

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



**APLICACIÓN DE LA GEOMETALURGIA EN EL
DESARROLLO DE UN PROGRAMA METALÚRGICO DE
VARIABILIDAD EN LA ETAPA DE PRE-FACTIBILIDAD**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

GEORGE CARLOS MOGOLLÓN GONZALES

ASESOR:

ING. DAVID MARTINEZ AGUILAR

LIMA – PERU

2013

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis tres
madres Alejandrina, Beatriz y Teresa.

RESUMEN

El presente informe se divide en cuatro capítulos que resumen el desarrollo de programa metalúrgico de variabilidad en la etapa de pre-factibilidad de un proyecto metalúrgico.

El primer capítulo resume como se representa un depósito a través de un modelo de bloques.

El segundo capítulo presenta una metodología del proceso de selección de muestras a partir de perforaciones realizadas sobre un depósito. La selección de muestras está orientada a cumplir los requerimientos del programa de pruebas metalúrgicas de conminución y flotación en la etapa de estudio de pre-factibilidad de un proyecto.

El tercer capítulo muestra el diseño y los resultados del programa de pruebas metalúrgicas de conminución y flotación con el fin de obtener parámetros metalúrgicos que ayuden a caracterizar el depósito minero.

El quinto capítulo describe el análisis de regresión múltiple con el fin de encontrar un modelo lineal para la etapa de flotación relacionando una variable dependiente (recuperación) con variables independientes (ensayos de cabeza).

ABSTRACT

The present report is divided into four chapters that summarize the development of metallurgical program of variability in a metallurgical project pre-feasibility. The first chapter outlines as a deposit is represented through a model of blocks.

The second chapter presents a methodology for the process of selection of samples from boreholes on a deposit. The selection of samples is oriented to meet the requirements of the program of metallurgical testing of comminution and flotation on the stage of a project pre-feasibility study.

The third chapter shows the design and outcomes of the program of metallurgical testing of comminution and flotation in order to obtain metallurgical parameters that help to characterize the mining deposit

The fifth chapter describes the multiple regression analysis in order to find a linear model for the floating stage relating dependent variable (recovery) independent variables (assay of head).

Keywords: Representative, block model, drill holes, samples, flotation; comminution; regression.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I DEPÓSITO MINERAL	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Perforaciones	13
1.3 Modelo de Bloques.....	15
1.4 Análisis de Datos	18
1.4.1 Histogramas de Distribución de Bloques por Leyes:.....	18
1.4.2 Histogramas de Distribución de Propiedades	20
1.4.3 Percentil de Leyes:	22
1.4.4 Distribución de Leyes por Coordenadas	23
1.4.5 Matrices Geológicas.....	25
1.4.6 Gráfico de Cajas	26
CAPÍTULO II SELECCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS	27
2.1 Introducción.....	27
2.2 Representatividad	27
2.3 Tamaño de Muestra	29
2.3.1 Tamaño de muestras de conminución.....	30
2.3.2 Tamaño de muestras de flotación.....	31
2.4 Análisis de datos.....	31
2.5 Metodología de selección.....	35
2.5.1 Muestras de flotación	35
2.5.2 Procedimiento de Extracción de Muestras.....	41
CAPÍTULO III PROGRAMA Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS METALÚRGICAS	44
3.1 Introducción.....	44
3.2 Pruebas de conminución.....	44
3.2.1 Índice de Abrasión (Ai).....	44
3.2.2 Índice de Trabajo en Molinos de Bolas de Bond (BWi).....	47
3.2.3 Cálculo de la Energía Específica para el Circuito SAB.....	55
3.2.4 Distribución de la Energía según el Plan de Minado	57
3.3 Pruebas de flotación	58

3.3.1 Pruebas de variabilidad	58
CAPÍTULO IV MODELAMIENTO DE FLOTACIÓN ROUGHER.....	63
4.1 Introducción.....	63
4.2 Metodología.....	63
CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFIA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Perforación diamantina.....	14
Figura 1.2: Perforaciones en 3D	15
Figura 1.3: Dimensiones de bloque.....	16
Figura 1.4: Modelo de bloques en 3D.....	17
Figura 1.5: Histograma de leyes – Modelo de bloques.....	19
Figura 1.6: Histograma de propiedades – Modelo de bloques.....	21
Figura 1.7: Regiones dentro del modelo de bloques.....	21
Figura 1.8: Curva percentil – Modelo de bloques.....	23
Figura 1.9: Leyes de Cu en la dirección Este – Modelo de bloques	24
Figura 1.10: Gráfica de matriz geológica – Modelo de bloques	25
Figura 1.11: Gráfico de cajas – Modelo de bloques	26
Figura 2.1: Esquema de selección de muestras.....	35
Figura 2.2: Regiones en el depósito	37
Figura 2.3: Comparación de número de muestras por región	37
Figura 2.4: Comparación de número de muestras seleccionadas por año.....	38
Figura 2.5: Histograma de leyes – Selección de muestras	39
Figura 2.6: Representación del modelo de bloques	39
Figura 2.7: Muestras de flotación dentro del modelo de bloques	40
Figura 2.8: Muestras de conminución dentro del modelo de bloques.....	40
Figura 2.9: Especificaciones de tramos de muestreo	41
Figura 3.1: Índice de abrasión (A_i) – Percentil.....	46
Figura 3.2: Índice de abrasión (A_i) – Comparación con base de datos.....	46
Figura 3.3: Índice de trabajo para molinos de bolas (BW_i) – Distribución percentil	49
Figura 3.4: Índice de trabajo para molinos de bolas (BW_i) – Distribución percentil	49
Figura 3.5: Índice de caída de peso (DW_i) – Percentil	51
Figura 3.6: Índice de caída de peso (DW_i) – Comparación con base de datos.....	52
Figura 3.7. A_{xb} (SMC) – Percentil	53
Figura 3.8: A_{xb} (SMC) – Comparación con base de datos	53
Figura 3.9: t_a (SMC) – Percentil.....	54
Figura 3.10: t_a (SMC) – Comparación con base de datos	55
Figura 3.11: Circuito de conminución SAB.....	55
Figura 3.12: Energía específica de conminución – Distribución percentil	57
Figura 3.13: Distribución de energía según plan de minado.....	57
Figura 3.14: Distribución de cobre vs. Recuperación de cobre	59
Figura 3.15: Cabeza calculada versus recuperación y grado	60
Figura 3.16: Cabeza calculada versus recuperación y grado	60
Figura 3.17: Cabeza analizada versus recuperación y grado	61
Figura 3.18: Recuperación de cobre versus recuperación de oro y molibdeno	61
Figura 3.19: Pruebas de variabilidad – Comparación de leyes de cabeza	62

Figura 4.1: Cuadro de regresión en Excel.....	65
Figura 4.2: Regresión lineal entre variables experimentales y modeladas	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Datos de las perforaciones	14
Tabla 1.2: Características del modelo de bloques.....	17
Tabla 1.3: Datos del modelo de bloques	18
Tabla 1.4: Intervalos de leyes - Modelo de bloques.....	19
Tabla 1.5: Distribución de propiedades – Modelo de bloques.....	20
Tabla 1.6: Cálculo de percentil – Modelo de bloques.....	22
Tabla 1.7: Coordenadas – Modelo de bloques	23
Tabla 1.8: Intervalos de coordenadas – Modelo de bloques	24
Tabla 1.9. Matriz geológica – Modelo de bloques.....	25
Tabla 1.10. Percentiles de leyes – Modelo de bloques	26
Tabla 2.1: Tamaño de muestras de conminución.....	30
Tabla 2.2: Tamaño de muestras de flotación	31
Tabla 2.3: Requerimientos de masa y tamaño - pruebas de conminución.....	42
Tabla 3.1: Índice de abrasión (A_i) – Resultados	45
Tabla 3.2: Índice de trabajo para molinos de bolas (BW_i) – Resultados.....	48
Tabla 3.3: Conminución para molino SAG (SMC) – Resultados.....	51
Tabla 3.4: Energía específica de conminución – Resultados.....	56
Tabla 3.5: Pruebas de variabilidad – Condiciones de flotación.....	58
Tabla 3.6: Resultados de las pruebas de variabilidad	59
Tabla 4.1: Base de datos de las pruebas de variabilidad.....	64
Tabla 4.2: Análisis estadístico en Excel A.....	66
Tabla 4.3: Análisis estadístico en Excel B	68
Tabla 4.4: Regresión lineal – Resultados.....	69
Tabla 4.5: Regresión lineal – Parámetros	70

NOMENCLATURA

UNIDAD	SIMBOLO
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Micras	μm
Tonelada métrica	t
Kilogramo	kg
Gramo	g
Día	d
Hora	h
Minutos	min
Segundo	s
Litro	L
Kilowatt	kW
Porcentaje	%

INTRODUCCIÓN

Un proyecto minero está en la etapa de pre-factibilidad, el mineral a extraer será procesado en una planta metalúrgica cercana ya diseñada.

Para la realización de un programa metalúrgico que tiene por objetivo la evaluación del circuito de flotación del mineral, para lo cual se necesita extraer muestras representativas del yacimiento a partir de las perforaciones realizadas.

La selección de muestras tiene objetivo representar todo el yacimiento a través de un número de muestras. El número de muestras a extraer a para evaluación fue determinado por el presupuesto asignado al proyecto aunque según inferencia estadística este número de muestras debe ser mayor al seleccionado. Con el plan de minado diseñado por el área de planeamiento minero, se determinó la distribución del número de muestras por etapa de la extracción del mineral, así mismo se tuvo acceso al modelo de bloques del depósito. Con estas informaciones se realizó la selección de muestras representativas del yacimiento.

La selección de muestras representativas está basada en diversos criterios. Una distribución representativa de muestras debe extenderse en todo el rango de valores en la distribución modelo de bloques. Las muestras deben tener leyes similares a los bancos geológicos que alimentarán la planta metalúrgica, sin lagunas o inflexiones que impliquen pérdidas de muestras o sobre representación de algunas muestras, asimismo una distribución espacial a lo largo del modelo de bloques.

Con las muestras de conminución se ha desarrollado un programa de pruebas de conminución que permite determinar la energía específica de conminución en kW-h/t

en el depósito. Con las muestras representativas seleccionadas de flotación, se desarrollará un modelo matemático basado en regresiones lineales, dónde se predecirá la recuperación final del yacimiento basado en las muestras representativas de flotación.

CAPÍTULO I

DEPÓSITO MINERAL

1.1 Introducción

Un depósito mineral es representado a través de un modelo de bloques los cuales son realizados de las perforaciones realizadas dentro del depósito a través de métodos geoestadísticos como kriging.

1.2 Perforaciones

Las perforaciones o sondajes realizados sobre el yacimiento tienen por objetivo obtener información del depósito a través de material extraído de las perforaciones, conocidos como testigos.

Existen diversos tipos de perforaciones como de núcleo diamantino, circulación reversa, barrenas, entre otros.

En este proyecto el tipo de perforaciones utilizadas fueron las perforaciones de núcleo diamantino, en inglés “Core Drilling”. Los diámetros de las perforaciones varían desde 27 mm hasta 100 mm.

