

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO
SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL**



**“Revisión y Actualización del Método de
Reconciliación del Convertidor Teniente en
Fundición Hernán Videla Lira ENAMI”**

CRISTÓBAL RAFAEL COUBLE SAAVEDRA

**TESIS COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA
INGENIERO CIVIL QUÍMICO**

**PROFESOR GUÍA
IVÁN CORNEJO GARCÍA**

**PROFESOR COREFERENTE
DANIEL NAVIA LÓPEZ**

**INGENIERO COREFERENTE
RICARDO BASSA URZUA**

**AGOSTO – 2016
VALPARAÍSO – CHILE**

Título de Tesis:

**REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL MÉTODO DE RECONCILIACIÓN DEL CONVERTIDOR
TENIENTE EN FUNDICIÓN HERNÁN VIDELA LIRA ENAMI**

Autor:

CRISTÓBAL RAFAEL COUBLE SAAVEDRA

Trabajo de Tesis, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Civil Químico y el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Química de la Universidad Técnica Federico Santa María.

M.Sc. Iván Cornejo García

Dr. Daniel Navia López

Sr. Ricardo Bassa Urzua

Valparaíso, Agosto de 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, Luz María Saavedra y Rafael Couble, quienes siempre han estado ahí para darme su apoyo, sin el cual no me hubiese sido posible llegar donde estoy.

También quiero agradecer a mis primos Javier y Valeria, quienes me recibieron en su casa y a la gente de Foster ING, por recibirme sin problemas ni trabas durante los primeros meses de este trabajo, y en especial a mi profesor guía Iván Cornejo, por todos los conocimientos transmitidos en sus clases y reuniones y tener siempre la mejor disposición para ayudarme con mis dudas y consultas.

También quiero agradecer a mis hermanos y amigos que me acompañaron estos años, con los que compartí buenos y malos momentos, y en los que siempre podía confiar si necesitaba alguna ayuda o alguna compañía, sin dudas todos contribuyeron a hacer más llevaderos los malos momentos, y más felices los buenos.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue proponer mejoras al actual balanceador metalúrgico contable de la Fundición Hernán Videla Lira, centrándose en los balances realizados sobre el equipo principal de la Fundición, el Convertidor Teniente. Estas mejoras se basan en la fenomenología de la fundición de concentrado realizada por el Convertidor Teniente, cosa que el actual balanceador no considera.

Debido a que el balanceador actual se basa en un modelo puramente matemático, los resultados fenomenológicamente inverosímiles, a pesar de no ser comunes, son posibles, por lo que al agregar restricciones fenomenológicas al balanceador se busca eliminar dichos resultados.

En este estudio se propone el uso de dos relaciones como base para las restricciones fenomenológicas; la relación entre la ley del metal blanco y la ley de la escoria y la relación entre la ley del metal blanco y el coeficiente de oxígeno. Además se plantea de forma paralela a dichas restricciones, agregar al balance las corrientes gaseosas que ingresan y salen del Convertidor Teniente, las que actualmente no son consideradas.

Respecto a las corrientes gaseosas, estas se deben agregar debido a que al no ser consideradas, se crea un desbalance de 1 tonelada mensual por cada 5 toneladas mensuales de concentrado fundido, y teniendo en cuenta que en promedio se funden aproximadamente 25.000 toneladas de concentrado al mes, el desbalance producto de no considerar las corrientes gaseosas es de 5.000 toneladas.

Respecto de la relación de ley de metal blanco versus ley de la escoria, esta relación se utiliza principalmente cuando la ley de la escoria es demasiado elevada, mientras que la relación de ley de metal blanco versus coeficiente de oxígeno, se utiliza principalmente en casos donde la ley del metal blanco es muy baja.

Al analizar los resultados obtenidos, se observó que se obtienen distintos y posiblemente mejores resultados al utilizar las relaciones que con el modelo actual. Adicionalmente se analizó de qué forma influyen las restricciones en los resultados del balanceador cuando los datos iniciales están muy desbalanceados respecto a los pesos secos y/o respecto a los finos, en escenarios sin gases, con gases y solo considerando gases de salida. Sobre esto último se concluyó que independiente del escenario, el balanceador siempre tiende a modificar las corrientes de salida para que se igualen a las de entrada, por efecto de los factores de calidad de cada corriente.

También se pudo ver que en general, las emisiones de arsénico aumentan o disminuyen dependiendo si el desbalance inicial es una deficiencia o un exceso respectivamente, de las corrientes de entrada, tanto para los finos como para los pesos secos, pudiendo variar hasta en 198% en algunos casos.

ABSTRACT

The main objective of this study was to propose improvements to current accounting metallurgical Balancer in Hernán Videla Lira Smelter, focusing on balances carried on the main casting equipment, Teniente Converter. These improvements are based on phenomenology of concentrate smelting by Teniente Converter, which are not considered in the current balancer.

Because the current balancer is based on a purely mathematical model, the phenomenologically unlikely results, although not common, are possible. Hence adding phenomenological restrictions on the balancer would seek to eliminate these results.

In this study the use of two relations are proposed as a basis for the phenomenological restrictions; the relation between white metal copper grade and slag copper grade, and the relation between white metal copper grade and the oxygen coefficient. In addition, it is proposed in parallel with these restrictions, add to the balance, the gas streams that go in and out the Teniente Converter, which are currently not considered.

Regarding gas streams, these must be added because not considering them create a 1 monthly ton imbalance for every 5 monthly tons of molten concentrate, and considering that on average about 25.000 tons of concentrate melt to month, the product imbalance of not consider gas streams is 5.000 tons.

Regarding the white metal copper grade and slag copper grade, this relation is primarily used when the copper grade of the slag is too high, while the relation between white metal copper grade and the oxygen coefficient is used mainly in cases where the copper grade of the white metal is too low.

When analyzing the results it was observed that different and possibly better results are obtained when using phenomenological relations than with the current model.

In addition, it was analyzed how restrictions influence on the results when the initial data were significantly unbalanced regarding weights and / or with respect to the fine copper, in scenarios without gases, with gases and only considering exhaust gases, where it was concluded that independent of the scenario, the balancer always tends to modify the output currents to equalize to the input, due to the effect of the quality factors of every current.

It was also seen that in general, arsenic emissions increase or decrease depending on whether the initial imbalance is a deficiency or excess respectively of the input currents for both the fine and for the weights, where they may vary by up to 198% in some cases.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	2
resumen	3
Abstract	5
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas	12
Introducción	20
Antecedentes Generales	24
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos.....	26
Capítulo 1: Definición del problema	27
Capítulo 2: Marco Teórico.....	28
2.1 Descripción del Proceso de Fundición en F.H.V.L.	28
2.2 Proceso de Fusión	30
2.2.1 Concentrado de Cobre.....	36
2.2.2 Fundente	37
2.2.3 Metal Blanco	37
2.2.4 Escoria	37
2.2.5 Gases de Fusión.....	38
2.2.6 Reacciones Durante la Fusión – Conversión Parcial.....	38
2.3 Proceso de Conversión	41
2.3.1 Reacciones Principales de la Conversión	42
2.4 Proceso de Refino a Fuego y Moldeo de Ánodos	43
2.4.1 Reacciones Principales del Refino a fuego	43
2.5 Descripción de equipos	44
2.5.1 Convertidor Teniente.....	44
2.5.2 Convertidor Pierce Smith.....	45

2.5.3 Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria (HELE).....	46
2.5.3 Horno basculante y Refino a Fuego.....	46
2.5.4 Rueda moldeadora.	47
2.5.5 Planta de tratamiento de gases.	48
Capítulo 3: Balanceador Metalúrgico Contable	49
3.1 Reconciliación de Datos.....	49
3.2 Antecedentes Balanceador Tradicional.....	51
3.3 Método de Resolución Balanceador Propuesto	54
3.3.1 Factores de Calidad	57
3.3.2 Aspectos Técnicos Generales del Reconciliador de Datos	59
3.3.3 Planteamiento matemático del problema.....	61
3.4 Limitaciones Balanceador Tradicional.....	64
3.5 Cambios más significativos del balanceador	67
Capítulo 4: Reconciliación del Convertidor Teniente	69
4.1 Convertidor Teniente	69
4.2 Reacciones químicas	69
4.3 Mineralogía del Concentrado	70
4.4 Resultados de correlaciones	71
4.5 Modelo del Reconciliador del Convertidor Teniente	71
4.5.1 Método de Resolución de Balances CT	75
Capítulo 5: Mejoras para el Balanceador	77
5.1 Corrección en primera etapa	77
5.2 Corrección en segunda etapa	78
5.3 Corrección en tercera etapa	78
5.4 Justificación de las mejoras propuestas	79
5.4.1 Considerar relación ley metal blanco y ley escoria	79
5.4.2 Considerar relación Ley Metal Blanco y coeficiente de oxígeno	80
5.4.3 Considerar todas las corrientes de entrada y todas las de salida.....	86

5.4.4	Reevaluar las pérdidas	96
5.5	Implementación de Mejoras en Balanceador CT.....	96
Capítulo 6:	Casos de desbalances iniciales.....	101
6.1	Resultados de casos sin corrientes gaseosas.....	104
6.1.1	Caso 1: Pesos secos desbalanceados.....	104
6.1.2	Caso 2: Finos desbalanceados.....	110
6.1.3	Caso 3: Pesos secos y finos desbalanceados	116
6.2	Resultados de casos con corrientes gaseosas	121
6.2.1	Caso 1: Pesos secos desbalanceados.....	121
6.2.2	Caso 2: Finos desbalanceados.....	127
6.2.3	Caso 3: Pesos secos y finos desbalanceados	133
6.3	Solo considerando gases de salida.....	139
6.3.1	Caso 1: Pesos secos desbalanceados.....	139
6.3.2	Caso 2: Finos desbalanceados.....	145
7.	Conclusiones y Recomendaciones	157
8.	Referencias	160
9.	Anexos	161
Anexo 1:	Ejemplo de reconciliación matricial	161
Anexo 2.....		163
Anexo 3.....		165
Anexo 4:	Caso 1 con entradas en deficiencia, sin gases	173
Anexo 5:	Caso 1 con entradas en exceso, sin gases	178
Anexo 6:	Caso 1 con entradas en deficiencia, con gases	183
Anexo 7:	Caso 1 con entradas en exceso, con gases	188
Anexo 8:	Caso 1 con entradas en deficiencia, solo gases de salida.....	193
Anexo 9:	Caso 1 con entradas en exceso, solo gases de salida.....	198
Anexo 10:	Caso 2 con entradas en deficiencia, sin gases	203
Anexo 11:	Caso 2 con entradas en exceso, sin gases	208

Anexo 12: Caso 2 con entradas en deficiencia, con gases	213
Anexo 13: Caso 2 con entradas en exceso, con gases	218
Anexo 14: Caso 2 con entradas en deficiencia, solo gases de salida.....	223
Anexo 15: Caso 2 con entradas en exceso, solo gases de salida.....	228
Anexo 16: Caso 3 con entradas en deficiencia, sin gases	233
Anexo 17: Caso 3 con entradas en exceso, sin gases	238
Anexo 18: Caso 3 con entradas en deficiencia, con gases	243
Anexo 19: Caso 3 con entradas en exceso, con gases	248
Anexo 20: Caso 3 con entradas en deficiencia, solo gases de salida.....	253
Anexo 21: Caso 3 con entradas en exceso, solo gases de salida.....	258

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Principales productores de cobre de mina	20
Figura I.2 Etapas de Pirometalurgia e Hidrometalurgia.....	22
Figura 2.1 Diagrama de flujo de la Fundición H.V.L.....	30
Figura 2.2 Horno Reverbero	31
Figura 2.3 Convertidor teniente	33
Figura 2.4 horno flash Outokumpu.....	34
Figura 2.5 Convertidor teniente	455
Figura 2.6 Convertidor Pierce-Smith.....	45
Figura 2.7 Horno eléctrico de limpieza de escoria.	46
Figura 2.8 Horno de refinó a fuego.....	477
Figura 2.9 Rueda de moldeo.	47
Figura 3.1 Vista simplificada de nodos de la Fundición y corrientes de entrada y salida	52
Figura 3.2 Etapas del reconciliador.....	61
Figura 4.1 Gráfico de ley de metal blanco vs coef de oxígeno.....	71
Figura 4.2 Nodo CT actual	72
Figura 4.3 Nodo CT actualizado	72
Figura 4.4 Nodo CT propuesto.....	73
Figura 4.5 Pasos para reconciliación de datos del CT	74
Figura 5.1 Relación entre ley de metal blanco y ley de escoria	80
Figura 5.2 Gráfico de ley de metal blanco vs coef de oxígeno.....	81
Figura 5.3 Nodo CT actual.	86
Figura 5.4 Tabla de datos de cada corriente	977
Figura 9.1 Nodo ejemplo.	16161
Figura 9.2 Sistema de nodos para ejemplo.	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los procesos de fusión de cobre	30
Tabla 2 Datos típicos de operación para distintos procesos de fusión	35
Tabla 3 Nodos que pueden contener existencias	52
Tabla 4 Factor de calidad según error de medición	57
Tabla 5 Composición por mineralogía	70
Tabla 6 Datos iniciales ley metal blanco baja sin corrientes gaseosas	82
Tabla 7 Resultados de Tabla 6 sin restricciones	83
Tabla 8 Resultados Tabla 6 con relación del Concentrado 1	84
Tabla 9 Resultados Tabla 6 con relación del Concentrado 2	84
Tabla 10 Resultados Tabla 6 con relación del Concentrado 3	85
Tabla 11 Datos iniciales SIN RECONCILIAR Y sin corrientes gaseosas	88
Tabla 12 Resultados reconciliador sin corrientes gaseosas	89
Tabla 13 Datos iniciales SIN RECONCILIAR, con corrientes gaseosas	90
Tabla 14 Resultados reconciliador con corrientes gaseosas.....	91
Tabla 15 Diferencia de ajuste de cada corriente al considerar corrientes gaseosas.	92
Tabla 16 Datos iniciales solo con gases de salida	93
Tabla 17 Datos de Tabla 16 ajustados	94
Tabla 18 Diferencia de pesos de datos ajustados con oxígeno y gases vs solo gases de salida	95
Tabla 19 Factores de calidad de pesos y finos de cobre	102
Tabla 20 Leyes de arsénico.....	103
Tabla 21 Datos iniciales: Pesos de entrada en deficiencia, sin gases	104
Tabla 22 Resultados Tabla 21: Corrientes con mayores variaciones	105
Tabla 23 Datos iniciales: Pesos de entrada en exceso, sin gases	107
Tabla 24 Resultados Tabla 23: Corrientes con mayores variaciones	107
Tabla 25 Datos iniciales: Finos de entrada en deficiencia, sin gases.....	110
Tabla 26 Resultados Tabla 25: Corrientes con mayores variaciones	110
Tabla 27 Datos iniciales: Finos de entrada en exceso, sin gases.....	113
Tabla 28 Resultados Tabla 27: Corrientes con mayores variaciones	113
Tabla 29 Datos iniciales: Pesos y Finos de entrada en deficiencia, sin gases	116
Tabla 30 Resultados Tabla 29: Corrientes con mayores variaciones	116
Tabla 31 Datos iniciales: Pesos y Finos de entrada en exceso, sin gases	118
Tabla 32 Resultados Tabla 31: Corrientes con mayores variaciones	119
Tabla 33 Datos iniciales: Pesos de entrada en deficiencia, con gases.....	121
Tabla 34 Resultados Tabla 33: Corrientes con mayores variaciones	122

Tabla 35 Datos iniciales: Pesos de entrada en exceso, con gases.....	124
Tabla 36 Resultados Tabla 35: Corrientes con mayores variaciones	124
Tabla 37 Datos iniciales: Finos de entrada en deficiencia, con gases	127
Tabla 38 Resultados Tabla 37: Corrientes con mayores variaciones	127
Tabla 39 Datos iniciales: Finos de entrada en exceso, con gases.....	130
Tabla 40 Resultados Tabla 39: Corrientes con mayores variaciones	130
Tabla 41 Datos iniciales: Pesos y finos de entrada en deficiencia, con gases.....	133
Tabla 42 Resultados Tabla 41: Corrientes con mayores variaciones	134
Tabla 43 Datos iniciales: Pesos y finos de entrada en Exceso, con gases.....	136
Tabla 44 Resultados Tabla 43: Corrientes con mayores variaciones	136
Tabla 45 Datos iniciales: Pesos de entrada en deficiencia, solo con gases de salida	139
Tabla 46 Resultados Tabla 45: Corrientes con mayores variaciones	140
Tabla 47 Datos iniciales: Pesos de entrada en exceso, solo con gases de salida	142
Tabla 48 Resultados Tabla 47: Corrientes con mayores variaciones	142
Tabla 49 Datos iniciales: Finos de entrada en deficiencia, solo con gases de salida	145
Tabla 50 Resultados Tabla 49: Corrientes con mayores variaciones	145
Tabla 51 Datos iniciales: Finos de entrada en exceso, solo con gases de salida.....	148
Tabla 52 Resultados Tabla 51: Corrientes con mayores variaciones	148
Tabla 53 Datos iniciales: Pesos y finos de entrada en deficiencia, solo con gases de salida	151
Tabla 54 Resultados Tabla 53: Corrientes con mayores variaciones	151
Tabla 55 Datos iniciales: Pesos y finos de entrada en exceso, solo con gases de salida	154
Tabla 56 Resultados Tabla 55: Corrientes con mayores variaciones	154
Tabla 57 Mediciones de flujo	165
Tabla 58 Mediciones de inventarios iniciales.....	166
Tabla 59 MEDICIONES DE INVENTARIOS finales.	166
Tabla 60 Factores de calidad de flujos parciales.	166
Tabla 61 FACTORES DE CALIDAD de inventarios iniciales.....	167
Tabla 62 FACTORES DE CALIDAD de inventarios finales.	167
Tabla 63 Incidencias.....	167
Tabla 64 Flujos parciales con peso seco.	168
Tabla 65 Inventarios iniciales parciales.....	168
Tabla 66 Inventarios Finales parciales.	168
Tabla 67 Finos ajustados.	169
Tabla 68 Pesos híbridos.....	170
Tabla 69 Pesos ajustados.	171

Tabla 70 Emisiones de azufre y arsenico.	171
Tabla 71 Comparación resultados finales y datos iniciales.....	172
Tabla 72 Datos iniciales caso 1 en deficiencia, sin gases	173
Tabla 73 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	174
Tabla 74 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	174
Tabla 75 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	175
Tabla 76 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	175
Tabla 77 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	176
Tabla 78 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en deficiencia, sin gases.....	177
Tabla 79 Datos iniciales caso 1 en exceso, sin gases	178
Tabla 80 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en exceso, sin gases.....	179
Tabla 81 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en exceso, sin gases	179
Tabla 82 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en exceso, sin gases	180
Tabla 83 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en exceso, sin gases.....	180
Tabla 84 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en exceso, sin gases.....	181
Tabla 85 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en exceso, sin gases.....	182
Tabla 86 Datos iniciales caso 1 en deficiencia, con gases.....	183
Tabla 87 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en deficiencia, con gases	184
Tabla 88 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en deficiencia, con gases.....	184
Tabla 89 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en deficiencia, con gases.....	185
Tabla 90 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en deficiencia, con gases	185
Tabla 91 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en deficiencia, con gases	186
Tabla 92 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en deficiencia, con gases	187
Tabla 93 Datos iniciales caso 1 en exceso, con gases	188
Tabla 94 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en exceso, con gases	189
Tabla 95 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en exceso, con gases.....	189
Tabla 96 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en exceso, con gases.....	190

Tabla 97 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en exceso, con gases.....	190
Tabla 98 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en exceso, con gases.....	191
Tabla 99 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en exceso, con gases.....	192
Tabla 100 Datos iniciales caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	193
Tabla 101 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	194
Tabla 102 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	194
Tabla 103 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	195
Tabla 104 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	195
Tabla 105 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	196
Tabla 106 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en deficiencia, solo con gases de salida	197
Tabla 107 Datos iniciales caso 1 en exceso, solo con gases de salida	198
Tabla 108 Datos ajustados sin restricciones, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	199
Tabla 109 Datos ajustados con restricción 1, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	199
Tabla 110 Datos ajustados con restricción 2, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	200
Tabla 111 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	200
Tabla 112 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	201
Tabla 113 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 1 en exceso, solo con gases de salida	202
Tabla 114 Datos iniciales caso 2 en deficiencia, sin gases	203
Tabla 115 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en deficiencia, sin gases.....	204
Tabla 116 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en deficiencia, sin gases.....	204
Tabla 117 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en deficiencia, sin gases.....	205

Tabla 118 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en deficiencia, sin gases	205
Tabla 119 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en deficiencia, sin gases	206
Tabla 120 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en deficiencia, sin gases	207
Tabla 121 Datos iniciales caso 2 en exceso, sin gases	208
Tabla 122 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en exceso, sin gases.....	209
Tabla 123 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en exceso, sin gases	209
Tabla 124 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en exceso, sin gases	210
Tabla 125 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en exceso, sin gases.....	210
Tabla 126 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en exceso, sin gases.....	211
Tabla 127 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en exceso, sin gases.....	212
Tabla 128 Datos iniciales caso 2 en deficiencia, con gases.....	213
Tabla 129 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en deficiencia, con gases	214
Tabla 130 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en deficiencia, con gases.....	214
Tabla 131 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en deficiencia, con gases.....	215
Tabla 132 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en deficiencia, con gases	215
Tabla 133 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en deficiencia, con gases	216
Tabla 134 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en deficiencia, con gases	217
Tabla 135 Datos iniciales caso 2 en exceso, con gases	218
Tabla 136 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en exceso, con gases	219
Tabla 137 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en exceso, con gases.....	219
Tabla 138 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en exceso, con gases.....	220
Tabla 139 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en exceso, con gases.....	220
Tabla 140 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en exceso, con gases.....	221
Tabla 141 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en exceso, con gases.....	222
Tabla 142 Datos iniciales caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	223

Tabla 143 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	224
Tabla 144 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	224
Tabla 145 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	225
Tabla 146 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	225
Tabla 147 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	226
Tabla 148 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en deficiencia, solo con gases de salida	227
Tabla 149 Datos iniciales caso 2 en exceso, solo con gases de salida	228
Tabla 150 Datos ajustados sin restricciones, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	229
Tabla 151 Datos ajustados con restricción 1, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	229
Tabla 152 Datos ajustados con restricción 2, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	230
Tabla 153 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	230
Tabla 154 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	231
Tabla 155 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 2 en exceso, solo con gases de salida	232
Tabla 156 Datos iniciales caso 3 en deficiencia, sin gases	233
Tabla 157 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en deficiencia, sin gases.....	234
Tabla 158 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en deficiencia, sin gases.....	234
Tabla 159 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en deficiencia, sin gases.....	235
Tabla 160 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en deficiencia, sin gases	235
Tabla 161 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en deficiencia, sin gases	236
Tabla 162 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en deficiencia, sin gases	237
Tabla 163 Datos iniciales caso 3 en exceso, sin gases	238
Tabla 164 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en exceso, sin gases.....	239

Tabla 165 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en exceso, sin gases	239
Tabla 166 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en exceso, sin gases	240
Tabla 167 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en exceso, sin gases.....	240
Tabla 168 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en exceso, sin gases.....	241
Tabla 169 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en exceso, sin gases.....	242
Tabla 170 Datos iniciales caso 3 en deficiencia, con gases.....	243
Tabla 171 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en deficiencia, con gases	244
Tabla 172 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en deficiencia, con gases.....	244
Tabla 173 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en deficiencia, con gases.....	245
Tabla 174 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en deficiencia, con gases	245
Tabla 175 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en deficiencia, con gases	246
Tabla 176 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en deficiencia, con gases	247
Tabla 177 Datos iniciales caso 3 en exceso, con gases	248
Tabla 178 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en exceso, con gases	249
Tabla 179 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en exceso, con gases.....	249
Tabla 180 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en exceso, con gases.....	250
Tabla 181 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en exceso, con gases.....	250
Tabla 182 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en exceso, con gases.....	251
Tabla 183 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en exceso, con gases.....	252
Tabla 184 Datos iniciales caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	253
Tabla 185 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	254
Tabla 186 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	254
Tabla 187 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	255
Tabla 188 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	255

Tabla 189 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	256
Tabla 190 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en deficiencia, solo con gases de salida	257
Tabla 191 Datos iniciales caso 3 en exceso, solo con gases de salida	258
Tabla 192 Datos ajustados sin restricciones, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	259
Tabla 193 Datos ajustados con restricción 1, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	259
Tabla 194 Datos ajustados con restricción 2, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	260
Tabla 195 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 1, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	260
Tabla 196 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 2, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	261
Tabla 197 Datos ajustados con restricción 3 y concentrado 3, caso 3 en exceso, solo con gases de salida	262

INTRODUCCIÓN

El cobre es un metal de transición noble de color rojizo metálico que junto con la plata y el oro, forma parte de los metales del grupo 11 de la tabla periódica, se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad, sólo superado por la plata.

Gracias a su alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, el cobre es el material más utilizado en la fabricación de cables eléctricos y artefactos eléctricos y electrónicos en general, siendo a su vez el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del hierro y del aluminio.

Dentro de los productores de cobre de mina, Chile es el principal a nivel mundial, siendo su producción de 5.746 miles de toneladas en el 2014, el equivalente al 31% de la producción mundial, lo siguen China (8,8%), Perú (7,6%) y Estados Unidos (7,4%) (Cochilco, 2015)[1].

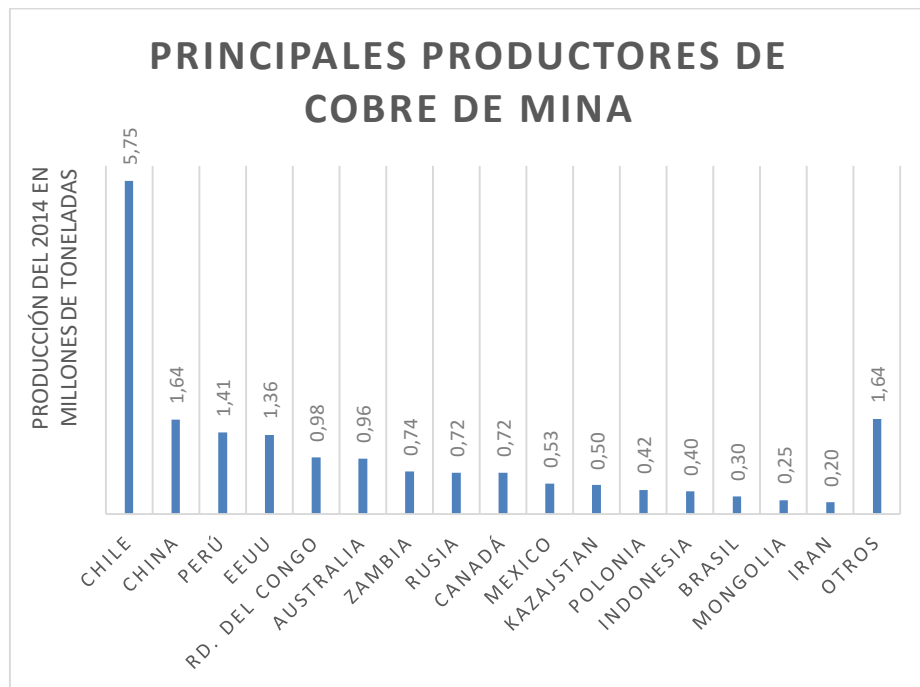


FIGURA I.1 PRINCIPALES PRODUCTORES DE COBRE DE MINA

El cobre se encuentra de manera natural en la corteza terrestre principalmente en forma de sulfuros y sulfuros de hierro tales como: calcopirita (CuFeS_2), calcosina (Cu_2S), cobelina (CuS) y bornita (Cu_5FeS_4). Estos minerales se encuentran habitualmente en bajas concentraciones, por lo que, en contenido de cobre, los cuerpos mineralizados varían entre 1 y 0,5% de cobre.

El cobre metálico puro es producido a partir de estos minerales mediante concentración, fusión y refinación cuando son sulfuros. Menos comúnmente, el cobre también se encuentra en forma de minerales oxidados, para éstos, el tratamiento de refinación suele ser la hidrometalurgia [2].

Ambos procesos tienen como etapas anteriores la extracción, el chancado y la molienda del mineral, y como etapa final, un tratamiento eléctrico; electroobtención para el caso de la hidrometalurgia y electrorefinación para el caso de la pirometalurgia. Un esquema de las etapas de estos procesos se muestra en la Figura 1.2.

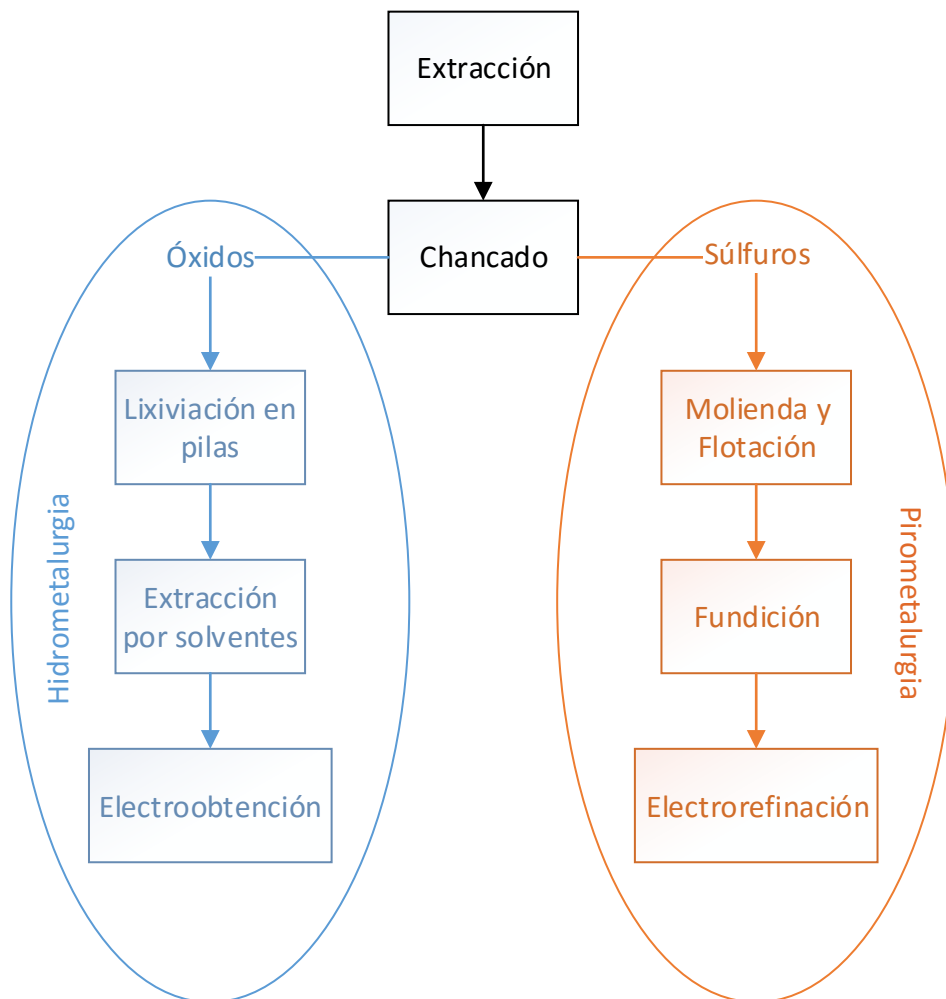


FIGURA I.2 ETAPAS DE PIROMETALURGIA E HIDROMETALURGIA.

En el caso de los sulfuros de cobre, luego de pasar por la etapa de molienda y flotación, el producto que se obtiene, llamado concentrado de cobre, ya está en condiciones de ser vendido como producto, por lo que el lugar donde este continúe el proceso de fundición, depende de varios factores, tanto económicos, como de capacidad y estratégicos.

El proceso de fundición genera la transformación química y física del concentrado en ánodos de cobre en una serie semicontinua de etapas, las cuales son de larga duración y donde se tratan grandes cantidades para que el proceso sea rentable.

La cantidad de reacciones y factores involucrados en los distintos procesos, hacen que simular con exactitud el proceso sea difícil, por lo que las fundiciones cuentan con programas balanceadores para tener información respecto a acumulaciones de concentrado, escoria, cobre y además tener una aproximación respecto a los gases tóxicos que escapan al ambiente sin ser tratados.

Debido a que las exportaciones de cobre representan una de las mayores contribuciones al PIB de Chile [3], se hace primordial optimizar los procesos de fundición para que Chile este en un nivel competitivo respecto a otros países con lo que se podría aumentar la producción nacional de ánodos y cátodos, ya que en la actualidad gran parte del concentrado es exportado para ser tratado en China y Japón.

ANTECEDENTES GENERALES

La Fundición Hernán Videla Lira (F.H.V.L.), perteneciente a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), se localiza en la III Región de Atacama, al Sur-Este de la ciudad de Copiapó, a 8 km de esta ciudad y a 800 km de Santiago. Su proceso productivo incluye el tratamiento pirometalúrgico de concentrados de cobre, plata, oro, precipitados de cobre y minerales de fusión directa, cuyas materias primas provienen de plantas de beneficio propias y de unos 100 proveedores habituales de la pequeña y mediana minería. Su producción principal consiste en ánodos de cobre y ácido sulfúrico

El proceso productivo de la Fundición Paipote está constituido por las siguientes etapas [4]:

- Recepción de Productos Mineros.
- Preparación de Mezclas.
- Secado e Inyección de Concentrados.
- Fusión-Conversion en Convertidor Teniente.
- Conversión de Metal Blanco.
- Limpieza de Escorias en Horno Eléctrico.
- Tratamiento de Gases en 2 Plantas de Ácido de Simple Contacto.
- Refino a Fuego y Moldeo de Ánodos.

Actualmente el software de balance metalúrgico contable, está construido en una plataforma desarrollada en los lenguajes de programación Fortran y Cobol. Este programa fue desarrollado desde comienzos de la década de los años 80, con factores de calidad, precisión de inventarios y pérdidas metalúrgicas definidos desde

ese tiempo, en que el esquema de operación consideraba la utilización, entre otros, de Horno de Reverbero como equipo de fusión.

En las condiciones actuales de operación de la Fundición, existe generación de gases secundarios y material particulado, que escapan del sistema de captación y plantas de tratamiento de los gases metalúrgicos. Por esta razón, y a objeto de establecer una operación acorde con las nuevas normativas de emisión que se implementarán a partir del año 2018, F.H.V.L. requiere efectuar una actualización al Balance Metalúrgico Contable, que incorpore además de los elementos actuales, es decir, cobre, plata y oro, el arsénico y el azufre en todo el proceso productivo, de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 28/2013 del Ministerio del Medio Ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Plantear mejoras y actualizaciones al procedimiento de reconciliación de materiales utilizado en la Fundación Hernán Videla Lira.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Evaluar el impacto de las mejoras propuestas en los resultados del balance final.
- 2- Determinar la factibilidad y necesidad de implementar cada mejora propuesta.

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Fundición Hernán Videla Lira de ENAMI debe actualizar su programa encargado de los balances metalúrgicos contables, ya que este cuenta con factores de calidad de 1980, diagrama de flujos que no ha sido actualizado, y los servidores que soportan dicho software serán sacados de servicio en julio del 2015.

Tanto el balanceador actual como el nuevo, realizan sus balances y reconciliación de estos según modelos matemáticos puramente basados en balances de materia, sin tener en cuenta criterios metalúrgicos, debido a esta limitante, existe la posibilidad de que los resultados entregados por el reconciliador sean inverosímiles desde el punto de vista fenomenológico, pero que sin embargo, cumplan con el balance de materia.

Esta posibilidad sugiere evaluar la implementación de medidas preventivas y/o correctivas, las cuales pueden ser automáticas o manuales, para evitar que se presenten dichos resultados o corregirlos de manera correcta cuando se presenten.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN EN F.H.V.L.

El proceso productivo de la Fundición se inicia con la recepción y almacenamiento de los concentrados, fundentes y otros insumos. Los concentrados de cobre son recepcionados en una cancha, donde según su procedencia son dispuestos en distintos lugares para luego ser almacenados en silos. El silo de almacenamiento para cada concentrado se determina según la mineralogía de éste, para así tener mayor control sobre las condiciones de alimentación del proceso.

El contenido de los silos se mezcla en una tolva de mezclado para lograr una proporción adecuada de cobre, azufre, hierro y arsénico. Esta mezcla es secada en un secador rotatorio y posteriormente alimentada al Convertidor Teniente (CT) donde se funde en un baño de material fundido. Este proceso de fusión es de tipo autógeno, es decir, no requiere de adición de calor externo, ya que la temperatura se mantiene gracias a las reacciones de oxidación que ocurren en su interior.

