** 900°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 23,3 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,00307 g.
- **Ataque ácido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00145 g.

Peso de Ag: 0,00162 g.

Au: 48,33 g/TM.

Ag: 54,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°6

Muestra: Bucay.

Ensayo N°6

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 30 \text{ g}$
 - $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 30 \text{ g}$
 - $\text{CaCO}_3 = 30 \text{ g}$
 - $\text{PbO} = 40 \text{ g}$
 - $\text{Carbón} = 3 \text{ g}$
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 35,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,01378 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00199 g.

Peso de Ag: 0,01179 g.

Au: 66,33 g/TM.

Ag: 393,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°7**Muestra:** Bucay.**Ensayo N°7****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 0g
 - CaCO_3 = 60 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 21,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,01114 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00102 g.**Peso de Ag:** 0,01012 g.**Au:** 34,00 g/TM.**Ag:** 337,33 g/TM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Ficha técnica N°88**Muestra:** Bucay.**Ensayo N°88****Objetivo:** ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.**FUSIÓN**

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 30 g
 - CaCO_3 = 30 g
 - PbO = 40 g
 - **Carbón** = 3 g
- **Temperatura:** 960°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 35,600 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,01378 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS**Peso de Au:** 0,00199 g.**Peso de Ag:** 0,01179 g.

Au: 66,33 g/TM.

Ag: 393,00g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°89

Muestra: Bucay.

Ensayo N°89

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 30 g
 - Na_2CO_3 = 20 g
 - CaCO_3 = 40 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 35,300 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,01630 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00229 g.

Peso de Ag: 0,01401 g.

Au: 76,33 g/TM.

Ag: 467,00 g/TM.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Ficha técnica N°90

Muestra: Bucay.

Ensayo N°90

Objetivo: ensayo al fuego con carga experimental para determinar Au y Ag.

FUSIÓN

- **Muestra :** 30 g. (tostada)
- **Carga fundente experimental:**
 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ = 50 g
 - Na_2CO_3 = 10 g
 - CaCO_3 = 50 g
 - PbO = 40 g
 - Carbón = 3 g
- **Temperatura:** 1200°C
- **Tiempo de fusión:** 45 min
- **Régulo:** 25,700 g.

COPELACIÓN

- **Tiempo:** 40 min
- **Peso del Doré:** 0,01477 g.
- **Ataque acido:** 15 min.

RESULTADOS

Peso de Au: 0,00197 g.

Peso de Ag: 0,01280 g.

Au: 65,67 g/TM.

Ag: 426,67 g/TM.