El tipo de perforación utilizada para este proyecto es del tipo perforación de núcleo diamantina, el cual es el preferido debido a la recuperación del material dentro del cuerpo mineralizado, pero además el más costoso. El diámetro del núcleo varía normalmente entre 27 mm y 85 mm en diámetro. La broca a perforar está impregnada

por diamantes con el fin de cortar la roca limpiamente. La Figura 1.1 muestra el tipo de perforaciones obtenidas con un diámetro de núcleo HQ.



Figura 1.1: Perforación diamantina

Las perforaciones llevan consigo información o una base de datos que por lo general contiene elementos múltiples ensayos por cada metro o dos metros de la intersección de perforación. Así mismo contiene información relacionada con la litología o tipo de roca, las características de alteración, mineralización, competencia o dureza, RQD, la gravedad específica (GE), ubicación de los taladros, información direccional del taladro (azimut, dip) y cualquier número de otras medidas en función del tipo de mineral en cuestión. La Tabla 1.1 muestra los datos utilizados.

Tabla 1.1: Datos de las perforaciones

T	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	O	P	Q	S	T	U	V	W	X
	DRILL	Est	North	TR	Adj	Plc	Total	From	To	Interval	Zone	Lithol	Gst	Mo	Ag	Au	Pb	Zn	As	Co	Comments
1		204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	0.00	2.00	2.00	LX	MP2	0.020	2	0.2	0.020	50	162.1	14	5' frac. mod lim in frac. m' dist.
2	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	2.00	4.00	2.00	LX	MP2	0.0064	2	0.3	0.028	47	106	14	3' frac. mod lim in frac. m' dist.
3	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	4.00	6.00	2.00	LX	MP2	0.0075	1	0.3	0.044	45	108.4	14	4' frac. mod lim in frac. m' dist.
4	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	6.00	8.45	2.45	LX	MP2	0.010	3	0.6	0.061	87	195	14	6' lim in frac. m' dist.
5	PO-11-047	204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	8.45	10.00	1.55	DX	SKN	0.11	0.5	1	0.200	26	211.7	14	45' interval bet. lim in frac. GOOD
6	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	10.00	12.50	2.50	DX	SKN	0.13	0.5	1.9	0.251	19	190.9	24	75' interval bet. lim in frac. GOOD
7	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	12.50	14.95	2.45	DX	SKN	0.88	4	8.6	0.491	448	530.1	46	86' interval bet. lim in frac. GOOD
8	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	14.95	17.40	2.45	HV	SKN	0.29	32	1.7	0.141	85	347.9	14	65' frac. granitic to mafic vit
9	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	17.40	19.00	1.60	HV	SKN	0.19	20	1.7	0.102	378	376.7	14	81' dist. csa in vit mod. qz csa cpy
10	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	19.00	21.00	2.00	HV	SKN	0.10	26	1.4	0.07	77	461.7	25	37' dist. csa in vit mod. qz csa cpy
11	PO-11-047	204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	21.00	23.00	2.00	HV	SKN	0.11	32	1.2	0.131	72	363.7	14	30' dist. csa in vit mod. qz csa cpy
12	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	23.00	24.90	1.90	LX	SKN	0.19	12	1.7	0.185	98	264.7	11	20' vit. lim in frac.
13	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	24.90	25.65	0.75	LX	SKN	0.098	8	0.7	0.0025	13	64.3	15	8' (sand) grol. csa vit. lim in frac.
14	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	25.65	27.75	2.10	HV	SKN	0.091	2	0.3	0.047	38	176.4	15	11' (sand) grol. csa vit. lim in frac.
15	PO-11-047	204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	27.75	30.00	2.25	HV	SKN	0.022	5	0.1	0.026	11	50.0	15	0' (sand) grol. csa vit. lim in frac.
16	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	30.00	32.00	2.00	HV	SKN	0.040	0	0.5	0.491	45	81.0	15	11' (sand) grol. csa vit. lim in frac.
17	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	32.00	34.00	2.00	HV	SKN	0.16	57	1.7	0.462	82	306.5	5	45' patch.
18	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	34.00	36.00	2.00	HV	SKN	0.38	380	0.7	0.224	3	168.7	15	77' vit.
19	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	36.00	38.00	2.00	HV	SKN	0.46	97	3.2	0.27	33	736.9	87	41' vit. cpy dist. patch. vit cpy vit.
20	PO-11-047	204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	38.00	40.50	2.50	HV	SKN	0.31	26	1.0	0.247	102	640.0	150	30' vit. cpy dist. patch. vit cpy vit.
21	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	40.50	42.20	1.70	HV	DH1	0.31	32	2.5	0.191	110	1440.3	207	66' mt rpy. qz clast.
22	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	42.20	43.90	1.70	HV	BKH	0.44	54	2.7	0.353	133	1282.2	151	85' mt rpy. qz clast.
23	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	43.90	46.00	2.10	HV	SKN	0.34	20	1.7	0.175	73	813.9	108	86' cpy dist vit.
24	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	46.00	48.00	2.00	HV	SKN	0.088	21	0.1	0.058	12	123.9	30	22' cpy dist vit. and grol. qz cpy vit.
25	PO-11-047	204630	8337501	4319.3		110	-75	368.9	48.00	50.05	2.05	HV	SKN	0.14	20	0.6	0.140	34	20.6	19	75' cpy dist vit.
26	PO-11-047	204620	8337501	4319.3		110	-75	368.9	50.05	52.50	2.45	HV	SKN	0.050	0.5	0.4	0.052	70	345.4	50	64' silicates. cpy dist. qz vit. cpy
27	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	52.50	55.15	2.65	HV	SKN	0.17	0.5	1.9	0.259	9	213.1	6	102' silicates. cpy dist. qz vit. cpy
28	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	55.15	57.00	1.85	HV	SKN	0.29	14	1.4	0.178	22	150.1	15	83' dist and qz vit.
29	PO-11-047	204638	8337501	4319.3		110	-75	368.9	57.00	59.00	2.00	HV	SKN	0.27	34	0.8	0.127	11	94.8	15	65' mt massive. qz csa vit.

Las bases de datos geológicos contienen datos de hasta más de 100,000 m de perforación durante la fase de pre-factibilidad del proyecto.

Las perforaciones realizadas sobre el depósito fueron modeladas en tres dimensiones, la Figura 1.2 muestra el modelamiento adicionando las leyes de cobre en cada uno de los intervalos, observándose que no todas las perforaciones realizadas sobre algún depósito se encuentran dentro del modelo de bloques establecido que ingresará a planta.

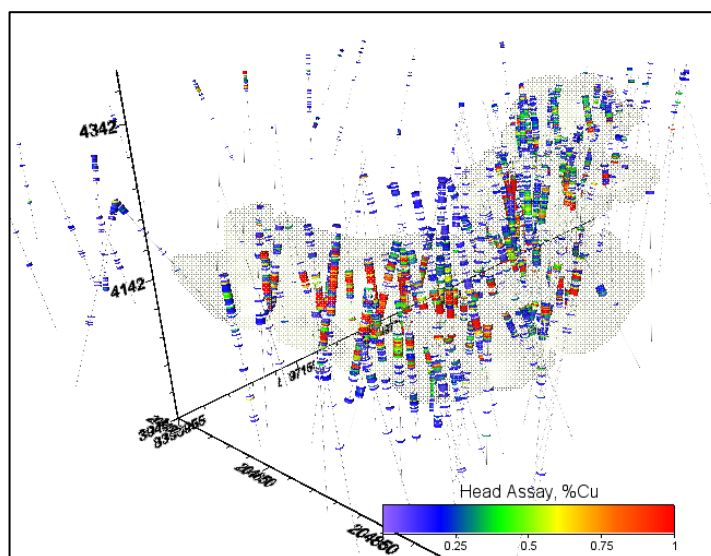


Figura 1.2: Perforaciones en 3D

1.3 Modelo de Bloques

El modelo de bloques es la representación espacial en tres dimensiones (3D) de un depósito.

Es elaborado a partir de datos de perforaciones sobre el depósito mineral con métodos geo-estadísticos de interpolación, que permite estimar la distribución de leyes dentro un espacio tridimensional.

Reserva Probada Minerales es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se explota el material.

Reserva Probable Minerales es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material.

Recurso Mineral Inferido es aquella parte de un Recurso Mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza.

El modelo de bloques (MB) es un conjunto de cubos pequeños, que en su totalidad describen al depósito. Los datos del MB (provistos por el cliente) incluyen:

Coordenadas del bloque:

- X: Este
- Y: Norte
- Z: Elevación

Dimensiones del bloque:

- X: Tamaño en dirección este
- Y: Tamaño en dirección norte
- Z: Tamaño en dirección de elevación.

La dimensión de cada bloque es de 5 m de ancho, 5 m de largo y 2 m de altura y es mostrada en la Figura 1.3.

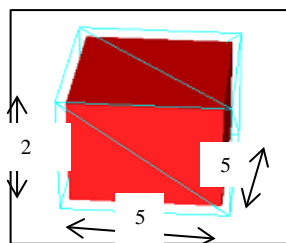


Figura 1.3: Dimensiones de bloque

La Tabla 1.2 muestra algunas características del modelo de bloques por coordenadas.

Tabla 1.2: Características del modelo de bloques

Coordenada	Parámetro		Bloques	
	Mínimo, m	Máximo, m	Cantidad	Tamaño, m
Este	694905	695395	98	5
Norte	9854870	9855675	161	5
Elevación	766	888	61	2

La creación de estos se realizan con software especializados con MineSight 3D. En el presente proyecto la Figura 1.4 muestra la representación en tres dimensiones del modelo de bloques mostrando la ley de cobre en cada uno de los bloques.

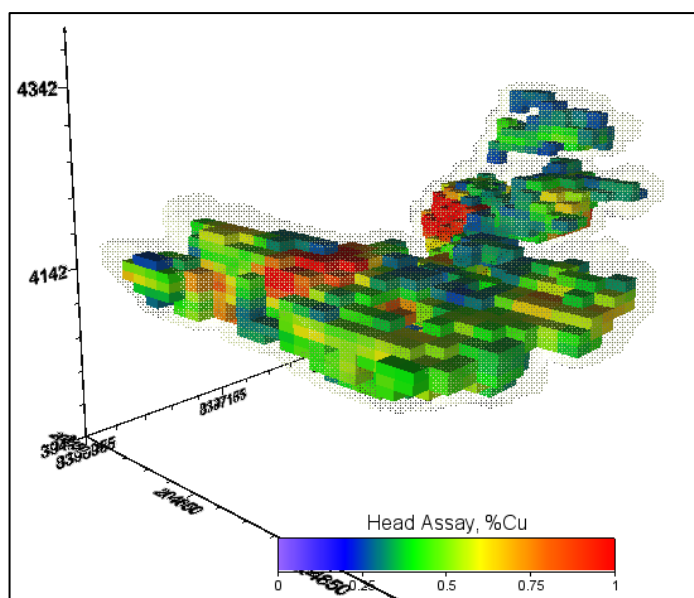


Figura 1.4: Modelo de bloques en 3D

En el nivel más simple el modelo de bloques por lo general contiene el elemento principal del mineral a explotar, la Tabla 1.3 muestra los datos con la cual se ha trabajado para general el modelo de bloques de cobre.

