

Tabla de contenido

1	Introducción	2
1.1	Descripción del Problema	3
1.2	Objetivo	4
1.2.1	Objetivos Específicos	4
1.3	Alcances	4
2	Revisión Bibliográfica	5
2.1	Flotación	5
2.2	Condiciones de operación	5
2.3	Etapas en un circuito de flotación	6
2.4	Pruebas de flotación <i>batch</i> en laboratorio	8
2.4.1	Test de Ciclo	9
2.5	Balance de masa ciclo a ciclo	11
2.6	Reconciliación de datos experimentales	12
2.7	Proyección metalúrgica – Métodos de cálculo	13
2.7.1	<i>N-product</i>	14
2.7.2	<i>SME</i>	14
2.7.3	<i>Concentrate Production</i>	14
2.8	Estado Estacionario: Estabilidad y Conservación de masa	14
2.9	Split Factors: Simulación de resultados de TCC	17
3	Antecedentes	18
3.1	Caracterización de muestras	18
3.2	Procesamiento de resultados	18
3.3	Criterios de validación	21
3.3.1	Error ley cabeza	21
3.3.2	Estado Estacionario: Estabilidad y conservación de masa	21
3.3.3	Pérdida de masa	21
4	Metodología	22
4.1	Balance de masa	22
4.2	Reconciliación de datos	22

4.2.1	Modelo de error	22
4.3	Proyección metalúrgica	23
4.4	Simulación de Test de Ciclo Cerrado	24
5	Resultados y Análisis	25
5.1	Balance de masa	25
5.2	Reconciliación de datos experimentales	27
5.2.1	Impacto en las leyes	28
5.3	Proyección metalúrgica de resultados.....	37
5.3.1	Conservación de masa	37
5.3.2	Proyección metalúrgica	40
5.3.3	Conservación de masa para resultados reconciliados	53
5.3.4	Proyección metalúrgica de resultados reconciliados	58
5.4	Predicción de resultados a partir de TCA	63
5.4.1	Masa	63
5.4.2	Leyes	63
5.4.3	Proyección metalúrgica	65
6	Conclusiones y Recomendaciones	67
7	Bibliografía	70
8	Anexo.....	71

Índice de Tablas

Tabla 1. Estabilidad y Conservación de masa. Convergencia del Test de Ciclo Cerrado. (Ounpuu, 2001-15).	16
Tabla 2. Técnicas de análisis utilizadas para medición de leyes.	18
Tabla 3. Cantidad de muestras por producto obtenidas en un Test de Ciclo Cerrado.....	19
Tabla 4. Porcentaje de pruebas con valores negativos en el balance de masa por metal.	25
Tabla 5. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de cobre medida y reconciliada para cada producto del proceso.	30
Tabla 6. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de hierro medida y reconciliada para cada producto del proceso.	33
Tabla 7. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de molibdeno medida y reconciliada para cada producto del proceso.	36
Tabla 8. Conservación de masa. Promedio de últimos 3 ciclos en masa de mineral y por metal, para cada prueba.	37

Tabla 9. Conservación de masa y desviación estándar de recuperación de cada metal en circuito cleaner para cada prueba.	50
Tabla 10. Error relativo promedio y RMSE promedio entre masa medida en TCC experimental y masa simulada, para cada producto en el test.	63
Tabla 11. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de cobre medida en TCC experimental y ley simulada, para cada producto en el test.	63
Tabla 12. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de hierro medida en TCC experimental y ley simulada, para cada producto en el test.	64
Tabla 13. Error relativo promedio y RMSE promedio entre ley de molibdeno medida en TCC experimental y ley simulada, para cada producto en el test.	64
Tabla 14. Proyección metalúrgica de recuperación de cobre. TCC simulado y TCC experimental.	65
Tabla 15. Proyección metalúrgica de recuperación de hierro. TCC simulado y TCC experimental.	65
Tabla 16. Proyección metalúrgica de recuperación de molibdeno. TCC simulado y TCC experimental.	66

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujos de circuito de flotación convencional.	7
Figura 2. Aproximación a la conservación de masa para resultados de Test de Ciclo Cerrado. Adaptado de (Agar, 2000)	15
Figura 3. Corriente recirculada en test de ciclo cerrado que no alcanza el estado estacionario. Adaptado de (Agar, 2000)	15
Figura 4. Diagrama del circuito de flotación utilizado en Test de Ciclo Cerrado.	19
Figura 5. Error relativo entre ley de cabeza de cobre medida y calculada en las 40 pruebas analizadas.	26
Figura 6. Error relativo entre ley de cabeza de hierro medida y calculada en las 40 pruebas analizadas.	26
Figura 7. Error relativo entre ley de cabeza de molibdeno medida y calculada en las 40 pruebas analizadas.	27
Figura 8. Error relativo entre ley de cobre medida y reconciliada de relave rougher en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	28
Figura 9. Error relativo entre ley de cobre medida y reconciliada de concentrado final en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	28
Figura 10. Error relativo entre ley de cobre medida y reconciliada de relave scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	29
Figura 11. Error relativo entre ley de cobre medida y reconciliada de concentrado scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	29
Figura 12. Error relativo entre ley de cobre medida y reconciliada de relave cleaner en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	30
Figura 13. Error relativo entre ley de hierro medida y reconciliada de relave rougher en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	31