En el CT, el concentrado fundido se transforma en tres productos; gases de fusión (principalmente SO_2), escoria fundida (olivina y una pequeña cantidad de óxidos de cobre), y metal blanco (sulfuros de cobre y hierro).

Los gases de fusión son recolectados y llevados a la Planta de Tratamiento de Gases, donde el SO_2 es usado para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4). La escoria del CT, insoluble con el metal blanco y menos densa que éste, es drenada del CT por canaletas en ollas y llevada al Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria (HELE), donde se le extrae los sulfuros de cobre atrapados en ella. Al mismo tiempo, el metal blanco es vertido en ollas y llevado a los Convertidores Pierce-Smith (CPS).

El metal blanco que se envía a los CPS es tratado en forma batch, aumentando su ley de cobre desde 75% a aproximadamente 98% mediante un proceso donde se

elimina el azufre y los restos de hierro contenidos en el metal blanco. El producto de esta etapa de conversión es llamado cobre blíster, el cual luego es transportado en ollas al proceso de refinación a fuego, donde se eliminan las impurezas residuales del proceso de conversión y pasa a llamarse cobre RAF (refinado a fuego), con una ley de alrededor de 99,7%.

Finalmente, el cobre RAF es enviado al proceso de moldeo, donde es vertido en los moldes de una rueda moldeadora, donde se solidifican formando los ánodos de cobre, los cuales son revisados y vendidos [4].

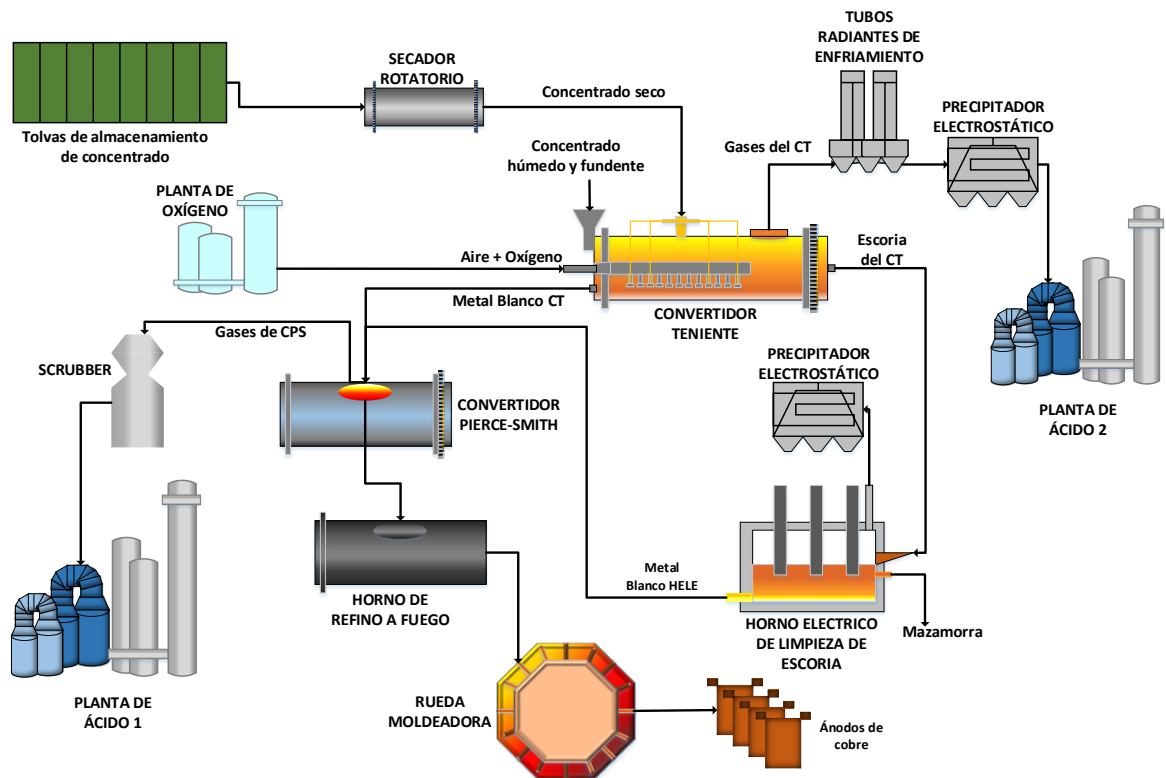


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNDICIÓN H.V.L.

2.2 PROCESO DE FUSIÓN

Todos los procesos de fusión de cobre se pueden clasificar en tres grupos:

1. Fusión en Baño: La fusión ocurre fundamentalmente en un baño fundido. La oxidación se logra por la inyección de aire o una mezcla de aire enriquecido con oxígeno (generalmente a temperatura mayor que la ambiente) a través de toberas sumergidas en un horno del tipo Basculante.
2. Fusión Flash: Consiste básicamente en la dispersión y oxidación de un flujo de partículas de concentrado seco con oxígeno, aire caliente o una mezcla de aire y oxígeno. Una vez en el horno, las partículas de sulfuros se calientan rápidamente con los gases de oxidación que las acompañan. Esto resulta en una oxidación parcial del concentrado lo que se traduce en una gran producción de calor.

La combustión de las partículas de sulfuros es extremadamente rápida y el calor generado por las reacciones de oxidación es, en muchos casos, suficiente para fundir rápidamente las especies parcialmente oxidadas.

3. Fusión Continua: Se realiza en forma continua una combinación de las etapas tradicionales produciendo, en lo posible de forma autógena, cobre blíster directamente del tratamiento de concentrados. Esto resulta en la coexistencia de tres fases fundidas; escoria, eje y cobre blíster en equilibrio con la fase gaseosa.

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE COBRE

Fusión en Baño	Fusión Flash	Fusión Continua
Reactor Noranda	Outokumpu	Proceso Mitsubishi
Convertidor Teniente	INCO	
Horno Reverbero		
Isasmelt		
Horno Eléctrico		
Vanyukov		

Además de los procesos mencionados en la Tabla 1, existen otros procesos de interés industrial, sin embargo, solo se analizarán tres de ellos; Horno Reverbero, Convertidor Teniente y Horno Flash, considerados como los de mayor importancia, esencialmente por su presencia en el mercado nacional [2].

- Horno Reverbero

Este horno alimenta combustible (petróleo, carboncillo o gas natural) que funde concentrados Cu-Fe-S o calcinas para obtener eje y escoria fundidos. El eje fundido es enviado a convertidores Pierce-Smith para su conversión a cobre fundido, mientras que la escoria, con un contenido de cobre menor a 1% en peso, es descartada.

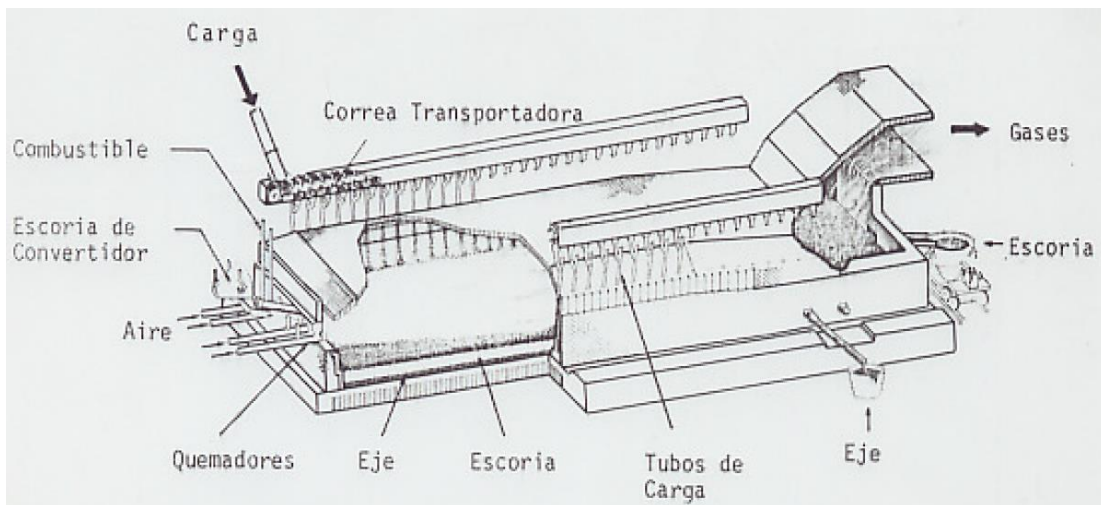


FIGURA 2.2 HORNO REVERBERO

Los quemadores que inyectan combustible para que el horno alcance la temperatura de operación están dispuestos a través de la bóveda. Sin embargo, la mayor parte de los hornos reverberos han introducido el uso de quemadores oxígeno-petróleo dispuestos verticalmente a través de la bóveda por sobre la alimentación sólida en el horno. Esta configuración disminuye considerablemente el consumo de combustible y genera un aumento sustancial en la tasa de fusión. No obstante, estos hornos presentan dos grandes desventajas respecto a otros procesos:

i) Sus gases son muy diluidos en SO_2 , presentando niveles menores al 2% en volumen, lo cual hace la recuperación de SO_2 como ácido sulfúrico difícil y muy costosa.

ii) Su eficiencia térmica es muy inferior a la de los procesos de fusión más modernos, los que utilizan la oxidación del hierro y del azufre en la carga de concentrado para suministrar gran parte de los requerimientos energéticos.

Tal como se mencionó anteriormente, ambos problemas han sido subsanados por el uso de quemadores oxígeno-petróleo, sin embargo, siendo estas mejoras de alcance parcial, este tipo de hornos continúa siendo remplazados por procesos de fusión con oxígeno.

Por último, aun cuando estos hornos también encuentran uso en el reciclaje de escorias de conversión, esta aplicación también se ha visto afectada por el desarrollo de tecnologías más eficientes para estos efectos, tales como el horno eléctrico [2].

- Convertidor Teniente

En este reactor, que es del tipo de toberas sumergidas, se funde concentrado y escoria en un baño turbulento metal blanco-escoria y se oxida el hierro y azufre del concentrado fundido para formar: metal blanco de alta ley, escoria y gases ricos en SO_2 . El metal blanco (70 a 75% Cu), es enviado posteriormente a conversión para convertirlo en cobre blíster. La escoria (3 a 7% de cobre en peso) es enviada a una etapa de limpieza. Los gases, los cuales contienen aproximadamente 25 a 30 % en volumen de SO_2 , van a etapas de enfriamiento, remoción de polvos y a una planta de ácido sulfúrico.

En el Convertidor Teniente los concentrados secos se inyectan dentro del baño a través de toberas y también se cargan concentrados húmedos y fundente sobre la

superficie del baño. El calor de la oxidación del S y Fe, proporciona la energía para la fusión del concentrado. El proceso es auto térmico al utilizar oxígeno en el aire de soplado a niveles de enriquecimiento de 30 a 36 %, evitando así el calentamiento de N₂ e inyectando concentrados secos, evitando así el consumo de calor por parte del agua al vaporizar [2].

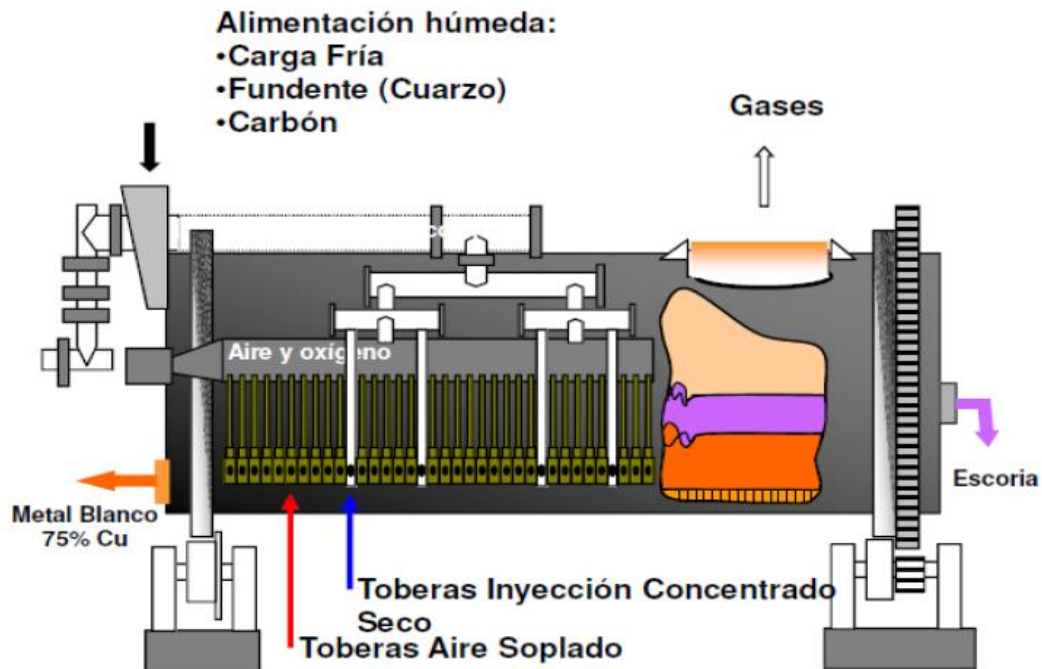


FIGURA 2.3 CONVERTIDOR TENIENTE

- Horno Flash

La Fusión Flash Outokumpu combina aire, oxígeno, concentrados y fundentes secos, que son inyectados a través de un quemador en la forma de una mezcla dispersa en una cámara de reacción a alta temperatura. A medida que la suspensión gas-sólido sale del cuerpo del quemador y fluye hacia abajo por la torre de reacción, las partículas sólidas se calientan y se funden por el calor que es generado al combustionarse parte del S y del Fe. Durante este proceso las partículas se funden convirtiéndose en pequeñas gotas. El producto de la torre corresponde principalmente a una mezcla heterogénea de sulfuros de cobre fundido, sulfuro de

hierro, magnetita, sílice y ganga. La torre de reacción debe ser refrigerada externamente con agua para la liberación del exceso de calor.

Las reacciones de fusión son extremadamente rápidas bajo estas condiciones (debido a los altos coeficientes de transferencia de calor y masa), de modo que la fusión Outokumpu es tan rápida como para procesar 3.000 o más toneladas de concentrado fresco por día. Los productos que se obtienen son convencionales: eje fundido (60 a 65% Cu), escoria fundida (2 a 3% Cu) y gases (30 a 50% en volumen de SO_2). No obstante la concepción original, las actuales instalaciones que cuentan con hornos flash Outokumpu y que operan con aire altamente enriquecido con oxígeno, deben también operar con quemadores de petróleo ubicados en la bóveda del horno sobre el crisol. Este tipo de operación genera un flujo de gases ricos en SO_2 , el que puede ser recuperado fácilmente como ácido sulfúrico. Además, los volúmenes de aire insuflado y los gases de salida son pequeños, de modo que se puede utilizar un sistema de manejo de gases pequeño aún para altas tasas de fusión.

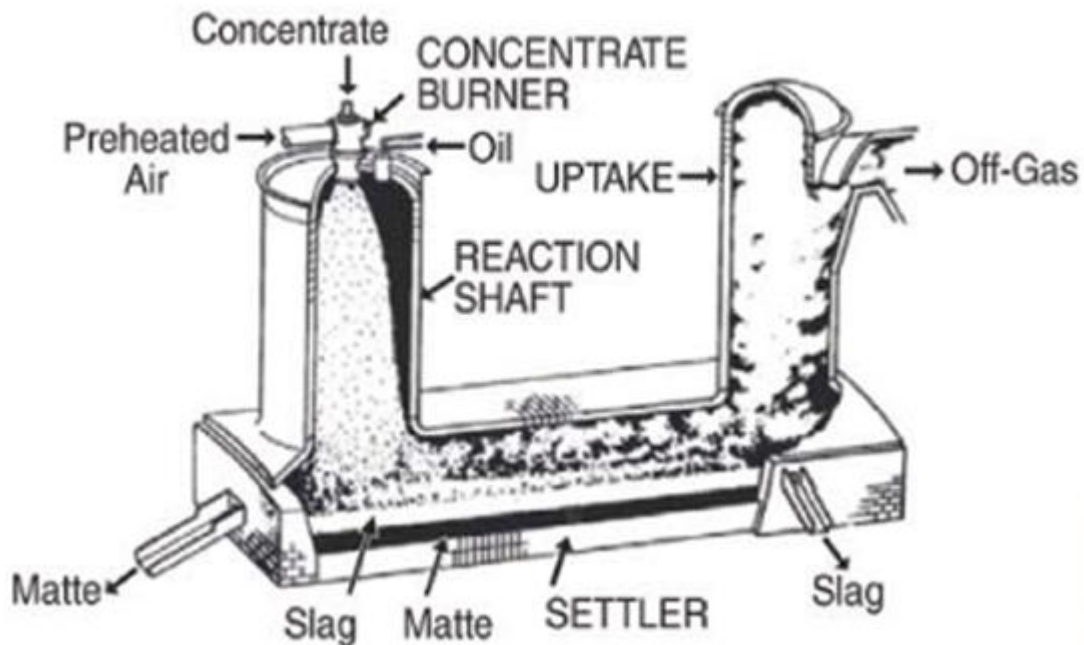


FIGURA 2.4 HORNO FLASH OUTOKUMPU

Desde el punto de vista de control del proceso, los actuales Hornos Flash Outokumpu, son operados de modo de controlar automáticamente la composición del eje y de la escoria ajustando las razones de entrada de oxígeno/concentrado y fundente/concentrado. Lo anterior con los siguientes objetivos: mantener la temperatura y composición constante del eje y escoria a una alta tasa de fusión y con un mínimo consumo energético. Por otra parte, las temperaturas de los productos son controlados ajustando la tasa de combustión de petróleo y la razón O₂/N₂ en el aire insuflado.

Finalmente, se puede señalar que los aspectos más relevantes de la tecnología Flash Outokumpu son: su captura eficiente de SO₂, su alta tasa de producción y sus bajos requerimientos energéticos. Del mismo modo, sus aspectos deficitarios son la alta inversión y el alto arrastre de polvos [2].

TABLA 2 DATOS TÍPICOS DE OPERACIÓN PARA DISTINTOS PROCESOS DE FUSIÓN

Proceso	Reverbero	Convertidor Teniente	Flash Outokumpu
Construcción	Cámara de refractario soportada sobre una fundación sólida	Estructura refractaria cilíndrica revestida de acero	Tres zonas de albañilería refractaria soportadas por estructura de acero
Combustible/Comburente	Petróleo/Aire	Aire	Petróleo/Aire
Grado de Oxidación (Ley del Eje %Cu)	45-55	70-76	60-65
Volumen de Gases de Salida (Nm ³ /t carga)	1.500 – 3.500	1.500 – 2.000	500 – 1.000
Arrastre de Polvo (% respecto a la carga)	-	-	4-10
%Cu en Escoria	0,6 - 0,8	5 - 10	2 - 3
Concentración de SO ₂ en Gases de Salida	2 - 4	22 - 25	30 - 50
Consumo de Combustible (kg/t carga)	130 - 350	Autógeno	20 - 55
Enriquecimiento de O ₂	QAP/QAOP/QOP	30 - 36	50 - 70

El proceso de fusión en la F.H.V.L. se lleva a cabo en un Convertidor Teniente, el cual opera a temperaturas del orden de los 1.200 °C, temperatura que se mantiene de manera autógena debido a las reacciones exotérmicas que ocurren al interior del baño de material fundido. Este proceso se puede resumir como una fusión y conversión parcial del concentrado, generando metal blanco, escoria y gases.

Químicamente el proceso de fusión es una oxidación progresiva del hierro y del azufre contenidos en el concentrado, donde por diferencia de densidades se logra la separación en dos fases, donde la fase superior corresponde a la escoria que tiene un bajo contenido de cobre y la fase inferior, metal blanco, que principalmente está compuesto por sulfuro de cobre con otras impurezas, con un alto contenido de cobre.

2.2.1 CONCENTRADO DE COBRE

Los concentrados adquiridos por la Fundición H.V.L. son mezclados entre sí para tener un concentrado final con una composición deseada, como norma general se busca que este concentrado final tenga una ley de cobre del orden de 27%, un contenido de hierro no inferior a 24% y una relación de azufre/cobre del orden de 1,10.

Otro de los elementos a tener en cuenta es el arsénico, ya que junto con el azufre, representan elementos altamente tóxicos y por lo tanto, su liberación al ambiente debe ser controlada para que no exceda los límites permitidos por la ley, por lo que pueden ser factores limitantes de la producción. La humedad del concentrado de cobre es de 8% a 12%.

Los minerales más comúnmente hallados en los yacimientos de cobre de nuestro país, son [5]:

- Calcopirita (CuFeS_2)
- Calcocina (Cu_2S)

- Covelina (CuS)
- Pirita (FeS₂)

2.2.2 FUNDENTE

El fundente es sílice (SiO₂) y es agregado al proceso de Fusión Conversión para bajar el punto de fusión de la escoria y de esta forma permitir una buena viscosidad y ser inmisible con el metal blanco, de esta forma puede ser removida fácilmente y tener un bajo arrastre de metal blanco [5].

2.2.3 METAL BLANCO

El metal blanco es una solución líquida compuesta fundamentalmente por sulfuros de cobre (Cu₂S) y hierro (FeS), su composición de cobre es de entre 70 y 75% en peso.

2.2.4 ESCORIA

La escoria está compuesta por óxidos formados durante el proceso de Fusión-Conversión, principalmente son óxidos de hierro. Parte de este óxido de hierro forma fayalita al combinarse con la sílice del fundente, mientras que el resto queda como magnetita. Las proporciones de estas cantidades cambian dependiendo de la mineralogía del concentrado, el coeficiente de oxígeno usado para la fundición de éste y la cantidad de fundente agregado. Se busca que la escoria sea inmisible con el metal blanco, tenga baja solubilidad con el Cu₂S y tenga una fluidez suficiente para reducir el arrastre de metal blanco.

Para describir la estructura de la escoria, esta se divide en tres grupos; ácida, básica y neutra. La escoria ácida (óxido de silicio y alúmina) al ser fundida tiende a polimerizar formando moléculas (poliiones) grandes, lo cual permite que las viscosidades sean elevadas, lo que a su vez dificulta su manejo y aumenta la cantidad de metal blanco arrastrado. Las escorias ácidas también tienen baja

solubilidad con otros óxidos ácidos, lo que incrementa la presencia de impurezas en el metal blanco y por consiguiente dificulta su tratamiento.

Las propiedades de la escoria ácida mejoran con la presencia de óxidos básicos, como óxido de calcio y óxido de magnesio, los que rompen los poliiones y con esto reducen la viscosidad y a su vez aumentan la solubilidad de óxidos ácidos.

Óxidos neutros como FeO y Cu₂O, reaccionan con menos fuerza con los poliiones, sin embargo su efecto es similar al de los óxidos básicos. Debido a su bajo punto de fusión, disminuyen el punto de fusión de la escoria y también su viscosidad.

La escoria producida a nivel industrial consta principalmente de FeO, Fe₂O₃ y SiO₂, con pequeñas cantidades de Al₂O₃, CaO y MgO [6].

2.2.5 GASES DE FUSIÓN

Los gases de fusión están compuestos por N₂, O₂ y SO₂ principalmente, este último formado por las reacciones de oxidación entre el aire enriquecido y el azufre contenido en el concentrado de cobre. También contienen las impurezas volatilizadas y polvo de arrastre. Los gases de fusión son uno de los factores más importantes al momento de operar el Convertidor Teniente, ya que las emisiones de SO₂ se deben mantener por debajo del límite que la ley determina y en caso que este límite sea sobrepasado, se puede llegar a detener la producción completa.

2.2.6 REACCIONES DURANTE LA FUSIÓN – CONVERSIÓN PARCIAL

El proceso de Fusión-Conversion en el Convertidor Teniente, se puede dividir en las siguientes etapas [7]:

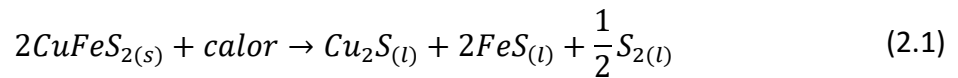
- Descomposición
- Fusión
- Formación de metal blanco
- Oxidación
- Formación de escoria

- Reacciones secundarias

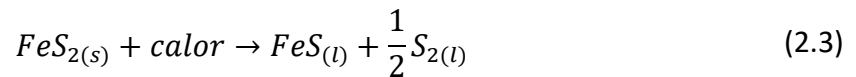
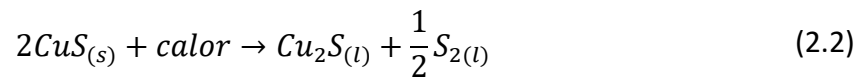
A continuación se presentan las reacciones químicas asociadas a cada etapa, asumiendo un concentrado constituido principalmente por calcopirita.

2.2.6.1 DESCOMPOSICIÓN

La calcopirita se descompone debido a la alta temperatura del CT según se muestra en la ecuación 2.1.

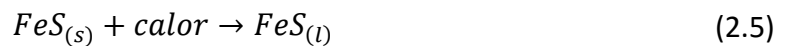


La covelina y la pirita se descomponen debido de la inestabilidad que presentan a la temperatura de operación del CT como se puede ver en las ecuaciones 2.2 y 2.3.



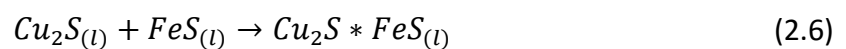
2.2.6.2 FUSIÓN

La etapa de fusión es, en términos generales, el paso de los compuestos de estado sólido a líquido mediante el uso de calor, como se presenta en las ecuaciones 2.4 y 2.5.



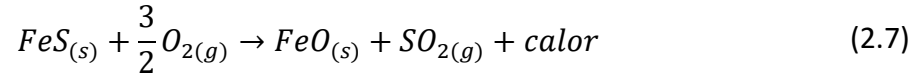
2.2.6.3 FORMACIÓN DEL METAL BLANCO

Luego que los sulfuros de cobre y hierro pasan a estado líquido, se mezclan entre sí formando la fase de metal blanco, como se muestra en la ecuación 2.6, esta fase es más densa que la fase escoria e inmisible con ella, lo que permite su separación.

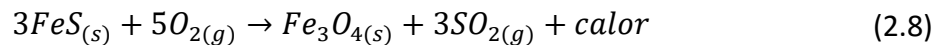


2.2.6.4 OXIDACIÓN

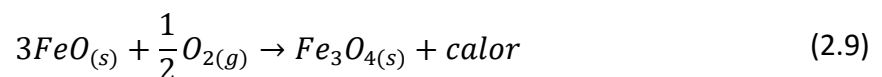
Las reacciones de oxidación que ocurren durante este proceso son exotérmicas, y son las principales responsables de aportar la energía necesaria para las etapas de descomposición y fusión. La oxidación del sulfuro de hierro produce principalmente óxido de hierro, como se aprecia en la ecuación 2.7.



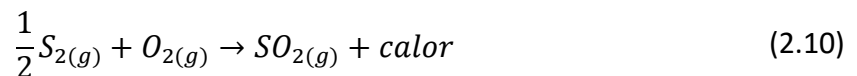
Adicionalmente, parte del sulfuro de hierro se oxida para formar magnetita, ver en la ecuación 2.8. Un exceso de formación de magnetita, hace que la escoria sea más viscosa y difícil de manejar, este es uno de los motivos que hace necesario mantener un estricto control operacional de la ley de metal blanco y del fundente alimentado al CT.



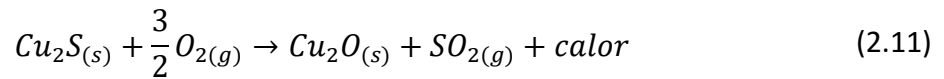
Tal como se ha mencionado, una parte del óxido de hierro reacciona con el oxígeno para formar magnetita, como se muestra en la ecuación 2.9, esta reacción no deseada en exceso, se controla con la adición de sílice al baño.



El azufre al reaccionar con el oxígeno, genera dióxido de azufre gaseoso.

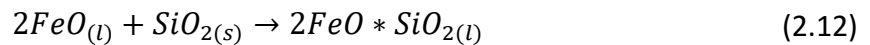


Una parte pequeña del sulfuro de cobre se oxida formando óxido de cobre, el cual es soluble en la escoria y lo normal es que se intente minimizar lo más posible controlando el coeficiente de oxígeno del CT (Nm^3O_2 / tonelada de concentrado). Dicha reacción se representa en la ecuación 2.11.



2.2.6.5 ESCORIFICACIÓN

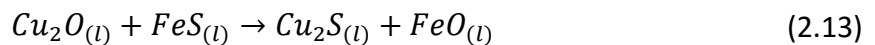
La formación de la fase de escoria se forma mediante la reacción de los óxidos presentes con la sílice. La ecuación 2.12 es la principal reacción en la formación de escoria, en este caso se muestra la formación de escoria fayalítica.



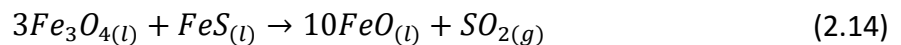
La sílice también reacciona con otros óxidos que se encuentran en menores cantidades, tales como CaO, MgO y Al₂O₃.

2.2.6.6 REACCIONES SECUNDARIAS

La importancia de estas reacciones radica en que ayudan a controlar la cantidad de cobre oxidado y magnetita presente en el baño. Parte del óxido de cobre presente en el baño reacciona con el sulfuro de hierro, formando sulfuro de cobre y óxido de hierro, como se muestra en la ecuación 2.13.



Además, el sulfuro de hierro reduce parcialmente la magnetita, formando óxido de hierro y anhídrido sulfuroso, como se indica en la ecuación 2.14.

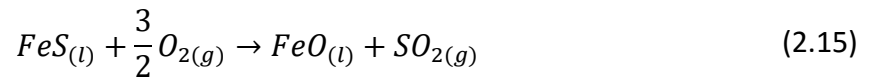


2.3 PROCESO DE CONVERSIÓN

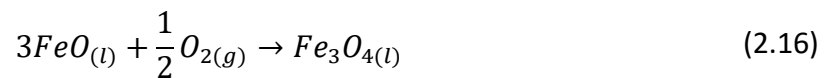
El metal blanco (75% Cu) producido por el Convertidor Teniente, es sangrado a ollas las que luego son vaciadas dentro de los Convertidores Pierce Smith, donde por medio de reacciones con el oxígeno inyectado, eliminan la mayor parte del azufre, hierro y otras impurezas, obteniendo finalmente cobre blíster con 98,5% de pureza, escoria sobre oxidada (mazamorra) y gases.

2.3.1 REACCIONES PRINCIPALES DE LA CONVERSIÓN

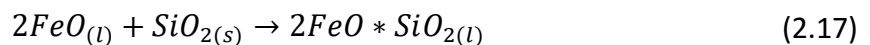
La conversión del metal blanco comienza con la oxidación del sulfuro de hierro disuelto formando una fase de escoria, hasta dejar solo sulfuro de cobre, la reacción que se lleva a cabo es:



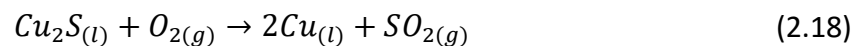
La reacción descrita en la ecuación 2.15 es exotérmica y el óxido ferroso básico formado es un líquido muy reactivo, particularmente frente al oxígeno y los refractarios del convertidor, por lo que si se deja así, se oxidaría rápidamente a magnetita, como se muestra en la ecuación 2.16.



Para evitar que esto ocurra se debe minimizar la actividad química del óxido ferroso (FeO), lo que se logra poniéndolo en contacto con un óxido ácido que no interfiera con el proceso. El óxido ácido que cumple con estos requisitos es la sílice, la cual tiende a acomplejar al hierro en forma de escoria fayalítica según se muestra en la ecuación 2.17. Sin embargo en la práctica, cuando se opera con metal blanco, no se adiciona sílice quedándose el hierro en la forma de magnetita.



La etapa de formación de escoria termina cuando el metal blanco contiene menos de 1% de FeS. La etapa siguiente es la oxidación del Cu_2S para dar origen al cobre blíster, según la ecuación 2.18 [8].



El cobre blíster producido en la F.H.V.L contiene aproximadamente 98,5% de cobre, el porcentaje restante está compuesto de metales nobles, que por su alto valor comercial resultan comercialmente recuperables, además de otras impurezas que son necesarias eliminar, ya que estos limitan las aplicaciones industriales del cobre.

2.4 PROCESO DE REFINO A FUEGO Y MOLDEO DE ÁNODOS

La etapa final del proceso consiste en el refinado a fuego del cobre blíster, el cual es realizado en un horno tipo basculante en régimen batch y consta de 3 pasos; el primero es de oxidación, consiste en la eliminación de impurezas y formación de escoria, el cual es posteriormente evacuado hacia pozos de enfriamiento. El segundo, de reducción, permite la obtención de cobre con calidad anódica. El tercero consiste en el moldeo, para ello el cobre es alimentado a una rueda de 16 moldes, terminada esta etapa los ánodos son inspeccionados para verificar sus dimensiones y calidad física.

2.4.1 REACCIONES PRINCIPALES DEL REFINO A FUEGO

Las reacciones del proceso de refinado se pueden dividir en dos etapas, reacciones de oxidación y de reducción.

2.4.1.1 REACCIONES DE OXIDACIÓN

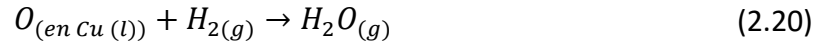
En esta etapa se inyecta aire en el baño de cobre para eliminar selectivamente las impurezas presentes en el cobre blíster, el objetivo principal de esta etapa es la eliminación total del azufre. La reacción principal de esta etapa se representa en la ecuación 2.19.



2.4.1.2 REACCIONES DE REDUCCIÓN

El objetivo principal de la etapa de reducción es remover el exceso de oxígeno disuelto en el cobre líquido, lo que se logra mediante el uso de un agente reductor el cual puede ser sólido, como madera o carbón, o hidrocarburos como el fuel oil, kerosene, gas natural, diésel, etc. Se debe utilizar un reformador que puede ser aire o vapor para evitar la formación de negro de humo en los gases (hollín). Esta mezcla provee el CO, C y H₂ necesarios para la reacción con el Oxígeno disuelto en el Cobre.

Las principales reacciones de reducción se observan en las ecuaciones 2.20 2.21 y 2.22 [7][9].



2.5 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

2.5.1 CONVERTIDOR TENIENTE.

El Convertidor Teniente que se encuentra en la F.H.V.L, es un horno basculante de 14,9 [m] de largo y 3,8 [m] de diámetro, dispuesto de manera horizontal sobre un sistema de cremalleras que le permiten oscilar y que está revestido con ladrillo refractario en su interior. Este equipo opera de manera continua, manteniendo un baño de material fundido (concentrado y fundente) a 1.200 [°C], el cual se mantiene a dicha temperatura de manera autógena gracias a las reacciones exotérmicas de oxidación que ocurren en su interior.

En el Convertidor Teniente el concentrado seco se inyecta a través de 2 o más toberas especiales de inyección. También se ingresa concentrado húmedo (ley de cobre de 30% aproximadamente), fundente, circulante y aire por medio del inyector de carga de tipo Garr-gun (30 [cm] de diámetro). Por las toberas internas sumergidas en el baño de material fundido ingresa aire enriquecido con oxígeno con lo que se generan 3 productos, gases de combustión con alto contenido de SO₂, escoria líquida, y metal blanco líquido, estos últimos tienen leyes de cobre de aproximadamente 5% y 75% respectivamente [10].

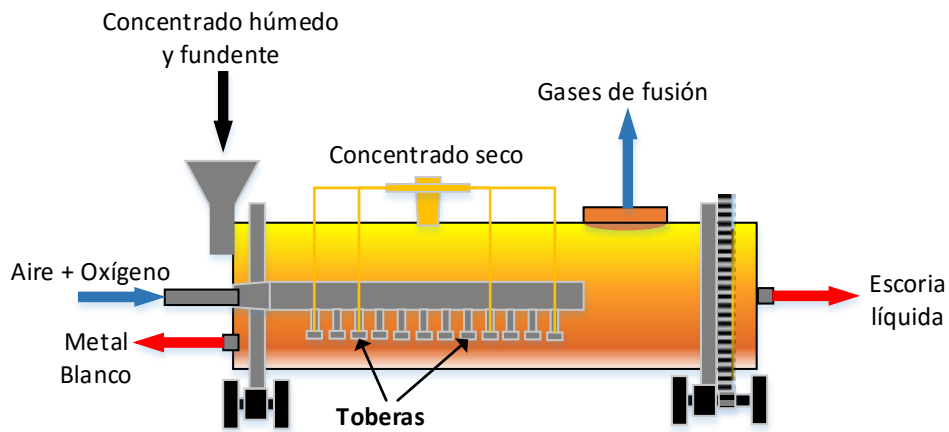


FIGURA 2.5 CONVERTIDOR TENIENTE

2.5.2 CONVERTIDOR PIERCE SMITH.

Consiste en un reactor cilíndrico horizontal de 7,2 [m] de largo y 3 [m] de diámetro, el cual opera en régimen batch y cuya función es la de oxidar el metal blanco proveniente del Convertidor Teniente, mediante la inyección de aire enriquecido en oxígeno, con el cual se elimina el hierro, azufre y otras impurezas, aumentando así la ley de un 75% a un 98-99%, donde pasa a llamarse cobre blíster [4].