Tabla 1.3: Datos del modelo de bloques

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Level	Row	Col	X	Y	Z	Rock Typ	Density	Percent	CU%	\bar{x}
515008	64	74	77	204965	8397165	4082.5	85	3.07	85.82	0.035
515009	64	74	78	204975	8397165	4082.5	85	3.07	75.575	0.012
515010	64	74	79	204985	8397165	4082.5	85	3.07	75.339	0.013
515011	64	74	80	204995	8397165	4082.5	85	3.07	85.905	0.013
515012	64	74	81	205005	8397165	4082.5	85	3.07	98.073	0.016
515013	64	74	82	205015	8397165	4082.5	85	3.07	100	0.021
515014	64	74	83	205025	8397165	4082.5	85	3.07	100	0.049
515019	64	75	43	204625	8397155	4082.5	85	3.07	96.803	0.063
515022	64	75	46	204655	8397155	4082.5	85	3.07	97.314	0.126
515023	64	75	47	204665	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.27
515024	64	75	48	204675	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.234
515025	64	75	49	204685	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.147
515026	64	75	50	204695	8397155	4082.5	85	3.07	86.226	0.253
515072	64	75	56	204755	8397155	4082.5	85	3.07	93.75	0.79
515073	64	75	57	204765	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.393
515074	64	75	58	204775	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.391
515075	64	75	59	204785	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.453
515076	64	75	60	204795	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.481
515077	64	75	61	204805	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.469
515078	64	75	62	204815	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.475
515079	64	75	63	204825	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.428
515080	64	75	64	204835	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.342
515081	64	75	65	204845	8397155	4082.5	85	3.07	100	0.258

Al utilizar los datos de bloque del modelo es importante tener en cuenta un número de hechos matemáticos que influyen en su formación.

- Las propiedades asignadas a un bloque de mineral dependen sobre las propiedades medidas de las intersecciones de las perforaciones. Es posible que no haya intersecciones de perforación dentro de un bloque minero en particular.
- Algunas propiedades de los bloques de mineral pueden haber sido calculados utilizando ecuaciones complejas o geoestadística que pueden tener una consecuencia no intencionada resultado.
- Algunas de las propiedades de bloques, o incluso los datos subyacentes, puede haber sido filtrados o truncados para evitar resultados extremos.

1.4 Análisis de Datos

1.4.1 Histogramas de Distribución de Bloques por Leyes:

Se determina con los siguientes pasos:

- ▲ Determinar la ley mínima del MB.
- ▲ Determinar la ley máxima del MB.
- ▲ Dividir en intervalos (10 por defecto, personalizable), según:

$$\text{ancho de intervalo} = \frac{\text{ley mayor} - \text{ley menor}}{\text{número de intervalos}}$$

- Agregar opción para definir intervalos personalizados (ancho de intervalo no homogéneo)
- Determinar el número de bloques que se encuentran dentro de cada intervalo de ley.
- Calcular el porcentaje que representa cada intervalo respecto del total de bloques.
- Auditar (comprobar que todos los bloques han sido incluidos en los intervalos creados), Ver Tabla 1.4.

Tabla 1.4: Intervalos de leyes - Modelo de bloques

Ley de Cu, %			Modelo de bloques	
Desde	Hasta	Rango	# Bloques	Distribución
0.00	0.20	[0 - 0.2]	0	0%
0.20	0.40	[0.2 - 0.4]	177	1%
0.40	0.60	[0.4 - 0.6]	1,140	4%
0.60	0.80	[0.6 - 0.8]	3,411	11%
0.80	1.00	[0.8 - 1]	4,112	13%
1.00	1.50	[1 - 1.5]	3,169	10%
1.50	2.00	[1.5 - 2]	2,878	9%
2.00	2.50	[2 - 2.5]	2,116	7%
2.50	3.00	[2.5 - 3]	5,586	17%
3.00	3.50	[3 - 3.5]	3,396	11%
3.50	4.00	[3.5 - 4]	2,180	7%
4.00	7.00	[4 - 7]	1,354	4%
7.00	10.0	[7 - 10]	980	3%
10.0	13.0	[10 - 13]	468	1%
13.0	20.0	[> 13]	1,136	4%
Total			32,103	100%
Audit			OK	OK

- Graficar rango de leyes contra distribución de bloques en un histograma, ver Figura 1.5.

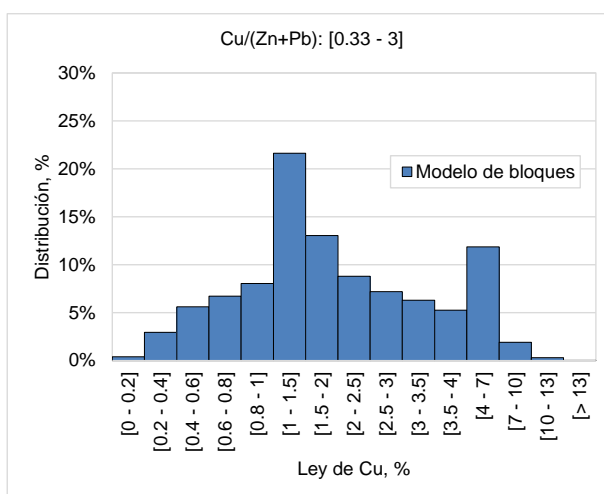


Figura 1.5: Histograma de leyes – Modelo de bloques

- Realizar este tipo de histogramas para todos los elementos de interés del proyecto, pudiendo estos ser: Cu, Pb, Zn, Au, Ag, etc.

1.4.2 Histogramas de Distribución de Propiedades

Se determina con los siguientes pasos:

- Seleccionar una propiedad (definida por el usuario, sea: litología, alteración, región, etc. indicando la columna donde se encuentra).
- Hacer una lista con todos los valores de la propiedad (si fuese litología, la lista contendría los tipos de litología que contiene el modelo de bloques).
- Determinar el número de bloques (o el peso) que pertenece a cada valor de la propiedad definida.
- Calcular el porcentaje que representa cada valor de propiedad respecto del total de bloques (o el peso total), ver Tabla 1.5.

Tabla 1.5: Distribución de propiedades – Modelo de bloques

Región	Peso, t	Peso, %
1	160,342	6%
2	473,302	18%
3	219,144	8%
4	392,363	15%
5	342,290	13%
6	39,372	1%
7	97,734	4%
8	235,594	9%
9	149,023	6%
10	85,421	3%
11	435,203	17%
12	1,340	0%
Total	2,631,128	100%
Audit	OK	OK

- Graficar propiedad contra distribución de bloques (o peso de bloques) en un histograma, ver Figura 1.6.

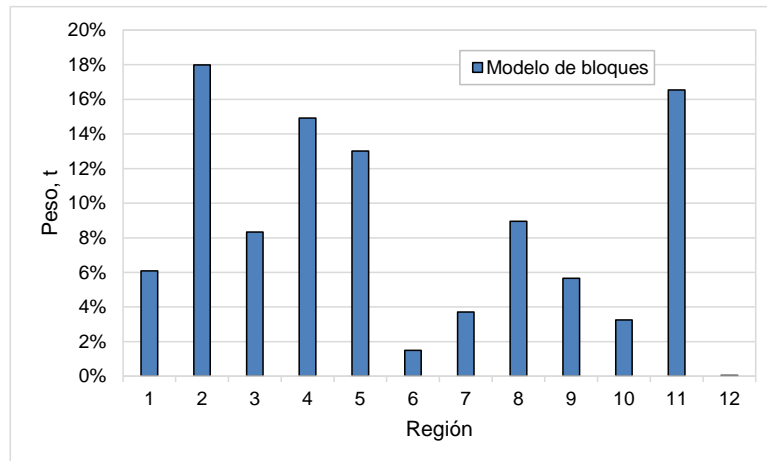


Figura 1.6: Histograma de propiedades – Modelo de bloques

- Realizar este tipo de histogramas para todas las propiedades de interés del proyecto, pudiendo estos ser: litología, alteración, región, periodos de minado, zonas, etc.

1.4.2.1 Regiones:

Regiones dentro del modelo de bloque son construidas con el objetivo de satisfacer la necesidad de que las muestras sean representativas espacial y geográficamente, así, se crean cubos que son formados en el entorno del software Voxler®.

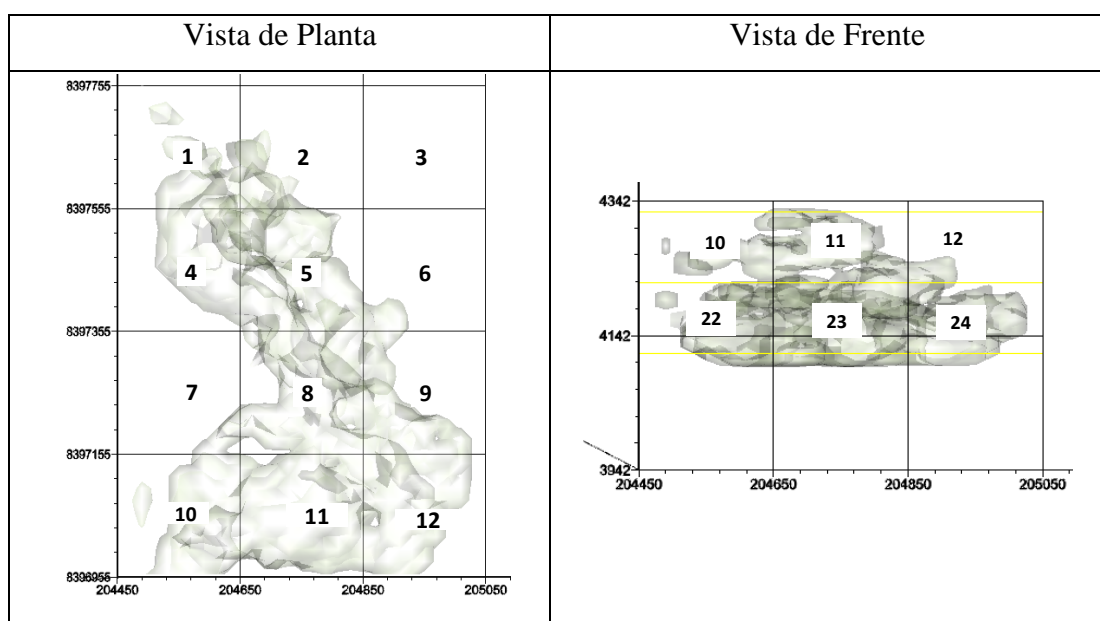


Figura 1.7: Regiones dentro del modelo de bloques

1.4.3 Percentil de Leyes:

- ▲ Seleccionar un elemento para realizar el percentil.
- ▲ Ordenar los datos de leyes del elemento seleccionado de menor a mayor.
- ▲ Para calcular el percentil de la ley de posición i (donde n es el número total de datos de ley), utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Percentil} = \frac{i}{n} \times 100; 1 \leq i \leq n$$

- ▲ Mantener el resultado de percentil con 2 cifras significativas.
- ▲ Copiar y pegar los datos de percentil como valores.
- ▲ Seleccionar ambas columnas (leyes y percentiles) y eliminar los duplicados (para evitar sobrecarga de datos en la gráfica), ver Tabla 1.6.