Figura 14. Error relativo entre ley de hierro medida y reconciliada de concentrado final en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	31
Figura 15. Error relativo entre ley de hierro medida y reconciliada de relave scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	32
Figura 16. Error relativo entre ley de hierro medida y reconciliada de concentrado scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	32
Figura 17. Error relativo entre ley de hierro medida y reconciliada de relave cleaner en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	33
Figura 18. Error relativo entre ley de molibdeno medida y reconciliada de relave rougher en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	34
Figura 19. Error relativo entre ley de molibdeno medida y reconciliada de concentrado final en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	34
Figura 20. Error relativo entre ley de molibdeno medida y reconciliada de relave scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	35
Figura 21. Error relativo entre ley de molibdeno medida y reconciliada de concentrado scavenger en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	35
Figura 22. Error relativo entre ley de molibdeno medida y reconciliada de relave cleaner en función del error relativo a la ley de cabeza en cada prueba.	36
Figura 23. Histograma de conservación de masa de cobre promedio de los 3 últimos ciclos de cada test.	38
Figura 24. Histograma de conservación de masa de hierro promedio de los 3 últimos ciclos de cada test.	39
Figura 25. Histograma de conservación de masa de molibdeno promedio de los 3 últimos ciclos de cada test.	39
Figura 26. Recuperación de cobre proyectada de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	40
Figura 27. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de cobre de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	41
Figura 28. Recuperación de cobre proyectada del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	41
Figura 29. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de cobre del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	42
Figura 30. Recuperación de cobre proyectada del circuito global en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	42
Figura 31. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de cobre del circuito global en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	43
Figura 32. Recuperación de hierro proyectada de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	43

Figura 33. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de hierro de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	44
Figura 34. Recuperación de hierro proyectada del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	44
Figura 35. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de hierro del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	45
Figura 36. Recuperación de hierro proyectada del circuito global en función de la estabilidad promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	45
Figura 37. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de hierro del circuito global en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	46
Figura 38. Recuperación de molibdeno proyectada de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	46
Figura 39. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de molibdeno de la etapa rougher en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.....	47
Figura 40. Recuperación de molibdeno proyectada del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	47
Figura 41. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de molibdeno del circuito cleaner en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.....	48
Figura 42. Recuperación de molibdeno proyectada del circuito global en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.	48
Figura 43. Error absoluto entre metodologías de proyección para recuperación de molibdeno del circuito global en función de la conservación de masa promedio de los últimos 3 ciclos de cada test.....	49
Figura 44. Conservación de masa promedio de los 3 últimos ciclos del test en función de la desviación estándar de la recuperación de cobre en etapa cleaner.	51
Figura 45. Conservación de masa promedio de los 3 últimos ciclos del test en función de la desviación estándar de la recuperación de hierro en etapa cleaner.	52
Figura 46. Conservación de masa promedio de los 3 últimos ciclos del test en función de la desviación estándar de la recuperación de molibdeno en etapa cleaner.....	52
Figura 47. Promedio de conservación de masa de cobre de los últimos 3 ciclos de cada test calculado a partir de leyes de cobre medidas y reconciliadas.	53
Figura 48. Error absoluto en el promedio de conservación de masa en los últimos 3 ciclos del test, al reconciliar las leyes de cobre en cada test.....	54
Figura 49. Error absoluto en conservación de masa de cobre promedio de los ciclos finales de cada test producto de la reconciliación de leyes en función del error relativo de ley de cabeza.	54
Figura 50. Promedio de conservación de masa de cobre de los últimos 3 ciclos de cada test calculado a partir de leyes de hierro medidas y reconciliadas.....	55

Figura 51. Error absoluto en el promedio de conservación de masa en los últimos 3 ciclos del test, al reconciliar las leyes de hierro en cada test.	55
Figura 52. Error absoluto en conservación de masa de hierro promedio de los ciclos finales de cada test producto de la reconciliación de leyes en función del error relativo de ley de cabeza.	56
Figura 53. Promedio de conservación de masa de cobre de los últimos 3 ciclos de cada test calculado a partir de leyes de molibdeno medidas y reconciliadas.	56
Figura 54. Error absoluto en el promedio de conservación de masa en los últimos 3 ciclos del test, al reconciliar las leyes de molibdeno en cada test.	57
Figura 55. Error absoluto en conservación de masa de molibdeno promedio de los ciclos finales de cada test producto de la reconciliación de leyes en función del error relativo de ley de cabeza.	57
Figura 56. Error absoluto en proyección de recuperación de cobre rougher para cada metodología.	58
Figura 57. Error absoluto en proyección de recuperación de cobre del circuito cleaner para cada metodología.	59
Figura 58. Error absoluto en proyección de recuperación de cobre global para cada metodología.	59
Figura 59. Error absoluto en proyección de recuperación de hierro rougher para cada metodología.	60
Figura 60. Error absoluto en proyección de recuperación de hierro en circuito cleaner para cada metodología.	60
Figura 61. Error absoluto en proyección de recuperación de hierro global para cada metodología.	61
Figura 62. Error absoluto en proyección de recuperación de molibdeno rougher para cada metodología.	61
Figura 63. Error absoluto en proyección de recuperación de molibdeno en circuito cleaner para cada metodología.	62
Figura 64. Error absoluto en proyección de recuperación de molibdeno global para cada metodología.	62
Anexo 1. Modelo de error para análisis de leyes de cobre menores a 5%.	71
Anexo 2. Modelo de error para análisis de leyes de cobre entre 5% y 15%.	71
Anexo 3. Modelo de error para análisis de leyes de cobre mayores a 15%.	72
Anexo 4. Modelo de error para análisis de leyes de hierro.	72
Anexo 5. Modelo de error para análisis de leyes de molibdeno.	73