La gran desventaja de este equipo es su forma de carga y descarga, la que se realiza basculando el horno para inclinar la boca de éste, lo que implica la generación de gases que escapan del sistema de captura de gases (gases fugitivos) y por lo tanto no son tratados.

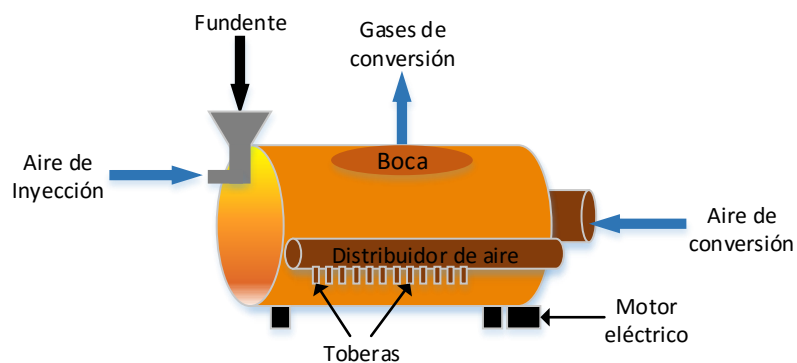


FIGURA 2.6 CONVERTIDOR PIERCE-SMITH.

2.5.3 HORNO ELÉCTRICO DE LIMPIEZA DE ESCORIA (HELE).

Este horno, de 10 [m] de diámetro, el cual opera con una potencia de 10 [MWh] utilizando 3 electrodos Soderberg, procesa la escoria del Convertidor Teniente para generar Metal Blanco el cual es enviado a los Convertidores Pierce-Smith. El proceso consiste en reducir la magnetita (Fe_3O_4) presente en la escoria a óxido ferroso (FeO), para mejorar las propiedades fisicoquímicas de ésta, con lo que se busca mejorar la separación y sedimentación de los sulfuros de cobre, anteriormente atrapados mecánicamente y/o disueltos en la escoria.

El óxido ferroso se combina con la sílice (fundente o sílice libre en la escoria del CT) formando un silicato de hierro conocido como fayalita, el cual es inmisible en los sulfuros y tiene menor densidad que ellos. Debido a esto, la presencia de una cantidad adecuada de sílice, junto con la reducción de la magnetita a óxido ferroso logra la separación de la escoria en dos fases, metal blanco con una ley de cobre de alrededor de 70%, y escoria de descarte, con un contenido de cobre de aproximadamente 0,8% [7].

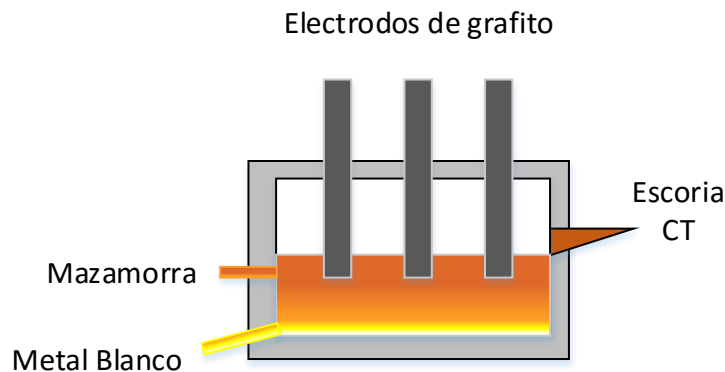


FIGURA 2.7 HORNO ELÉCTRICO DE LIMPIEZA DE ESCORIA.

2.5.3 HORNO BASCULANTE Y REFINO A FUEGO.

En este horno se almacena el cobre blíster proveniente del Convertidor Pierce Smith para luego pasar a la rueda de moldeo de ánodos. Consiste básicamente en un horno basculante cilíndrico, de 9 metros de largo y 4 metros de diámetro, donde por

medio de ignición de petróleo u otro combustible, se elimina el oxígeno e impurezas del cobre blíster, aumentando su ley a 99,7%, el cual es denominado cobre refinado a fuego (RAF).

El objetivo del Refino a Fuego es obtener un cobre que cumpla con las especificaciones de calidad química para la refinación electrolítica, proceso por el cual los ánodos de cobre son utilizados para crear cátodos al 99,99% de pureza.

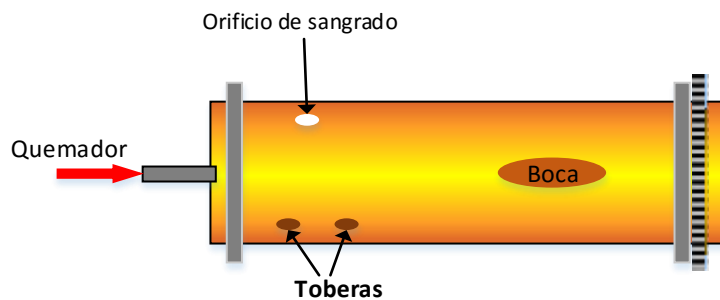


FIGURA 2.8 HORNO DE REFINO A FUEGO.

2.5.4 RUEDA MOLDEADORA.

Es una rueda que cuenta con 16 moldes, los cuales son rellenos con el cobre RAF proveniente del horno de refino a fuego. En los moldes se solidifica el cobre RAF, formando los ánodos de cobre. El objetivo de este proceso es obtener ánodos con las características físicas requeridas para la refinación electrolítica [4].

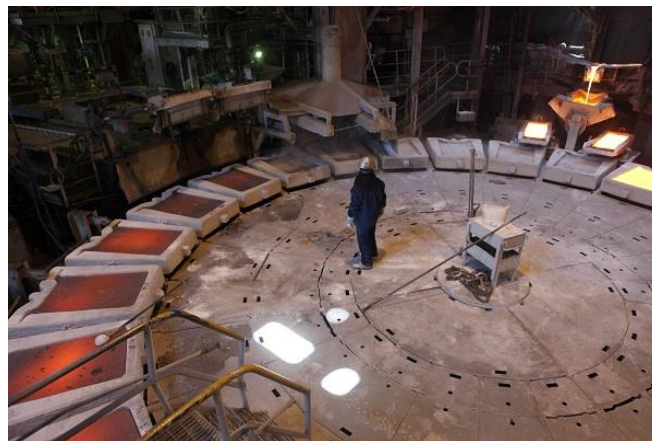


FIGURA 2.9 RUEDA DE MOLDEO.

2.5.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE GASES.

El tratamiento de los gases comienza con la captación, la cual es realizada por campanas equipadas con chaquetas refrigeradas por agua, luego son transportados hacia un sistema de enfriamiento radiativo y convectivo donde su temperatura disminuye a valores bajo los 400 [°C] antes de ingresar a los precipitadores electrostáticos, los que remueven las partículas sólidas arrastradas con los gases de la fusión y conversión. Finalmente la corriente de gases, limpia de partículas sólidas, es enviada a las plantas de tratamiento de gases, donde por medio de un tratamiento de lavado de los gases y posterior conversión de SO₂ a SO₃ que es absorbido en una torre de absorción de contacto simple, el SO₂ gaseoso pasa a formar ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) de 98,5 % de concentración.

La F.H.V.L. cuenta con dos plantas de ácido, la planta de ácido N° 1 con capacidad de tratamiento de 50.000 [Nm³/h], la cual procesa principalmente los gases de los CPS en operación y la planta de ácido N° 2, con capacidad de tratamiento de 80.000 [Nm³/h], la cual procesa principalmente los gases del CT [10].

CAPÍTULO 3: BALANCEADOR METALÚRGICO CONTABLE

3.1 RECONCILIACIÓN DE DATOS

La reconciliación de datos o DR por sus iniciales en inglés, es definida como un sistema para resolver inconsistencias entre las mediciones de la planta y el balance de masa global y de cada equipo.

Esta técnica es usada por diversos motivos, entre los que se pueden mencionar [11]:

- 1- Proporcionar información precisa que permita monitorear y optimizar la operación de las unidades del proceso.
- 2- Ayuda a identificar los orígenes de las pérdidas y sus magnitudes.
- 3- Programar mantenciones de instrumentos.
- 4- Proveer justificaciones económicas y ubicaciones óptimas para nuevos instrumentos.
- 5- Respalda la Contabilidad del Proceso Productivo

La teoría práctica detrás de la reconciliación de datos, consiste primeramente en la construcción de un modelo (software) de balance de masas con las corrientes del proceso. Luego, el software del DR, idealmente debe proveer un “Análisis de Solvencia”, el cual categoriza cada corriente del proceso como redundante, no redundante, solucionable y no solucionable, las que se describen como:

- Corriente Redundante: Corriente medida cuyo flujo puede ser calculado por más de una forma. Deben fallar al menos dos medidores para que la corriente sea no solucionable.
- Corriente No Redundante: Corriente medida cuyo flujo puede ser calculado por solo una vía. Si el medidor falla, la corriente se vuelve no solucionable.
- Corriente Solucionable: Cualquier corriente cuyo flujo es posible de calcular.

- Corriente No Solucionable: Cualquier corriente cuyo flujo es imposible de calcular.

Luego del análisis de solvencia se le asigna una tolerancia o error a cada corriente de flujo medida, que depende de la calidad de su medición. Esta tolerancia es el rango donde una medición puede ser razonablemente ajustada, para corregir el balance de masas. Está relacionada con la precisión de la medición y depende de muchos factores como:

1. Tipo de medidor.
2. La viscosidad y limpieza del flujo medido.
3. El porcentaje de rango donde opera un medidor (la precisión de un instrumento disminuye cuando se está trabajando cerca del 0% o 100% de su rango).
4. Tiempo desde la última calibración del medidor.
5. Proximidad de las condiciones de trabajo a las condiciones de diseño.
6. El diseño del Muestreo de Materiales.
7. La Preparación de las Muestras para análisis Químico.
8. El Análisis químico propiamente tal.

El paso final de la reconciliación de datos, es ajustar simultáneamente cada una de las mediciones de las corrientes de flujo dentro de la tolerancia asignada, de manera que se cumpla el balance de masa del proceso entero y de cada una de sus partes con el mínimo ajuste posible. Además del balance de masa total, generalmente también se reconcilian componentes dentro de las corrientes.

3.2 ANTECEDENTES BALANCEADOR TRADICIONAL

El Balance Metalúrgico Contable tiene dos finalidades. La primera es la de proveer información sobre entradas, salidas y existencias de los materiales, de las fronteras globales de la Fundición, con fines contables y legislativos (emisiones). La segunda es la de proveer información específica del balance de materiales, de los procesos internos de la Fundición (equipos, acopios y similares).

El software del balanceador considera cada acopio y equipo como un nodo específico, por lo cual se requiere determinar los flujos entrantes y salientes de todos los nodos, junto con sus composiciones. Una parte de la información requerida para este balance, es de carácter estimativo, y puede contener errores de medición, basados en la apreciación del observador.

Para realizar una verificación suficiente, eficiente y ordenada de los puntos de muestreo involucrados en el balance, se procedió a delimitar el sistema y sus partes. La definición de los elementos involucrados, se expone a continuación [12]:

Materiales: Son las especies involucrados en este proyecto, es decir, cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag), azufre (S) y arsénico (As).

Nodo: Se define como el espacio físico, donde entran y/o salen flujos de materiales, y que además, puede poseer existencias.

Flujo: Movimiento de material, que entra y/o sale de un nodo. Si incrementa las existencias del nodo, se define como flujo de entrada a ese nodo. Si disminuye las existencias, se define como de salida de ese nodo. Un flujo interno, sale de un nodo y entra a otro.

Existencias: Material en vías de procesamiento o venta, que pueden estar almacenados en un nodo.

Ecuación de balance:

$$0 = Entradas - Salidas + (Inventario\ final - Inventario\ inicial) - Pérdidas - Emisiones$$

En la Figura 3.1 se muestra una representación simplificada de las corrientes de entrada y salida de la F.H.V.L., junto con sus nodos internos.

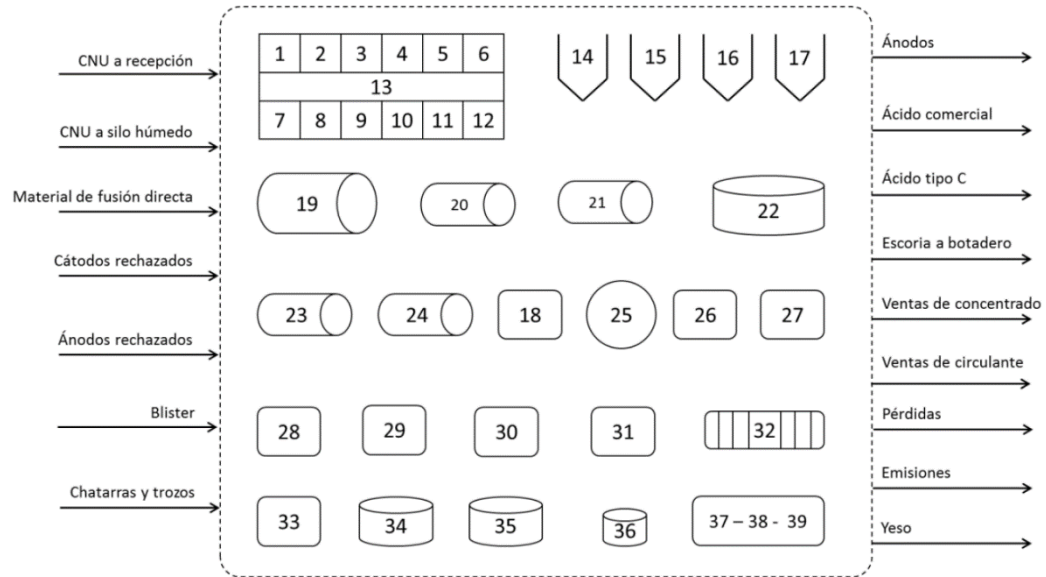


FIGURA 3.1 VISTA SIMPLIFICADA DE NODOS DE LA FUNDICIÓN Y CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA

Nodos que pueden contener existencias:

TABLA 3 NODOS QUE PUEDEN CONTENER EXISTENCIAS

Nº Nodo	Equipo
1	Tolvas de recepción de material 1
2	Tolvas de recepción de material 2
3	Tolvas de recepción de material 3
4	Tolvas de recepción de material 4
5	Tolvas de recepción de material 5
6	Tolvas de recepción de material 6
7	Tolvas de recepción de material 7

8	Tolvas de recepción de material 8
9	Tolvas de recepción de material 9
10	Tolvas de recepción de material 10
11	Tolvas de recepción de material 11
12	Tolvas de recepción de material 12
13	Tolva de mezcla
14	Silos de sector RAM 13
15	Silos de sector RAM 14
16	Silos de sector RAM 15
17	Silos de sector RAM 16
18	Piso nave
19	Convertidor teniente
20	Convertidor Pierce Smith N°2
21	Convertidor Pierce Smith N°3
22	Horno eléctrico de limpieza de escorias
23	Horno de retención
24	Horno de refinado a fuego
25	Rueda de moldeo
26	Canchas de polvos
27	Canchas de circulantes
28	Cancha de escoria anódica en chancado
29	Cancha de mazamorra en chancado
30	Cancha de escoria CT en chancado
31	Escoria anódica enfriando
32	Cancha de ánodos
33	Planta de tratamiento de efluentes
34	Estanque de ácido comercial N°1
35	Estanque de ácido comercial N°2
36	Estanque de ácido tipo C
37	Canales de cobre

38	Placas de cobre
39	Moldes de cobre

Cabe destacar que el balanceador tradicional permite ajustar el balance de la Fundición en cuanto a Peso Seco y Finos de Cu, Ag y Au, minimizando las diferencias entre cantidades medidas y aquellas ajustadas que cumplen la ley de conservación de la materia. El balanceador realiza el ajuste para las corrientes de entrada y salida, en conjunto con los inventarios, mediante técnicas matemáticas de reconciliación de datos, que toman en consideración los errores de medición de las variables, expresados como factores de calidad, e incorpora factores de pérdidas en el sistema expresados como porcentaje de las corrientes de entrada.

3.3 MÉTODO DE RESOLUCIÓN BALANCEADOR PROPUESTO

A continuación se presentan algunas definiciones básicas para facilitar el entendimiento de la metodología de cálculo del balanceador:

- **Error Absoluto:** Es la diferencia entre el valor medido y el valor tomado como real. Puede ser positivo o negativo, según si el valor medido es superior o inferior al valor real. El error absoluto tiene la misma unidad del valor medido.
- **Error Relativo:** Es el cociente entre el error absoluto y el valor real. Si se multiplica por 100 se obtiene en porcentaje de error.
- **Factor de Calidad:** El factor de calidad es una función del error relativo asociado a las mediciones realizadas del proceso. Es una medida del costo que tiene que ajustar el valor medido, para que el balance de materiales cumpla con el principio de conservación de la materia. Los factores de

calidad entran en juego en la definición de la función de reconciliación, que se define como la suma ponderada de las diferencias cuadráticas entre las mediciones y sus valores ajustados.

- **Pérdidas Metalúrgicas:** Las pérdidas metalúrgicas son flujos de salida de material, que no son captados por ningún sensor. Pueden ser explicadas por ejemplo, por mermas en el manejo de material con contenidos de elementos valiosos. En vista de su naturaleza incuantificable de manera directa, son razonablemente, una función de la cantidad de material en los flujos de ingreso.
- **Términos de Diferencia Ponderados:** Los términos de diferencia ponderados componen la función objetivo de la reconciliación. Matemáticamente, se representan por la diferencia cuadrática entre una cantidad medida y su respectivo valor ajustado, ponderados por un factor de peso, que modula el costo de modificar una cantidad medida para cumplir con las restricciones de conservación de la materia, asociada al balance. La ecuación 3.1 expone el término en cuestión.

$$D_i = \frac{P_i * (x_{i,m} - x_{i,a})^2}{x_{i,m}^2} \quad (3.1)$$

Donde,

i : Corresponde a una corriente del proceso.

x_i : Representa la cantidad física de la corriente i , a la cual se le está realizando el ajuste. Si al subíndice lo acompaña el término “ m ”, esta corresponde a la cantidad física medida directamente o estimada a partir de mediciones indirectas. Por otro

lado, si al subíndice lo acompaña el término “ a ”, entonces corresponde a la variable que modificará el problema de reconciliación para cumplir los balances de materia.

P_i : Representa el factor de calidad

D_i : Representa la función objetivo del proceso de reconciliación.

La suma de D_i sobre todos los flujos medidos, define la función a minimizar del proceso de reconciliación. Cada uno de los sumandos tiene: un término variable que corresponde al cuadrado entre el valor medido y el ajustado $(x_{i,m} - x_{i,a})^2$, una constante de escalamiento en el numerador que permite adimensionalizar la suma de los términos, y el término, denominado factor de calidad, que da cuenta de la preferencia de ajuste de una determinada medida con respecto al resto.

El factor de calidad P_i , asigna un costo a la modificación de una medición de acuerdo al error inherente en su determinación. Es decir, da prioridad a ajustar en mayor magnitud a las mediciones con menor precisión, y en menor magnitud las mediciones con mayor precisión. Matemáticamente está dado por:

$$P_i = \frac{k}{E_i^2} \quad (3.2)$$

En la ecuación 3.2 el término k es un valor común para todos los flujos, que escala los factores de calidad a magnitudes manejables, mientras que es denominado error escalado de la medición i (error relativo).

De la ecuación 3.2 se infiere que P_i , es proporcional al inverso del cuadrado del error. Esto implica que el ajuste de aquellas variables que fueron medidas con más precisión (error bajo), se penalizará de manera potencial con respecto a las medidas menos confiables. En el anexo 1 se muestra un ejemplo con 1 nodo y 4 corrientes.

3.3.1 FACTORES DE CALIDAD

Los factores de calidad son función directa del error asociado a cada medición. Sin embargo, el problema de reconciliación se plantea a aquellas variables que cumplen las leyes de conservación, es decir, masa de finos y masa seca total. Estas cantidades se estiman a partir de una serie de cálculos algebraicos de las variables medidas. Por ejemplo, el flujo seco total corresponde a una multiplicación entre la variable medida “peso total húmedo” y el complemento de la variable medida, “humedad”. Una situación análoga se puede indicar para el flujo de finos, donde adicionalmente está involucrada la ley del elemento. Considerando lo anterior, la determinación de los errores de medición de $x_{i,m}$, debe incluir un cálculo de propagación del error de las mediciones originales. En Anexo 2 se resumen los elementos utilizados en esta determinación, utilizando la teoría de la propagación de los errores más probables.

Tipificación del error y relación con el factor de calidad:

Los sistemas de balances contables de faenas similares, utilizan una categorización discreta de los factores de calidad en función del rango de las incertezas (precisión) asociadas a cada medición. Dicha estrategia ha demostrado ser eficaz para una reconciliación adecuada, además de permitir ingresar características de nuevos flujos y nodos de manera simple y eficiente. La Tabla 4 muestra un ejemplo de dicha tipificación.

TABLA 4 FACTOR DE CALIDAD SEGÚN ERROR DE MEDICIÓN

Error [%]	Factor de Calidad
0,01 o menor	100.000.000
1	10.000
5	400
25	16
50	4
100 o más	1

La relación cuadrática expuesta en la Tabla 4, tiene la ventaja de penalizar fuertemente el incremento en el error, asignando una movilidad considerablemente mayor a las cantidades más inciertas. Se puede observar que una medición con el doble de error que otra, tiene un factor de calidad 4 veces menor, mientras que una que tiene error 4 veces mayor que otra, tiene factor de calidad 16 veces menor. Así, por ejemplo, en la Tabla 4 las cantidades con 1%, 5% y 25% de error, presentan factores de calidad 10.000, 400 y 16 respectivamente. Aquella correspondencia entre factor de calidad y porcentaje de error, ha demostrado ser la opción más adecuada, en sistemas de reconciliación de plantas similares.

De la Tabla 4 se aprecia que en lugar de utilizar la función de manera continua para calcular el factor de calidad de cada corriente, se optó por clasificar las corrientes dentro de rangos, según la exactitud de cada medición, para asignarles un factor de calidad, de esta forma se reduce la complejidad de los cálculos que debe hacer el reconciliador, sin que esto implique peores resultados de los que tendría en el caso contrario.

Particularidades de los factores de calidad:

Dentro de las variables a ajustar, se encuentran las existencias iniciales y finales de los nodos. Puesto que el objetivo de la reconciliación, es cumplir con el principio de conservación de la materia mensualmente, dichas variables deben modificarse hasta que el balance de masa se cumpla para todos los nodos y todos los componentes. Sin embargo, para un determinado nodo, el inventario final ajustado en el mes anterior (que cumplía el balance de materia en ese momento), corresponderá al inventario inicial del mismo nodo en el mes actual. Esto implica que si se ajusta nuevamente se producirá un descuadre en el balance correspondiente del mes anterior.

Para evitar este inconveniente, los inventarios iniciales de los nodos obtenidos a partir de inventarios finales reconciliados de periodos anteriores, son clasificados con el error relativo menor, y por lo tanto un factor de calidad máximo, que asegura mantener la consistencia de balances anteriores.

Los flujos parciales de materiales de interés, como oro, plata y cobre, que entran y salen de la planta, son determinados con procedimientos rigurosos, de revisión periódica efectiva. Esto es necesario, dado que están asociados a transacciones comerciales cerradas. En la eventualidad que el flujo parcial de un material valioso debiera ser corregido, la transacción comercial asociada debería ser reversada, generando un posible problema contable. Por ello, los procedimientos de cuantificación de dichos materiales, apuntan a tener el menor error posible en su determinación, como consecuencia, y por definición, son ponderados con el factor de calidad de la tipificación más alta.

3.3.2 ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES DEL RECONCILIADOR DE DATOS

La reconciliación de datos propuesta se basa en la resolución de un problema de optimización, mediante el método de Lagrange, sujeto a restricciones lineales. La reconciliación de datos corresponde al ajuste de medidas de proceso con el objetivo de corregir errores de medición. Se define como el siguiente problema de optimización: encontrar un conjunto de variables (denominadas ajustadas), que minimicen su diferencia con respecto a las mediciones y que cumplan con las ecuaciones de balance de una o más propiedades conservativas.

La lógica que sigue el ajuste es la de utilizar las mediciones de las que se tiene mayor certeza, para consolidar, modificando las mediciones que pudieran contener incertidumbres, por su difícil cuantificación.

Visto de forma secuencial, el balance tiene tres etapas, una vez obtenidas las mediciones del proceso e ingresadas al programa, se lleva a cabo la primera etapa,

donde se produce la reconciliación de cobre, oro y plata, las cuales son independientes unas de otras. A esta etapa se le denomina “reconciliación de finos”.

Luego de terminar la reconciliación de finos, la segunda etapa es la reconciliación de pesos, pero debido al ajuste de los finos, el punto de partida de los pesos se recalcula en base a los finos ajustados y las leyes base de la siguiente forma, obteniéndose el denominado peso seco híbrido:

$$\text{Peso seco híbrido} = \frac{\text{Fino ajustado preponderante}}{\text{Ley base preponderante}} \quad (3.3)$$

La ley base es la que se obtiene a partir del peso seco y los finos antes de ser ajustados.

Luego de finalizar la segunda etapa, se recalcula la ley de cada fino para todas las corrientes, obteniendo la ley ajustada según la siguiente fórmula:

$$\text{Ley ajustada} = \frac{\text{Fino ajustado}}{\text{Peso seco híbrido ajustado}} \quad (3.4)$$

La tercera etapa, y final, es el cálculo de emisiones de azufre y arsénico. Siendo las emisiones lo que ingresó al proceso, que no fue capturado como producto o subproducto, y que no está en vías de ser procesado tampoco. El contenido de azufre y arsénico de cada flujo y existencia, se obtiene de aplicar las mediciones porcentuales de dichos contenidos, a los pesos secos reconciliados, resultantes de la etapa 2. La emisión de azufre y arsénico se calcula nodo a nodo, con el balance de materia según la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \sum \text{Flujos de salida} - \sum \text{Flujos de entrada} - \Delta \text{Inventario} \quad (3.5)$$

Las emisiones totales de la F.H.V.L. son la suma de las emisiones de cada nodo.

En el siguiente esquema se resumen las etapas del proceso de reconciliación y cálculo de emisiones.

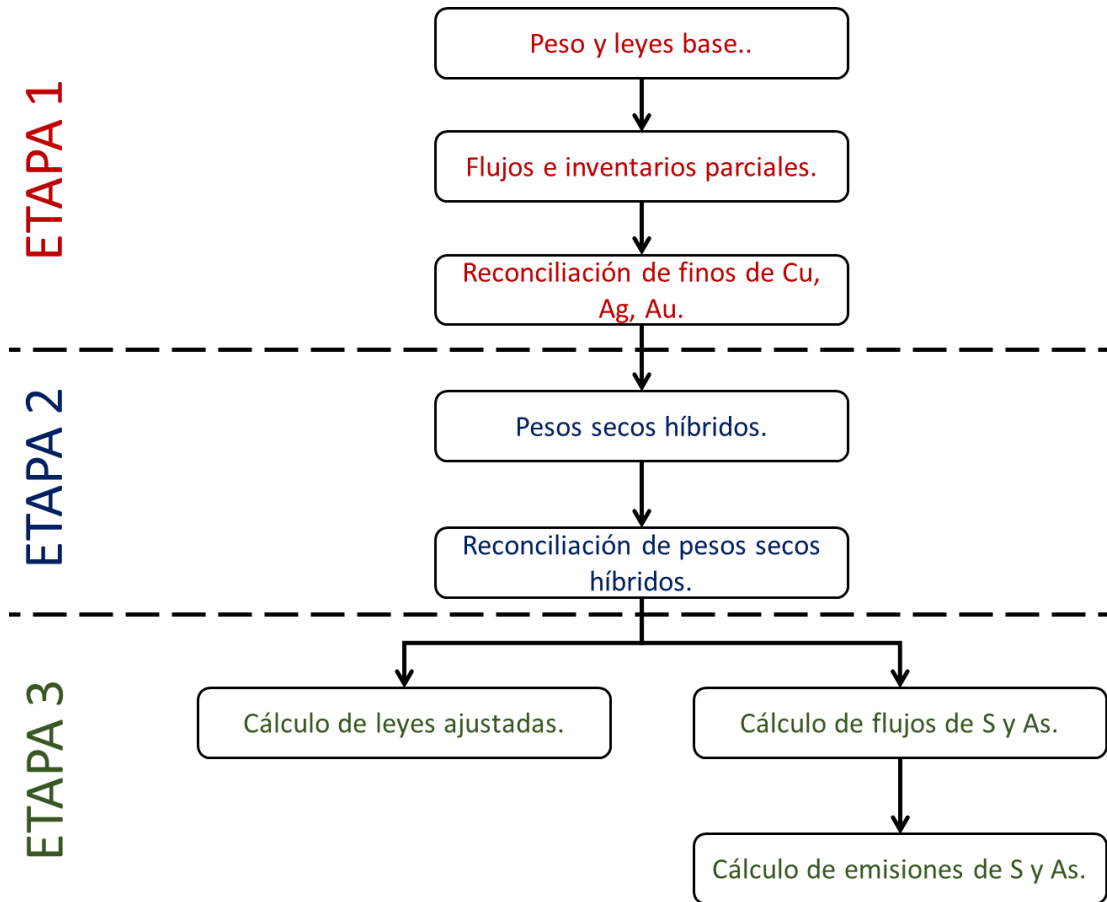


FIGURA 3.2 ETAPAS DEL RECONCILIADOR

3.3.3 PLANTEAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROBLEMA

El balance mensual, involucra cuatro reconciliaciones, de cobre, oro, plata y pesos secos híbridos. Cada reconciliación constituye un problema de optimización sujeto a restricciones, que realiza las modificaciones mínimas para cumplir con el principio de conservación de la materia.

La función objetivo, en conjunto con las restricciones de igualdad, constituyen un problema convexo, es decir, con solución única y asegurada. El método de los multiplicadores de Lagrange fue seleccionado para relacionar la función objetivo con

las restricciones de igualdad. Por otro lado la minimización en sí, se obtiene a través de su resolución algebraica. Esta estrategia, computacionalmente más costosa que los métodos basados en el gradiente, resulta ser más adecuada, por su mayor robustez a la inestabilidad numérica.

Para plantear el algoritmo de resolución del nuevo balanceador, primero se deben definir los siguientes elementos, para cada componente:

Vectores:

$F_a = [F_{1,a}, \dots, F_{N_F,a}]^T$: Vector de flujos ajustados.

$F_m = [F_{1,m}, \dots, F_{N_F,m}]^T$: Vector de flujos medidos.

$I_a^{in} = [I_{1,a}^{in}, \dots, I_{N_F,a}^{in}]^T$: Vector de inventarios iniciales ajustados.

$I_m^{in} = [I_{1,m}^{in}, \dots, I_{N_F,m}^{in}]^T$: Vector de inventarios iniciales medidos.

$I_a^{out} = [I_{1,a}^{out}, \dots, I_{N_F,a}^{out}]^T$: Vector de inventarios finales ajustados.

$I_m^{out} = [I_{1,m}^{out}, \dots, I_{N_F,m}^{out}]^T$: Vector de inventarios finales medidos.

Matrices:

A : Matriz de incidencias de flujos en nodos, donde a_{ij} toma valor 1, -1 o 0, dependiendo si el flujo entra, sale o no participa en el nodo respectivamente.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1N_F} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N_I1} & \cdots & a_{N_I N_F} \end{bmatrix}$$

B^I : Matriz de incidencias de inventarios iniciales en nodos, donde b_{ij}^I toma valor 1 o 0, dependiendo si el inventario inicial corresponde o no al nodo.

$$B^I = \begin{bmatrix} b_{11}^I & \cdots & b_{1N_I,in}^I \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N_N1}^I & \cdots & b_{N_N N_I,in}^I \end{bmatrix}$$

B^0 : Matriz de incidencias de inventarios finales en nodos, donde b_{ij}^0 toma valor -1 o 0, dependiendo si el inventario final corresponde o no al nodo.

$$B^0 = \begin{bmatrix} b_{11}^0 & \cdots & b_{1N_I,out}^0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N_N1}^0 & \cdots & b_{N_N N_I,out}^0 \end{bmatrix}$$

FP_F : Matriz de factores de ponderación de Flujos, en cuya diagonal se encuentran los factores de ponderación de los flujos.

$$FP_F = \begin{bmatrix} \frac{FC_{F,1}}{F_1^{m^2}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{FC_{F,N_F}}{F_{N_F}^{m^2}} \end{bmatrix}$$

$FP_{I,in}, FP_{I,out}$: Matriz de factores de ponderación de inventarios iniciales y finales, en cuya diagonal se encuentran los factores de ponderación de los inventarios.

$$FP_{I,in} = \begin{bmatrix} \frac{FC_{I,in,1}}{I_{in,1}^{m^2}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{FC_{I,in,N_I,in}}{I_{in,N_I,in}^{m^2}} \end{bmatrix}$$

$$FP_{I,out} = \begin{bmatrix} \frac{FC_{I,out,1}}{I_{out,1}^{m^2}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{FC_{I,out,N_I,out}}{I_{out,N_I,out}^{m^2}} \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones matriciales que permite resolver el problema de reconciliación para cada componente queda representado por la ecuación 3.6:

$$\begin{bmatrix} 2FP_F & 0 & 0 & A^T \\ 0 & FP_{I,in} & 0 & B^{IT} \\ 0 & 0 & FP_{I,out} & -B^{0T} \\ A & B^I & -B^0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ I_a^{in} \\ I_a^{out} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2FP_F F_m \\ FP_{I,in} I_m^{in} \\ FP_{I,out} I_m^{out} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Donde λ representa los multiplicadores de Lagrange.

La ecuación 3.6 es del tipo $Mx = N$, donde x es la matriz que se busca obtener sus valores, los que se obtienen despejándola de la siguiente forma:

$$x = NM^{-1} \quad (3.7)$$

En el Anexo 3 se muestra un ejemplo considerando todas las etapas de la reconciliación, para 2 nodos y 6 flujos.

Es importante mencionar dos limitaciones matemáticas importantes. La primera es que los factores de calidad deben ser cantidades positivas, mayores que cero. La segunda es que las cantidades medidas iguales a cero, causan inconsistencia matemática. Por un lado, los factores de calidad fueron definidos mayores que 1. Por otro lado, no hay incerteza en flujos y existencias con 0 masa. Si el sistema detecta un flujo o existencia con masa 0, no representa un problema, pues lo detectará y no lo modificará. Ambas limitaciones matemáticas, están cubiertas de esa forma.

3.4 LIMITACIONES BALANCEADOR TRADICIONAL

El software del balanceador tradicional colecta datos de flujos y existencias de materiales para realizar la reconciliación del balance de masa de finos de cobre, oro, plata y pesos secos. Esto es necesario, dada la naturaleza incierta que suele asociarse a toda medición y estimación de cantidades transferidas o almacenadas.

Pese a que el balanceador tradicional reconcilia efectivamente el balance de materiales, presenta algunas limitaciones. Una de ellas es que se elaboró con la arquitectura de los computadores de varias décadas atrás, por lo tanto presenta problemas de compatibilidad con los sistemas computacionales actuales. Por causa de aquello, no tiene compatibilidad con el uso del ratón de computador, y en algunas interfaces, no funcionan las teclas del teclado.

Por la manera en que están constituidas las interfaces, el número de flujos máximos de entrada o salida que se pueden asignar a cada nodo, están limitados a 16. En la práctica, existen varios nodos que requieren estar asociados a más de 16 flujos de entrada o salida. Causando la necesidad de generar “nodos suma”, que tienen la única función de agrupar varios flujos en uno solo, para no superar el número de flujos máximos asociados a cada nodo. Cabe destacar que los nodos suma, no presentan existencias al inicio ni al final de cada período.

Al momento de la implementación del balanceador tradicional en la F.H.V.L, el equipo de fundición era un Horno Reverbero, en la actualidad el equipo de fundición que se utiliza es un Convertidor Teniente, sin embargo, los criterios para estimar las pérdidas y los factores de calidad no han sido actualizados, por lo que es muy probable que las pérdidas metalúrgicas y la generación de polvos esté siendo sobrestimada, lo que junto con factores de calidad desactualizados, pueden llegar a generar resultados que se alejan de la realidad.

El balanceador tradicional no considera ninguna corriente gaseosa que ingrese ni salga de los equipos, con lo que se produce un desbalance de varias toneladas mensuales para el caso del CT, donde una gran parte del oxígeno inyectado en forma de aire enriquecido, pasa a formar parte de la escoria. Lo mismo ocurre en los CPS pero en menor magnitud.