Tabla 1.6: Cálculo de percentil – Modelo de bloques

Cu, %	Pctl
0.17	11.1
0.56	22.2
0.75	33.3
0.84	44.4
1.11	55.6
1.16	66.7
1.52	77.8
2.53	88.9
3.15	100

- ▲ Graficar los datos de percentil contra los de leyes para obtener la curva percentil e indicar el P50 y el P75, como se muestra en la Figura 1.8.

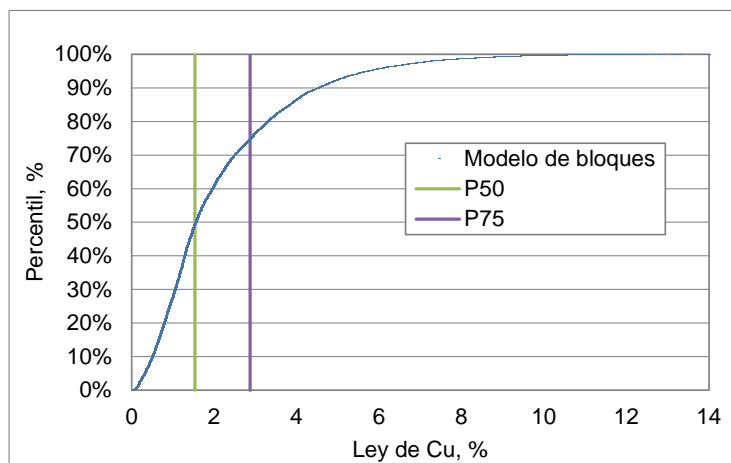


Figura 1.8: Curva percentil – Modelo de bloques

1.4.4 Distribución de Leyes por Coordenadas

- ▲ Calcular el contenido metálico de los elementos de interés (multiplicando la ley del elemento por el peso del bloque).
- ▲ Calcular los valores mínimo y máximo para las tres coordenadas como indica la Tabla 1.7.

Tabla 1.7: Coordenadas – Modelo de bloques

Coordenada	Este	Norte	Elevac.
Mínimo	694905	9854870	766
Máximo	695395	9855675	888

- ▲ Dividir en intervalos (8 por defecto, personalizable), según:

$$\text{ancho de intervalo} = \frac{\text{valor mayor} - \text{valor menor}}{\text{número de intervalos}}$$

- ▲ Agregar opción para definir intervalos personalizados (ancho de intervalo no homogéneo)

Definir intervalos de distancia para cada coordenada y calcular la suma del peso de los bloques, contenido metálico del elemento de interés y ley promedio del intervalo (dividir el contenido metálico entre el peso de los bloques del intervalo). Dividir según

sus propiedades. En la Tabla 1.8 se muestra un ejemplo de ley de cobre, dividido según alteraciones para la coordenada este.

Tabla 1.8: Intervalos de coordenadas – Modelo de bloques

Coordenada			Peso, kt			Cu, kt			Cu, %		
Promedio	Min	Max	FIL	PRO	SILN	FIL	PRO	SILN	FIL	PRO	SILN
694940 E	694905	694975	294	184	2.00	3.09	3.78	0.12	1.05	2.05	6.01
695010 E	694975	695045	267	1,091	484	3.60	32.1	20.1	1.35	2.95	4.15
695080 E	695045	695115	614	1,643	380	8.31	40.2	11.7	1.35	2.44	3.07
695150 E	695115	695185	784	1,397	441	6.30	26.7	12.8	0.80	1.91	2.91
695220 E	695185	695255	292	897	348	3.47	15.9	11.9	1.19	1.78	3.43
695290 E	695255	695325	256	365	83.7	2.39	5.69	0.94	0.93	1.56	1.12
695360 E	695325	695395	125	206	153	0.38	5.39	3.85	0.30	2.61	2.52
Total			2,631	5,782	1,891	27.5	130	61.4	1.05	2.25	3.25
Audit			OK	OK	OK	OK	OK	OK			

Graficar la ley del elemento contra el promedio de las coordenadas mínimo y máximo.

La Figura 1.9 muestra el ejemplo para la tabla anterior (de alteraciones).

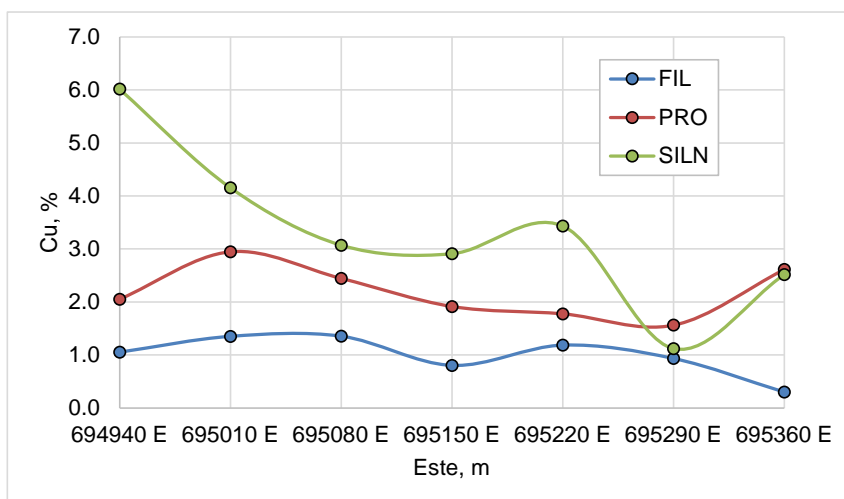


Figura 1.9: Leyes de Cu en la dirección Este – Modelo de bloques

Realizar esta gráfica para las 3 coordenadas (este, norte y elevación) para todos los elementos de interés.

1.4.5 Matrices Geológicas

Una matriz geológica es una tabla de doble entrada de propiedades de los bloques.

De un lado, enlistar verticalmente una propiedad (por ejemplo: zonas del modelo de bloques) y por otro lado, enlistar horizontalmente otra propiedad (por ejemplo: litologías existentes). Puede tomarse cada propiedad en su totalidad o solo las principales en caso hubiesen demasiadas. La Tabla 1.9 muestra un ejemplo donde se ha calculado la distribución del peso de los bloques.

Tabla 1.9. Matriz geológica – Modelo de bloques

Litología	Alteración - Peso, kt			Alteración - Dist. Peso, %		
	FIL	PRO	SILN	FIL	PRO	SILN
Gr	35.0	58.2	10.1	3%	6%	1%
BxH	84.4	36.0	23.7	8%	4%	2%
VMS	97.6	110	169	10%	11%	17%
B	12.4	19.8	0.52	1%	2%	0%
SMS	49.0	93.8	59.4	5%	9%	6%
Gy	10.0	26.7	16.3	1%	3%	2%
DaBx	20.4	11.2	13.6	2%	1%	1%
T-RHY	12.2	3.68	0	1%	0%	0%
T	6.12	9.03	0.90	1%	1%	0%
Rhy	5.27	0	0	1%	0%	0%
Fault	0	0.85	0	0%	0%	0%
BxV	6.46	9.89	0	1%	1%	0%
And	2.05	1.16	0	0%	0%	0%
Total	341	380	293	34%	37%	29%
Audit	OK	OK	OK	OK		

Graficar la distribución del peso contra las litologías para cada alteración en una gráfica de columnas 3D como se muestra en la Figura 1.10.

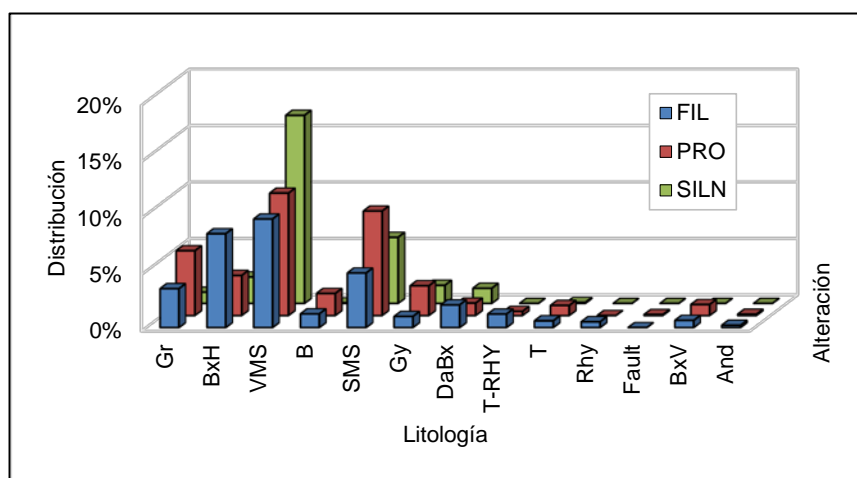


Figura 1.10: Gráfica de matriz geológica – Modelo de bloques

1.4.6 Gráfico de Cajas

Calcular los percentiles P0, P25, P50, P75 y P100 de las leyes de los elementos de interés como se indica en la Tabla 1.10 y se grafica en la Figura 1.11.

Tabla 1.10. Percentiles de leyes – Modelo de bloques

Parámetro	Ley de cabeza		
	Cu, %	Zn, %	Au, g/t
P0	0	0	0
P25	0.90	0.76	1.04
P50	1.53	1.82	1.82
P75	2.87	3.73	3.41
P100	15.6	18.5	21.9
Promedio	2.11	2.64	2.62

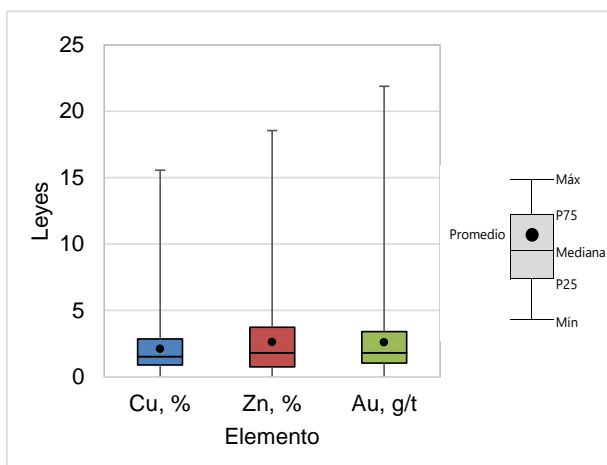


Figura 1.11: Gráfico de cajas – Modelo de bloques

CAPÍTULO II

SELECCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS

2.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta una metodología del proceso de selección de muestras a partir de perforaciones realizadas sobre un depósito. La selección de muestras está orientada para cumplir los requerimientos de un programa de pruebas metalúrgicas de conminución y flotación en la etapa de estudio de pre-factibilidad.

2.2 Representatividad

El propósito de seleccionar muestras representativas es determinar características y/o atributos físicos y químicos a un grupo de muestras asociadas con el potencial explotable del cuerpo mineralizado.

La representatividad de una muestra metalúrgica se define por como "la medida en que la muestra exhibe las mismas características que el yacimiento o recurso que representa la muestra en la prueba definida", de esta manera,

Por ejemplo, las muestras para pruebas de conminución serán representativas si ellas tienen la misma abrasión, competencia y dureza como la roca a la cual representan.

De igual manera, las muestras de flotación deben mostrar la misma recuperación, calidad del producto, los grados y las tasas de consumo de reactivos del tipo de roca que representa.

Las perforaciones o taladros realizados sobre el yacimiento tiene por objetivo extraer información de sobre la zona perforada.

El grupo muestras representativas a extraer serán a partir de tramos longitudinales de la perforación. La longitud a seleccionar dependerá de la porción de núcleo a extraer y el peso necesario para el tipo de prueba a realizar, por ejemplo, es usual tomar $\frac{1}{4}$ del cilindro de roca con una longitud de 2 m a 8 m para pruebas de flotación.

Las perforaciones llevan consigo información o una base de datos que por lo general contiene elementos múltiples ensayos por cada metro o dos metros de la intersección de perforación. Así mismo contiene información relacionada con la litología o tipo de roca, las características de alteración, mineralización, competencia o dureza, RQD, la gravedad específica (GE), ubicación de los taladros, información direccional del taladro (azimut, dip) y cualquier número de otras medidas en función del tipo de mineral en cuestión.

Las bases de datos geológicos contienen datos de hasta más de 200,000 m de perforación durante la fase de factibilidad del proyecto.

Se debe recordar que los datos geológicos esta conducido principalmente a satisfacer necesidades geológicas y no a las necesidades de la muestra, por lo tanto, gran parte de la información geológica disponible no va a ser utilizado en el proceso de selección de muestras.

En el nivel más simple el modelo de bloques por lo general contiene elementos múltiples ensayos.

Al utilizar los datos de bloque del modelo es importante tener en cuenta un número de hechos matemáticos que influyen en su formación.

1. Las propiedades asignadas a un bloque de mineral dependen sobre las propiedades medidas de las intersecciones de las perforaciones. Es posible que no haya intersecciones de perforación dentro de un bloque minero en particular.
2. Algunas propiedades de los bloques de mineral pueden haber sido calculados utilizando ecuaciones complejas o geoestadística que pueden tener una consecuencia no intencionada resultado.
3. Algunas de las propiedades de bloques, o incluso los datos subyacentes, puede haber sido filtrada o truncado para evitar o ilógico resultados extremos.

2.3 Tamaño de Muestra

La cantidad de muestras requeridas para la conducción del estudio de factibilidad varía con el objetivo de pruebas a realizar, la variabilidad del depósito y el presupuesto asignado. La muestra, cualquiera que sea su magnitud, debe ser representativa de la población a la que se van a extrapolar los resultados.

El tamaño necesario de la muestra para poder extrapolar los resultados a la población depende básicamente de tres variables:

1. El nivel de confianza o riesgo que aceptamos de equivocarnos al presentar nuestros resultados, lo que deseamos es que en otras muestras semejantes los resultados sean los mismos o muy parecidos. El nivel de confianza habitual es de 95% con un nivel de significancia (α) de 5%. De la función normal estándar $Z_{\alpha/2} = 1.96$.
2. La variabilidad o desviación estándar relativa (σ) estimada que representa la diversidad en la población. Según Steve Morrell (2009) se puede representar por la desviación relativa estándar de la base de datos de pruebas anteriormente realizadas sobre el depósito. Para nuevos proyectos debemos asegurar que cumplamos con que el número de muestras que se obtenga representa una

variabilidad mínima del 40%. En caso que la variabilidad de los resultados sea mayor a la asumida se debiera estimar nuevamente el número de muestras.

3. El margen de error (E) que estamos dispuestos a aceptar, que va a estar en función al nivel de estudio que se está realizando:
 - PEA: 30%
 - PFS: 20%
 - FS: 10%
 - BFS: 5%

Para extrapolar a poblaciones muy grandes utilizamos la siguiente fórmula para obtener el tamaño de la muestra:

$$N = \left(\frac{z \cdot \sigma}{E} \right)^2$$

2.3.1 Tamaño de muestras de conminución

La Tabla 2.1 indica el número de muestras mínima necesaria para las pruebas de conminución.

Tabla 2.1: Tamaño de muestras de conminución

Parámetro	Valor
Desviación estándar relativa (RSD)	40%
Error de estimación (PFS)	20%
Nivel de confianza	95%
Alfa, α	5.0%
$\alpha/2$	2.5%
Z, positivo	1.96
Tamaño mínimo de muestra, N	15.0

2.3.2 Tamaño de muestras de flotación

La Tabla 2.2 indica el número de muestras mínima necesaria para las pruebas de flotación.

Tabla 2.2: Tamaño de muestras de flotación

Parámetro	Valor
Desviación estándar relativa (RSD)	50%
Error de estimación (PFS)	20%
Nivel de confianza	95%
Alfa, α	5.0%
$\alpha/2$	2.5%
Z, positivo	1.96
Tamaño mínimo de muestra, n	24.0

2.4 Análisis de datos

Imaginemos, un yacimiento de 100 millones de toneladas con 10,000 m de las intersecciones señaladas dentro de mineral tiene una densidad de datos geológicos de 100 muestras por millones de toneladas de mineral. Suponiendo que hay tres principales litologías que han sido probados y metalúrgicamente cada litología ha tenido 50 muestras ensayadas variabilidad de las propiedades de flotación y capacidad de molienda, la densidad de datos metalúrgico está a sólo 1,5 muestras por millones de toneladas de mineral.

Así, en 5 Mt/a el rendimiento de la planta (por ejemplo) producción de cada año es efectivamente basada en los resultados de 7,5 muestras metalúrgicas de prueba en comparación con los 500 metros de la intersección con las de perforaciones.

Aunque puede ser útil aprender a utilizar un software no tan especializado que tenga excelente capacidad de importación y visualización de datos.

Un análisis eficaz y eficiente de datos es esencial para la selección de muestras. A menudo es necesario manipular grandes bases de datos y hojas de cálculo y resumir en

fuentes significativas de información. También es necesario para correlacionar las propiedades de las características geológicas.

El primer paso es organizar los datos en una forma que puede ser manipulado significativa.

Un método es el de organizar todos los datos geológicos disponibles en un solo hoja de cálculo contra un conjunto común de intervalos de profundidad. Antes de hacer uso de los datos, es esencial que cada columna de datos se analice para buscar características inusuales o errores. Por ejemplo, a veces los datos numéricos están realmente presente como texto en la hoja de cálculo.

A menudo, la información de texto tiene una longitud mínima y lo que parece ser un código de tres letras es de tres letras seguidas de diez espacios. Tales anomalías en los datos confundir el análisis y la analizador.

Compruebe si hay objetos de datos insertados por los geólogos, para ejemplo que representa los datos que faltan con '9999'. Compruebe si la entrada errores como una mezcla de valores de ppm en una columna de ciento por ciento o valores mayores que 100. Las posibilidades son infinitas para datos problemáticos en bases de datos.

Por lo general es necesario añadir columnas de datos adicionales a la bases de datos geológicos. Por ejemplo, el mineral y los residuos son raramente definidas en los datos geológicos porque estos son términos mineros. La columna de datos que clasifica los intervalos en mineral simple y residuos establece de acuerdo con un razonable grado de nivel de corte se agrega fácilmente.

Otra adición útil a la base de datos para indicar aquellos taladros intersecciones muestras que han sido utilizados en la pertinente programas de metalúrgicos de prueba. Una vez más, esto puede ser tedioso, pero proporciona una base excelente para evaluar el representante naturaleza del muestreo pasado y es una guía para la selección de muestras para los futuros programas de prueba.

Una vez verificada la base de datos está listo para usar. Un número de directrices son útiles aquí:

- Identificar el mineral que es importante para el tema metalúrgico que se trate.
- Identificar las propiedades que son de mayor importancia para la problema metalúrgico.
- Estas propiedades se convierten en el objeto de análisis de datos y guiar el análisis de los aspectos importantes de los datos establecido. Por ejemplo, en una planta de flotación de cobre del cobre grado es obviamente importante, pero también lo es el grado de azufre, el arsénico grado y probablemente el grado de oro.
- Utilizar las herramientas de datos para centrarse en el mineral importante y propiedades importantes.
- Utilizando las tablas pivote es posible construir rápidamente una tabla limitado al mineral en el plazo pertinente y examinar promedio de Cu, Au, S y As grados e identificar el número de intervalos identificados en cada categoría.
- También es posible ver esta información en el plan en el yacimiento mediante un software de visualización.
- Entonces es posible el paso a través del yacimiento mediante la selección de un individuo RL valor o un conjunto de valores RL.
- Una vez que los datos están en esta forma de análisis es entonces posible examinar el yacimiento desde una perspectiva de proceso.
- Tratar de encontrar tendencias:
 - De elementos como el arsénico con el tipo de ubicación, profundidad o mineral puede
 - Tendencias en Cu: S con el tiempo puede ser examinado,
 - Lugares específicos para la extracción de pruebas metalúrgicas nuevo
 - También es posible utilizar las técnicas gráficas y estadísticas a la búsqueda de correlaciones entre factores, por ejemplo complot por ciento

- Frente por ciento Au en una parcela X / Y para ver si el oro y arsénico están relacionados entre sí. Si se sospecha una relación dentro de un mineral en particular escriba a continuación, utilizar el taladro tabla pivote Por instalación para extraer los registros pertinentes y luego trazar la comparación de los datos específicos de nuevo.

Las herramientas como tablas de correlación se pueden utilizar para buscar datos de gran tamaño juegos para importantes correlaciones lineales entre un gran número de pares de columnas de datos. La regresión lineal múltiple se puede aplicar para ver si una propiedad particular es una función de un número de otros.

Herramientas de regresión son particularmente útiles cuando se investiga la relación entre el conjunto limitado de datos metalúrgico y la gran cantidad de datos geológicos establecido. Suponiendo que las muestras de perforación fueron sometidas a pruebas metalúrgicas han sido correctamente identificados, es posible extraer los datos geológicos para esos intervalos de la base de datos, calcular los promedios de las propiedades de intervalo y relacionarlos con las propiedades metalúrgicas medidas. En esta manera que sea posible identificar predictores geológicas de propiedades metalúrgicas.

Lo ideal sería que las muestras de pruebas metalúrgicas se hayan realizado con intervalos contiguos de litologías individuales, esto es mucho más útil que las muestras de ensayo individuales se forman como compuestos de en todo el yacimiento. Especialmente problemático es cuando el único dato disponible se refiere a compuestos formados a partir través del yacimiento y de una mezcla de litologías. Ambas situaciones hacen casi imposible establecer ningún vínculo entre propiedades geológicas y metalúrgicas.

Uno de los resultados más gratificantes para el ingeniero de proceso a partir de este análisis es la comprensión más profunda que se obtiene sobre el yacimiento.

2.5 Metodología de selección

La Figura 2.1 muestra el esquema a seguir para seleccionar muestras representativas en un depósito los cuales están basados en la información entregada por el área de geología y mina, que son el modelo de bloques, los datos de las perforaciones y el plan de minado juntos se genera una base de datos compilada en base a los intervalos de las perforaciones. La selección de muestras agrupa ciertos intervalos de las perforaciones con características específicas que representen en conjunto todo el modelo de bloques las cuales son realizadas con comparaciones estadísticas y el modelamiento en 3D con el objetivo de obtener muestras representativas.