Algo que no representa una limitación propia del balanceador tradicional, pero es deseable, como producto del balance de materiales, es obtener además el cálculo de emisiones de azufre y arsénico. La metodología actual de cálculo de emisiones es aplicar los porcentajes medidos de aquellos dos elementos, a los pesos secos reconciliados de flujos y existencias. Actualmente, el balanceador tradicional no cuenta con la opción de ingresar los contenidos de azufre y arsénico necesarios para el cálculo de emisiones, así que esta tarea debe ser llevada a cabo de manera manual y posterior al balance.

Otra de las cosas que no representa una limitación propia del balanceador tradicional, pero sería deseable incluir, son criterios fenomenológicos y alertas para las situaciones especiales, donde los resultados cumplen con el balance de masa pero no representan la realidad del proceso, por lo que deben ser corregidos manualmente desde el balance consolidado alterando los balances de masa.

Todas las limitaciones expuestas, tienen como consecuencia una mayor demanda de tiempo para completar el balance metalúrgico-contable y cálculo de emisiones mes a mes, junto con resultados de menor calidad de los que se podrían tener.

3.5 CAMBIOS MÁS SIGNIFICATIVOS DEL BALANCEADOR

Existen cambios significativos, en diversos aspectos, entre el balanceador tradicional y el balanceador propuesto. Desde el punto de vista de la arquitectura, el balanceador propuesto corre sobre un sistema de 64bits, elaborado para ser visualizado desde cualquier navegador de internet, pues, está basado en web. Esto asegura compatibilidad con sistemas futuros. Auxiliariamente, tiene una API que realiza los cálculos complejos, en una capa inferior de procesamiento.

A diferencia del balanceador tradicional, el balanceador propuesto permite el uso de ratón de computador, lo que de por sí, puede agilizar su utilización. Pero más significativo que eso, es el hecho que trabaja sobre una base de datos SQL, permitiéndole coleccionar datos automáticamente, si es que se le entregan los parámetros necesarios para hacerlo. De igual forma, los resultados del balance, pueden ser consultados por otras bases de datos SQL.

Con la arquitectura actual, al balanceador tradicional, se le deben ingresar los flujos y existencias parciales de cobre, oro, plata y peso seco. Aquellas cantidades parciales, hay que calcularlas en una etapa adicional, pues, los datos son obtenidos del sistema como peso total, humedad y contenido porcentual de los elementos. El balanceador propuesto, trabaja directamente con los pesos totales y contenidos porcentuales, ahorrando inmediatamente esa etapa intermedia.

En el balanceador propuesto, no existe un límite máximo de flujos de entrada y/o salida que pueden asociarse a un determinado nodo, haciendo innecesario el uso de nodos suma y otras estrategias auxiliares, para poder cumplir con las necesidades del proceso. Tampoco existe un número máximo de flujos ni nodos que puedan ser creados.

Se programó en el balanceador propuesto una configuración de tiempo cero, la que permite reiniciar todos los flujos, nodos, factores de calidad y asociaciones, en caso que sea necesaria revertir alguna modificación.

El balanceador propuesto permite el ingreso de cantidades que no contengan cobre, oro, ni plata. En cuyo caso, el peso seco híbrido es directamente el peso seco medido. Esto hace posible la inclusión de flujos que puede hacer más exacto el balance, como lo son los de inyección de oxígeno por toberas y gases de salida del convertidor. Lo mismo para otros flujos que, aunque minoritarios, pueden aportar representatividad al balance.

El balanceador propuesto está preparado para que le sean ingresados los contenidos de azufre y arsénico, permitiéndole calcular las emisiones de ambos materiales en conjunto con la reconciliación de finos y secos. Eso representa la reducción inmediata de dos procesos que consumían un tiempo significativo, el cálculo de emisiones de azufre y el cálculo de emisiones de arsénico.

El balanceador tradicional requiere de usuario y contraseña para visualizar o modificar los datos del balance. El balanceador propuesto reconoce distintos perfiles, cada uno con contraseñas aparte. Así, es posible dar acceso diferenciado a distintos usuarios. Pueden existir usuarios con privilegios para visualizar solamente, otros usuarios para ingresar datos, y otros para realizar cambios totales, como de configuración, del sistema.

CAPÍTULO 4: RECONCILIACIÓN DEL CONVERTIDOR TENIENTE

4.1 CONVERTIDOR TENIENTE

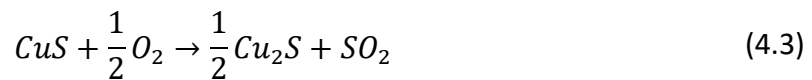
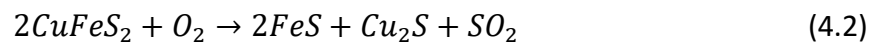
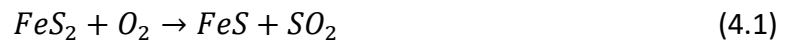
Se puede decir que el equipo más importante de toda Fundición es el equipo de fusión. En el caso de la F.H.V.L. este equipo es el Convertidor Teniente.

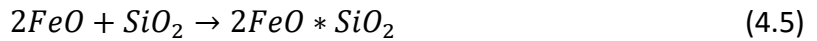
Debido a su importancia, se determinó que como primer intento de buscar mejoras para el balanceador propuesto, una alternativa es concentrarse en el CT, en las reacciones químicas más importantes que ocurren en su interior, y principalmente en el balance de masa de este.

De esta forma se pueden agregar algunos criterios fenomenológicos al reconciliador de datos, de manera que los resultados entregados sean de mejor calidad.

4.2 REACCIONES QUÍMICAS

Se consideraron las 6 reacciones químicas principales del proceso de fusión para el reconciliador CT, las que se muestran a continuación, en el orden aproximado en que ocurren.





Al analizar estas reacciones, es posible obtener correlaciones entre la ley del metal blanco y el coeficiente de oxígeno. Dicha información se puede incluir en el reconciliador del CT para detectar resultados que son fenomenológicamente inverosímiles, y corregirlos.

4.3 MINERALOGÍA DEL CONCENTRADO

Las correlaciones que se obtengan a partir de la secuencia de reacciones químicas mencionadas en el punto anterior, dependen directamente de la mineralogía del concentrado.

Debido al carácter de este estudio y a la dificultad de obtener las mineralogías reales usadas en la F.H.V.L., se consideraron 3 tipos de concentrados a modo de demostrar la importancia de conocer la mineralogía del concentrado, para que las correlaciones que se vayan a usar tengan validez o se aproximen lo más posible a la realidad.

En la Tabla 5 se puede ver la composición de cada mineralogía.

TABLA 5 COMPOSICIÓN POR MINERALOGÍA

	Min 1	Min 2	Min 3
Calcopirita	22%	12%	40%
Calcosina	24%	21%	10%
Covelina	10%	15%	10%
Pirita	32%	40%	30%
Sílice	7%	5%	5%
Bornita	1%	1%	0%
Razón S/Cu	0,99	1,13	1,24

4.4 RESULTADOS DE CORRELACIONES

Al hacer correr las reacciones con las 3 mineralogías, se pueden obtener curvas que representan la ley del metal blanco versus el coeficiente de oxígeno.

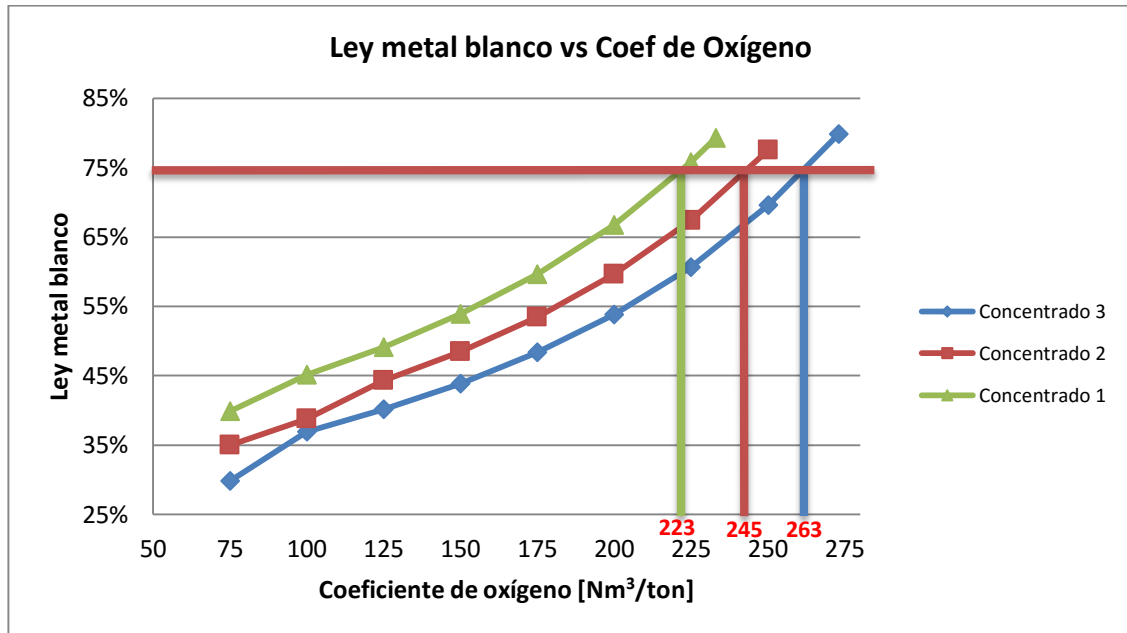


FIGURA 4.1 GRÁFICO DE LEY DE METAL BLANCO VS COEF DE OXÍGENO

Como se puede ver de los gráficos, la mineralogía tiene un enorme impacto en la correlación que se obtiene entre la ley del metal blanco y el coeficiente de oxígeno, por lo que para que dicha correlación sea usada, se debe conocer la mineralogía del concentrado que está siendo alimentado al CT.

4.5 MODELO DEL RECONCILIADOR DEL CONVERTIDOR TENIENTE

Para la construcción de un reconciliador del CT, lo primero que se hizo fue la elaboración de un nodo CT actualizado, ya que el nodo CT antiguo contenía muchas corrientes de entrada, donde muchas no se usaban, y tampoco consideraba corrientes para el oxígeno inyectado ni para los gases de salida, como se puede ver en la Figura 4.2.

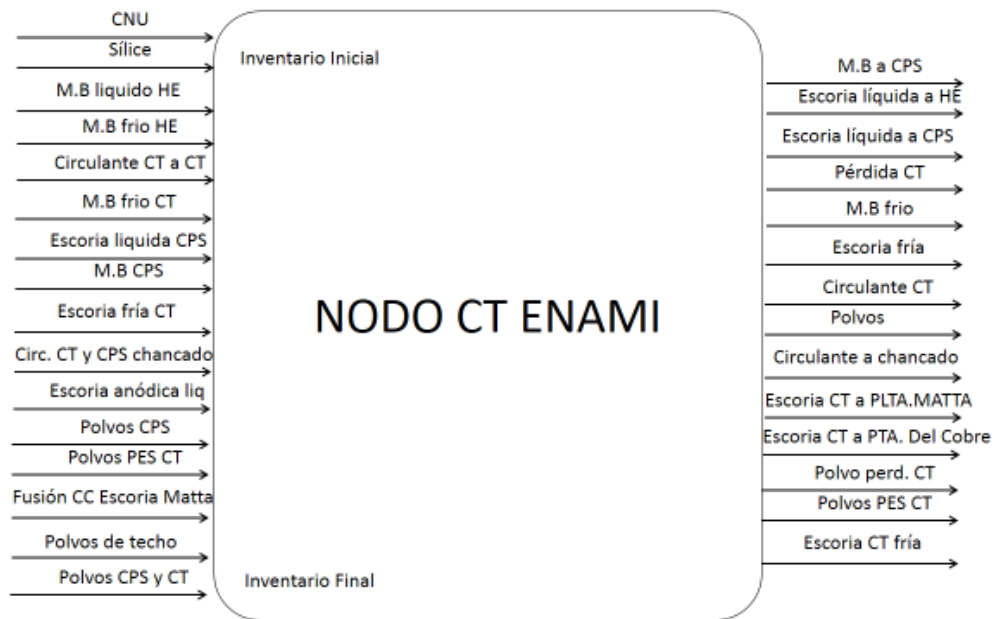


FIGURA 4.2 NODO CT ACTUAL

Luego de analizar datos de la Fundición y ver que solo las corrientes de entrada “CNU”, “Sílice”, “M.B líquido HE”, “M.B frio a CT”, “Circ. CT y CPS chancado”, “Polvos PES CT” y “Polvos CPS y CT” eran usadas, y solo las corrientes de salida, “M.B a CPS”, “Escoria líquida a HE”, “Pérdida CT”, “M.B frio”, “Circulante CT” y “Polvos” eran usadas, el nodo CT actualizado queda de la siguiente forma.

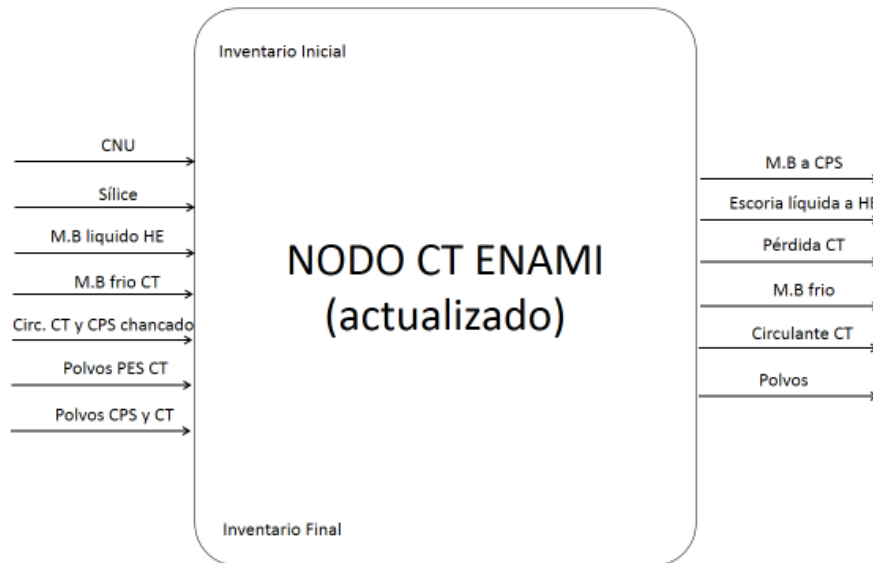


FIGURA 4.3 NODO CT ACTUALIZADO

Finalmente, a partir de la Figura 4.3, que representa el nodo CT actualizado, se elaboró el nuevo nodo CT, donde se agrupan las corrientes de entrada de metal blanco y polvos y las de metal blanco de salida, además de agregar el oxígeno y los gases, tal como se muestra en la Figura 4.4.

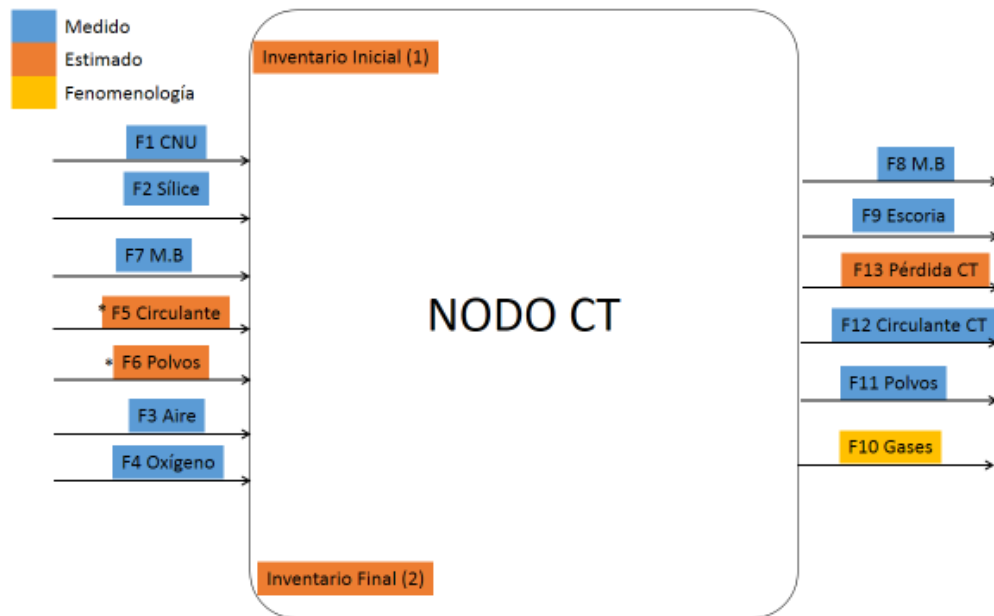


FIGURA 4.4 NODO CT PROPUESTO

Luego de esto, se determinaron los pasos a seguir para reconciliar los datos ingresados, los cuales se explican en el siguiente diagrama.

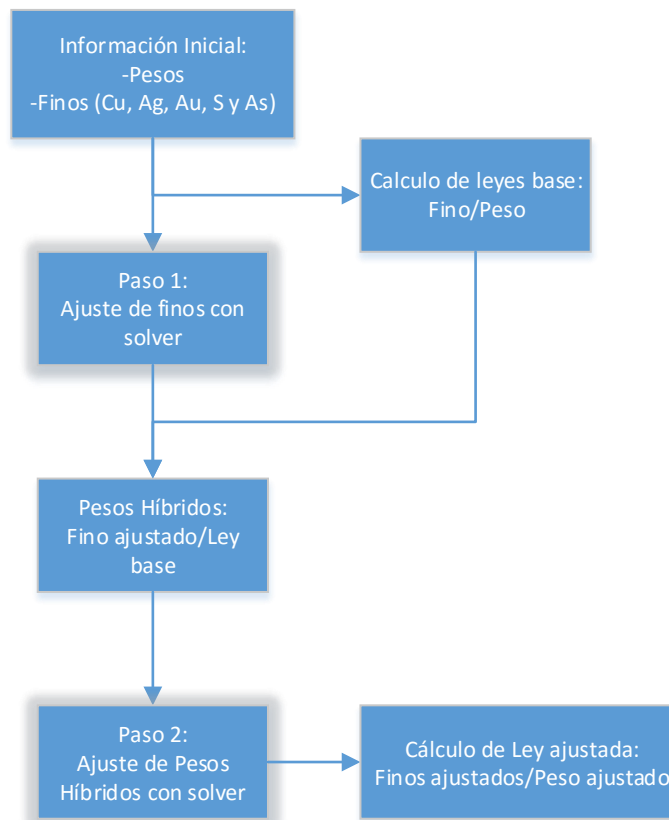


FIGURA 4.5 PASOS PARA RECONCILIACION DE DATOS DEL CT

Cabe destacar que el cálculo de pesos híbridos se hace con respecto a la ley base del fino predominante, para el caso del CT, en la mayoría de los casos este fino es cobre, pero en otras corrientes como el sílice o el oxígeno, no hay finos, por lo tanto en esos casos en particular el peso híbrido es igual al peso inicial.

También es importante mencionar que el paso 1 se realiza 5 veces por flujo, es decir, 1 vez por cada componente, mientras que el paso 2 solo se realiza 1 vez por corriente. Estos son los únicos pasos “manuales” de la reconciliación, ya que los cálculos de las leyes y los pesos se hacen de manera automática a medida que se tenga disponibilidad de los datos.

4.5.1 MÉTODO DE RESOLUCIÓN DE BALANCES CT

El método matemático por el que se rigen la reconciliación de finos y la reconciliación de pesos híbridos es básicamente la misma, y es muy similar al modelo usado por el Balanceador Metalúrgico de la F.H.V.L.

En términos generales, se basa en minimizar el ajuste de cada corriente, ponderado por su factor de calidad, con el objetivo final de cumplir con el balance de masa de los finos y de las corrientes. En términos matemáticos la ecuación es de la siguiente forma, considerando las 13 corrientes de la Figura 4.4.

$$F.O: (Min) = \sum_{i=1}^{13} \frac{(F_{i,m} - F_{i,a})^2}{F_{i,m}^2} * C_i + \sum_{i=1}^2 \frac{(Inv_{i,m} - Inv_{i,a})^2}{Inv_{i,m}^2} * I_i \quad (4.7)$$

S. a:

$$\sum_1^7 F_{i,a} - \sum_8^{13} F_{i,a} + Inv_{1,a} - Inv_{2,a} = 0 \quad (4.8)$$

Donde para el caso del paso 1 y del fino que se esté balanceando:

$F_{i,m}$: Kilogramos en corriente i medidos.

$F_{i,a}$: Kilogramos en corriente i ajustados.

C_i : Factor de calidad en corriente i .

$Inv_{i,m}$: Inventario inicial (1) o final (2) medido.

I_i : Factor de calidad del inventario inicial (1) o final (2).

Lo mismo aplica para el paso 2, solo que en dicho caso, se hace sobre el peso total de cada corriente.

En el paso 1, se hace necesario agregar algunas restricciones extras, debido a la naturaleza de los flujos que se miden, estas restricciones tienen que ver con que

flujos como la sílice o el oxígeno no tienen finos de ningún tipo, ni pueden tener. Por lo tanto las restricciones que se agregan para el paso 1 son:

$$F_2 = 0$$

$$F_3 = 0$$

$$F_4 = 0$$

$$F_{10} = 0$$

Con este balanceador es posible llegar a resultados iguales o muy similares a los del balanceador propuesto, y como se puede ver, cuenta con la misma falencia de estar regido solo por reglas matemáticas y balance de masa, sin tener en consideración relaciones fenomenológicas.

CAPÍTULO 5: MEJORAS PARA EL BALANCEADOR

Como se mencionó en el capítulo 4, luego de la recopilación de los datos de planta por el balanceador, siguen 2 pasos, los que corresponden al ajuste de finos y al ajuste de pesos híbridos, con lo que finalmente se obtiene los finos, pesos secos y leyes ajustadas.

Esto indica que existen 3 instancias para detectar y corregir datos anómalos; al momento del ingreso de los datos, después del ajuste de finos y después del ajuste de pesos híbridos. A estas medidas las llamaremos corrección en primera, segunda y tercera etapa.

5.1 CORRECCIÓN EN PRIMERA ETAPA

Ya que algunos de los datos de entrada al balanceador deben ser ingresados manualmente desde la interfaz, existe la posibilidad de error humano al ingresar los datos.

Por otra parte, en caso de existir alguna mala calibración o falla instrumental, sobre los datos que son registrados de manera automática, estos pueden ser ingresados al balanceador antes que estos sean corregidos. Debido a las posibles fuentes de error al ingresar datos, se debe buscar algún método que permita detectar estos datos poco comunes.

La idea propuesta en este caso es crear una base de datos con las corrientes actuales y analizar los valores ingresados, para de esta forma crear un rango normal para cada valor de entrada. En caso que algún dato que sea ingresado esté fuera de ese rango, este dato debe ser marcado para informar al operario y ver si es producto de una falla, error humano, o una operación en condiciones poco comunes, como puede ser una puesta en marcha.

En ocasiones donde el dato a ingresar tenga una alta variabilidad y por lo tanto, el rango normal sea demasiado amplio, otra opción complementaria es crear grupos de datos relacionados entre sí, para tener más puntos de comparación. Un ejemplo de este último método es relacionar las corrientes de concentrado y fundente.

5.2 CORRECCIÓN EN SEGUNDA ETAPA

Luego del ajuste de finos es el momento más probable en que se generen datos anómalos según la fenomenología, como leyes o pesos totales fuera de lo normal (debido al cálculo del peso híbrido).

Una forma de prevenir estos resultados, es incluir restricciones o rangos aceptados para los finos, los cuales estén basados en correlaciones obtenidas a partir de la fenomenología del CT. Las correlaciones propuestas para este efecto son:

- Ley de metal blanco versus ley de escoria.
- Ley de metal blanco versus coeficiente de oxígeno.

5.3 CORRECCIÓN EN TERCERA ETAPA

La corrección en tercera etapa, consiste en corregir los datos que ya fueron reconciliados, mediante el uso de una base de datos que permita detectar si algún dato está fuera de los parámetros normales de operación, y en caso de que exista algún valor fuera de norma para el CT, corregir dichos valores mediante relaciones fenomenológicas de ser posible, o mediante restricciones blandas que acerquen a estos valores a rangos normales mediante una segunda reconciliación de los pesos secos, esta vez considerando los valores normales promedio como restricciones blandas.

5.4 JUSTIFICACIÓN DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

5.4.1 CONSIDERAR RELACIÓN LEY METAL BLANCO Y LEY ESCORIA

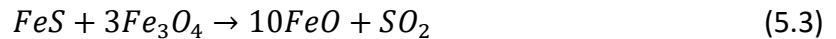
Se ha demostrado que al aumentar la ley del metal blanco (lo que se consigue aumentando la oxidación del hierro), también aumenta la cantidad de cobre disuelto en la escoria, esto se debe a que al aumentar el grado del metal blanco, también aumenta la actividad del Cu_2S , lo que favorece que la reacción 5.1 se desplace hacia la derecha, con lo que aumenta la formación de CuO , el cual es soluble en la escoria [13].



Otra consecuencia del aumento de la ley del metal blanco es el aumento de la formación de magnetita en la escoria según la siguiente reacción no deseada [15]:



Parte de la magnetita reacciona con el FeS del metal blanco, formando burbujas de SO_2 :



La magnetita aumenta la viscosidad de la escoria, con lo que aumenta el atrapamiento físico de metal blanco en ella. Adicionalmente, la generación de burbujas de gas, producto de la reacción 5.3, arrastra consigo partículas de metal blanco hacia la escoria. El impacto de estos efectos se pueden ver representados en la Figura 5.1 [14], la cual muestra resultados de laboratorio, sin embargo el comportamiento es similar en un CT, pero con mayor arrastre de cobre en la escoria.

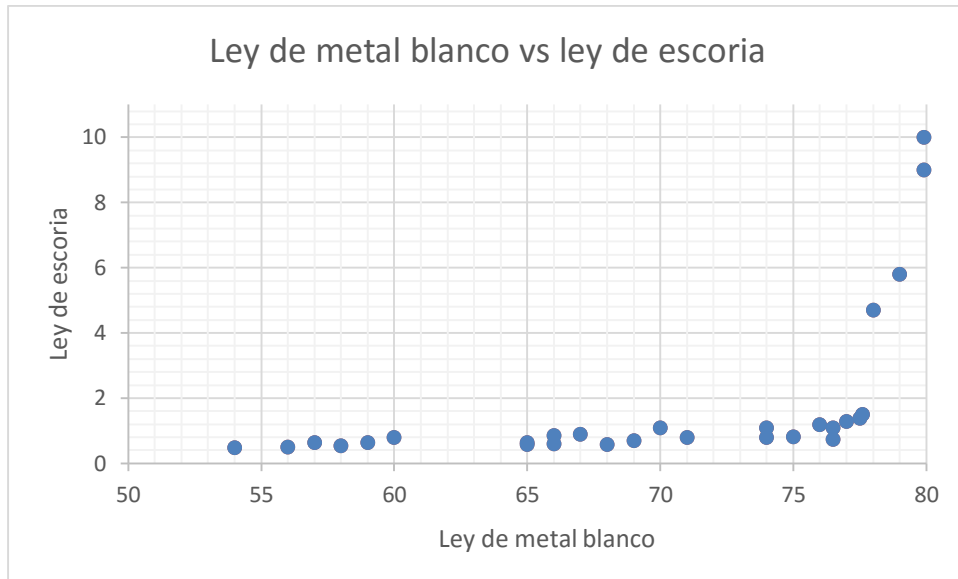


FIGURA 5.1 RELACIÓN ENTRE LEY DE METAL BLANCO Y LEY DE ESCORIA

A partir de estos gráficos, y conociendo el rango de la ley del metal blanco que se busca (alrededor de 73 a 75%), es posible estimar el contenido de cobre de la escoria, dato que se puede agregar como restricción blanda para evitar que el balanceador arroje valores que no tienen sentido, o por lo menos que los marque como tales.

Esta relación se puede utilizar en diversos escenarios, pero debido a que las mediciones que se le hacen al metal blanco son mucho más confiables que las que se realizan a la escoria, se utilizara solo en caso que la ley de cobre de la escoria sea demasiado alta según lo que se esperaría en función de la ley del metal blanco.

5.4.2 CONSIDERAR RELACIÓN LEY METAL BLANCO Y COEFICIENTE DE OXÍGENO

Se sabe que el grado o ley del metal blanco tiene una directa relación con la cantidad de hierro y azufre que se oxidó en el proceso de fusión.

$$Ley_{Cu} = \frac{\text{Cobre puro}}{\text{Masa total metal blanco}} \approx \frac{Cu}{Cu_2S + FeS + \text{otras impurezas}} \quad (5.4)$$

Al agregar oxígeno al metal blanco, el FeS se oxida y pasa a formar FeO, que pasa a formar parte de la escoria al ser menos denso que el metal blanco, y SO₂ que es eliminado como gas.



El oxígeno que se agrega al proceso siempre es el reactivo limitante, ya que se busca minimizar la formación de magnetita, como se muestra en la ecuación 5.2, la cual aumenta el atrapamiento físico de Cu₂S en la escoria.

Debido a lo anterior, el coeficiente de oxígeno, tiene una gran incidencia en la ley del metal blanco, como se puede ver en el gráfico a continuación.

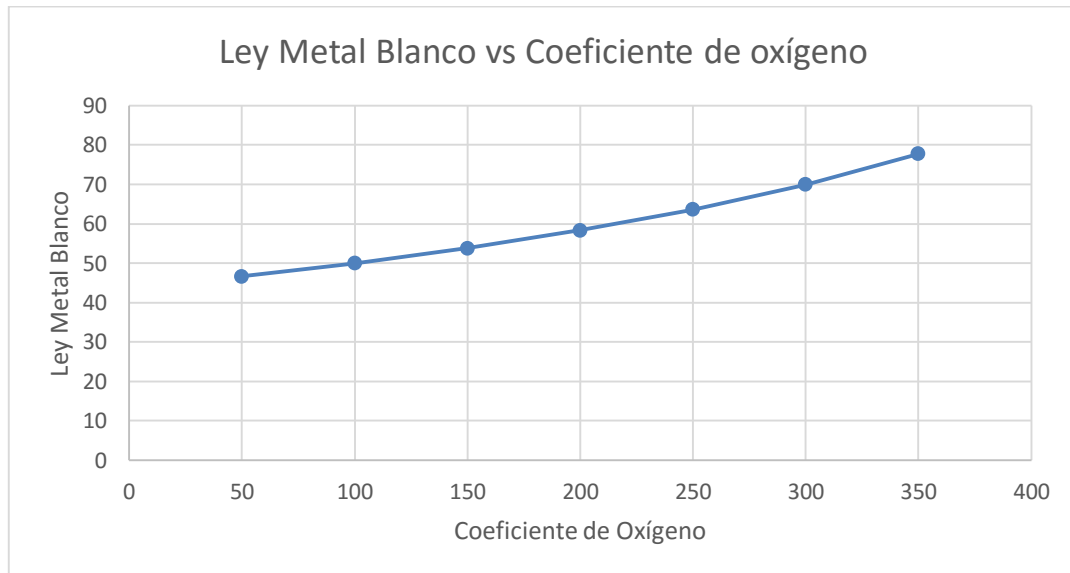


FIGURA 5.2 GRÁFICO DE LEY DE METAL BLANCO VS COEF DE OXÍGENO

Este gráfico se obtuvo con una mineralogía específica, por lo que debe esperarse que la curva pueda tener distinta forma dependiendo de la variación de la mineralogía.

Al igual que el caso anterior, conociendo la mineralogía del concentrado que se quiere fundir, y el coeficiente de oxígeno que se usa, se puede estimar la ley del metal blanco que se obtendrá, lo que puede ser usado como restricción blanda, es decir, no una restricción de igualdad (restricción dura), si no, una que busque minimizar la diferencia, para evitar o marcar la obtención de resultados poco verosímiles.

Esta relación se propone para utilizarse en caso de que la ley del metal blanco medida resulte ser menor a la que se espera según el coeficiente de oxígeno, sin embargo, esta es una relación que depende en gran medida de la mineralogía del concentrado, por consiguiente, esta relación sólo se puede utilizar si se cuenta con una mineralogía bien determinada.

Para las 3 mineralogías propuestas se consideraron los siguientes datos iniciales (todos los valores están en toneladas mensuales):

TABLA 6 DATOS INICIALES LEY METAL BLANCO BAJA SIN CORRIENTES GASEOSAS

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
CNU	25.000	7.000	28%
Sílice	2300	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.300	1.000	43%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
MB	8.500	5.000	59%
Escoria	13.000	1.000	8%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	900	27%
Pérdidas	6.000	35	1%
Inventario inicial	15.00	640	43%
Inventario final	1.600	600	38%
Emisiones As	7,13		

*El valor normal de finos de cobre en el metal blanco es 6.000 t/mes

Al reconciliar finos y pesos secos sin tener en consideración la relación entre el coeficiente de oxígeno y la ley de metal blanco, se obtienen los siguientes resultados.

TABLA 7 RESULTADOS DE TABLA 6 SIN RESTRICCIONES

Corriente	Ajustado				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	24.945,8	-0,2%	6.980,0	-0,3%	28,0%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Oxígeno	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Circulante a CT	2.295,3	-0,2%	998,0	-0,2%	43,5%
Polvos	31,7	-1,0%	13,8	-1,1%	43,7%
MB a CT	12,0	-0,1%	9,0	-0,2%	75,0%
MB	8.519,1	0,2%	5.012,7	0,3%	58,8%
Escoria	9.084,7	-30,1%	1.407,3	40,7%	15,5%
Gases	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31,3%
Circulante	5.714,8	73,2%	1.559,8	73,3%	27,3%
Pérdidas	6.087,2	1,5%	36,0	2,9%	0,6%
Inventario inicial	1.500,0	0,0%	640,0	0,0%	42,7%
Inventario final	1.600,0	0,0%	600,0	0,0%	37,5%
Emisiones As	7,07	-0,8%			

Como se puede ver en la Tabla 7, tanto el peso del metal blanco como los finos de cobre apenas fueron ajustados (0,2% y 0,3% respectivamente), por lo que la ley de esta se mantuvo baja, y para compensar el balance de masa de finos, aumentaron los finos de cobre de la escoria, por lo que la ley de la escoria aumento respecto a los datos iniciales, de 8% a 15%. Estos resultados se deben al elevado factor de calidad de las mediciones del metal blanco y al bajo factor de calidad de la escoria, lo que favorece los ajustes de la escoria.

Al reconciliar finos y pesos teniendo en consideración la relación entre el coeficiente de oxígeno ($250 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$) y la ley de metal blanco, se obtienen los siguientes resultados para cada concentrado:

Concentrado 1:

TABLA 8 RESULTADOS TABLA 6 CON RELACIÓN DEL CONCENTRADO 1

Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.002,6	0,0%	7.000,4	0,0%	28,0%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Oxígeno	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Circulante a CT	2.300,1	0,0%	1.000,0	0,0%	43,5%
Polvos	32,0	0,0%	14,0	0,0%	43,7%
MB a CT	12,0	0,0%	9,0	0,0%	75,0%
MB	7.666,2	-9,8%	6.122,3	22,4%	79,9%
Escoria	12.553,6	-3,4%	992,8	-0,7%	7,9%
Gases	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31,3%
Circulante	3.257,0	-1,3%	888,3	-1,3%	27,3%
Pérdidas	5.990,9	-0,2%	35,0	-0,1%	0,6%
Inventario inicial	1.500,0	0,0%	640,0	0,0%	42,7%
Inventario final	1.600,0	0,0%	600,0	0,0%	37,5%
Emisiones As	7,46	4,7%			

Concentrado 2:

TABLA 9 RESULTADOS TABLA 6 CON RELACIÓN DEL CONCENTRADO 2

Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.002,5	0,0%	7.000,1	0,0%	28%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Oxígeno	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Circulante a CT	2.300,0	0,0%	1.000,0	0,0%	43%
Polvos	32,0	0,0%	14,0	0,0%	44%
MB a CT	12,0	0,0%	9,0	0,0%	75%
MB	8.185,7	-3,7%	6.269,6	25,4%	77%
Escoria	12.414,8	-4,5%	997,5	-0,2%	8%
Gases	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31%
Circulante	3.285,2	-0,4%	896,0	-0,4%	27%
Pérdidas	5.989,2	-0,2%	35,0	0,0%	1%
Inventario inicial	1.640,6	9,4%	700,0	9,4%	43%
Inventario final	1.333,4	-16,7%	500,0	-16,7%	38%
Emisiones As	7,54	5,8%			

Concentrado 3:

TABLA 10 RESULTADOS TABLA 6 CON RELACIÓN DEL CONCENTRADO 3

Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.005,3	0,0%	6.999,9	0,0%	28,0%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Oxígeno	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Circulante a CT	2.300,0	0,0%	1.000,0	0,0%	43,5%
Polvos	32,0	0,1%	14,0	0,0%	43,7%
MB a CT	12,0	0,0%	9,0	0,0%	75,0%
MB	8.693,6	2,3%	6.097,9	22,0%	70,1%
Escoria	11.491,0	-11,6%	1.001,9	0,2%	8,7%
Gases	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31,3%
Circulante	3.310,9	0,3%	903,1	0,3%	27,3%
Pérdidas	5.974,8	-0,4%	35,0	0,0%	0,6%
Inventario inicial	1.500,0	0,0%	640,0	0,0%	42,7%
Inventario final	1.600,0	0,0%	600,0	0,0%	37,5%
Emisiones As	7,52	5,5%			

Al analizar el gráfico de la Figura 4.1 (Ley de metal blanco vs Coeficiente de Oxígeno), se puede ver que se cumple la tendencia mostrada, donde al mismo coeficiente de oxígeno, el Concentrado 1 es el que presenta mayor ley de metal blanco y el Concentrado 3 el que presenta menor ley y que la ley de la escoria es mucho menor que en el caso donde no se usó la relación.