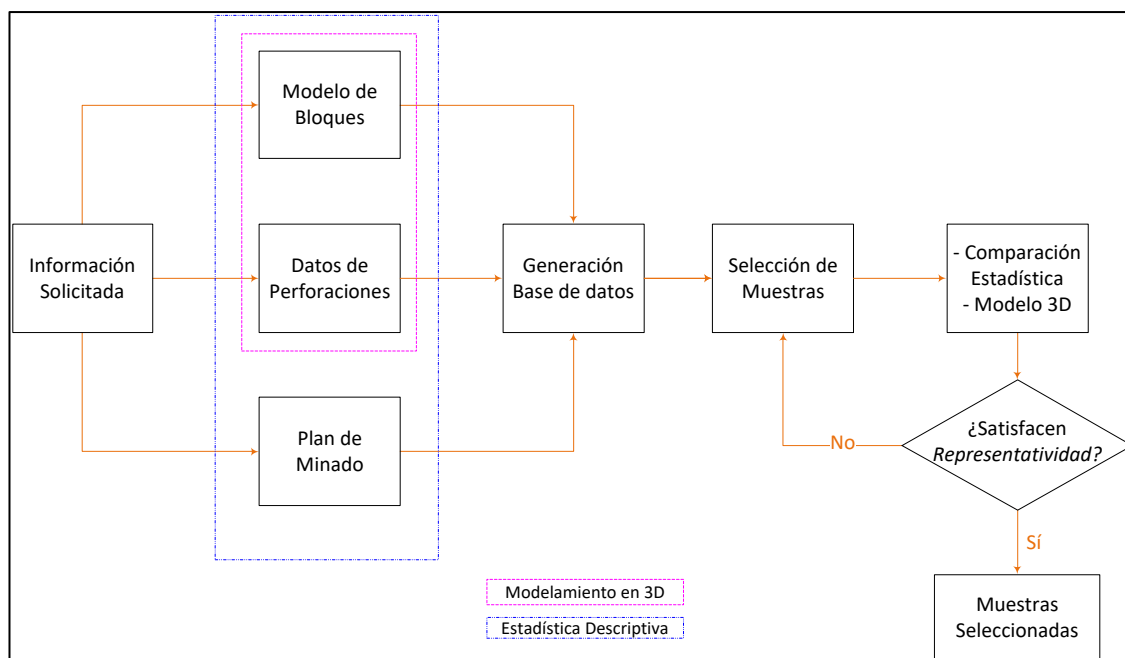


Figura 2.1: Esquema de selección de muestras

2.5.1 Muestras de flotación

- a) Datos del yacimiento:
- Base de datos en las perforaciones:
 - Análisis químicos, ICP
 - Cobre secuencial
 - Alteración
 - Litología

- RQD (Rock Quality Determination)
 - Zonas
 - Modelo de bloques
 - Plan de Minado
 - Pits de minado (Pit shells)
 - Regiones
- b) Procedimiento de selección de tramos:
- i. Creación de una base de datos que consiste en la recopilación de todos los datos mostrados en la Parte a.
 - ii. Selección de tramos existentes y consecutivos, los cuales cumplan con la distribución de cobre y oro, litología, mineralización, zonas, sectores, etc. dentro del modelo de bloques.
 - iii. El número de muestras fue seleccionada de acuerdo a la distribución de tonelaje de los periodos del plan de minado y regiones construidas y disponibilidad de las perforaciones.
 - v. Las muestras de flotación a extraer contendrán $\frac{1}{4}$ del peso de las muestras rechazos que se encuentran en el almacén. (Se estima por cada metro longitudinal 2 kg).

d) Regiones:

La Figura 2.2 muestra las regiones dentro del modelo de bloque son construidas con el objetivo de satisfacer la necesidad de que las muestras sean representativas espacial y geográficamente, así, se crean cubos que son formados en el entorno del software Voxler®.

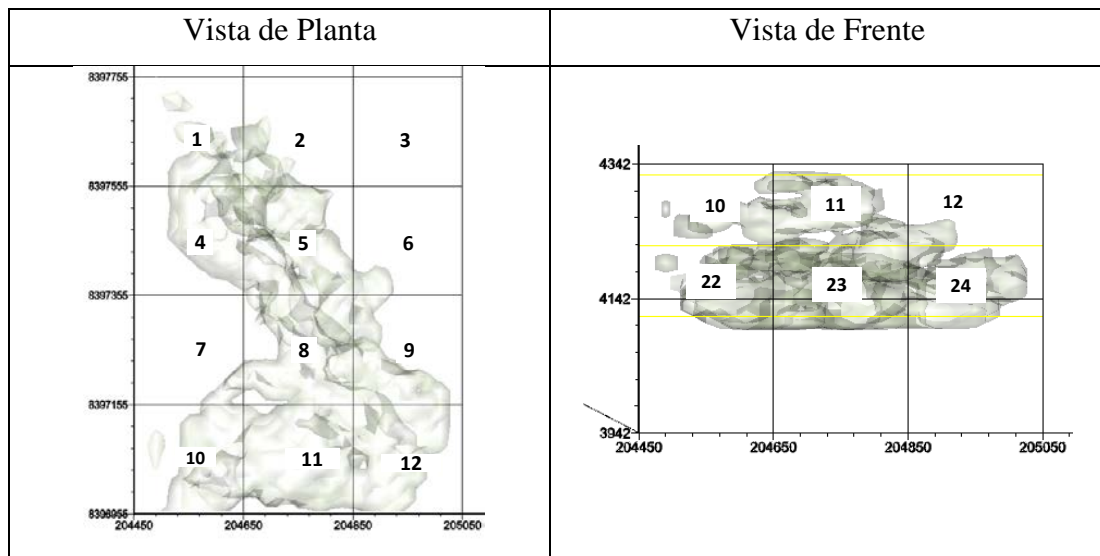


Figura 2.2: Regiones en el depósito

La Figura 2.3 compara el número de muestras requeridas con las muestras seleccionadas por regiones.

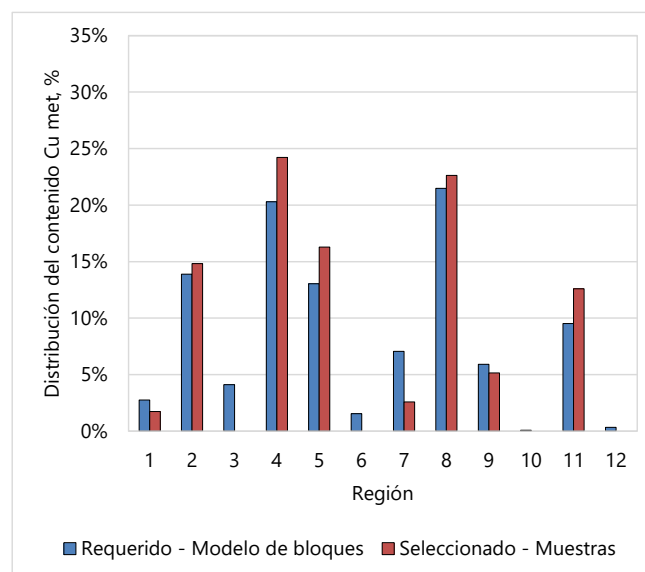


Figura 2.3: Comparación de número de muestras por región

e) Periodos de minado

La Figura 2.4 compara el número de muestras requeridas con las muestras seleccionadas por periodos de minado.

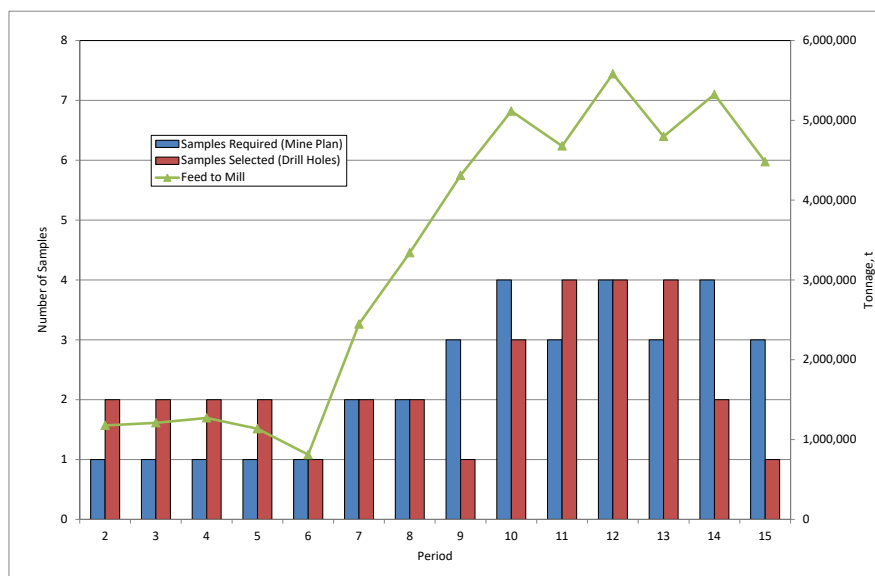


Figura 2.4: Comparación de número de muestras seleccionadas por año

f) Histograma de leyes:

- ▲ Las muestras seleccionadas se indican dentro de las gráficas realizadas en el análisis de datos, de tal modo que se pueda efectuar una comparación visual y mostrar representatividad.
- ▲ Las gráficas deben actualizarse automáticamente cada vez que se haga una modificación en las muestras seleccionadas.
- ▲ El estilo de gráfico utilizado para histogramas de leyes es el mostrado en la Figura 2.5.

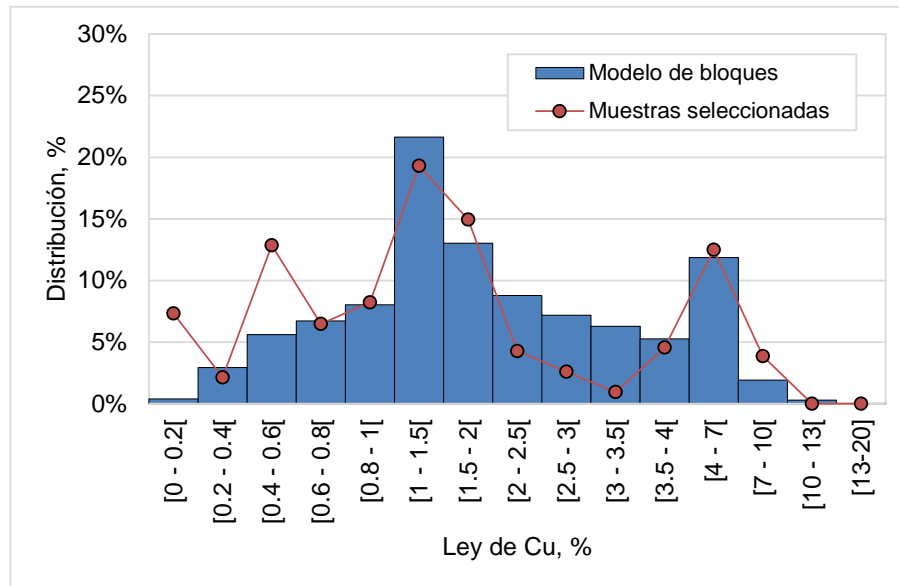


Figura 2.5: Histograma de leyes – Selección de muestras

g) Percentiles:

La Figura 2.6 muestra la distribución percentil de análisis de cabeza de cobre entre el modelo de bloques y las muestras de flotación seleccionadas.