5.4.3 CONSIDERAR TODAS LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y TODAS LAS DE SALIDA

El balanceador tradicional tiene el siguiente esquema para el CT.

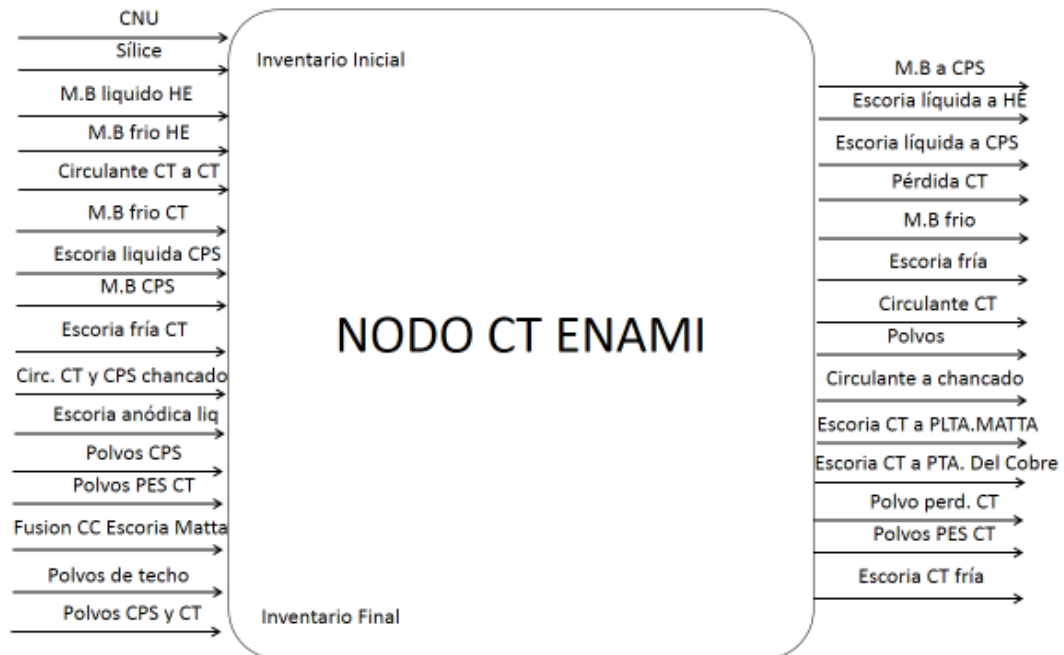


FIGURA 5.3 NODO CT ACTUAL.

Se puede apreciar que no considera el aire enriquecido como una de las corrientes de entrada, cosa que induce a un error permanente, ya que parte del oxígeno que ingresa en ese flujo sale con la escoria, agregando masa a dicho flujo. Esto produce que a pesar que los datos medidos sean correctos, ya que el flujo de escoria tiene más masa de la que el programa espera (debido a no considerar el flujo de aire como entrada), el balanceador fuerza un ajuste de los datos para que se cumpla el balance de masa.

La magnitud del desbalance creado por no considerar las corrientes gaseosas se demuestra a continuación.

Si se asume un consumo de CNU de $25.000 \left[\frac{t}{mes} \right]$, y un coeficiente de oxígeno de $250 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$, eso se traduce aproximadamente en $8.200 \left[\frac{t}{mes} \right]$ de oxígeno, que está

entrando al CT y no se está considerando. Gran parte de este oxígeno sale del CT en forma de SO_2 , corriente que tampoco es considerada como parte de las corrientes de salida, sin embargo, una parte no despreciable (aproximadamente 20%), sale con la escoria, en forma de $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, por lo que al no estar considerando esta corriente a la entrada y si parte de ella a la salida, se produce un desbalance constante de aproximadamente $1.500 \left[\frac{t}{mes} \right]$ extras de oxígeno en la salida.

Por otra parte, al no considerar las corrientes gaseosas, tampoco se considera cuanto azufre sale del CT como gas, sin embargo, dicho azufre si es cuantificado al momento de ingresar al CT, debido a que es parte de los elementos que componen el concentrado, circulante, polvos y metal blanco.

Sabiendo que aproximadamente el 80% del oxígeno inyectado al CT sale en forma de SO_2 , y que el 50% del peso del SO_2 es debido al oxígeno, se infiere que no se están considerando aproximadamente $6.500 \left[\frac{t}{mes} \right]$ de azufre a la salida, pero si a la entrada.

Sumando el desbalance de oxígeno con el desbalance de azufre, se tiene un desbalance global del CT de $5.000 \left[\frac{t}{mes} \right]$ en favor de las corrientes de entrada.

A continuación se demuestra el efecto que tiene el agregar estas corrientes al balance de finos de cobre y peso seco.

Se tiene los siguientes datos iniciales de las corrientes de entrada y salida del CT, en este caso, sin considerar oxígeno ni gases de salida:

TABLA 11 DATOS INICIALES SIN RECONCILIAR Y SIN CORRIENTES GASEOSAS

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
CNU	25.000	7.000	28%
Sílice	2.300	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.300	1.000	43%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
MB	8.500	6.000	71%
Escoria	13.000	1.000	8%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	900	27%
Pérdidas	6.000	35	1%
Inventario inicial	1.500,0	640,0	43%
Inventario final	1.600,0	600,0	38%
Emisiones As	7,13		

Luego de ajustar los finos y los pesos los resultados son los siguientes.

TABLA 12 RESULTADOS RECONCILIADOR SIN CORRIENTES GASEOSAS

Corriente	Ajustado				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.000,4	0%	6.998,1	0%	28%
Sílice	2.300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2.299,6	0%	999,8	0%	43%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
MB	8.501,4	0%	6.001,7	0%	71%
Escoria	11.455,9	-12%	1.037,8	4%	9%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3.524,1	7%	961,3	7%	27%
Pérdidas	5.983,5	0%	35,1	0%	1%
Inventario inicial	1.500,0	0%	640,0	0%	43%
Inventario final	1.600,0	0%	600,0	0%	38%
Emisiones As	7,47	4,8%			

Si se usan los mismos datos iniciales, pero ahora se consideran las corrientes gaseosas, los resultados son los siguientes.

Datos iniciales:

TABLA 13 DATOS INICIALES SIN RECONCILIAR, CON CORRIENTES GASEOSAS

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
CNU	25.000	7.000	28%
Sílice	2.300	0	0%
Oxígeno	8.200	0	0%
Circulante a CT	2.300	1.000	43%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
MB	8.500	6.000	71%
Escoria	13.000	1.000	8%
Gases	13.200	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	900	27%
Pérdidas	6.000	35	1%
Inventario inicial	1.500,0	640,0	43%
Inventario final	1.600,0	600,0	38%
Emisiones As	7,13		

Luego de ajustar finos y pesos:

TABLA 14 RESULTADOS RECONCILIADOR CON CORRIENTES GASEOSAS

Corriente	Ajustado				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.009,6	0,0%	6.998,1	0,0%	28%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Oxígeno	8.208,7	0,1%	0,0	0,0%	0%
Circulante a CT	2.299,6	0,0%	999,8	0,0%	43%
Polvos	32,0	0,1%	14,0	-0,1%	44%
MB a CT	12,0	0,0%	9,0	0,0%	75%
MB	8.500,1	0,0%	6.001,7	0,0%	71%
Escoria	8.775,9	-32,5%	1.037,8	3,8%	12%
Gases	10.942,9	-17,1%	0,0	0,0%	0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31%
Circulante	3.523,2	6,8%	961,3	6,8%	27%
Pérdidas	5.940,9	-1,0%	35,1	0,3%	1%
Inventario inicial	1.500,0	0,0%	640,0	0,0%	43%
Inventario final	1.600,0	0,0%	600,0	0,0%	38%
Emisiones As	8,25	15,8%			

Ya que las corrientes gaseosas no tienen finos de ningún tipo, la inclusión o exclusión de estas en el balance no influye en los resultados del balance de finos, no así en el balance de pesos secos, donde la diferencia entre el peso de las corrientes gaseosas de entrada y salida incide directamente en variaciones en el peso de la escoria, esto se debe a que estas corrientes son las que tienen los factores de calidad más bajos, considerando los grandes flujos que tienen. Esto implica que si se aumenta el factor de calidad del oxígeno y de los gases, la variación del peso de la escoria sería mayor aún.

La diferencia del ajuste de los pesos de las corrientes, sin considerar las gaseosas, es el siguiente:

TABLA 15 DIFERENCIA DE AJUSTE DE CADA CORRIENTE AL CONSIDERAR CORRIENTES GASEOSAS.

Corriente	Peso sin gases	Peso con gases	Diferencia
CNU	25.000,4	25.009,6	9,2
Sílice	2.300,0	2.300,0	0,0
Circulante a CT	2.299,6	2.299,6	0,0
Polvos	32,0	32,0	0,0
MB a CT	12,0	12,0	0,0
MB	8.501,4	8.500,1	1,3
Escoria	11.455,9	8.775,9	2.680,1
Polvos	80,0	80,0	0,0
Circulante	3.524,1	3.523,2	0,9
Pérdidas	5.983,5	5.940,9	42,6
Inventario inicial	1.500,0	1.500,0	0,0
Inventario final	1.600,0	1.600,0	0,0
Emisiones As	7,47	8,25	0,8

En la práctica, es común tener casos donde no se considera la corriente de oxígeno, pero sí la corriente de gases generados, posiblemente debido a que el no considerar la corriente de oxígeno tiene un menor impacto al balance que no considerar la corriente de gases, y también debido a que dichos gases están compuestos principalmente por SO₂, cuyas emisiones al ambiente deben ser controladas debido a la ley.

Como se demostró anteriormente, al no considerar las corrientes gaseosas se crea un desbalance de $5.000 \left[\frac{t}{mes} \right]$ en favor de las corrientes de entrada, pero si se consideran solo los gases de salida, esta diferencia cambia a $1.500 \left[\frac{t}{mes} \right]$ en favor de las corrientes de salida.

Debido a esto, es que se analizarán los resultados que se obtienen en caso de considerar solo corrientes gaseosas de salida, donde los datos iniciales serían los siguientes:

TABLA 16 DATOS INICIALES SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
CNU	25.000	7.000	28%
Sílice	2300	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.300	1.000	43%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
MB	8.500	6.000	71%
Escoria	13.000	1.000	8%
Gases	13.200	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3300	900	27%
Pérdidas	6.000	35	1%
Inventario inicial	15.00,0	640,0	43%
Inventario final	16.00,0	600,0	38%
Emisiones As	7,13		

Al reconciliar estos datos se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 17 DATOS DE TABLA 16 AJUSTADOS

Corriente	Ajustado				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
CNU	25.028,4	0,1%	6.998,1	0,0%	28%
Sílice	2.300,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Oxígeno	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%
Circulante a CT	2.299,6	0,0%	999,8	0,0%	43%
Polvos	32,1	0,3%	14,0	-0,1%	44%
MB a CT	12,0	0,1%	9,0	0,0%	75%
MB	8.497,4	0,0%	6.001,7	0,0%	71%
Escoria	3.299,6	-74,6%	1.037,8	3,8%	31%
Gases	8.322,0	-37,0%	0,0	0,0%	0%
Polvos	80,0	0,0%	25,0	0,0%	31%
Circulante	3.521,3	6,7%	961,3	6,8%	27%
Pérdidas	5.853,8	-2,4%	35,1	0,3%	1%
Inventario inicial	1.500,0	0,0%	640,0	0,0%	43%
Inventario final	1.600,0	0,0%	600,0	0,0%	38%
Emisiones As	9,85	38,2%			

Al comparar estos datos con los obtenidos al considerar tanto los gases de salida como el oxígeno inyectado no se ven diferencias en los finos, como era de esperarse, ya que estas corrientes no participan en la reconciliación de ellos, sin embargo se ven claras diferencias en los pesos.

TABLA 18 DIFERENCIA DE PESOS DE DATOS AJUSTADOS CON OXÍGENO Y GASES VS SOLO GASES DE SALIDA

Corriente	Peso con oxígeno y gases	Peso solo con gases	Diferencia
CNU	25.009,6	25.028,4	-18,8
Sílice	2.300,0	2.300,0	0,0
Oxígeno	8.208,7	0,0	8.208,7
Circulante a CT	2.299,6	2.299,6	0,0
Polvos	32,0	32,1	-0,1
MB a CT	12,0	12,0	0,0
MB	8.500,1	8.497,4	2,7
Escoria	8.775,9	3.299,6	5.476,2
Gases	10.942,9	8.322,0	2.620,9
Polvos	80,0	80,0	0,0
Circulante	3.523,2	3.521,3	1,9
Pérdidas	5.940,9	5.853,8	87,1
Inventario inicial	1.500,0	1.500,0	0,0
Inventario final	1.600,0	1.600,0	0,0
Emisiones As	8,25	9,85	-1,6

Esta gran diferencia de pesos en la escoria, y nula diferencia de pesos en los finos, genera una gran diferencia en las leyes finales de la escoria, donde en este caso se obtiene una ley de escoria de 31%, versus el 12% obtenido cuando se consideraron todas las corrientes gaseosas.

Sin embargo, estas diferencias se explican debido a que al agregar las corrientes gaseosas, se creó un desbalance en los datos iniciales que originaron una deficiencia de las corrientes de entrada, la cual fue mayor en el caso donde solo se agregaron los gases de salida, por lo que para arreglar dicho desbalance, el reconciliador redujo el peso de las corrientes de salida, principalmente de la escoria.

5.4.4 REEVALUAR LAS PÉRDIDAS

En 1993 la Fundación Hernán Videla Lira de ENAMI cambió el Horno Reverbero por un Convertidor Teniente, ambos equipos tienen funcionamientos notoriamente diferentes, los cuales se pueden ver en el capítulo 2.2, donde se comparan ambos Hornos. Una de las mayores diferencias que se tiene, es que en el Reverbero, el concentrado es alimentado por sobre el baño de material fundido, mientras que en el Convertidor Teniente, el concentrado es alimentado por medio de toberas sumergidas en él. Esta diferencia crucial tiene una gran incidencia en la generación de polvos, los que son cercanos a 5% en el caso del Horno Reverbero y menores a 1% en el caso del Convertidor Teniente [5].

Ya que el balanceador tradicional se comenzó a utilizar cuando el equipo que estaba en operación era el Horno Reverbero, se tenía un porcentaje en relación a la alimentación al horno para estimar las pérdidas metalúrgicas de acuerdo a la operación de ese equipo. Sin embargo, cuando el equipo fue reemplazado por el Convertidor Teniente, los parámetros asignados a la estimación de las pérdidas no fueron modificados, por lo que en la actualidad se puede asumir que las pérdidas del proceso de fusión son sobreestimadas.

Debido a esto es de vital importancia llevar a cabo algún estudio donde se pueda conocer los nuevos parámetros de generación de polvos y de pérdidas metalúrgicas del Convertidor Teniente, para que su cálculo en el balanceador propuesto, sea lo más cercano posible a la realidad. Cabe mencionar que estos parámetros deben ser revisados periódicamente debido a posibles cambios en la operación y desgaste o mantención de los equipos secundarios y del mismo Convertidor.

5.5 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN BALANCEADOR CT

Para entender la forma en que se agregaron las relaciones mencionadas en los capítulos 5.4.1 a 5.4.3, primero se debe tener en cuenta que el balanceador CT fue configurado en una planilla de Excel, donde a cada corriente de entrada cuenta con

una tabla de datos similar a la presentada a continuación, correspondiente a la tabla de datos de la escoria.

Escoria	Peso Seco	Finos Cu	%Cu
FC	2	2	-
medido	13.000	1.000	7,7%
híbrido	12.327,9	-	-
ajustado	14.354,1	948,3	6,6%

FIGURA 5.4 TABLA DE DATOS DE CADA CORRIENTE

Donde las celdas en amarillo son los datos iniciales, los valores en rojo son los obtenidos con la reconciliación de finos, y los datos azules son los obtenidos con la reconciliación de pesos.

La forma de agregar las relaciones mencionadas al CT se hizo de la siguiente manera:

- Relación entre ley de metal blanco y ley de escoria:

Esta relación se puede utilizar tanto para calcular la ley de metal blanco como la ley de escoria. A partir de la Figura 5.1, y sabiendo que la ley de cobre del metal blanco tiende a estar entre 73% y 75%, se decidió utilizar solo la zona que va de 65% hasta 79% y trazar una recta que represente de forma aproximada la tendencia de los puntos, donde se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$Ley\ MB_{calculada} = 0,3571 * (Ley\ escoria_{medida}) - 0,1821 \quad (5.6)$$

$$Ley\ escoria_{calculada} = 2,8 * (Ley\ MB_{medida}) + 0,51 \quad (5.7)$$

Cuando se quiere utilizar esta relación para calcular la ley de cobre del metal blanco a partir de la escoria, lo que se hace es agregar a la Función Objetivo (descrita en la ecuación 4.7) un el siguiente término:

$$\frac{2.000 * (Finos MB_{calculado} - Finos MB_{ajustado})^2}{Finos MB_{calculado}^2} \quad (5.8)$$

Donde los finos calculados se obtienen al multiplicar la ley calculada con el peso seco medido.

Debido a que el factor de calidad de los finos del metal blanco es 1.600, el término agregado por la restricción tiene mayor peso (2.000), por lo que el valor de los finos ajustados tiende a acercarse más al valor calculado que al medido.

Si lo que se quiere es calcular la ley de cobre en la escoria a partir de la ley de cobre del metal blanco, se agrega el siguiente término a la Función Objetivo:

$$\frac{25 * (Finos escoria_{calculado} - Finos escoria_{ajustado})^2}{Finos escoria_{calculado}^2} \quad (5.9)$$

Debido a que el factor de calidad de los finos de la escoria es 2, el término agregado por la restricción tiene mayor peso (25), por lo que el valor de los finos ajustados tiende a acercarse más al valor calculado que al medido.

Adicionalmente se modifica el valor del peso híbrido de la escoria, el cual en este caso se obtiene con la ley calculada y los finos ajustados, lo que ayuda a que el valor de la ley ajustada de la escoria se acerque más al valor de la ley calculada.

Este paso adicional no se realiza cuando ésta relación se está usando para calcular la ley del metal blanco, donde el peso híbrido del metal blanco se obtiene con la ley medida y los finos ajustados.

- Relación entre coeficiente de oxígeno y ley de metal blanco:

Ya que esta relación depende del tipo de concentrado que se está fundiendo, lo primero que se hizo fue agregar una casilla donde se especifica el coeficiente de

oxígeno y el número del concentrado, y según este último, se determina que curva utilizar para calcular la ley del metal blanco.

Las ecuaciones para cada concentrado se obtuvieron de la Figura 4.1, a partir de líneas de tendencia polinómicas de segundo orden, las ecuaciones obtenidas se presentan a continuación:

Para el Concentrado 1:

$$Ley MB_{calculada} = 7,83 * 10^{-6} * Coef O_2^2 - 1,03 * 10^{-5} * Coef O_2 + 0,364 \quad (5.10)$$

Para el Concentrado 2:

$$Ley MB_{calculada} = 6,94 * 10^{-6} * Coef O_2^2 + 8,86 * 10^{-5} * Coef O_2 + 0,31 \quad (5.11)$$

Para el Concentrado 3:

$$Ley MB_{calculada} = 6,94 * 10^{-6} * Coef O_2^2 - 8,16 * 10^{-5} * Coef O_2 + 0,288 \quad (5.12)$$

Si la ley del metal blanco obtenida era mayor a 79,86% (porcentaje de cobre en Cu₂S), se asignaba 79,86% al valor de la ley de metal blanco calculada.

La forma de agregar esta restricción consiste en eliminar el término correspondiente a la variación de finos de metal blanco de la función objetivo, y agregar el siguiente:

$$\frac{1 * (Finos MB_{calculado} - Finos MB_{ajustado})^2}{Finos MB_{calculado}^2} \quad (5.13)$$

Adicionalmente se modifica el valor del peso híbrido del metal blanco, el cual en este caso se obtiene con la ley calculada y los finos ajustados, lo que ayuda a que el valor de la ley ajustada de la escoria se acerque más al valor de la ley calculada.

CAPÍTULO 6: CASOS DE DESBALANCES INICIALES

Otros casos que pueden ocurrir son cuando los datos iniciales están muy desbalanceados desde el punto de vista del balance de masa, esto puede ocurrir tanto para los pesos secos como para los finos, por lo que se presentan 3 casos:

1. Finos Cu normales pero los pesos secos muy desbalanceados.
2. Finos Cu muy desbalanceados y pesos secos normales.
3. Finos Cu muy desbalanceados y pesos secos muy desbalanceados.

Cada uno de estos casos puede presentarse de 4 formas, ya que el desbalance puede ser debido a que las corrientes de entrada son mayores o a que las corrientes de salida son mayores, y otra variación es si se consideran o no corrientes gaseosas.

Ya que estos casos solo incumplen con el balance de masa en vez de con condiciones de operación normales, para analizarlos, cada uno se reconcilia de 6 maneras distintas, es decir, sin restricciones, considerando la relación entre ley de escoria y ley de metal blanco (esta relación se traduce en 2 restricciones independientes, ya que se puede utilizar para determinar la ley de la escoria o del metal blanco) y considerando la relación entre el coeficiente de oxígeno y la ley del metal blanco, esta última relación, como se demostró en la Figura 4.1, depende de la mineralogía del concentrado, por lo que se utilizara 3 veces, 1 por cada concentrado propuesto.

Para los análisis de estos resultados, es necesario conocer los factores de calidad (FC) de cada corriente y de cada restricción, los que se presentan a continuación:

TABLA 19 FACTORES DE CALIDAD DE PESOS Y FINOS DE COBRE

Corriente	FC Finos	FC Peso
CNU	2.000	2.000
Sílice	10.000.000	10.000.000
Oxígeno	400	400
Circulante a CT	400	10.000
Polvos	1	1
MB a CT	4	1
MB	1.600	1.600
Escoria	2	2
Gases	4	4
Polvos	200	20.000
Circulante	1	400
Pérdidas	1	25
Inventario inicial	100.000.000	100.000.000
Inventario final	100.000	100.000
R1	2.000	1.600
R2	1	1.600
R3	25	2

Respecto a las restricciones hay que mencionar que la restricción 1 usa la relación “ley MB vs ley escoria” para modificar los finos del MB, la restricción 2 usa la misma relación, pero en este caso, para modificar los finos de la escoria y la restricción 3 usa la relación “ley del MB vs coeficiente de oxígeno” (se usó $250 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$ como coeficiente de oxígeno), para modificar los finos de MB. De las 3 restricciones, la 1 es la única que no influye en el balance de los pesos híbridos.

Para el análisis de las emisiones de arsénico se presenta la Tabla 20, la cual muestra la ley de arsénico de cada corriente.

TABLA 20 LEYES DE ARSÉNICO

Leyes de arsénico	
CNU	0,051%
Sílice	0,000%
Aire	0,000%
Oxígeno	0,000%
Circulante a CT	0,080%
Polvos	0,324%
MB a CT	0,130%
MB	0,022%
Escoria	0,029%
Gases	0,000%
Polvos	0,400%
Circulante	0,048%
Pérdidas	0,000%
Inventario inicial	0,040%
Inventario final	0,040%

Las emisiones de arsénico se calculan según la siguiente formula:

$$Emisiones As = Entradas As - Salidas As$$

Los resultados de estos casos se pueden ver en los Anexos 2, 3 y 4, a continuación se presentan las variaciones de las corrientes que sufren mayores cambios al ser reconciliadas.

6.1 RESULTADOS DE CASOS SIN CORRIENTES GASEOSAS

6.1.1 CASO 1: PESOS SECOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 21 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	21.000	6.500	31%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.000	1.000	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	26.345	8.163	
MB	8.500	6.050	71%
Escoria	15.000	750	5%
Gases	0	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3.000	800	27%
Pérdidas	7.000	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	35.301	8.260	
Diferencia	-8.956	-97	
Emisiones As	3,93		

Estos datos se reconcilian de 6 formas distintas; sin restricciones (s/R), considerando la relación entre la ley de la escoria y la ley del metal blanco para estimar la ley del metal blanco (R1), considerando la relación entre la ley de la escoria y la ley del metal blanco para estimar la ley de la escoria (R2) y considerando la relación entre la ley del metal blanco y el coeficiente de oxígeno, para cada concentrado (R3-1, R3-2 y R3-3). Estos son los resultados de las corrientes mayormente modificadas, donde un porcentaje negativo representa una disminución del valor original, y un porcentaje positivo representa un aumento.

TABLA 22 RESULTADOS TABLA 21: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		3,93
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	0%	-57%	-8%	0%	-4%	-8%	71%	11%	6,53
R1	-5%	-60%	18%	-5%	9%	18%	71%	13%	6,36
R2	0%	-49%	-42%	0%	35%	-42%	71%	13%	6,70
R3 - 1	-12%	-52%	-1%	-1%	-1%	-1%	80%	10%	6,43
R3 - 2	-8%	-54%	-1%	-1%	0%	-1%	77%	11%	6,44
R3 - 3	0%	-58%	0%	-2%	0%	0%	70%	12%	6,49

Detalles en Anexo 4.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2, tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la medición con menor factor de calidad después de la corriente “Polvos” y “MB a CT”,

las cuales tienen valores muy bajos por lo que sus modificaciones no son suficientes para ajustar los pesos.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 23 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	26.500	7.200	27%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3.300	1.000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	34.845	8.863	
MB	7.500	5.800	77%
Escoria	9.000	1.000	11%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.000	1.300	43%
Pérdidas	4.500	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	25.681	8.760	
Diferencia	9.164	103	
Emisiones As	10,21		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 24 RESULTADOS TABLA 23: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		10,21
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	0%	97%	6%	0%	2%	6%	77%	6%	7,55
R1	3%	98%	-5%	3%	-2%	-5%	77%	6%	7,64
R2	0%	93%	18%	0%	-14%	18%	77%	5%	7,49
R3 - 1	-1%	100%	0%	2%	0%	0%	80%	6%	7,58
R3 - 2	3%	97%	1%	2%	0%	1%	77%	6%	7,60
R3 - 3	11%	89%	3%	1%	1%	3%	70%	6%	7,63

Detalles en Anexo 5.

En este ejemplo, nuevamente se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, debido al gran FC de dicha medición, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación, tanto de los finos como del peso del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la corriente principal con menor FC ("Polvos" y "MB a CT" tienen menor FC, pero al ser corrientes de bajo peso, sus modificaciones unitarias son más costosas que las de la escoria). En este ejemplo se aprecia una mayor variación del peso de la escoria que el ejemplo anterior, lo que se debe a que en este ejemplo la diferencia entre las corrientes de entrada y salida es muy similar al ejemplo anterior, pero el peso de la escoria inicial es significativamente menor.

Siguiendo con la escoria, se puede ver que la ley final es menor al ejemplo anterior, lo que se justifica debido a que en este ejemplo, para lograr que el balance de masa cierre, la escoria aumenta su peso, con lo que se reduce su ley.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace

que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos secos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos secos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

6.1.2 CASO 2: FINOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 25 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	26.000	7.400	28%
Sílice	2.400	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.400	750	31%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	32.345	8.766	
MB	8.500	6.600	78%
Escoria	13.000	1.300	10%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	1.700	52%
Pérdidas	6.000	60	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	32.481	10.285	
Diferencia	-136	-1.519	
Emisiones As	7,72		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 26 RESULTADOS TABLA 25: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		7,72
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	0%	16%	-68%	0%	-26%	-68%	78%	6%	8,19
R1	1%	16%	-71%	1%	-27%	-71%	78%	6%	8,21
R2	0%	21%	-83%	0%	-7%	-83%	78%	8%	8,24
R3 - 1	-23%	15%	-6%	-21%	-2%	-6%	80%	8%	7,66
R3 - 2	-20%	13%	-5%	-21%	-2%	-5%	77%	9%	7,67
R3 - 3	-13%	9%	-4%	-22%	-1%	-4%	70%	9%	7,70

Detalles en Anexo 10.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que todas las variaciones de la escoria fueron positivas, a diferencia de las otras corrientes, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron una gran disminución, los pesos híbridos de estas quedaron en deficiencia respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador aumento el peso de la escoria.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que estas no tienen una tendencia general clara, esto se debe a que cuando no se utilizó la restricción 3, el peso de los circulantes disminuyó en mayor medida de lo que aumentó la escoria, y debido a que el circulante tiene una mayor ley de arsénico, dichas variaciones generaron un aumento de las emisiones, mientras que cuando se utilizó la restricción 3, la escoria aumento en mayor medida de lo que disminuyó el circulante, y a pesar de que también disminuyó el peso del metal blanco, el aumento de la escoria fue suficiente para que las emisiones disminuyeran.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 27 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	25.000	7.500	30%
Sílice	2.300	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.500	1.250	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	31.345	9.473	
MB	8.500	5.950	70%
Escoria	12.000	500	4%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	600	18%
Pérdidas	6.000	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	31.481	7.585	
Diferencia	-136	1.888	
Emisiones As	7,58		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 28 RESULTADOS TABLA 27: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		7,58
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	1%	-63%	209%	1%	87%	210%	70%	21%	6,25
R1	-6%	-73%	258%	-6%	108%	259%	70%	32%	5,90
R2	1%	-67%	223%	1%	68%	224%	70%	21%	6,15
R3 - 1	15%	-12%	1%	32%	1%	1%	80%	5%	7,69
R3 - 2	20%	-16%	2%	31%	1%	2%	77%	5%	7,71
R3 - 3	31%	-23%	3%	31%	1%	3%	70%	6%	7,77

Detalles en Anexo 11.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para el metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se aprecia que en comparación con el ejemplo anterior, cuando no se utilizó la restricción 3, la variación porcentual tanto de finos como de peso del circulante y escoria fue mucho mayor, esto se debe a que la diferencia entre los finos que entran y los que salen se mantiene con un valor relativamente similar, mientras que los finos del circulante y la escoria son mucho menores en este ejemplo (600 y 500

respectivamente, versus 1.700 y 1.300 en el ejemplo anterior), esta considerable variación de finos es lo que produce la gran variación de pesos.

El gran aumento de los finos de la escoria, junto con la gran disminución del peso de esta es lo que produce que en los casos donde no se utilizó la restricción 3 la ley de la escoria sea tan elevada.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que todas las variaciones de la escoria fueron negativas, a diferencia de las otras corrientes, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron un gran aumento, los pesos híbridos de estas quedaron en exceso respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador redujo el peso de la escoria.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que estas no tienen una tendencia general clara, esto se debe a que cuando no se utilizó la restricción 3, el peso de los circulantes aumentó en mayor medida de lo que disminuyó la escoria, y debido a que el circulante tiene una mayor ley de arsénico, dichas variaciones generaron una disminución de las emisiones, mientras que cuando se utilizó la restricción 3, la escoria disminuyó en mayor medida de lo que aumentó el circulante, y a pesar de que también aumentó el peso del metal blanco, la reducción de la escoria fue suficiente para que las emisiones aumentaran.

6.1.3 CASO 3: PESOS SECOS Y FINOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 29 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	20.000	6.000	30%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.000	750	38%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	25.345	7.370	
MB	10.000	7.500	75%
Escoria	15.000	1.300	9%
Gases	0	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4.000	1.700	43%
Pérdidas	7.000	60	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	37.801	11.185	
Diferencia	-12.456	-3.815	
Emisiones As	2,61		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 30 RESULTADOS TABLA 29: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		2,61
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	-15%	1%	-74%	-7%	-100%	-100%	83%	0%	0,00
R1	-15%	1%	-74%	-4%	-100%	-100%	84%	0%	0,00
R2	-15%	1%	-74%	-8%	-84%	-100%	81%	1%	0,00
R3 - 1	-51%	-45%	-11%	-48%	-4%	-11%	80%	15%	5,91
R3 - 2	-46%	-45%	-10%	-45%	-4%	-10%	77%	15%	6,00
R3 - 3	-46%	-49%	-11%	-48%	-4%	-11%	72%	16%	5,95

Detalles en Anexo 16.

En este ejemplo, se puede ver una variación del -100% (es decir, reducción a 0) de los finos de la escoria y/o el circulante para los casos donde no se utilizó la restricción 3, esto genera un error en el balance de los pesos, por lo que el ajuste de estos no se puede llevar a cabo.

Esta reducción se produce debido a que al haber una deficiencia tan grande de finos en las corrientes de entrada, el balanceador tiende a reducir los finos de las corrientes de salida para que se cumpla el balance de estos, y siendo que el circulante y la escoria son de las corrientes principales con menores FC, estas son las principales encargadas de reducir la diferencia entre finos a la entrada y a la salida, en este caso, llegando al extremo de reducir sus cantidades de finos a 0, cosa que es fenomenológicamente imposible que ocurra.

Cuando se utilizó la restricción 3, el balanceador modificó principalmente los finos de metal blanco, debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1. Estos son la mayor proporción de los finos de salida, por lo que en este caso, el reconciliador no tuvo que asignar 0 finos a la escoria y/o circulantes para cumplir con el balance de finos.

Respecto a la variación de los pesos de los casos reconciliados con la restricción 3, se puede ver que la mayor variación porcentual fue la del MB, debido a que dicha restricción calcula el peso híbrido del MB según la mineralogía y el coeficiente de oxígeno, seguida por la variación de la escoria, debido a ser la corriente principal con menor FC respecto al peso.

Por último se puede ver que todas las variaciones fueron negativas, es decir, los valores ajustados fueron menores que los valores iniciales, esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las

corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 31 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	28.000	7.700	28%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3.500	1.250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	36.545	9.673	
MB	7.000	5.350	76%
Escoria	9.000	500	6%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.000	600	30%
Pérdidas	4.500	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	24.181	6.985	
Diferencia	12.364	2.688	
Emisiones As	11,73		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 32 RESULTADOS TABLA 31: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso			Variación Finos			Ley		11,73
	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Emisiones As
s/R	2%	61%	300%	2%	125%	300%	76%	8%	6,92
R1	-7%	54%	356%	-7%	148%	356%	76%	9%	6,65
R2	2%	50%	336%	2%	77%	336%	76%	7%	6,79
R3 - 1	43%	100%	5%	49%	2%	5%	80%	3%	8,37
R3 - 2	49%	95%	6%	49%	2%	5%	76%	3%	8,39
R3 - 3	63%	84%	8%	49%	3%	8%	70%	3%	8,44

Detalles en Anexo 17.

A diferencia del ejemplo anterior, en este caso si se logró llegar a valores factibles en todos los casos, esto es producto de que en este ejemplo, las corrientes de entrada eran mayores inicialmente, por lo que el ajuste consistía en aumentar la cantidad de finos y pesos de las corrientes de salida, en vez de disminuirlos.

En este ejemplo, en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia una enorme variación porcentual del circulante, tanto de los finos como del peso, lo que se debe a que sus valores iniciales son considerablemente menores que en el ejemplo anterior, por lo que las variaciones unitarias tienen una mayor variación porcentual representativa.

Junto con las grandes variaciones de finos y peso del circulante en los casos donde no se utilizó la restricción 3, también se puede apreciar una gran variación de finos y peso de la escoria, lo que también se explica debido a los bajos valores iniciales de estos, cosa que magnifica los cambios unitarios al ser representados como porcentajes.

Respecto a la variación de finos en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia que la variación de circulantes es más del doble que la variación de la escoria, siendo que tienen valores iniciales similares, esto se explica debido a que el FC de los finos del circulante es 1, mientras que el de la escoria es 2.

Al utilizar la restricción 3 se aprecia que la mayor variación de los finos fue del MB, lo que se explica debido a que dicha restricción le baja el FC a los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras.