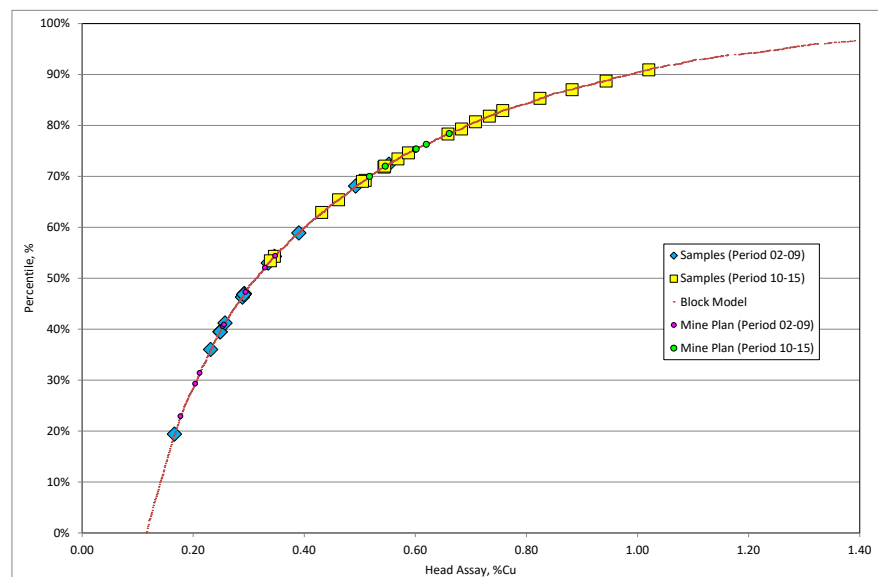


Figura 2.6: Representación del modelo de bloques

h) Modelamiento en 3D

La Figura 2.7 indica la ubicación de las muestras de flotación seleccionadas dentro del modelo de bloques.

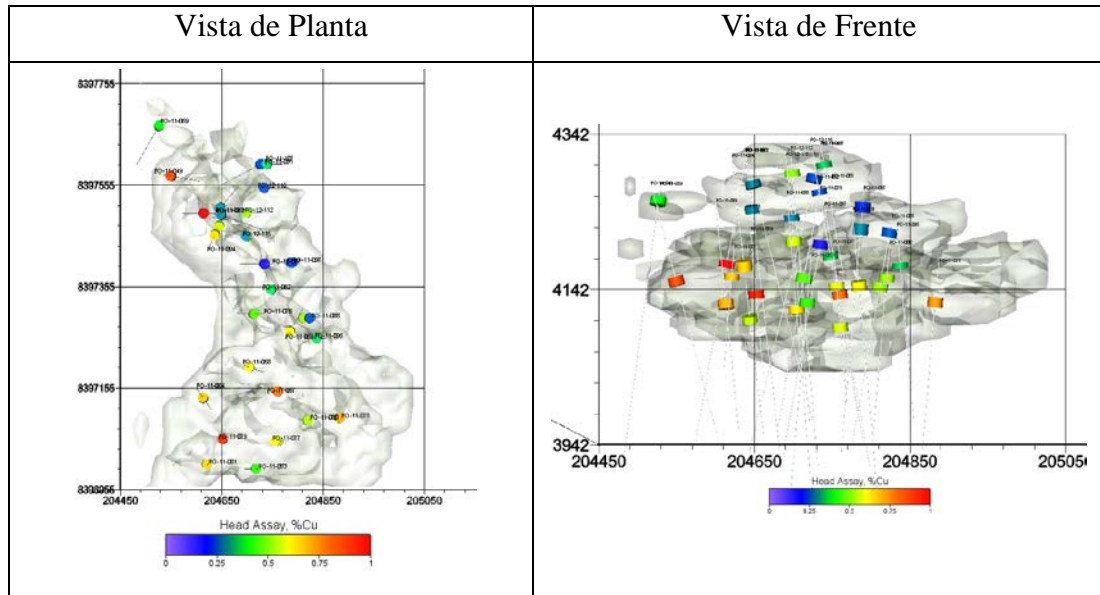


Figura 2.7: Muestras de flotación dentro del modelo de bloques

La Figura 2.8 indica la ubicación de las muestras de conminución dentro del modelo de bloques.

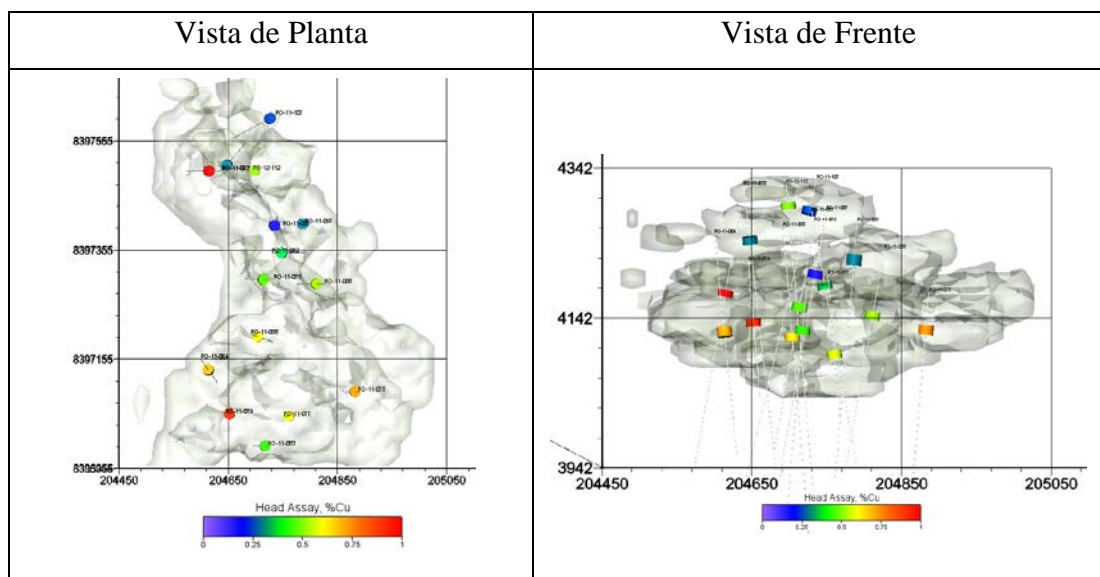


Figura 2.8: Muestras de conminución dentro del modelo de bloques

2.5.2 Procedimiento de Extracción de Muestras

El procedimiento de extracción de muestras fue elaborado principalmente con el objetivo de cumplir con los requerimientos de peso y representatividad que demanda cada muestra que será utilizada para la realización de diferentes pruebas metalúrgicas. A continuación se presentan las actividades asociadas a la extracción de muestras:

- ▲ Identificación de la muestra.
- ▲ Revisión metalúrgica
- ▲ Revisión geológica
- ▲ Extracción de muestras.
- ▲ Etiquetado y embalaje de muestras.

2.5.2.1 Identificación de la muestra

La identificación de la muestra es realizada con el apoyo de los operadores del área de geología y consiste de las siguientes etapas:

- ▲ Ubicación de las cajas de logueo correspondientes a cada muestra.
- ▲ Identificación y señalización de la muestra mediante pedazos de madera (tacos) en los tramos inicial y final por cada muestra.
- ▲ Toma de fotografías de alta resolución de cada una de las cajas pertenecientes a cada muestra.
- ▲ Identificación del tipo de perforación (tipo PQ, HQ, NQ).
- ▲ Señalización de cada sub tramo para cada una de las muestras.
- ▲ Seccionamiento de los taladros en forma longitudinal y transversal como se muestra en la Figura 2.9 (las secciones coloreadas indican muestras para pruebas y las no coloreadas indican muestras de respaldo).

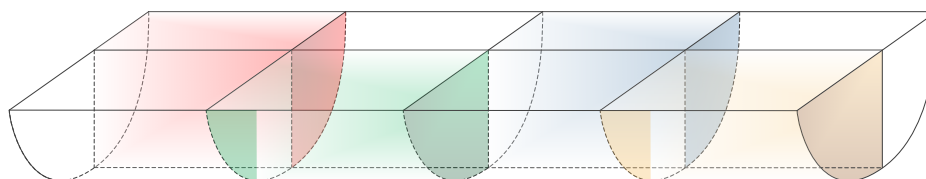


Figura 2.9: Especificaciones de tramos de muestreo

- ▲ Cortar cada uno de los sub tramos mediante combas cuando sea requerido e incluir pedazos de madera (tacos) divisores identificados con el color rojo para realizar las revisiones geológicas y metalúrgicas para la posterior extracción de la muestra.

2.5.2.2 Revisión metalúrgica

Con el objetivo de cumplir el aseguramiento de la calidad, previo a la extracción de muestras, se llevó a cabo una revisión metalúrgica, la cual tiene por objetivo evaluar el estado de cada una de las muestras en función a los requerimientos de peso, tamaño y humedad para la realización de las pruebas metalúrgicas. La revisión metalúrgica cualitativa y referencial debe ser confirmada en laboratorio.

Para las muestras destinadas a pruebas de conminución, esta revisión incluye la verificación de un promedio de los tamaños aproximados de partículas, longitud del tramo y comentarios generales del grado de oxidación y fractura de la muestra. Una parte importante de esta revisión es la cantidad de peso final por cada muestra, pero esto es realizado al final de la extracción. En la Tabla 2.3 se presenta un resumen de las principales pruebas de conminución y el peso nominal requerido por cada prueba, pero de acuerdo a información proporcionada por SGS Minerals es posible realizar la prueba con un peso efectivo mínimo de 30 kg.

Tabla 2.3: Requerimientos de masa y tamaño - pruebas de conminución

Item	Tipo de Prueba	Masa Requerida	Tamaño requerido
1	SAG Mill Comminution (SMC)	20 kg	+ 32.0 mm
2	Bond Ball Work Index (BWI)	10 kg	- 3.35 mm
3	Bond Rod Work Index (RWI)	15 kg	- 12.5 mm
4	SAG Power Index (SPI)	10 kg	- 19.0 mm
5	Abrasion Index (Ai)	5 kg	- 19.0 mm

Para las muestras destinadas a pruebas de flotación, esta revisión incluye verificación de la longitud del tramo y comentarios generales del grado de oxidación y fractura de la muestras. El requerimiento de peso mínimo para cada muestra deberá ser señalado por el laboratorio en cada campaña de muestreo.

2.5.2.3 Revisión geológica

La revisión geológica consiste en un re-logueo de cada una de las muestras metalúrgicas enfocado a la verificación y control de la calidad de las propiedades geológicas del mineral como litologías, alteraciones y mineralización presentes en los tramos de sondaje.