También se puede ver respecto de los pesos reconciliados con la restricción 3, que la mayor variación fue de la escoria, seguida por el metal blanco, donde por el lado de la escoria esta variación se debe al bajo FC de este, mientras que para el MB, la variación se debe al cálculo del peso híbrido por parte de la relación de coeficiente de oxígeno y ley de escoria, la cual varía con cada concentrado, como se puede ver en la tabla del ejemplo, la variación del peso del MB es mayor a medida que la ley esperada es menor.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

6.2 RESULTADOS DE CASOS CON CORRIENTES GASEOSAS

En general, al agregar corrientes gaseosas se puede ver prácticamente el mismo comportamiento de los resultados en comparación a cuando no se consideraron, cabe recordar que la inclusión de corrientes gaseosas solo influye en el balance de pesos. Las diferencias que se pueden ver en las variaciones de finos son debidas a que los datos iniciales no son los mismos, pero son similares, por lo que los resultados también lo son.

6.2.1 CASO 1: PESOS SECOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 33 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	22.000	6.500	30%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	8.200	0	0%
Circulante a CT	2.500	1.100	44%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	36.044	8.263	
MB	8.500	6.100	72%
Escoria	15.000	800	5%
Gases	13.100	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3.000	800	27%
Pérdidas	7.000	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	48.400	8.360	
Diferencia	-12.356	-97	
Emisiones As	4,84		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 34 RESULTADOS TABLA 33: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		4,84
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-25%	0%	-57%	-8%	0%	-4%	-8%	72%	12%	7,46
R1	-25%	-5%	-60%	16%	-5%	8%	16%	72%	14%	7,30
R2	-23%	0%	-52%	-40%	0%	31%	-40%	72%	15%	7,72
R3 - 1	-24%	-11%	-54%	-1%	-1%	-1%	-1%	80%	11%	7,43
R3 - 2	-24%	-8%	-55%	-1%	-1%	0%	-1%	77%	12%	7,42
R3 - 3	-26%	1%	-59%	0%	-2%	0%	0%	70%	13%	7,40

Detalles en Anexo 6.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la medición con menor factor de calidad después de la corriente "Polvos" y "MB a CT",

las cuales tienen valores muy bajos por lo que sus modificaciones no son suficientes para ajustar los pesos.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

En comparación con el escenario sin corrientes gaseosas se puede ver que en este ejemplo las variaciones de los pesos y los finos son muy similares, lo que se debe principalmente a que la variación del peso de los gases de salida es suficiente para que la diferencia de peso entre las corrientes de entrada y salida sea muy similar en ambos ejemplos.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 35 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	26.500	7.200	27%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	10.000	0	0%
Circulante a CT	3.300	1.000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	44.844	8.863	
MB	7.500	5.700	76%
Escoria	9.000	1.000	11%
Gases	9.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.000	1.400	47%
Pérdidas	4.500	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	34.680	8.760	
Diferencia	10.164	103	
Emisiones As	10,21		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 36 RESULTADOS TABLA 35: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		10,21
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	34%	0%	74%	6%	0%	2%	6%	76%	7%	8,17
R1	39%	4%	71%	-7%	4%	-3%	-8%	76%	6%	8,38
R2	33%	0%	70%	20%	0%	-18%	20%	76%	5%	8,06
R3 - 1	38%	-3%	75%	-1%	2%	0%	-1%	80%	6%	8,28
R3 - 2	36%	1%	73%	0%	2%	0%	0%	77%	6%	8,26
R3 - 3	33%	10%	69%	3%	1%	1%	3%	70%	7%	8,20

Detalles en Anexo 7.

En este ejemplo, nuevamente se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, debido al gran FC de dicha medición, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación, tanto de los finos como del peso del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la corriente principal con menor FC ("Polvos" y "MB a CT" tienen menor FC, pero al ser corrientes de bajo peso, sus modificaciones unitarias son más costosas que las de la escoria). En este ejemplo se aprecia una mayor variación del peso de la escoria que el ejemplo anterior, lo que se debe a que en este ejemplo la diferencia entre las corrientes de entrada y salida es muy similar al ejemplo anterior, pero el peso de la escoria inicial es significativamente menor.

Siguiendo con la escoria, se puede ver que la ley final de la escoria es menor al ejemplo anterior, lo que se justifica debido a que en este ejemplo, para lograr el balance de masa la escoria aumentó su peso, con lo que se redujo su ley.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace

que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

Al contrastar este ejemplo con el Caso 1 en el escenario sin corrientes gaseosas, nuevamente se puede ver que en general las variaciones son muy similares, pero en este caso la variación de la escoria es significativamente menor, lo que se debe en parte al bajo valor inicial de la escoria, y también a la mayor variación de los gases que en el ejemplo anterior.

6.2.2 CASO 2: FINOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 37 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	26.000	7.000	27%
Sílice	2.300	0	0%
Oxígeno	9.500	0	0%
Circulante a CT	2.300	750	33%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	41.644	8.366	
MB	8.500	6.500	76%
Escoria	13.000	1.200	9%
Gases	10.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	1.700	52%
Pérdidas	6.000	60	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	42.480	10.085	
Diferencia	-836	-1.719	
Emisiones As	7,64		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 38 RESULTADOS TABLA 37: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		7,64
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	20%	0%	-1%	-80%	0%	-28%	-80%	76%	7%	8,95
R1	20%	0%	-1%	-81%	0%	-29%	-81%	76%	7%	8,97
R2	7%	0%	15%	-97%	0%	-4%	-97%	76%	8%	8,64
R3 - 1	5%	-27%	9%	-7%	-24%	-2%	-7%	80%	8%	7,90
R3 - 2	4%	-24%	8%	-6%	-24%	-2%	-6%	77%	8%	7,89
R3 - 3	3%	-18%	5%	-5%	-25%	-2%	-5%	70%	9%	7,88

Detalles en Anexo 12.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar la restricción 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dicha restricción apunta directamente a modificar la ley de este, en el caso de la restricción 1 se ve una menor variación que en otros ejemplos debido a que en este caso en particular, los datos iniciales ya están relativamente cercanos a cumplir con la relación entre ley de MB y ley de escoria.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las

corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que la mayoría de las variaciones de la escoria fueron positivas, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron una gran disminución, los pesos híbridos de estas quedaron en deficiencia respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador aumento el peso de la escoria.

Se puede ver que en los casos donde los gases tuvieron la mayor variación, fue justamente en los que la variación de la escoria fue negativa, donde al comparar con el escenario sin corrientes gaseosas, se puede ver que la variación del peso de la escoria es menos mientras mayor es la variación del peso de los gases, ya que debido al alto valor del peso de los gases y su bajo FC, dicha corriente junto con la escoria y el circulante son las principales responsables de ajustar el balance de los pesos.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 39 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	25.000	7.500	30%
Sílice	2.300	0	0%
Oxígeno	10.000	0	0%
Circulante a CT	2.300	1.250	54%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	41.144	9.473	
MB	8.500	5.950	70%
Escoria	13.000	500	4%
Gases	9.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3.300	600	18%
Pérdidas	6.000	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	41.480	7.585	
Diferencia	-336	1.888	
Emisiones As	7,13		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 40 RESULTADOS TABLA 39: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		7,13
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-14%	1%	-51%	210%	1%	87%	210%	70%	15%	5,51
R1	-13%	-7%	-60%	264%	-7%	110%	265%	70%	20%	5,12
R2	-17%	1%	-49%	215%	1%	79%	216%	70%	14%	5,37
R3 - 1	-4%	15%	-10%	1%	32%	1%	1%	80%	4%	7,20
R3 - 2	-5%	20%	-13%	2%	31%	1%	2%	77%	4%	7,20
R3 - 3	-7%	31%	-19%	3%	31%	1%	3%	70%	5%	7,20

Detalles en Anexo 13.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se aprecia que en comparación con el ejemplo anterior, cuando no se utilizó la restricción 3, la variación porcentual tanto de finos como de peso del circulante y escoria fue mucho mayor, esto se debe a que la diferencia entre los finos que entran y los que salen se mantiene con un valor relativamente similar, mientras que los finos del circulante y la escoria son mucho menores en este ejemplo (600 y 500

respectivamente, versus 1.700 y 1.300 en el ejemplo anterior), esta considerable variación de finos es lo que produce la gran variación de pesos.

El gran aumento de los finos de la escoria, junto con la gran disminución del peso de esta es lo que produce que en los casos donde no se utilizó la restricción 3 la ley de la escoria sea tan elevada.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que todas las variaciones de la escoria y los gases fueron negativas, a diferencia de las otras corrientes, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron un gran aumento, los pesos híbridos de estas quedaron en exceso respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador redujo el peso de la escoria y los gases.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que estas no tienen una tendencia general clara, esto se debe a que cuando no se utilizó la restricción 3, el peso de los circulantes aumentó en mayor medida de lo que disminuyó la escoria, y debido a que el circulante tiene una mayor ley de arsénico, dichas variaciones generaron una disminución de las emisiones, mientras que cuando se utilizó la restricción 3, la escoria disminuyó en mayor medida de lo que aumentó el circulante, y a pesar de que también aumentó el peso del metal blanco, la reducción de la escoria fue suficiente para que las emisiones aumentaran.

Al comparar este ejemplo con el escenario sin corrientes gaseosas nuevamente se puede ver que en general, las variaciones tanto de finos como de pesos es muy similar, la mayor diferencia se puede ver en la variación del peso de la escoria, la cual en este caso es menor debido a que la corriente de gases “ayuda” a la escoria a ajustar el balance de pesos.

6.2.3 CASO 3: PESOS SECOS Y FINOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 41 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	20.000	6.800	34%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	8.200	0	0%
Circulante a CT	2.000	750	38%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	33.544	8.166	
MB	10.000	7.000	70%
Escoria	15.000	1.300	9%
Gases	13.100	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4.000	1.700	43%
Pérdidas	7.000	60	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	50.900	10.685	
Diferencia	-17.356	-2.519	
Emisiones As	2,61		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 42 RESULTADOS TABLA 41: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		2,61
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	0%	0%	-67%	-100%	0%	-59%	-100%	70%	11%	7,59
R1	0%	-30%	-9%	-22%	4%	-80%	-100%	104%	2%	0,00
R2	0%	-30%	-9%	-22%	-2%	-38%	-100%	98%	6%	0,00
R3 - 1	-27%	-41%	-61%	-9%	-33%	-3%	-9%	80%	21%	6,35
R3 - 2	-27%	-39%	-62%	-9%	-33%	-3%	-9%	77%	22%	6,34
R3 - 3	-29%	-34%	-65%	-8%	-33%	-3%	-8%	70%	24%	6,33

Detalles en Anexo 18.

En este ejemplo, se puede ver una variación del -100% (es decir, reducción a 0) de los finos del circulante para los casos donde no se utilizó la restricción 3, esto genera un error en el balance de los pesos, por lo que el ajuste de estos no se puede llevar a cabo.

Esta reducción se produce debido a que al haber una deficiencia tan grande de finos en las corrientes de entrada, el balanceador tiende a reducir los finos de las corrientes de salida para que se cumpla el balance de estos, y siendo que el circulante y la escoria son de las corrientes principales con menores FC, estas son las principales encargadas de reducir la diferencia entre finos a la entrada y a la salida, en este caso, llegando al extremo de reducir sus cantidades de finos a 0, cosa que es fenomenológicamente imposible que ocurra.

Cuando se utilizó la restricción 3, el balanceador modificó principalmente los finos de metal blanco, debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1. Estos son la mayor proporción de los finos de salida, por lo que en este caso, el reconciliador no tuvo que asignar 0 finos a los circulantes para cumplir con el balance de finos.

Respecto a la variación de los pesos de los casos reconciliados con la restricción 3, se puede ver que la mayor variación porcentual fue la de la escoria, debido a ser la corriente principal con menor FC respecto al peso, seguida por la variación de MB,

debido a que dicha restricción calcula el peso híbrido del MB según la mineralogía y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que todas las variaciones fueron negativas, es decir, los valores ajustados fueron menores que los valores iniciales, esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 43 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	28.500	7.500	26%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	10.000	0	0%
Circulante a CT	3.500	1.250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	47.044	9.473	
MB	7.000	5.500	79%
Escoria	9.000	500	6%
Gases	9.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.000	600	30%
Pérdidas	4.500	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	33.180	7.135	
Diferencia	13.864	2.338	
Emisiones As	11,98		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 44 RESULTADOS TABLA 43: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		11,98
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-2%	1%	89%	262%	1%	109%	262%	79%	6%	6,84
R1	-5%	-9%	83%	329%	-9%	137%	329%	79%	7%	6,45
R2	24%	2%	56%	280%	2%	85%	279%	79%	7%	7,48
R3 - 1	38%	40%	81%	4%	42%	2%	4%	80%	3%	9,18
R3 - 2	36%	46%	78%	5%	42%	2%	5%	77%	3%	9,15
R3 - 3	32%	59%	72%	7%	41%	3%	7%	70%	3%	9,10

Detalles en Anexo 19.

A diferencia del ejemplo anterior, en este caso si se logró llegar a valores factibles en todos los casos, esto es producto de que en este ejemplo, las corrientes de entrada eran mayores inicialmente, por lo que el ajuste consistía en aumentar la cantidad de finos y pesos de las corrientes de salida, en vez de disminuirlos.

En este ejemplo, en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia una enorme variación porcentual del circulante, tanto de los finos como del peso, lo que se debe a que sus valores iniciales son considerablemente menores que en el ejemplo anterior, por lo que las variaciones unitarias tienen una mayor variación porcentual representativa.

Junto con las grandes variaciones de finos y peso del circulante en los casos donde no se utilizó la restricción 3, también se puede apreciar una gran variación de finos y peso de la escoria, lo que también se explica debido a los bajos valores iniciales de estos, cosa que magnifica los cambios unitarios al ser representados como porcentajes.

Respecto a la variación de finos en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia que la variación de circulantes es más del doble que la variación de la escoria, siendo que tienen valores iniciales similares, esto se explica debido a que el FC de los finos del circulante es 1, mientras que el de la escoria es 2.

Al utilizar la restricción 3 se aprecia que la mayor variación de los finos fue del MB, lo que se explica debido a que dicha restricción le baja el FC a los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras.

También se puede ver respecto de los pesos reconciliados con la restricción 3, que la mayor variación fue de la escoria, seguida por el metal blanco, donde por el lado de la escoria esta variación se debe al bajo FC de este, mientras que para el MB, la variación se debe al cálculo del peso híbrido por parte de la relación de coeficiente

de oxígeno y ley de escoria, la cual varía con cada concentrado, como se puede ver en la tabla del ejemplo, la variación del peso del MB es mayor a medida que la ley esperada es menor.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

Al comparar ambos ejemplos del caso 3 (entradas en exceso y en deficiencia) en los escenarios con y sin corrientes gaseosas, se puede ver que el comportamiento general de los resultados es bastante similar, donde los gases terminan actuando como una corriente que ayuda a la escoria a ajustar el balance de los pesos.

6.3 SOLO CONSIDERANDO GASES DE SALIDA

Al igual que en el capítulo 6.2, agregar solo corrientes gaseosas de salida no tiene efecto en el balance de finos, solo influye en el balance de pesos, donde la corriente de gases actúa en paralelo con la escoria para ajustar el balance de peso, por lo que la corriente principalmente afectada es la escoria, mientras que las demás mantienen un comportamiento similar a cuando no se consideraron corrientes gaseosas.

6.3.1 CASO 1: PESOS SECOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 45 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	22.000	6.500	30%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.500	1.100	44%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	27.845	8.263	
MB	8.500	6.100	72%
Escoria	13.000	800	6%
Gases	9.000	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3.000	800	27%
Pérdidas	5.000	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	40.300	8.360	
Diferencia	-12.455	-97	
Emissiones As	4,84		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 46 RESULTADOS TABLA 45: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		4,84
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-26%	0%	-74%	-8%	0%	-4%	-8%	72%	23%	8,36
R1	-26%	-3%	-76%	6%	-3%	3%	6%	72%	27%	8,28
R2	-22%	0%	-71%	-27%	0%	17%	-27%	72%	24%	8,50
R3 - 1	-24%	-11%	-70%	-1%	-1%	-1%	-1%	80%	20%	8,31
R3 - 2	-25%	-8%	-72%	-1%	-1%	0%	-1%	77%	22%	8,31
R3 - 3	-27%	1%	-77%	0%	-2%	0%	0%	70%	26%	8,31

Detalles en Anexo 8.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la medición con menor factor de calidad después de la corriente "Polvos" y "MB a CT", las cuales tienen valores muy bajos por lo que sus modificaciones no son suficientes

para ajustar los pesos, los gases son la segunda corriente con mayor variación en los pesos, lo que también se justifica debido a su bajo FC (4, mientras que el de la escoria es 2).

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

En comparación con el escenario sin corrientes gaseosas se puede ver que en este ejemplo las variaciones de los pesos y los finos son bastante similares, donde las diferencias se deben a que en este caso los gases ayudan a la escoria a lograr el balance de pesos, mientras que al mismo tiempo aumentan la diferencia respecto de los datos iniciales de entrada y salida.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 47 DATOS INICIALES: PESOS DE ENTRADA EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	640	43%
CNU	26.500	7.200	27%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3.300	1.000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	34.845	8.863	
MB	7.200	5.700	79%
Escoria	8.500	900	11%
Gases	8.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.200	1.400	64%
Pérdidas	3.000	35	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	30.580	8.660	
Diferencia	4.265	203	
Emissiones As	10,21		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 48 RESULTADOS TABLA 47: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		10,21
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	13%	0%	34%	12%	0%	4%	12%	79%	8%	9,83
R1	14%	1%	33%	8%	1%	3%	8%	79%	8%	9,86
R2	14%	0%	31%	17%	0%	-4%	17%	79%	8%	9,83
R3 - 1	15%	3%	33%	1%	3%	0%	1%	80%	8%	9,94
R3 - 2	14%	7%	30%	2%	3%	1%	2%	77%	8%	9,92
R3 - 3	11%	15%	25%	4%	2%	1%	4%	70%	9%	9,89

Detalles en Anexo 9.

En este ejemplo, nuevamente se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, debido al gran FC de dicha medición, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación, tanto de los finos como del peso del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

Los datos reconciliados con la restricción 3 destacan por su baja variación de finos en comparación con los otros casos, lo que se debe a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB, bajándolo de 1.600 a 1, por lo que el valor de éstos se vuelve más propenso a ser modificado que los finos de otras corrientes y debido a su gran valor y a que en este ejemplo, los finos están relativamente ajustados, una pequeña variación porcentual de su valor es suficiente para lograr el ajuste de finos. Esto a su vez genera una baja variación de los finos de circulante, lo que va acompañado de una baja variación del peso de éste, debido al cálculo del peso híbrido.

Se puede ver que la mayor variación del peso es la de la escoria, producto de ser la corriente principal con menor FC ("Polvos" y "MB a CT" tienen menor FC, pero al ser corrientes de bajo peso, sus modificaciones unitarias son más costosas que las de la escoria). En este ejemplo se aprecia una menor variación del peso de la escoria que el ejemplo anterior, lo que se debe a que en este ejemplo la diferencia entre las corrientes de entrada y salida es mucho menor al ejemplo anterior.

Siguiendo con la escoria, se puede ver que la ley final de la escoria es menor al ejemplo anterior, lo que se justifica debido a que en este ejemplo, para lograr el balance de masa la escoria aumentó su peso, con lo que se redujo su ley.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, el peso del MB varió en mayor medida que en los otros casos, esto es debido a que dicha restricción hace

que el peso híbrido se calcule según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que la gran mayoría de las variaciones fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

Al contrastar este ejemplo con el Caso 1 en el escenario sin corrientes gaseosas, se aprecia que los resultados no son muy similares, más allá de la tendencia y comportamiento general, lo que se debe a que los valores iniciales son muy diferentes entre ambos ejemplos.

6.3.2 CASO 2: FINOS DESBALANCEADOS

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 49 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	26.000	7.000	27%
Sílice	3.000	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3.000	800	27%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	33.545	8.416	
MB	8.200	6.500	79%
Escoria	12.500	1.200	10%
Gases	7.500	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.700	1.700	63%
Pérdidas	2.000	60	3%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	34.580	10.085	
Diferencia	-1.035	-1.669	
Emisiones As	7,64		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 50 RESULTADOS TABLA 49: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		7,64
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	15%	0%	0%	-77%	0%	-27%	-77%	79%	7%	9,72
R1	15%	-1%	0%	-75%	-1%	-26%	-75%	79%	7%	9,68
R2	5%	0%	11%	-98%	0%	2%	-98%	79%	9%	9,59
R3 - 1	3%	-24%	7%	-6%	-24%	-2%	-6%	80%	9%	8,95
R3 - 2	2%	-21%	5%	-6%	-24%	-2%	-6%	77%	9%	8,95
R3 - 3	1%	-14%	2%	-4%	-24%	-2%	-4%	70%	9%	8,95

Detalles en Anexo 14.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar la restricción 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dicha restricción apunta directamente a modificar la ley de este.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron negativas, es decir, el valor ajustado fue menor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que la mayoría de las variaciones de la escoria y gases fueron positivas, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron una gran disminución, los pesos híbridos de estas quedaron en deficiencia respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador aumento el peso de la escoria y gases.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Al contrastar este ejemplo con el Caso 2 en el escenario sin corrientes gaseosas, se aprecia que los resultados no son muy similares, más allá de la tendencia y comportamiento general, lo que se debe a que los valores iniciales son muy diferentes entre ambos ejemplos

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 51 DATOS INICIALES: FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	26.500	7.500	28%
Sílice	2.700	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.500	1.250	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	33.245	9.473	
MB	8.500	5.950	70%
Escoria	9.500	500	5%
Gases	8.000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.500	600	24%
Pérdidas	2.500	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	32.680	7.585	
Diferencia	565	1.888	
Emisiones As	7,13		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 52 RESULTADOS TABLA 51: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		7,13
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-15%	1%	-42%	210%	1%	87%	210%	70%	17%	7,87
R1	-15%	-3%	-46%	239%	-3%	100%	239%	70%	20%	7,70
R2	-20%	1%	-48%	245%	2%	38%	246%	70%	14%	7,58
R3 - 1	-3%	15%	-6%	1%	32%	1%	1%	80%	6%	9,31
R3 - 2	-4%	20%	-9%	2%	31%	1%	2%	77%	6%	9,30
R3 - 3	0%	31%	-16%	3%	31%	1%	3%	70%	6%	9,29

Detalles en Anexo 15.

En este ejemplo se puede ver que los datos ajustados sin restricción y con la restricción 2 tienen poco impacto en la variación del metal blanco, lo que se explica debido a que el metal blanco es una corriente con un alto FC, por lo que el reconciliador tiende a no modificarlo, o hacerlo en muy baja medida, mientras que al utilizar las restricciones 1 y 3 se puede notar una mayor variación del metal blanco, debido a que dichas restricciones apuntan directamente a modificar la ley de este.

También se aprecia que cuando se utilizó la restricción 3, tanto los finos como el peso del MB variaron en mayor medida que en los otros casos y que las otras corrientes, esto es debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras, mientras que la variación de los pesos se debe a que la restricción 3 hace que el peso híbrido sea calculado según la ley de MB obtenida con la relación entre el concentrado y el coeficiente de oxígeno.

En los casos donde no se utilizó la restricción 3 se ve una mayor variación porcentual de circulante que de escoria y metal blanco, tanto para los finos como para el peso, esto se debe a que, respecto a los finos, los circulantes son los que tienen menor factor de calidad en la medición de finos (factor de calidad 1 versus factor de calidad 2 para la escoria y 1.200 para metal blanco). La gran variación del peso de los circulantes se debe a la gran variación de finos de circulante, ya que con los finos ajustados se calculan los pesos híbridos.

Se aprecia que en comparación con el ejemplo anterior, cuando no se utilizó la restricción 3, la variación porcentual tanto de finos como de peso del circulante y escoria fue mucho mayor, esto se debe a que la diferencia entre los finos que entran y los que salen se mantiene con un valor relativamente similar, mientras que los finos del circulante y la escoria son mucho menores en este ejemplo (600 y 500

respectivamente, versus 1.700 y 1.200 en el ejemplo anterior), esta considerable variación de finos es lo que produce la gran variación de pesos.

El gran aumento de los finos de la escoria, junto con la gran disminución del peso de esta es lo que produce que en los casos donde no se utilizó la restricción 3 la ley de la escoria sea tan elevada.

Se puede ver que la gran mayoría de las variaciones de los finos fueron positivas, es decir, el valor ajustado fue mayor que el valor medido. Esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente mayores.

Respecto a los pesos se puede apreciar que todas las variaciones de la escoria y los gases fueron negativas, a diferencia de las otras corrientes, lo que se explica debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos, donde debido a que los finos de las corrientes de salida tuvieron un gran aumento, los pesos híbridos de estas quedaron en exceso respecto de los pesos híbridos de las corrientes de entrada, por lo que para cumplir con el balance de masa, el reconciliador redujo el peso de la escoria y los gases.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Al contrastar este ejemplo con el Caso 2 en el escenario sin corrientes gaseosas, se aprecia que los resultados no son muy similares, más allá de la tendencia y comportamiento general, lo que se debe a que los valores iniciales son muy diferentes entre ambos ejemplos

6.3.3 Caso 3: Pesos secos y finos desbalanceados

Corrientes de entrada en deficiencia:

TABLA 53 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	600	40%
CNU	20.000	6.800	34%
Sílice	1.800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2.000	750	38%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	25.345	8.166	
MB	10.000	7.000	70%
Escoria	15.000	1.300	9%
Gases	9.000	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4.000	1.700	43%
Pérdidas	7.000	60	1%
Inventario final	1.600	600	38%
SUMA	46.800	10.685	
Diferencia	-21.455	-2.519	
Emisiones As	2,61		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 54 RESULTADOS TABLA 53: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		2,61
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	0%	-1%	-84%	-100%	0%	-59%	-100%	70%	22%	8,25
R1	0%	-1%	-84%	-100%	4%	-80%	-100%	73%	11%	8,25
R2	0%	-1%	-84%	-100%	-2%	-38%	-100%	69%	33%	8,25
R3 - 1	-29%	-41%	-94%	-9%	-33%	-3%	-9%	80%	131%	7,78
R3 - 2	-29%	-39%	-95%	-9%	-33%	-3%	-9%	77%	167%	7,78
R3 - 3	-30%	-34%	-98%	-8%	-33%	-3%	-8%	70%	449%	7,79

Detalles en Anexo 20.

En este ejemplo, se puede ver una variación del -100% (es decir, reducción a 0) de los finos del circulante para los casos donde no se utilizó la restricción 3, esto genera un error en el balance de los pesos, por lo que el ajuste de estos no se puede llevar a cabo.

Esta reducción se produce debido a que al haber una deficiencia tan grande de finos en las corrientes de entrada, el balanceador tiende a reducir los finos de las corrientes de salida para que se cumpla el balance de estos, y siendo que el circulante y la escoria son de las corrientes principales con menores FC, estas son las principales encargadas de reducir la diferencia entre finos a la entrada y a la salida, en este caso, llegando al extremo de reducir sus cantidades de finos a 0, cosa que es fenomenológicamente imposible que ocurra.

Cuando se utilizó la restricción 3, el balanceador modifico principalmente los finos de metal blanco, debido a que dicha restricción modifica el FC de los finos del MB de 1.600 a 1. Estos son la mayor proporción de los finos de salida, por lo que en este caso, el reconciliador no tuvo que asignar 0 finos a los circulantes para cumplir con el balance de finos.

Respecto a la variación de los pesos de los casos reconciliados con la restricción 3, se puede ver que la mayor variación porcentual fue la de la escoria, debido a ser la corriente principal con menor FC respecto al peso, seguida por la variación de MB, debido a que dicha restricción calcula el peso híbrido del MB según la mineralogía y el coeficiente de oxígeno.

Por último se puede ver que todas las variaciones fueron negativas, es decir, los valores ajustados fueron menores que los valores iniciales, esto se debe a que las principales corrientes de entrada tienen un mayor FC en comparación con las principales corrientes de salida, por lo que el balanceador tiende a igualar las

corrientes de salida a las de entrada, las que en este ejemplo son inicialmente menores.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que aumentan, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente menores los pesos de entrada, el reconciliador reduce los pesos de salida, lo que produce que las emisiones aumenten.

Al comparar este ejemplo con el del caso 3 sin corrientes gaseosas se puede ver que se da el mismo comportamiento general, donde la mayor diferencia se ve en la variación de los pesos de la escoria, los que en este caso son mayores debido a que la diferencia de pesos entre las corrientes de entrada y salida son significativamente mayores en este caso.

Corrientes de entrada en exceso:

TABLA 55 DATOS INICIALES: PESOS Y FINOS DE ENTRADA EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1.500	700	47%
CNU	28.500	7.500	26%
Sílice	3.500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3.500	1.250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	37.045	9.473	
MB	7.000	5.500	79%
Escoria	8.000	500	6%
Gases	8.500	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2.000	600	30%
Pérdidas	3.000	10	0%
Inventario final	1.600	500	31%
SUMA	30.180	7.135	
Diferencia	6.865	2.338	
Emisiones As	11,98		

Estos datos, al ser reconciliados se obtienen las siguientes variaciones principales.

TABLA 56 RESULTADOS TABLA 55: CORRIENTES CON MAYORES VARIACIONES

	Variación peso				Variación Finos			Ley		11,98
	Gases	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	Circulante	MB	Escoria	As
s/R	-10%	1%	23%	261%	1%	109%	262%	79%	11%	8,94
R1	-11%	-7%	16%	317%	-7%	132%	318%	79%	13%	8,64
R2	-1%	2%	4%	291%	2%	68%	291%	79%	10%	9,05
R3 - 1	16%	40%	32%	4%	42%	2%	4%	80%	5%	10,85
R3 - 2	14%	45%	29%	5%	42%	2%	5%	77%	5%	10,83
R3 - 3	10%	58%	22%	7%	41%	3%	7%	70%	5%	10,78

Detalles en Anexo 21.

A diferencia del ejemplo anterior, en este caso si se logró llegar a valores factibles en todos los casos, esto es producto de que en este ejemplo, las corrientes de entrada eran mayores inicialmente, por lo que el ajuste consistía en aumentar la cantidad de finos y pesos de las corrientes de salida, en vez de disminuirlos.

En este ejemplo, en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia una enorme variación porcentual del circulante, tanto de los finos como del peso, lo que se debe a que sus valores iniciales son considerablemente menores que en el ejemplo anterior, por lo que las variaciones unitarias tienen una mayor variación porcentual representativa.

Junto con las grandes variaciones de finos y peso del circulante en los casos donde no se utilizó la restricción 3, también se puede apreciar una gran variación de finos y peso de la escoria, lo que también se explica debido a los bajos valores iniciales de estos, cosa que magnifica los cambios unitarios al ser representados como porcentajes.

Respecto a la variación de finos en los casos donde no se utilizó la restricción 3, se aprecia que la variación de circulantes es más del doble que la variación de la escoria, siendo que tienen valores iniciales similares, esto se explica debido a que el FC de los finos del circulante es 1, mientras que el de la escoria es 2.

Al utilizar la restricción 3 se aprecia que la mayor variación de los finos fue del MB, lo que se explica debido a que dicha restricción le baja el FC a los finos del MB de 1.600 a 1, por lo que hace que dicha medición sea más propensa a ser modificada que las otras.

También se puede ver respecto de los pesos reconciliados con la restricción 3, que la mayor variación fue de la escoria, seguida por el metal blanco, donde por el lado de la escoria esta variación se debe al bajo FC de este, mientras que para el MB, la variación se debe al cálculo del peso híbrido por parte de la relación de coeficiente

de oxígeno y ley de escoria, la cual varía con cada concentrado, como se puede ver en la tabla del ejemplo, la variación del peso del MB es mayor a medida que la ley esperada es menor.

Respecto a las emisiones de arsénico, se puede ver que independiente del modo de reconciliación, estas disminuyen, lo que se debe a que en este ejemplo, al ser inicialmente mayores los pesos de entrada, el reconciliador aumenta los pesos de salida, lo que produce que las emisiones disminuyan.

Al comparar este ejemplo con el del caso 3 sin corrientes gaseosas se puede ver que se da el mismo comportamiento general, donde la mayor diferencia se ve en la variación de los pesos de la escoria, los que en este caso son menores debido a que la diferencia de pesos entre las corrientes de entrada y salida son significativamente menores en este caso.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-Se analizaron actualizaciones y mejoras para el método de reconciliación de materiales de la F.H.V.L, considerando la relación entre ley de metal blanco y ley de escoria, la relación entre coeficiente de oxígeno y ley de metal blanco y por último considerando el efecto de agregar corrientes gaseosas al balance, donde se observó que al considerar las relaciones fenomenológicas los resultados que se obtienen varían significativamente en relación a cuando no se consideran, ya que tienden a acercarse bastante a los valores calculados por las relaciones.

-Se puede ver que una de las mejoras propuestas más importantes a implementar, es la inclusión de las corrientes gaseosas de entrada y de salida, ya que el no considerarlas genera un desbalance permanente para el CT, desbalance que influye principalmente disminuyendo las emisiones calculadas de éste.

-Al incluir al balanceador la restricción blanda basada en la relación entre el coeficiente de oxígeno y la ley del metal blanco, se ve un claro efecto en los datos reconciliados, donde la ley final del metal blanco es muy cercana a la calculada por la relación, por lo que para utilizar esta restricción es imperativo conocer la mineralogía del concentrado que se está utilizando, ya que diferentes concentrados pueden generar metales blancos con leyes significativamente diferentes al ser fundidos en las mismas condiciones.

-Debido al menor factor de calidad en general de las corrientes de salida, el reconciliador siempre modifica dichas corrientes para que sus valores se ajusten a los de las corrientes de entrada. Esto genera que en todos los casos donde las corrientes de salida son significativamente mayores, en peso o finos, a las de entrada, las emisiones aumentan una vez que se ajustan los datos, lo contrario ocurre cuando las corrientes de entrada son mayores. Para el caso de los finos, esto

ocurre siempre y cuando no se agreguen restricciones que modifiquen en gran medida el comportamiento del metal blanco.

-En general las emisiones de arsénico dependen principalmente de la forma que varíe el peso seco del circulante y el de la escoria, donde la variación del peso seco del circulante depende en gran medida de la variación de finos de este, mientras que para la escoria, la variación del peso seco de ésta depende principalmente del desbalance de los pesos híbridos.

-En los casos donde los finos de las corrientes de salida sean mucho mayores que los finos de las corrientes de entrada, es posible que el reconciliador llegue a resultados inverosímiles, asignando 0 finos a corrientes que por fenomenología, deben tener.

-Producto del algoritmo del balanceador, los pesos secos medidos tienen poca importancia en comparación a los finos medidos, lo que se demuestra en los casos donde a pesar de que los pesos secos medidos estén relativamente ajustados, éstos pueden tener grandes variaciones si los finos medidos no están bien ajustados, debido al cálculo y posterior ajuste de los pesos híbridos.

-Si se presenta el caso donde los pesos secos medidos están bien balanceados, pero los finos medidos están desajustados, esto puede ser señal de errores en la obtención de los finos, producto de muestreos poco representativos y errores en el cálculo de la humedad del concentrado, por lo que se recomienda incluir alguna alarma que indique a los operarios de esta situación, para verificar y corregir las leyes de las corrientes involucradas.

-Para reducir la incidencia de errores humanos al ingresar datos, o de considerar mediciones hechas por instrumentos descalibrados, se sugiere la creación de una base de datos que ayude a identificar cuando un dato ingresado es anómalo, considerando datos históricos de dicho flujo y de ser posible, considerando también datos ingresados de otros flujos relacionados.

-Se observa que las pérdidas son estimadas considerando condiciones de operación anteriores a la inclusión del CT y por lo tanto, se puede suponer que éstas están siendo sobreestimadas, por lo que se recomienda reevaluar y ajustar el cálculo de ellas a las condiciones actuales de operación.

8. REFERENCIAS

- [1] <http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2015/01/Informe-Tendencias-Cochilco-Enero-2015.pdf>
- [2] Manual Horno Flash CODELCO, pp. 3-13.
- [3] Andrés Mac-Lean 2013, Competitividad de la Minería Chilena, Cochilco.
- [4] ENAMI F.H.V.L., «Metodología balance mensual de azufre y arsénico,» pp. 3-10, 2014.
- [5] Curso de Metalúrgica, capítulo 13, Universidad de Santiago de Chile.
- [6] Schlesinger, King, Sole, Davenport «Extractive metallurgy of copper» pp. 74-75, 2011.
- [7] Diego Godoy, Diseño de un modelo para resolver balances metalúrgicos de cobre, plata y oro en fundiciones de cobre, 2014.
- [8] Schlesinger, King, Sole, Davenport «Extractive metallurgy of copper» pp. 129-137, 2011.
- [9] Schlesinger, King, Sole, Davenport «Extractive metallurgy of copper» pp. 240-241, 2011.
- [10] ENAMI F.H.V.L., “Optimización de la operación del convertidor teniente de la Fundición Hernán Videla Lira”
- [11] Inlibra, “¿Que es reconciliación de datos y como se usa?”, 2010.
- [12] Informe N°1 Foster ING, “Verificación Puntos de Muestreo e Instrumentos”, Diciembre 2014.
- [13] Schlesinger, King, Sole, Davenport «Extractive metallurgy of copper» p. 191, 2011.
- [14] Schlesinger, King, Sole, Davenport «Extractive metallurgy of copper» p. 85, 2011.
- [15] Manual Horno Flash CODELCO, pp. 44-59.

9. ANEXOS

ANEXO 1: EJEMPLO DE RECONCILIACIÓN MATRICIAL

Tomando como ejemplo el nodo descrito en la Figura 9.1:

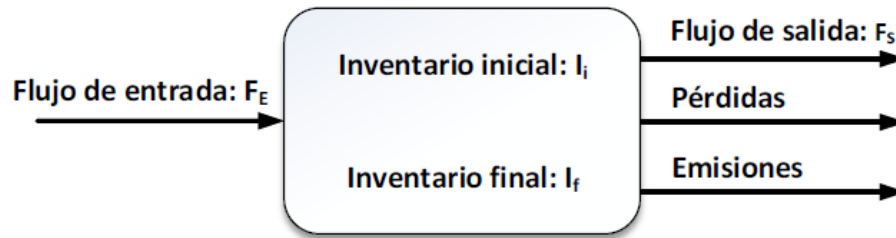


FIGURA 9.1 NODO EJEMPLO.

El balance está dado por:

$$\text{Resultado} = F_E - F_S + I_f - I_i - \text{Pérdidas} - \text{Emisiones} \quad (9.1)$$

De forma demostrativa, la ecuación 9.2 representa la función objetivo de las variables existentes en el nodo de la Figura 9.1.

$$F.O = (\min): \sum D_i = \frac{P_E * (F_{E,m} - F_{E,a})^2}{F_{E,m}^2} + \frac{P_S * (F_{S,m} - F_{S,a})^2}{F_{S,m}^2} + \frac{P_F * (I_{F,m} - I_{F,a})^2}{I_{F,m}^2} + \frac{P_I * (I_{i,m} - I_{i,a})^2}{I_{i,m}^2} \quad (9.2)$$

Cabe hacer notar que para el nodo ejemplo, la función objetivo debe ser resuelta cumpliendo con la conservación de la materia, lo que queda representado por la ecuación 9.3.

$$0 = F_{E,a} + I_{F,a} - F_{S,a} - I_{I,a} \quad (9.3)$$

Tomando en cuenta lo anterior, se plantea el problema de optimización para el nodo ejemplo de la Figura 9.1, de acuerdo a la ecuación 9.4.

$$(\min): \sum_{i \in \text{Nodo}} D_i \quad (9.4)$$

Sujeto a ecuación 9.3

Se hace mención al hecho que el balance de materia se ha agregado como restricción de igualdad del problema de optimización con el objetivo de asegurar que la solución del problema de minimización tenga sentido físico, al cumplir con la ley de conservación. Es importante indicar también que este sistema se ha supuesto sin pérdidas ni emisiones. En el caso de existir estos elementos en el nodo, la estructura de la función objetivo no se ve afectada ya que solamente considera términos que han sido medidos, pero si sería necesario incluirlos en el balance de materia. Si el sistema a reconciliar tiene n nodos, la ecuación 9.4 se puede generalizar sin problema alguno, quedando entonces un planteamiento flexible de optimización.

De la ecuación 9.2 se puede apreciar que lo relevante para llevar a cabo la reconciliación del balance, no es el error escalado en sí, si no, la diferencia relativa entre los errores escalados entre las corrientes.

ANEXO 2

Determinación del error de una medida indirecta:

Sean x e y dos cantidades medidas directamente, con errores absolutos δ_x y δ_y respectivamente, entonces el error asociado a la variable z , definida como una función de x e y , ($z = f(x, y)$), se puede obtener a partir de la definición de derivada total:

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy \quad (9.5)$$

La dependencia de la ecuación anterior es extensible a los errores de la variable algebraica z . De esta forma, el error asociado a z , definido como δ_z , está dado por:

$$\delta_z = \frac{\partial z}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial z}{\partial y} \delta_y = \frac{\partial f}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial f}{\partial y} \delta_y \quad (9.6)$$

Puesto que un error se define como la diferencia entre el valor medido y el real, la cual puede ser tanto positiva como negativa, es necesario elevar al cuadrado los términos de la ecuación (9.6), obteniéndose la expresión (9.7).

$$\delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \delta_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \delta_y\right)^2} \quad (9.7)$$

Notar que al elevar al cuadrado la ecuación (9), el término $\delta_x \delta_y$ que contiene es ostensiblemente más pequeño que el resto, por lo que se desprecia.

La ecuación (9.7), puede generalizarse fácilmente: dada una variable z , la cual depende de n variables independientes, las cuales son medidas directamente y tienen errores absolutos de medición $e_1 \dots e_n$. La estimación del error de z está dada por:

$$e_z = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} e_i\right)^2} \quad (9.8)$$

ANEXO 3

Considerar el siguiente sistema constituido por dos nodos como ejemplo. Para cada nodo está definido sus inventarios iniciales y finales con sus respectivos factores de calidad, mientras que para cada flujo se encuentran medidos su peso total, humedad y los porcentajes de cobre, plata, oro, azufre y de arsénico, además de los factores de calidad asociados a cada medición. A continuación se presenta la Figura 9.2 correspondiente al sistema de dos nodos y seis flujos:

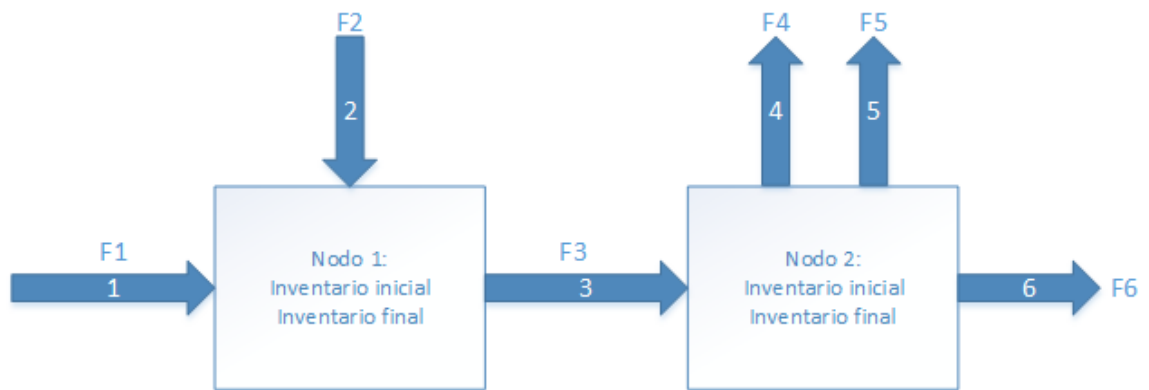


FIGURA 9.2 SISTEMA DE NODOS PARA EJEMPLO.

Se considerara la siguiente información base.

TABLA 57 MEDICIONES DE FLUJO

MEDICIONES DE FLUJO						
Ítem	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Peso	248	51	300	24	179	107
Humedad	0	6	2	10	0	0
Ley Cu	37	33	35,1	0,7	7	77
Ley Ag	1	0,5	0,9	1	0,1	0,6
Ley Au	0,1	0,3	0,19	0,1	0,01	0,55
Ley S	37	28	28	44	5	39,5
Ley As	0,4	0,3	0,45	0,6	0,2	0,15

TABLA 58 MEDICIONES DE INVENTARIOS INICIALES

MEDICIONES DE INVENTARIOS INICIALES		
Ítem	I1	I2
Peso	40	41
Humedad	2	2,1
Ley Cu	34	35
Ley Ag	1,7	1,6
Ley Au	0,4	0,6
Ley S	25	27
Ley As	0,8	0,5

TABLA 59 MEDICIONES DE INVENTARIOS FINALES.

MEDICIONES DE INVENTARIOS FINALES		
Ítem	I1	I2
Peso	41	39
Humedad	0	0
Ley Cu	39	40
Ley Ag	1,7	2,6
Ley Au	0,35	0,25
Ley S	28	30
Ley As	0,4	0,2

Por otra parte también son necesarios los factores de calidad (tablas 60, 61 y 62), asociados a cada medición ingresada en las tablas 57, 58 y 59 con excepción de las mediciones de porcentaje de azufre, arsénico y humedad las cuales no participan de la reconciliación

TABLA 60 FACTORES DE CALIDAD DE FLUJOS PARCIALES.

FACTORES DE CALIDAD FLUJOS PARCIALES						
Ítem	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Peso	10000000	10000000	10	10000000	10000000	10000000
Ley Cu	10000000	10000000	30	10000000	10000000	10000000
Ley Ag	10000000	10000000	20	10000000	10000000	10000000
Ley Au	10000000	10000000	50	10000000	10000000	10000000

TABLA 61 FACTORES DE CALIDAD DE INVENTARIOS INICIALES.

FACTORES DE CALIDAD INVENTARIOS INICIALES		
Ítem	I1	I2
Peso	10000000	10000000
Ley Cu	10000000	10000000
Ley Ag	10000000	10000000
Ley Au	10000000	10000000

TABLA 62 FACTORES DE CALIDAD DE INVENTARIOS FINALES.

FACTORES DE CALIDAD INVENTARIOS FINALES		
Ítem	I1	I2
Peso	30	50
Ley Cu	2	10
Ley Ag	50	30
Ley Au	100	5

Finalmente se debe especificar para cada flujo, su nodo de origen y su nodo de llegada, asignando valor 1 si el flujo entra al nodo y -1 si sale y asignado el valor de cero si es que el flujo es de entrada o salida global. También hay que asignarle valor a los inventarios, asignando valor 1 si es inicial y -1 si es final.

TABLA 63 INCIDENCIAS.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Inv i 1	Inv f 1	Inv i 2	Inv f 2
Nodo 1	1	1	-1	0	0	0	1	-1	0	0
Nodo 2	0	0	1	-1	-1	-1	0	0	1	-1

Con la información ya ingresada en el sistema se puede comenzar con el desarrollo del problema.

El Primer paso contempla el cálculo del peso seco, utilizando la información de peso total y humedad y por otra parte el cálculo de los finos de cobre, plata y oro, utilizando el peso total y los respectivos porcentajes de finos. Realizando estos cálculos se obtienen los siguientes resultados.

TABLA 64 FLUJOS PARCIALES CON PESO SECO.

FLUJOS PARCIALES						
Ítem	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Peso seco	248	47,94	294	21,6	179	107
Finos Cu	91,76	15,8202	103,194	0,1512	12,53	82,39
Finos Ag	2,48	0,2397	2,646	0,216	0,179	0,642
Finos Au	0,248	0,14382	0,5586	0,0216	0,0179	0,5885
Finos S	91,76	13,4232	82,32	9,504	8,95	42,265
Finos As	0,992	0,14382	1,323	0,1296	0,358	0,1605

TABLA 65 INVENTARIOS INICIALES PARCIALES.

INVENTARIOS INICIALES PARCIALES		
Ítem	I1	I2
Peso seco	39,2	40,139
Finos Cu	13,328	14,04865
Finos Ag	0,6664	0,642224
Finos Au	0,1568	0,240834
Finos S	9,8	10,83753
Finos As	0,3136	0,200695

TABLA 66 INVENTARIOS FINALES PARCIALES.

INVENTARIOS FINALES PARCIALES		
Ítem	I1	I2
Peso seco	41	39
Finos Cu	15,99	15,6
Finos Ag	0,697	1,014
Finos Au	0,1435	0,0975
Finos S	11,48	11,7
Finos As	0,164	0,078

Una vez calculados los finos de cobre, plata y oro de cada flujo y cada inventario y junto a los factores de calidad, para cada fino por separado el programa calcula las matrices FP_F , $FP_{I,in}$ y $FP_{I,out}$ mencionadas en el capítulo 3.3.3. Por otra parte para cada nodo se definirán las matrices B^1 y B^0 y utilizando la información de origen y destino de cada flujo se genera la matriz A . Con este conjunto se arman las matrices

M y N y junto a la matriz x que por definición corresponde a la columna de variables a ajustar se resuelve el problema de reconciliación para finos de cobre, plata y oro según $Mx = N \rightarrow x = NM^{-1}$.

Realizados los cálculos se obtiene los finos de cobre, plata y oro ajustados para cada flujo e inventario. En la Tabla 67 se observa el valor de fino ajustado y el valor final para cada restricción:

TABLA 67 FINOS AJUSTADOS.

Etiqueta	Cu a	Ag a	Au a
F1	91,8	2,48	0,25
F2	15,8	0,24	0,14
F3	98,2	2,41	0,42
F4	0,15	0,22	0,02
F5	12,5	0,18	0,02
F6	82,4	0,64	0,59
Inv i 1	13,3	0,67	0,16
Inv f 1	14	0,64	0,24
Inv i 2	22,7	0,97	0,13
Inv f 2	17,2	2,02	0,03
R1	0	0	0
R2	0	0	0

Se observa que las restricciones $R1$ y $R2$ reportan un valor nulo, lo que indica que el balance de materia está ajustado para cada fino.

Una vez obtenidos los finos ajustados el siguiente paso corresponde a calcular el peso híbrido a través de la ecuación 3.3 y utilizando los valores de finos ajustados y leyes base (porcentaje de cobre, plata y oro de las tablas 57, 58, 59). Sin embargo existen 3 finos por lo que para cada flujo se calcularían tres valores diferentes, sin embargo solo se considerara el valor para el fino ajustado preponderante en el flujo, es decir el que se encuentra en mayor cantidad, ya que las mediciones del

componente preponderante registran menor error de medición. En la Tabla 68 se obtiene los pesos híbridos respectivos a su componente mayoritario:

TABLA 68 PESOS HÍBRIDOS.

Etiqueta	Peso Híbrido
F1	248
F2	47,94
F3	279,87
F4	21,6
F5	179
F6	107
Inv i 1	39,2
Inv f 1	40,14
Inv i 2	58,14
Inv f 2	43,03
R1	-2,87
R2	-30,62

Como se observa en la Tabla 68 las restricciones son diferentes de cero, por lo que el sistema no cuadra con referencia a los pesos secos híbridos. Para determinar los flujos de peso seco ajustado se utilizan los datos de peso seco híbrido como datos medidos y a través del procedimiento matricial se obtienen los pesos secos ajustados como se muestra en la Tabla 69:

TABLA 69 PESOS AJUSTADOS.

Etiqueta	Peso ajustado
F1	248
F2	47,94
F3	302,13
F4	21,6
F5	179
F6	107
Inv i 1	39,2
Inv f 1	40,14
Inv i 2	33,01
Inv f 2	34,67
R1	0
R2	0

Se observa que las restricciones R_1 y R_2 reportan un valor nulo, lo que indica que el balance de materia está ajustado para peso seco.

Culminado el desarrollo se calculan los pesos de azufre y arsénico utilizando los pesos secos ajustados y los porcentajes de ambos elementos en la información base. Sin embargo los flujos de azufre y arsénico no se reconcilian, sino que a través de la restricción global de cada nodo del proceso, es decir el balance de materia global a cada nodo se obtiene las emisiones de ambos elementos presentes en la Tabla 70:

TABLA 70 EMISIONES DE AZUFRE Y ARSENICO.

Etiqueta	Emisiones	
	S	As
N1	21,14	-0,04
N2	24,31	0,84

Finalmente en la Tabla 71 se comparan los valores medidos con los ajustados.

TABLA 71 COMPARACIÓN RESULTADOS FINALES Y DATOS INICIALES.

Etiqueta	Cobre			Plata			Oro			Peso seco		
	Antes	Despues	% Var	Antes	Despues	% Var	Antes	Despues	% Var	Antes	Despues	% Var
F1	91,8	91,8	0%	2,48	2,48	0%	0,25	0,25	0%	248	248,001253	0%
F2	15,8	15,8	0%	0,24	0,24	0%	0,14	0,14	0%	47,94	47,9400473	0%
F3	103,2	98,2	5%	2,65	2,41	9%	0,56	0,42	25%	294	302,127465	-3%
F4	0,15	0,15	0%	0,22	0,22	0%	0,02	0,02	0%	21,6	21,6000031	0%
F5	12,5	12,5	0%	0,18	0,18	0%	0,02	0,02	0%	179	178,999291	0%
F6	82,4	82,4	0%	0,64	0,64	0%	0,59	0,59	0%	107	106,9998	0%
I in 1	13,3	13,3	0%	0,67	0,67	0%	0,16	0,16	0%	39,2	39,2000315	0%
I in 2	14,0	14,0	0%	0,64	0,64	0%	0,24	0,24	0%	40,139	40,1390326	0%
I fin 1	16,0	22,7	-42%	0,70	0,97	-40%	0,14	0,13	8%	41	33,0138659	19%
I fin 2	15,6	17,2	-10%	1,01	2,02	-99%	0,10	0,03	69%	39	34,6674039	11%

Como se observa en la Tabla 71 el programa ajusta los valores medidos en mayor magnitud para las mediciones con menor factor de calidad y por el contrario las mediciones con el mayor factor de calidad como son flujos entrada y salidas globales no sufre variaciones.

ANEXO 4: CASO 1 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 72 DATOS INICIALES CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	21000	6500	31%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2000	1000	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	26345	8163	
MB	8500	6050	71%
Escoria	15000	750	5%
Gases	0	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3000	800	27%
Pérdidas	7000	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	35301	8260	
Diferencia	-8956	-97	
Emisiones As	3,93		

TABLA 73 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado sin restricciones					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21023,7	0%	6502,1	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,5	0%	1000,3	0%	50%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26369,3		8165,4		
MB	8493,3	0%	6047,7	0%	71%
Escoria	6490,6	-57%	721,9	-4%	11%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2758,3	-8%	735,9	-8%	27%
Pérdidas	6827,1	-2%	34,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26370,3		8165,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,53	66,1%			

TABLA 74 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según escoria					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21001,4	0%	6495,2	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	1998,9	0%	999,4	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26345,3		8157,6		
MB	8057,4	-5%	5737,2	-5%	71%
Escoria	6041,0	-60%	814,1	9%	13%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3544,9	18%	946,0	18%	27%

Pérdidas	6902,0	-1%	35,3	1%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26346,3		8157,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,36	61,9%			

TABLA 75 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21050,1	0%	6511,1	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2002,6	0%	1001,3	0%	50%
Polvos	32,3	1%	14,1	1%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26398,1		8175,5		
MB	8480,2	0%	6038,0	0%	71%
Escoria	7626,3	-49%	1013,2	35%	13%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	1742,8	-42%	464,9	-42%	27%
Pérdidas	6748,8	-4%	34,4	-2%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26399,1		8175,5		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,70	70,6%			

TABLA 76 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21016,4	0%	6500,4	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,1	0%	1000,0	0%	50%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26361,6		8163,4		
MB	7472,9	-12%	5969,8	-1%	80%
Escoria	7271,6	-52%	745,0	-1%	10%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2955,9	-1%	788,6	-1%	27%
Pérdidas	6861,1	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26362,6		8163,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,43	63,6%			

TABLA 77 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21016,7	0%	6500,3	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,1	0%	1000,0	0%	50%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26361,8		8163,3		
MB	7785,7	-8%	5965,2	-1%	77%
Escoria	6951,9	-54%	746,4	0%	11%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2967,6	-1%	791,8	-1%	27%
Pérdidas	6856,7	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26362,8		8163,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,44	64,0%			

TABLA 78 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	21017,2	0%	6500,0	0%	31%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,0	0%	1000,0	0%	50%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	26362,3		8163,0		
MB	8484,7	0%	5953,2	-2%	70%
Escoria	6232,7	-58%	749,9	0%	12%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2997,7	0%	799,9	0%	27%
Pérdidas	6847,2	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	26363,3		8163,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,49	65,1%			

ANEXO 5: CASO 1 CON ENTRADAS EN EXCESO, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 79 DATOS INICIALES CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	26500	7200	27%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	1	0	0%
Circulante a CT	3300	1000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	34845	8863	
MB	7500	5800	77%
Escoria	9000	1000	11%
Gases	1	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3000	1300	43%
Pérdidas	4500	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	25681	8760	
Diferencia	9164	103	
Emisiones As	10,21		

TABLA 80 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26425,1	0%	7198,8	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,4	0%	999,9	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34769,2		8861,7		
MB	7508,3	0%	5801,0	0%	77%
Escoria	17726,0	97%	1023,0	2%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3184,3	6%	1377,7	6%	43%
Pérdidas	4670,6	4%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34770,2		8861,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,55	-26,0%			

TABLA 81 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26422,8	0%	7201,0	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3300,1	0%	1000,1	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34767,6		8864,1		
MB	7751,8	3%	5988,0	3%	77%
Escoria	17800,5	98%	980,8	-2%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2855,3	-5%	1235,3	-5%	43%

Pérdidas	4680,0	4%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34768,6		8864,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,64	-25,2%			

TABLA 82 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26417,5	0%	7196,4	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3298,6	0%	999,6	0%	30%
Polvos	31,7	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34760,9		8859,0		
MB	7510,7	0%	5802,9	0%	77%
Escoria	17333,8	93%	858,8	-14%	5%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3553,2	18%	1537,0	18%	43%
Pérdidas	4683,2	4%	35,2	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34761,9		8859,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,49	-26,7%			

TABLA 83 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26421,9	0%	7200,1	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,8	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34766,4		8863,1		
MB	7405,6	-1%	5908,0	2%	80%
Escoria	18004,3	100%	998,9	0%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2996,1	0%	1296,2	0%	43%
Pérdidas	4680,3	4%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34767,4		8863,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,58	-25,7%			

TABLA 84 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26424,7	0%	7199,9	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,7	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34769,2		8862,9		
MB	7702,1	3%	5893,0	2%	77%
Escoria	17691,3	97%	1002,3	0%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3022,4	1%	1307,6	1%	43%
Pérdidas	4673,4	4%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34770,2		8862,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,60	-25,6%			

TABLA 85 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26431,0	0%	7199,4	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,6	0%	999,9	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34775,3		8862,4		
MB	8356,9	11%	5855,3	1%	70%
Escoria	16991,9	89%	1010,8	1%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3088,4	3%	1336,4	3%	43%
Pérdidas	4658,2	4%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34776,3		8862,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,63	-25,3%			

ANEXO 6: CASO 1 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 86 DATOS INICIALES CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	22000	6500	30%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	8200	0	0%
Circulante a CT	2500	1100	44%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	36044	8263	
MB	8500	6100	72%
Escoria	15000	800	5%
Gases	13100	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3000	800	27%
Pérdidas	7000	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	48400	8360	
Diferencia	-12356	-97	
Emisiones As	4,84		

TABLA 87 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22025,5	0%	6502,0	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8213,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,7	0%	1100,3	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36083,3		8265,3		
MB	8493,4	0%	6097,8	0%	72%
Escoria	6404,3	-57%	769,2	-4%	12%
Gases	9792,5	-25%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2767,8	-8%	738,5	-8%	27%
Pérdidas	6826,4	-2%	34,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36084,3		8265,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,46	54,1%			

TABLA 88 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22004,4	0%	6495,8	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8213,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2498,7	0%	1099,4	0%	44%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36060,1		8258,1		
MB	8087,2	-5%	5806,0	-5%	72%
Escoria	6027,7	-60%	864,0	8%	14%
Gases	9774,1	-25%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3477,4	16%	927,9	16%	27%

Pérdidas	6894,9	-2%	35,2	1%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36061,1		8258,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,30	50,9%			

TABLA 89 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22052,9	0%	6510,6	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8211,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2503,5	0%	1101,5	0%	44%
Polvos	32,3	1%	14,1	1%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36112,4		8275,3		
MB	8480,6	0%	6088,3	0%	72%
Escoria	7181,6	-52%	1049,5	31%	15%
Gases	10113,7	-23%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	1792,4	-40%	478,1	-40%	27%
Pérdidas	6745,1	-4%	34,4	-2%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36113,4		8275,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,72	59,6%			

TABLA 90 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22018,6	0%	6500,4	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8212,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,2	0%	1100,1	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36074,9		8263,4		
MB	7534,9	-11%	6019,4	-1%	80%
Escoria	6914,1	-54%	794,7	-1%	11%
Gases	10013,5	-24%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2958,4	-1%	789,3	-1%	27%
Pérdidas	6855,1	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36075,9		8263,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,43	53,5%			

TABLA 91 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22018,8	0%	6500,2	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8212,4	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,1	0%	1100,0	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36075,4		8263,3		
MB	7850,0	-8%	6014,5	-1%	77%
Escoria	6679,8	-55%	796,3	0%	12%
Gases	9924,1	-24%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2970,3	-1%	792,5	-1%	27%
Pérdidas	6852,2	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36076,4		8263,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,42	53,3%			

TABLA 92 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22019,0	0%	6500,0	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8213,2	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,0	0%	1100,0	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36076,3		8263,0		
MB	8554,0	1%	6001,9	-2%	70%
Escoria	6150,6	-59%	800,4	0%	13%
Gases	9725,7	-26%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3001,0	0%	800,7	0%	27%
Pérdidas	6846,1	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	36077,3		8263,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,40	53,0%			

ANEXO 7: CASO 1 CON ENTRADAS EN EXCESO, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 93 DATOS INICIALES CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	26500	7200	27%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	10000	0	0%
Circulante a CT	3300	1000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	44844	8863	
MB	7500	5700	76%
Escoria	9000	1000	11%
Gases	9000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3000	1400	47%
Pérdidas	4500	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	34680	8760	
Diferencia	10164	103	
Emisiones As	10,21		

TABLA 94 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26442,3	0%	7198,9	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9961,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,5	0%	999,9	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44747,2		8861,8		
MB	7506,5	0%	5700,8	0%	76%
Escoria	15650,4	74%	1020,5	2%	7%
Gases	12104,2	34%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3176,2	6%	1480,4	6%	47%
Pérdidas	4631,0	3%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44748,2		8861,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,17	-20,0%			

TABLA 95 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26444,7	0%	7201,4	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9957,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3300,3	0%	1000,1	0%	30%
Polvos	31,8	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44745,8		8864,5		
MB	7817,7	4%	5936,5	4%	76%
Escoria	15357,1	71%	973,2	-3%	6%
Gases	12483,4	39%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2778,1	-7%	1294,9	-8%	47%

Pérdidas	4630,4	3%	34,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44746,8		8864,5		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,38	-18,0%			

TABLA 96 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26434,7	0%	7196,3	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9963,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3298,7	0%	999,6	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44740,2		8858,9		
MB	7509,0	0%	5702,9	0%	76%
Escoria	15319,2	70%	817,0	-18%	5%
Gases	11987,6	33%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3602,3	20%	1678,8	20%	47%
Pérdidas	4643,1	3%	35,2	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44741,2		8858,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,06	-21,1%			

TABLA 97 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26441,4	0%	7200,1	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9958,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,9	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44743,1		8863,1		
MB	7287,2	-3%	5815,1	2%	80%
Escoria	15753,8	75%	997,6	0%	6%
Gases	12404,4	38%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2983,3	-1%	1390,5	-1%	47%
Pérdidas	4635,4	3%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44744,1		8863,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,28	-18,9%			

TABLA 98 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26443,0	0%	7200,0	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9959,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,8	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44746,2		8863,0		
MB	7577,1	1%	5798,9	2%	77%
Escoria	15571,5	73%	1000,8	0%	6%
Gases	12276,6	36%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3010,6	0%	1403,2	0%	47%
Pérdidas	4631,3	3%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44747,2		8863,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,26	-19,2%			

TABLA 99 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26446,5	0%	7199,5	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9963,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,7	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,8	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	44753,1		8862,5		
MB	8216,4	10%	5758,2	1%	70%
Escoria	15167,1	69%	1009,0	1%	7%
Gases	11989,0	33%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3079,1	3%	1435,3	3%	47%
Pérdidas	4622,5	3%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	44754,1		8862,5		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,20	-19,7%			

ANEXO 8: CASO 1 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 100 DATOS INICIALES CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	22000	6500	30%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	1	0	0%
Circulante a CT	2500	1100	44%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	27845	8263	
MB	8500	6100	72%
Escoria	13000	800	6%
Gases	9000	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	3000	800	27%
Pérdidas	5000	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	40300	8360	
Diferencia	-12455	-97	
Emissiones As	4,84		

TABLA 101 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22035,3	0%	6502,0	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	1,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,7	0%	1100,3	0%	44%
Polvos	32,2	1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27881,2		8265,3		
MB	8491,6	0%	6097,8	0%	72%
Escoria	3333,1	-74%	769,2	-4%	23%
Gases	6623,9	-26%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2767,0	-8%	738,5	-8%	27%
Pérdidas	4866,6	-3%	34,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27882,2		8265,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,36	54,2%			

TABLA 102 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22022,3	0%	6498,4	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	1,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,5	0%	1099,8	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27866,9		8261,1		
MB	8253,2	-3%	5926,4	-3%	72%
Escoria	3064,1	-76%	824,9	3%	27%
Gases	6669,2	-26%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3183,5	6%	849,7	6%	27%

Pérdidas	4897,9	-2%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27867,9		8261,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,28	52,8%			

TABLA 103 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en escoria según MB					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22051,0	0%	6507,2	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2502,4	0%	1101,0	0%	44%
Polvos	32,3	1%	14,1	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27898,7		8271,2		
MB	8484,1	0%	6092,1	0%	72%
Escoria	3831,5	-71%	936,2	17%	24%
Gases	6764,8	-22%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2186,3	-27%	583,4	-27%	27%
Pérdidas	4833,0	-3%	34,6	-1%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27899,7		8271,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,50	56,9%			

TABLA 104 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22027,4	0%	6500,4	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,2	0%	1100,1	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27872,7		8263,4		
MB	7533,6	-11%	6019,4	-1%	80%
Escoria	3886,0	-70%	794,7	-1%	20%
Gases	6807,5	-24%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2957,6	-1%	789,3	-1%	27%
Pérdidas	4888,9	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27873,7		8263,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,31	53,3%			

TABLA 105 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22027,8	0%	6500,2	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,1	0%	1100,0	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27873,1		8263,3		
MB	7848,6	-8%	6014,5	-1%	77%
Escoria	3622,9	-72%	796,3	0%	22%
Gases	6746,4	-25%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	2969,5	-1%	792,5	-1%	27%
Pérdidas	4886,8	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27874,1		8263,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,31	53,4%			

TABLA 106 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	22028,5	0%	6500,0	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2500,1	0%	1100,0	0%	44%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	27873,7		8263,0		
MB	8552,2	1%	6001,9	-2%	70%
Escoria	3028,9	-77%	800,4	0%	26%
Gases	6611,2	-27%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3000,1	0%	800,7	0%	27%
Pérdidas	4882,2	-2%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	27874,7		8263,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,31	53,4%			

ANEXO 9: CASO 1 CON ENTRADAS EN EXCESO, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 107 DATOS INICIALES CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	640	43%
CNU	26500	7200	27%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	1	0	0%
Circulante a CT	3300	1000	30%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	34845	8863	
MB	7200	5700	79%
Escoria	8500	900	11%
Gases	8000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2200	1400	64%
Pérdidas	3000	35	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	30580	8660	
Diferencia	4265	203	
Emisiones As	10,21		

TABLA 108 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26468,9	0%	7197,8	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,2	0%	999,8	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34813,0		8860,6		
MB	7204,3	0%	5701,7	0%	79%
Escoria	11383,6	34%	934,0	4%	8%
Gases	9053,6	13%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2459,9	12%	1564,7	12%	64%
Pérdidas	3032,7	1%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34814,0		8860,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,83	-9,1%			

TABLA 109 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26470,2	0%	7198,4	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,4	0%	999,8	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34814,5		8861,3		
MB	7276,5	1%	5758,8	1%	79%
Escoria	11344,1	33%	924,4	3%	8%
Gases	9097,4	14%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2386,4	8%	1518,0	8%	64%

Pérdidas	3031,1	1%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34815,5		8861,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,86	-8,8%			

TABLA 110 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26463,6	0%	7196,9	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3298,9	0%	999,7	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34807,3		8859,6		
MB	7205,4	0%	5702,4	0%	79%
Escoria	11173,7	31%	861,6	-4%	8%
Gases	9139,7	14%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2571,0	17%	1635,4	17%	64%
Pérdidas	3038,5	1%	35,1	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34808,3		8859,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,83	-9,0%			

TABLA 111 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26472,7	0%	7199,9	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,9	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34817,5		8862,9		
MB	7381,3	3%	5892,7	3%	80%
Escoria	11290,9	33%	901,7	0%	8%
Gases	9224,0	15%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2214,2	1%	1408,5	1%	64%
Pérdidas	3028,0	1%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34818,5		8862,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,94	-8,1%			

TABLA 112 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26474,4	0%	7199,7	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,8	0%	1000,0	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34819,1		8862,7		
MB	7672,8	7%	5874,6	3%	77%
Escoria	11089,0	30%	904,8	1%	8%
Gases	9114,7	14%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2237,3	2%	1423,2	2%	64%
Pérdidas	3026,3	1%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34820,1		8862,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,92	-8,2%			

TABLA 113 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 1 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	640,0	0%	43%
CNU	26478,0	0%	7199,2	0%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3299,7	0%	999,9	0%	30%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	34822,6		8862,1		
MB	8314,5	15%	5829,7	2%	70%
Escoria	10639,6	25%	912,4	1%	9%
Gases	8871,7	11%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2294,9	4%	1460,0	4%	64%
Pérdidas	3022,9	1%	35,0	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	34823,6		8862,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,89	-8,5%			

ANEXO 10: CASO 2 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 114 DATOS INICIALES CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	26000	7400	28%
Sílice	2400	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2400	750	31%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	32345	8766	
MB	8500	6600	78%
Escoria	13000	1300	10%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3300	1700	52%
Pérdidas	6000	60	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	32481	10285	
Diferencia	-136	-1519	
Emisiones As	7,72		

TABLA 115 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,3	0%	7411,0	0%	29%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2401,7	0%	750,6	0%	31%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32345,0		8777,6		
MB	8491,3	0%	6589,1	0%	78%
Escoria	15100,5	16%	961,8	-26%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	1054,7	-68%	543,2	-68%	51%
Pérdidas	6018,5	0%	58,6	-2%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	32346,0		8777,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,19	6,1%			

TABLA 116 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25997,5	0%	7411,5	0%	29%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2401,8	0%	750,6	0%	31%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32344,3		8778,1		
MB	8580,2	1%	6657,7	1%	78%
Escoria	15109,8	16%	946,4	-27%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	952,4	-71%	490,5	-71%	51%

Pérdidas	6021,9	0%	58,5	-3%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	32345,3		8778,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,21	6,4%			

TABLA 117 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26034,2	0%	7413,3	0%	28%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2402,2	0%	750,7	0%	31%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32381,4		8780,0		
MB	8484,6	0%	6586,8	0%	78%
Escoria	15766,9	21%	1214,1	-7%	8%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	574,5	-83%	296,0	-83%	52%
Pérdidas	5875,4	-2%	58,3	-3%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	32382,4		8780,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,24	6,9%			

TABLA 118 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25993,7	0%	7400,9	0%	28%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2400,1	0%	750,0	0%	31%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32338,8		8767,0		
MB	6524,7	-23%	5210,0	-21%	80%
Escoria	14997,3	15%	1271,1	-2%	8%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3108,6	-6%	1601,0	-6%	52%
Pérdidas	6028,3	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	32339,8		8767,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,66	-0,7%			

TABLA 119 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25994,7	0%	7400,8	0%	28%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2400,1	0%	750,0	0%	31%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32339,8		8766,9		
MB	6791,8	-20%	5201,3	-21%	77%
Escoria	14727,2	13%	1273,9	-2%	9%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3127,4	-5%	1610,8	-5%	52%
Pérdidas	6024,0	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1589,4	-1%	596,0	-1%	37%
SUMA	32340,8		8766,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,67	-0,5%			

TABLA 120 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1750,0	17%	700,0	17%	40%
CNU	25996,0	0%	7400,6	0%	28%
Sílice	2400,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2400,1	0%	750,0	0%	31%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	32591,0		8866,6		
MB	7637,2	-10%	5355,9	-19%	70%
Escoria	14335,7	10%	1283,3	-1%	9%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3188,9	-3%	1642,5	-3%	52%
Pérdidas	6015,8	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1333,4	-17%	500,0	-17%	37%
SUMA	32592,0		8866,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,78	0,8%			

ANEXO 11: CASO 2 CON ENTRADAS EN EXCESO, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 121 DATOS INICIALES CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	25000	7500	30%
Sílice	2300	0	0%
Oxígeno	1	0	0%
Circulante a CT	2500	1250	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	31345	9473	
MB	8500	5950	70%
Escoria	12000	500	4%
Gases	1	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3300	600	18%
Pérdidas	6000	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	31481	7585	
Diferencia	-136	1888	
Emisiones As	7,58		

TABLA 122 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado sin restricciones					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24693,7	-1%	7401,6	-1%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2472,7	-1%	1236,3	-1%	50%
Polvos	30,5	-5%	13,3	-5%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	31009,8		9360,1		
MB	8607,3	1%	6027,4	1%	70%
Escoria	4412,0	-63%	937,5	87%	21%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	10210,6	209%	1859,9	210%	18%
Pérdidas	6099,7	2%	10,3	3%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	31010,8		9360,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,25	-17,5%			

TABLA 123 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según escoria					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24616,9	-2%	7378,7	-2%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2466,4	-1%	1233,2	-1%	50%
Polvos	30,1	-6%	13,2	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	30926,3		9334,0		
MB	8007,9	-6%	5607,5	-6%	70%
Escoria	3276,5	-73%	1038,9	108%	32%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	11812,3	258%	2152,1	259%	18%

Pérdidas	6149,5	2%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	30927,3		9334,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,90	-22,1%			

TABLA 124 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en escoria según MB					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24683,4	-1%	7395,1	-1%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2470,9	-1%	1235,4	-1%	50%
Polvos	30,4	-5%	13,3	-5%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	30997,7		9352,7		
MB	8612,9	1%	6032,6	1%	70%
Escoria	3993,2	-67%	841,4	68%	21%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	10657,1	223%	1943,3	224%	18%
Pérdidas	6054,4	1%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	30998,7		9352,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,15	-18,8%			

TABLA 125 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25004,4	0%	7499,4	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,8	0%	1249,9	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	31349,2		9472,3		
MB	9798,8	15%	7826,3	32%	80%
Escoria	10554,9	-12%	502,8	1%	5%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3344,0	1%	608,1	1%	18%
Pérdidas	5971,4	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	31350,2		9472,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,69	1,5%			

TABLA 126 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25005,5	0%	7499,1	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,8	0%	1249,9	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	31350,3		9472,0		
MB	10211,0	20%	7822,0	31%	77%
Escoria	10135,4	-16%	503,9	1%	5%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3360,5	2%	611,1	2%	18%
Pérdidas	5963,3	-1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	31351,3		9472,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,71	1,8%			

TABLA 127 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25007,7	0%	7498,5	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,6	0%	1249,8	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	31352,3		9471,3		
MB	11134,1	31%	7811,1	31%	70%
Escoria	9191,0	-23%	506,5	1%	6%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3401,9	3%	618,7	3%	18%
Pérdidas	5945,3	-1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	31353,3		9471,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,77	2,5%			

ANEXO 12: CASO 2 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 128 DATOS INICIALES CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	26000	7000	27%
Sílice	2300	0	0%
Oxígeno	9500	0	0%
Circulante a CT	2300	750	33%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	41644	8366	
MB	8500	6500	76%
Escoria	13000	1200	9%
Gases	10000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3300	1700	52%
Pérdidas	6000	60	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	42480	10085	
Diferencia	-836	-1719	
Emisiones As	7,64		

TABLA 129 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26015,4	0%	7011,5	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9481,8	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2302,0	0%	750,7	0%	33%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41643,3		8378,2		
MB	8487,4	0%	6487,6	0%	76%
Escoria	12854,7	-1%	862,4	-28%	7%
Gases	12011,9	20%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	669,6	-80%	344,9	-80%	52%
Pérdidas	5940,7	-1%	58,3	-3%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41644,3		8378,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,95	17,3%			

TABLA 130 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26015,5	0%	7011,7	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9481,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2302,0	0%	750,7	0%	33%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41643,1		8378,4		
MB	8519,5	0%	6512,0	0%	76%
Escoria	12824,9	-1%	857,6	-29%	7%
Gases	12047,7	20%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	631,9	-81%	325,5	-81%	52%

Pérdidas	5940,1	-1%	58,3	-3%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41644,1		8378,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,97	17,5%			

TABLA 131 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26042,4	0%	7013,9	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9493,8	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2302,4	0%	750,8	0%	33%
Polvos	32,2	0%	10,1	1%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41682,8		8380,8		
MB	8481,6	0%	6485,0	0%	76%
Escoria	14892,9	15%	1154,7	-4%	8%
Gases	10684,3	7%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	112,8	-97%	58,1	-97%	52%
Pérdidas	5832,2	-3%	58,0	-3%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41683,8		8380,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,64	13,2%			

TABLA 132 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25997,2	0%	7001,0	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9495,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2300,2	0%	750,1	0%	33%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41637,1		8367,1		
MB	6171,2	-27%	4927,9	-24%	80%
Escoria	14222,4	9%	1170,9	-2%	8%
Gases	10477,7	5%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3074,0	-7%	1583,3	-7%	52%
Pérdidas	6012,8	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41638,1		8367,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,90	3,5%			

TABLA 133 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25997,9	0%	7000,9	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9496,3	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2300,2	0%	750,1	0%	33%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41638,3		8367,0		
MB	6421,3	-24%	4917,8	-24%	77%
Escoria	14029,1	8%	1172,9	-2%	8%
Gases	10409,4	4%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3089,6	-6%	1591,4	-6%	52%
Pérdidas	6009,9	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41639,3		8367,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,89	3,4%			

TABLA 134 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25999,3	0%	7000,7	0%	27%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9497,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2300,1	0%	750,0	0%	33%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41641,1		8366,8		
MB	6973,5	-18%	4890,7	-25%	70%
Escoria	13597,9	5%	1178,3	-2%	9%
Gases	10255,6	3%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3131,2	-5%	1612,9	-5%	52%
Pérdidas	6003,8	0%	59,9	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41642,1		8366,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,88	3,2%			

ANEXO 13: CASO 2 CON ENTRADAS EN EXCESO, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 135 DATOS INICIALES CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	25000	7500	30%
Sílice	2300	0	0%
Oxígeno	10000	0	0%
Circulante a CT	2300	1250	54%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	41144	9473	
MB	8500	5950	70%
Escoria	13000	500	4%
Gases	9000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	3300	600	18%
Pérdidas	6000	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	41480	7585	
Diferencia	-336	1888	
Emisiones As	7,13		

TABLA 136 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24690,3	-1%	7401,6	-1%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10015,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2274,9	-1%	1236,3	-1%	54%
Polvos	30,5	-5%	13,3	-5%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	40822,7		9360,1		
MB	8607,8	1%	6027,4	1%	70%
Escoria	6428,8	-51%	937,5	87%	15%
Gases	7776,7	-14%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	10213,5	210%	1859,9	210%	18%
Pérdidas	6116,8	2%	10,3	3%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	40823,7		9360,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,51	-22,7%			

TABLA 137 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24604,5	-2%	7376,0	-2%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10014,9	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2268,3	-1%	1232,8	-1%	54%
Polvos	30,1	-6%	13,1	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	40729,7		9330,8		
MB	7935,3	-7%	5556,4	-7%	70%
Escoria	5136,5	-60%	1051,3	110%	20%
Gases	7796,7	-13%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	12010,7	264%	2187,7	265%	18%

Pérdidas	6171,3	3%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	40730,7		9330,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,12	-28,2%			

TABLA 138 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	24685,7	-1%	7398,8	-1%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10019,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2274,2	-1%	1235,9	-1%	54%
Polvos	30,5	-5%	13,3	-5%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	40821,3		9356,9		
MB	8610,2	1%	6029,6	1%	70%
Escoria	6568,8	-49%	896,1	79%	14%
Gases	7458,7	-17%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	10406,2	215%	1895,8	216%	18%
Pérdidas	6098,3	2%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	40822,3		9356,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,37	-24,7%			

TABLA 139 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25003,0	0%	7499,4	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10004,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2299,8	0%	1249,9	0%	54%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	41150,9		9472,3		
MB	9799,1	15%	7826,3	32%	80%
Escoria	11680,7	-10%	502,8	1%	4%
Gases	8670,0	-4%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3344,2	1%	608,1	1%	18%
Pérdidas	5977,9	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	41151,9		9472,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,20	1,1%			

TABLA 140 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25003,5	0%	7499,1	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10005,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2299,8	0%	1249,9	0%	54%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	41152,4		9472,0		
MB	10211,5	20%	7822,0	31%	77%
Escoria	11343,5	-13%	503,9	1%	4%
Gases	8585,4	-5%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3360,7	2%	611,1	2%	18%
Pérdidas	5972,4	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	41153,4		9472,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,20	1,1%			

TABLA 141 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	25004,4	0%	7498,5	0%	30%
Sílice	2300,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10007,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2299,6	0%	1249,8	0%	54%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	41155,5		9471,3		
MB	11134,9	31%	7811,1	31%	70%
Escoria	10583,2	-19%	506,5	1%	5%
Gases	8396,1	-7%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	3402,2	3%	618,7	3%	18%
Pérdidas	5960,1	-1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	41156,5		9471,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,20	1,0%			

ANEXO 14: CASO 2 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 142 DATOS INICIALES CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	26000	7000	27%
Sílice	3000	0	0%
Oxígeno	1	0	0%
Circulante a CT	3000	800	27%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	33545	8416	
MB	8200	6500	79%
Escoria	12500	1200	10%
Gases	7500	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2700	1700	63%
Pérdidas	2000	60	3%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	34580	10085	
Diferencia	-1035	-1669	
Emissiones As	7,64		

TABLA 143 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26013,6	0%	7011,2	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3002,7	0%	800,7	0%	27%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33561,3		8427,9		
MB	8188,3	0%	6488,0	0%	79%
Escoria	12472,0	0%	872,2	-27%	7%
Gases	8653,7	15%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	610,5	-77%	384,4	-77%	63%
Pérdidas	1957,8	-2%	58,4	-3%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33562,3		8427,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,72	11,8%			

TABLA 144 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26013,4	0%	7010,8	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3002,6	0%	800,7	0%	27%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33561,1		8427,5		
MB	8115,8	-1%	6430,7	-1%	79%
Escoria	12522,4	0%	883,6	-26%	7%
Gases	8601,9	15%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	682,8	-75%	429,8	-75%	63%

Pérdidas	1959,1	-2%	58,4	-3%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33562,1		8427,5		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,68	11,4%			

TABLA 145 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en escoria según MB					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26044,1	0%	7014,1	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3003,4	0%	800,9	0%	27%
Polvos	32,2	0%	10,1	1%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33592,7		8431,1		
MB	8181,9	0%	6484,8	0%	79%
Escoria	13893,7	11%	1223,6	2%	9%
Gases	7840,4	5%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	63,0	-98%	39,7	-98%	63%
Pérdidas	1934,7	-3%	57,9	-3%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33593,7		8431,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,59	10,3%			

TABLA 146 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,0	0%	7000,9	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3000,2	0%	800,1	0%	27%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33543,3		8417,0		
MB	6218,0	-24%	4965,4	-24%	80%
Escoria	13396,5	7%	1173,4	-2%	9%
Gases	7720,9	3%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2530,8	-6%	1593,3	-6%	63%
Pérdidas	1998,1	0%	59,9	0%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33544,3		8417,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,95	2,9%			

TABLA 147 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,9	0%	7000,8	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3000,2	0%	800,1	0%	27%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33544,1		8416,9		
MB	6467,8	-21%	4953,5	-24%	77%
Escoria	13178,9	5%	1175,8	-2%	9%
Gases	7674,6	2%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2545,8	-6%	1602,8	-6%	63%
Pérdidas	1997,9	0%	59,9	0%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33545,1		8416,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,95	3,0%			

TABLA 148 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	26000,6	0%	7000,6	0%	27%
Sílice	3000,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3000,1	0%	800,0	0%	27%
Polvos	32,0	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33545,7		8416,7		
MB	7018,4	-14%	4922,2	-24%	70%
Escoria	12694,5	2%	1182,0	-2%	9%
Gases	7571,0	1%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2585,1	-4%	1627,6	-4%	63%
Pérdidas	1997,8	0%	59,9	0%	3%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	33546,7		8416,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,95	3,0%			

ANEXO 15: CASO 2 CON ENTRADAS EN EXCESO, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 149 DATOS INICIALES CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	26500	7500	28%
Sílice	2700	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2500	1250	50%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	33245	9473	
MB	8500	5950	70%
Escoria	9500	500	5%
Gases	8000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2500	600	24%
Pérdidas	2500	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	32680	7585	
Diferencia	565	1888	
Emissiones As	7,13		

TABLA 150 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26178,7	-1%	7401,6	-1%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2472,7	-1%	1236,3	-1%	50%
Polvos	30,5	-5%	13,3	-5%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	32894,8		9360,1		
MB	8607,0	1%	6027,4	1%	70%
Escoria	5541,6	-42%	937,5	87%	17%
Gases	6762,4	-15%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	7737,9	210%	1859,9	210%	24%
Pérdidas	2566,8	3%	10,3	3%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	32895,8		9360,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,87	-16,7%			

TABLA 151 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26129,8	-1%	7387,8	-1%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2468,9	-1%	1234,4	-1%	50%
Polvos	30,3	-5%	13,2	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	32841,9		9344,4		
MB	8245,4	-3%	5774,0	-3%	70%
Escoria	5101,3	-46%	998,7	100%	20%
Gases	6767,0	-15%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8470,3	239%	2036,2	239%	24%

Pérdidas	2578,9	3%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	32842,9		9344,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,70	-18,6%			

TABLA 152 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26126,9	-1%	7384,7	-2%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2468,0	-1%	1234,0	-1%	50%
Polvos	30,3	-5%	13,2	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	32838,1		9340,8		
MB	8624,9	1%	6040,7	2%	70%
Escoria	4943,7	-48%	688,2	38%	14%
Gases	6382,7	-20%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8632,5	245%	2076,3	246%	24%
Pérdidas	2575,1	3%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	32839,1		9340,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,58	-19,8%			

TABLA 153 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26502,4	0%	7499,4	0%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,8	0%	1249,9	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	33247,2		9472,3		
MB	9799,3	15%	7826,3	32%	80%
Escoria	8949,8	-6%	502,8	1%	6%
Gases	7788,3	-3%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2533,6	1%	608,1	1%	24%
Pérdidas	2497,3	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	33248,2		9472,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,31	-1,5%			

TABLA 154 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26504,1	0%	7499,1	0%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,8	0%	1249,9	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	33248,8		9472,0		
MB	10211,5	20%	7822,0	31%	77%
Escoria	8641,8	-9%	503,9	1%	6%
Gases	7674,7	-4%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2546,1	2%	611,1	2%	24%
Pérdidas	2495,7	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	33249,8		9472,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,30	-1,6%			

TABLA 155 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 2 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	26507,5	0%	7498,5	0%	28%
Sílice	2700,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2499,6	0%	1249,8	0%	50%
Polvos	32,0	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	33252,2		9471,3		
MB	11134,4	31%	7811,1	31%	70%
Escoria	7948,0	-16%	506,5	1%	6%
Gases	7421,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2577,5	3%	618,7	3%	24%
Pérdidas	2492,2	0%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	33253,2		9471,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,29	-1,7%			

ANEXO 16: CASO 3 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 156 DATOS INICIALES CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	20000	6000	30%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2000	750	38%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	25345	7370	
MB	10000	7500	75%
Escoria	15000	1300	9%
Gases	0	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4000	1700	43%
Pérdidas	7000	60	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	37801	11185	
Diferencia	-12456	-3815	
Emisiones As	2,61		

TABLA 157 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,3	30%	6251,3	4%	24%
Sílice	2400,0	33%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2401,7	20%	769,6	3%	32%
Polvos	32,0	0%	16,7	20%	52%
MB a CT	12,0	0%	6,1	2%	51%
SUMA	32345,0		7643,8		
MB	8491,3	-15%	7009,2	-7%	83%
Escoria	15100,5	1%	0,0	-100%	0%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	-60%	25,0	0%	31%
Circulante	1054,7	-74%	0,0	-100%	0%
Pérdidas	6018,5	-14%	9,7	-84%	0%
Inventario final	1600,0	0%	599,9	0%	37%
SUMA	32346,0		7643,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As					

TABLA 158 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,3	30%	6392,5	7%	25%
Sílice	2400,0	33%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2401,7	20%	780,7	4%	33%
Polvos	32,0	0%	18,3	31%	57%
MB a CT	12,0	0%	6,2	3%	52%
SUMA	32345,0		7797,6		
MB	8491,3	-15%	7172,7	-4%	84%
Escoria	15100,5	1%	0,0	-100%	0%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	-60%	24,9	0%	31%
Circulante	1054,7	-74%	0,0	-100%	0%

Pérdidas	6018,5	-14%	0,0	-100%	0%
Inventario final	1600,0	0%	599,9	0%	37%
SUMA	32346,0		7797,6		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As					

TABLA 159 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25998,3	30%	6316,5	5%	24%
Sílice	2400,0	33%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2401,7	20%	774,7	3%	32%
Polvos	32,0	0%	17,4	25%	55%
MB a CT	12,0	0%	6,2	3%	51%
SUMA	32345,0		7714,8		
MB	8491,3	-15%	6881,8	-8%	81%
Escoria	15100,5	1%	208,1	-84%	1%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	-60%	24,9	0%	31%
Circulante	1054,7	-74%	0,0	-100%	0%
Pérdidas	6018,5	-14%	0,0	-100%	0%
Inventario final	1600,0	0%	599,9	0%	37%
SUMA	32346,0		7714,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As					

TABLA 160 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20015,7	0%	6001,1	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,3	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25361,1		7371,2		
MB	4913,2	-51%	3924,4	-48%	80%
Escoria	8225,5	-45%	1246,2	-4%	15%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3565,0	-11%	1515,9	-11%	43%
Pérdidas	6857,5	-2%	59,8	0%	1%
Inventario final	1599,9	0%	599,9	0%	38%
SUMA	25362,1		7371,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,91	126,5%			

TABLA 161 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20016,1	0%	6001,1	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,3	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25361,5		7371,2		
MB	5127,6	-49%	3928,0	-48%	77%
Escoria	8025,2	-46%	1246,3	-4%	16%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3565,5	-11%	1516,2	-11%	43%
Pérdidas	6853,7	-2%	59,8	0%	1%
Inventario final	1589,4	-1%	596,0	-1%	38%
SUMA	25362,5		7371,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,93	127,1%			

TABLA 162 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20016,7	0%	6001,1	0%	30%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,3	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25362,1		7371,2		
MB	5435,0	-46%	3921,3	-48%	72%
Escoria	7711,4	-49%	1246,9	-4%	16%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3567,9	-11%	1518,3	-11%	43%
Pérdidas	6848,0	-2%	59,8	0%	1%
Inventario final	1599,9	0%	599,9	0%	38%
SUMA	25363,1		7371,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	5,95	128,2%			

ANEXO 17: CASO 3 CON ENTRADAS EN EXCESO, SIN GASES

Datos iniciales:

TABLA 163 DATOS INICIALES CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	28000	7700	28%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3500	1250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	36545	9673	
MB	7000	5350	76%
Escoria	9000	500	6%
Gases	0	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2000	600	30%
Pérdidas	4500	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	24181	6985	
Diferencia	12364	2688	
Emisiones As	11,73		

TABLA 164 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado sin restricciones					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27470,8	-2%	7551,5	-2%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3445,3	-2%	1230,4	-2%	36%
Polvos	29,8	-7%	13,0	-7%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	35958,7		9503,9		
MB	7116,3	2%	5439,6	2%	76%
Escoria	14457,4	61%	1126,0	125%	8%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,1	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8004,8	300%	2402,8	300%	30%
Pérdidas	4700,1	4%	10,5	5%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	35959,7		9503,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,92	-41,0%			

TABLA 165 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según escoria					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27373,3	-2%	7524,1	-2%	27%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3435,2	-2%	1226,8	-2%	36%
Polvos	29,4	-8%	12,8	-8%	44%
MB a CT	11,8	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	35850,6		9472,7		
MB	6488,7	-7%	4959,9	-7%	76%
Escoria	13834,3	54%	1241,5	148%	9%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,1	0%	25,0	0%	31%
Circulante	9111,6	356%	2735,6	356%	30%

Pérdidas	4736,0	5%	10,6	6%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	35851,6		9472,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,65	-43,3%			

TABLA 166 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en escoria según MB					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27367,4	-2%	7534,2	-2%	28%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3438,7	-2%	1228,2	-2%	36%
Polvos	29,4	-8%	12,9	-8%	44%
MB a CT	11,8	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	35848,4		9484,1		
MB	7133,4	2%	5450,1	2%	76%
Escoria	13484,9	50%	884,9	77%	7%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,1	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8727,0	336%	2613,6	336%	30%
Pérdidas	4823,0	7%	10,6	6%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	35849,4		9484,1		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,79	-42,1%			

TABLA 167 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27909,7	0%	7697,7	0%	28%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,9	0%	1249,7	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36453,3		9670,4		
MB	10028,2	43%	7998,0	49%	80%
Escoria	17977,2	100%	509,6	2%	3%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2094,7	5%	627,7	5%	30%
Pérdidas	4673,2	4%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36454,3		9670,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,37	-28,7%			

TABLA 168 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27913,0	0%	7697,3	0%	28%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,8	0%	1249,6	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36456,4		9669,9		
MB	10446,3	49%	7990,5	49%	76%
Escoria	17554,2	95%	511,4	2%	3%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2112,0	6%	632,9	5%	30%
Pérdidas	4664,0	4%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36457,4		9669,9		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,39	-28,5%			

TABLA 169 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN EXCESO, SIN GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27919,8	0%	7696,2	0%	28%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,4	0%	1249,5	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	36463,0		9668,7		
MB	11380,4	63%	7972,1	49%	70%
Escoria	16604,5	84%	515,9	3%	3%
Gases	0,0	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2154,4	8%	645,7	8%	30%
Pérdidas	4643,6	3%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36464,0		9668,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,44	-28,0%			

ANEXO 18: CASO 3 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 170 DATOS INICIALES CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	20000	6800	34%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	8200	0	0%
Circulante a CT	2000	750	38%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	33544	8166	
MB	10000	7000	70%
Escoria	15000	1300	9%
Gases	13100	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4000	1700	43%
Pérdidas	7000	60	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	50900	10685	
Diferencia	-17356	-2519	
Emisiones As	2,61		

TABLA 171 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20074,3	0%	6820,9	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8210,6	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2003,4	0%	751,3	0%	37%
Polvos	32,4	1%	10,1	1%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33632,7		8188,3		
MB	9956,5	0%	6972,3	0%	70%
Escoria	4968,9	-67%	534,3	-59%	11%
Gases	10399,2	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	0,0	-100%	0,0	-100%	43%
Pérdidas	6509,1	-7%	56,7	-5%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	33633,7		8188,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,59	191,0%			

TABLA 172 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25999,3	30%	6828,4	0%	26%
Sílice	2300,0	28%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9497,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2300,1	15%	751,7	0%	33%
Polvos	32,0	0%	10,1	1%	32%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	41641,1		8196,3		
MB	6973,5	-30%	7255,5	4%	104%
Escoria	13597,9	-9%	260,3	-80%	2%
Gases	10255,6	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	-60%	25,0	0%	31%
Circulante	3131,2	-22%	0,0	-100%	0%

Pérdidas	6003,8	-14%	55,6	-7%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41642,1		8196,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As					

TABLA 173 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	25999,3	30%	6929,4	2%	27%
Sílice	2300,0	28%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9497,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2300,1	15%	757,9	1%	33%
Polvos	32,0	0%	10,6	6%	33%
MB a CT	12,0	0%	6,1	1%	50%
SUMA	41641,1		8303,8		
MB	6973,5	-30%	6828,6	-2%	98%
Escoria	13597,9	-9%	810,4	-38%	6%
Gases	10255,6	0%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	-60%	25,0	0%	31%
Circulante	3131,2	-22%	0,0	-100%	0%
Pérdidas	6003,8	-14%	39,9	-34%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	37%
SUMA	41642,1		8303,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As					

TABLA 174 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20019,9	0%	6801,2	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8213,8	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33578,1		8167,3		
MB	5853,9	-41%	4676,3	-33%	80%
Escoria	5880,5	-61%	1256,1	-3%	21%
Gases	9581,8	-27%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3644,4	-9%	1550,0	-9%	43%
Pérdidas	6818,5	-3%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	33579,1		8167,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,35	143,3%			

TABLA 175 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20020,2	0%	6801,2	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8214,1	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33578,6		8167,3		
MB	6098,8	-39%	4672,6	-33%	77%
Escoria	5703,7	-62%	1257,0	-3%	22%
Gases	9510,5	-27%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3651,0	-9%	1552,9	-9%	43%
Pérdidas	6815,6	-3%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	33579,6		8167,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,34	143,0%			

TABLA 176 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN DEFICIENCIA, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20020,7	0%	6801,1	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	8214,7	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	33579,8		8167,2		
MB	6643,3	-34%	4661,0	-33%	70%
Escoria	5304,9	-65%	1259,6	-3%	24%
Gases	9351,1	-29%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3671,8	-8%	1561,8	-8%	43%
Pérdidas	6809,6	-3%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	33580,8		8167,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,33	142,5%			

ANEXO 19: CASO 3 CON ENTRADAS EN EXCESO, CON GASES

Datos iniciales:

TABLA 177 DATOS INICIALES CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	28500	7500	26%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	10000	0	0%
Circulante a CT	3500	1250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	47044	9473	
MB	7000	5500	79%
Escoria	9000	500	6%
Gases	9000	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2000	600	30%
Pérdidas	4500	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	33180	7135	
Diferencia	13864	2338	
Emisiones As	11,98		

TABLA 178 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28038,0	-2%	7377,4	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10002,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3452,3	-1%	1233,0	-1%	36%
Polvos	30,1	-6%	13,1	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	46534,8		9332,4		
MB	7104,6	1%	5582,4	1%	79%
Escoria	17036,2	89%	1045,0	109%	6%
Gases	8797,0	-2%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	7230,5	262%	2169,5	262%	30%
Pérdidas	4687,3	4%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46535,8		9332,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,84	-42,9%			

TABLA 179 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27922,7	-2%	7345,9	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	10005,3	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3440,1	-2%	1228,6	-2%	36%
Polvos	29,6	-8%	12,9	-8%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	46409,5		9296,3		
MB	6367,4	-9%	5003,4	-9%	79%
Escoria	16495,0	83%	1184,9	137%	7%
Gases	8569,7	-5%	0,0	0%	0%
Polvos	80,1	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8570,9	329%	2572,5	329%	30%

Pérdidas	4727,4	5%	10,5	5%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46410,5		9296,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	6,45	-46,2%			

TABLA 180 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en escoria según MB					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27961,4	-2%	7369,2	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9973,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3449,0	-1%	1231,8	-1%	36%
Polvos	29,8	-7%	13,1	-7%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	46425,6		9323,0		
MB	7115,2	2%	5587,9	2%	79%
Escoria	14083,4	56%	925,6	85%	7%
Gases	11149,1	24%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	7595,3	280%	2274,0	279%	30%
Pérdidas	4803,4	7%	10,5	5%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46426,6		9323,0		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,48	-37,6%			

TABLA 181 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28423,4	0%	7498,0	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9957,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3499,0	0%	1249,7	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	46923,6		9470,7		
MB	9779,0	40%	7801,4	42%	80%
Escoria	16293,5	81%	508,8	2%	3%
Gases	12444,2	38%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2086,8	4%	625,5	4%	30%
Pérdidas	4641,2	3%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46924,6		9470,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,18	-23,4%			

TABLA 182 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28425,1	0%	7497,6	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9959,5	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,9	0%	1249,7	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	46927,2		9470,3		
MB	10187,0	46%	7794,2	42%	77%
Escoria	16038,7	78%	510,6	2%	3%
Gases	12283,7	36%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2103,4	5%	630,5	5%	30%
Pérdidas	4635,4	3%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46928,2		9470,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,15	-23,6%			

TABLA 183 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN EXCESO, CON GASES

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28428,7	0%	7496,7	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	9963,9	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,5	0%	1249,5	0%	36%
Polvos	31,8	-1%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	46934,9		9469,2		
MB	11098,9	59%	7776,5	41%	70%
Escoria	15466,8	72%	514,9	3%	3%
Gases	11923,2	32%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2144,4	7%	642,8	7%	30%
Pérdidas	4622,6	3%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	46935,9		9469,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,10	-24,1%			

ANEXO 20: CASO 3 CON ENTRADAS EN DEFICIENCIA, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 184 DATOS INICIALES CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	600	40%
CNU	20000	6800	34%
Sílice	1800	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	2000	750	38%
Polvos	32	10	31%
MB a CT	12	6	50%
SUMA	25345	8166	
MB	10000	7000	70%
Escoria	15000	1300	9%
Gases	9000	0	0%
Polvos	200	25	13%
Circulante	4000	1700	43%
Pérdidas	7000	60	1%
Inventario final	1600	600	38%
SUMA	46800	10685	
Diferencia	-21455	-2519	
Emissiones As	2,61		

TABLA 185 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20101,3	1%	6820,9	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2003,5	0%	751,3	0%	37%
Polvos	32,5	2%	10,1	1%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25450,3		8188,3		
MB	9948,1	-1%	6972,2	0%	70%
Escoria	2419,9	-84%	534,3	-59%	22%
Gases	5009,3	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	0,0	-100%	0,0	-100%	43%
Pérdidas	6273,9	-10%	56,7	-5%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25451,3		8188,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,25	216,0%			

TABLA 186 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20101,3	1%	6828,4	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2003,5	0%	751,7	0%	38%
Polvos	32,5	2%	10,1	1%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25450,3		8196,3		
MB	9948,1	-1%	7255,5	4%	73%
Escoria	2419,9	-84%	260,3	-80%	11%
Gases	5009,3	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	12%
Circulante	0,0	-100%	0,0	-100%	0%

Pérdidas	6273,9	-10%	55,6	-7%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25451,3		8196,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,25	216,0%			

TABLA 187 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20101,3	1%	6929,4	2%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2003,5	0%	757,9	1%	38%
Polvos	32,5	2%	10,6	6%	32%
MB a CT	12,0	0%	6,1	1%	50%
SUMA	25450,3		8303,8		
MB	9948,1	-1%	6828,6	-2%	69%
Escoria	2419,9	-84%	810,4	-38%	33%
Gases	5009,3	0%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	12%
Circulante	0,0	-100%	0,0	-100%	0%
Pérdidas	6273,9	-10%	39,9	-34%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25451,3		8303,8		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,25	216,0%			

TABLA 188 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20029,3	0%	6801,2	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,1	0%	10,0	0%	31%

MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25374,7		8167,3		
MB	5852,9	-41%	4676,3	-33%	80%
Escoria	961,6	-94%	1256,1	-3%	131%
Gases	6391,1	-29%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3642,8	-9%	1550,0	-9%	43%
Pérdidas	6727,3	-4%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25375,7		8167,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,78	198,2%			

TABLA 189 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20029,6	0%	6801,2	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,2	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25375,0		8167,3		
MB	6097,7	-39%	4672,6	-33%	77%
Escoria	752,5	-95%	1257,0	-3%	167%
Gases	6352,5	-29%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3649,4	-9%	1552,9	-9%	43%
Pérdidas	6723,9	-4%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25376,0		8167,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,78	198,3%			

TABLA 190 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN DEFICIENCIA, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	600,0	0%	40%
CNU	20030,3	0%	6801,1	0%	34%
Sílice	1800,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	2000,2	0%	750,1	0%	37%
Polvos	32,2	0%	10,0	0%	31%
MB a CT	12,0	0%	6,0	0%	50%
SUMA	25375,7		8167,2		
MB	6642,0	-34%	4661,0	-33%	70%
Escoria	280,4	-98%	1259,6	-3%	449%
Gases	6267,1	-30%	0,0	0%	0%
Polvos	200,0	0%	25,0	0%	13%
Circulante	3670,2	-8%	1561,8	-8%	43%
Pérdidas	6716,9	-4%	59,8	0%	1%
Inventario final	1600,0	0%	600,0	0%	38%
SUMA	25376,7		8167,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	7,79	198,6%			

ANEXO 21: CASO 3 CON ENTRADAS EN EXCESO, SOLO GASES DE SALIDA

Datos iniciales:

TABLA 191 DATOS INICIALES CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Medido		
	Peso	Finos Cu	Ley
Inventario inicial	1500	700	47%
CNU	28500	7500	26%
Sílice	3500	0	0%
Oxígeno	0	0	0%
Circulante a CT	3500	1250	36%
Polvos	32	14	44%
MB a CT	12	9	75%
SUMA	37045	9473	
MB	7000	5500	79%
Escoria	8000	500	6%
Gases	8500	0	0%
Polvos	80	25	31%
Circulante	2000	600	30%
Pérdidas	3000	10	0%
Inventario final	1600	500	31%
SUMA	30180	7135	
Diferencia	6865	2338	
Emissiones As	11,98		

TABLA 192 DATOS AJUSTADOS SIN RESTRICCIONES, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado sin restricciones				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28053,4	-2%	7377,4	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3452,4	-1%	1233,0	-1%	36%
Polvos	30,1	-6%	13,1	-6%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	36548,8		9332,4		
MB	7103,4	1%	5582,4	1%	79%
Escoria	9821,1	23%	1045,0	109%	11%
Gases	7608,5	-10%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	7225,3	261%	2169,5	262%	30%
Pérdidas	3111,4	4%	10,4	4%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36549,8		9332,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,94	-27,1%			

TABLA 193 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 1, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según escoria				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27955,3	-2%	7351,1	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3442,2	-2%	1229,3	-2%	36%
Polvos	29,7	-7%	13,0	-7%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	36440,0		9302,3		
MB	6488,8	-7%	5099,4	-7%	79%
Escoria	9266,8	16%	1161,7	132%	13%
Gases	7525,4	-11%	0,0	0%	0%
Polvos	80,1	0%	25,0	0%	31%
Circulante	8342,7	317%	2505,6	318%	30%

Pérdidas	3137,3	5%	10,5	5%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36441,0		9302,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	8,64	-29,6%			

TABLA 194 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 2, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en escoria según MB				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	27983,4	-2%	7363,4	-2%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3446,9	-2%	1231,0	-2%	36%
Polvos	29,8	-7%	13,0	-7%	44%
MB a CT	11,9	-1%	8,9	-1%	75%
SUMA	36473,0		9316,4		
MB	7116,7	2%	5591,8	2%	79%
Escoria	8316,7	4%	840,9	68%	10%
Gases	8390,9	-1%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	7826,4	291%	2348,2	291%	30%
Pérdidas	3143,3	5%	10,5	5%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	36474,0		9316,4		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	9,05	-26,3%			

TABLA 195 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 1, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Corriente	Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 1)				
	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28462,3	0%	7498,0	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3499,1	0%	1249,7	0%	36%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%

MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	37006,3		9470,7		
MB	9773,2	40%	7801,4	42%	80%
Escoria	10599,7	32%	508,8	2%	5%
Gases	9839,7	16%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2085,7	4%	625,5	4%	30%
Pérdidas	3028,9	1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	37007,3		9470,7		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	10,85	-11,6%			

TABLA 196 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 2, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 2)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28464,5	0%	7497,6	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3499,0	0%	1249,7	0%	36%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	37008,4		9470,3		
MB	10180,7	45%	7794,2	42%	77%
Escoria	10343,4	29%	510,6	2%	5%
Gases	9676,9	14%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2102,3	5%	630,5	5%	30%
Pérdidas	3026,0	1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	37009,4		9470,3		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	10,83	-11,8%			

TABLA 197 DATOS AJUSTADOS CON RESTRICCIÓN 3 Y CONCENTRADO 3, CASO 3 EN EXCESO, SOLO CON GASES DE SALIDA

Ajustado: Cu en MB según coef de O2 (concentrado 3)					
Corriente	Peso	Variación	Finos Cu	Variación	Ley
Inventario inicial	1500,0	0%	700,0	0%	47%
CNU	28469,0	0%	7496,7	0%	26%
Sílice	3500,0	0%	0,0	0%	0%
Oxígeno	0,0	0%	0,0	0%	0%
Circulante a CT	3498,6	0%	1249,5	0%	36%
Polvos	31,9	0%	14,0	0%	44%
MB a CT	12,0	0%	9,0	0%	75%
SUMA	37012,6		9469,2		
MB	11091,3	58%	7776,5	41%	70%
Escoria	9765,8	22%	514,9	3%	5%
Gases	9313,3	10%	0,0	0%	0%
Polvos	80,0	0%	25,0	0%	31%
Circulante	2143,3	7%	642,8	7%	30%
Pérdidas	3019,8	1%	10,0	0%	0%
Inventario final	1600,0	0%	500,0	0%	31%
SUMA	37013,6		9469,2		
Diferencia	-1,0		0,0		
Emisiones As	10,78	-12,2%			