La revisión geológica es realizada siguiendo los protocolos de identificación geológica de sondaje e información geológica relativa al proyecto; la revisión geológica es comparada con el logueo inicial de las muestras. Las actividades de revisión geológica están por lo general a cargo del geólogo de campo seleccionado para el proyecto.

2.5.2.4 Extracción de muestras

La extracción de muestras consiste en los siguientes pasos:

- ▲ Ubicar el inicio de cada muestra.
- ▲ Extraer los tramos según lo mostrado en la Figura 2.9 y almacenarlos en las bolsas dobles de polietileno debidamente rotuladas.
- ▲ Continuar hasta terminar de realizar la extracción del tramo total para cada una de las muestras.
- ▲ Pesar la muestra completa y verificar el peso de la misma.
- ▲ Si el peso final de las muestras es inferior al peso requerido, de acuerdo a las especificaciones del supervisor en campo es posible que el tramo total de la muestra pueda extenderse y extraer más muestra para completar el peso.
- ▲ Actualizar el peso y rango de metraje de la muestra.

Culminada la etapa de extracción de muestras, las cajas de testigos, que contienen las muestras de respaldo, deberán ser devueltas a los bastidores de almacenamiento de testigos.

CAPÍTULO III

PROGRAMA Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS METALÚRGICAS

3.1 Introducción

En el presente capítulo desarrolla el diseño de un programa de pruebas metalúrgicas de conminución y flotación.

3.2 Pruebas de conminución

3.2.1 Índice de Abrasión (Ai)

El índice de abrasión de Bond proporciona una medida de la tasa de desgaste del metal de revestimiento en molinos y del consumo de medios de molienda como bolas o barras de acero, a partir del cual se puede estimar el desgaste de los revestimientos en los equipos utilizados en el circuito de conminución. La prueba se realiza con 1.6 kg de menos 3/4" más 1/2" de mineral. Normalmente, esto puede obtenerse a partir de 5 kg de mineral triturado a menos 3/4" y cribado a 1/2".

La Tabla 3.1 muestra los resultados de la prueba de índice de abrasión sobre las 20 muestras de variabilidad y los 4 compósitos de conminución. Los valores de Ai estuvieron dentro del intervalo desde 0.05 hasta 0.24 g.

La Figura 3.1 muestra el análisis percentil del índice de abrasión para todas las muestras; el análisis estadístico reportó el percentil 80 de 0.18 g y percentil 50 de 0.13 g para el Ai.

La Figura 3.2 muestra cómo se ubican estos percentiles dentro de la base de datos (en forma de distribución acumulada) de los índices de abrasión. El percentil 80 de las muestras de variabilidad de Yaraguá se ubica dentro del 65% más abrasivo de la base de datos, y de Veta Sur, dentro del 69% de la base de datos, lo cual ubica al mineral dentro del rango de abrasión media a alta. Al comparar al P80 obtenido de Yaraguá (0.20 g) y Veta Sur (0.23 g) contra el encontrado para el compuesto usado en el estudio PEA (0.35 g), se observa una reducción significativa en el índice de abrasión.

Tabla 3.1: Índice de abrasión (Ai) – Resultados

ID Muestra	Peso Inicial, g	Peso Inicial, g	Índice de abrasión, g
BCOS-1	94.44	94.25	0.19
BCOS-2	94.54	94.44	0.10
BCOS-3	94.48	94.30	0.17
BCOS-4	94.30	94.18	0.12
BCOS-5	94.44	94.20	0.24
BCOS-6	94.65	94.53	0.12
BCOS-7	94.20	94.08	0.11
BCOS-8	94.53	94.33	0.19
BCOS-9	94.53	94.43	0.11
BCOS-10	94.63	94.41	0.22
BCOS-11	94.43	94.28	0.15
BCOS-12	94.41	94.16	0.24
BCOS-13	94.69	94.63	0.05
BCOS-14	94.52	94.41	0.11
BCOS-15	94.63	94.58	0.05
BCOS-16	94.41	94.36	0.05
BCOS-17	94.50	94.43	0.07
BCOS-18	94.40	94.17	0.23
BCOS-19	94.43	94.34	0.09
BCOS-20	94.17	93.95	0.23
BCOC-001	94.46	94.28	0.18
BCOC-002	94.28	94.10	0.17
BCOC-003	94.52	94.42	0.09
BCOC-004	94.49	94.40	0.10

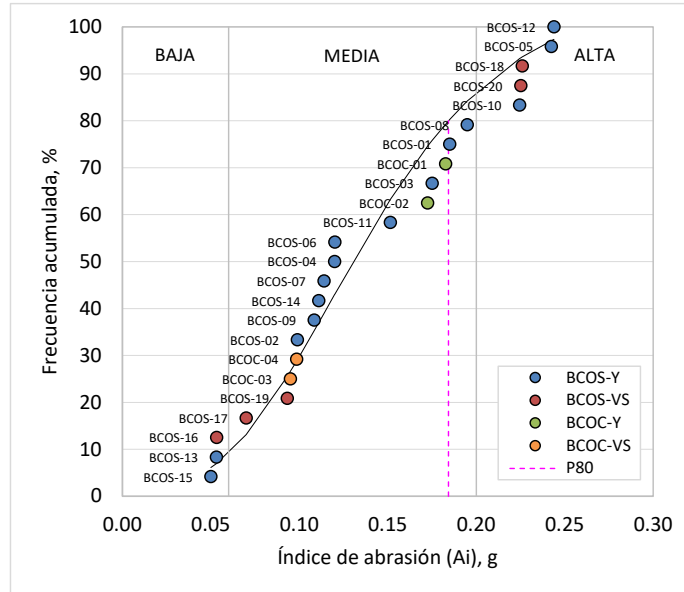


Figura 3.1: Índice de abrasión (Ai) – Percentil

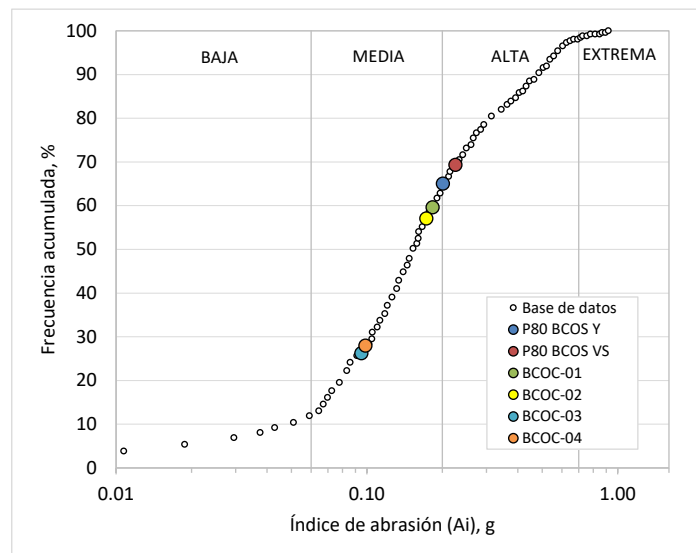


Figura 3.2: Índice de abrasión (Ai) – Comparación con base de datos

En conclusión, el índice de abrasión se encuentra en el rango de abrasión media, frente al rango de altamente abrasivo que se tenía el PEA.

3.2.2 Índice de Trabajo en Molinos de Bolas de Bond (BWi)

El índice de trabajo de molienda en molinos de bolas de Bond (Ball Mill Work Index), es un valor que da una medida de la energía necesaria para moler una muestra de mineral de 3.35 mm como alimentación a un molino de bolas, hasta ser reducido a un tamaño de 0.075 mm aproximadamente, junto a la tercera teoría de conminución de Bond, es utilizada para la determinación de la energía neta consumida por el molino de bolas. La prueba se realiza con un mínimo de 10 kg de mineral (de preferencia ¼ de núcleo de testigo de perforación) chancado a un tamaño de -3.35 mm. La prueba fue realizada empleando una malla de referencia que tenga por objetivo obtener un P80 de 106 μm .

La Tabla 3.2 muestra los resultados de la prueba de índice de trabajo de molienda (BWi) sobre 23 muestras de conminución. No se realizó esta prueba para la muestra BCOS-15, debido a que esta contenía un porcentaje de fino por encima de lo habitual (mayor que 30%), lo cual generaría una sobre molienda en el primer ciclo en las pruebas. Los valores de BWi estuvieron en el intervalo de 11.7 hasta 22.3 kW-h/t.

Tabla 3.2: Índice de trabajo para molinos de bolas (BWi) – Resultados

ID Muestra	% bajo malla corte	P1, um	P80, um	F80, um	Gbp (g/rev)	BWi kW-h/t
BCOS-01	12.7	150	114	2,164	1.18	18.8
BCOS-02	12.6	150	108	2,142	1.03	20.2
BCOS-03	9.49	150	115	2,265	1.23	18.0
BCOS-04	16.1	150	113	2,030	1.06	20.5
BCOS-05	10.4	150	108	2,329	1.03	20.0
BCOS-06	13.4	150	111	2,046	1.26	17.6
BCOS-07	11.7	150	113	2,186	1.15	19.0
BCOS-08	12.8	150	115	1,978	1.19	19.0
BCOS-09	10.5	150	106	2,240	0.94	21.5
BCOS-10	12.0	150	116	2,222	1.33	17.1
BCOS-11	12.2	150	113	2,142	1.14	19.2
BCOS-12	9.92	150	109	2,235	1.13	18.7
BCOS-13	15.3	150	117	2,078	2.17	11.7
BCOS-14	12.3	150	113	2,205	1.17	18.7
BCOS-16	11.6	150	115	2,222	1.87	12.9
BCOS-17	11.3	150	117	2,243	2.01	12.2
BCOS-18	9.13	150	107	2,190	0.93	21.9
BCOS-19	9.56	150	109	2,324	0.91	22.2
BCOS-20	8.31	150	113	2,136	0.99	21.6
BCOC-001	9.98	150	113	2,509	0.96	21.6
BCOC-002	10.2	150	113	2,604	0.99	21.0
BCOC-003	8.88	150	111	2,350	1.05	20.1
BCOC-004	8.02	150	107	2,420	0.89	22.3

La Figura 3.3 muestra el percentil del índice de trabajo de molienda para las muestras; el percentil 80 de todas las muestras de variabilidad es de 21.5 kW-h/t, lo cual ubica al mineral dentro de la categoría de muy duro.

La Figura 3.4 muestra cómo se ubican los percentiles 80 de Yaragua y Veta Sur dentro de la base de datos (en forma de distribución acumulada) de los índices de Bond bolas. El percentil 80 de las muestras de variabilidad de Yaraguá y Veta Sur se ubica dentro del 90% más duro de la base de datos, lo cual ubica al mineral dentro del rango de muy duro. Al comparar al P80 obtenido de Yaraguá (20.1 kW-h/t) y Veta Sur (22 kW-h/t) contra el compósito usado en el estudio PEA (16 kW-h/t), se observa que el valor obtenido en el PFS es superior, esto va a impactar en el dimensionamiento de molino de bolas (costo de capital) y consumo de energía (costo operativo).

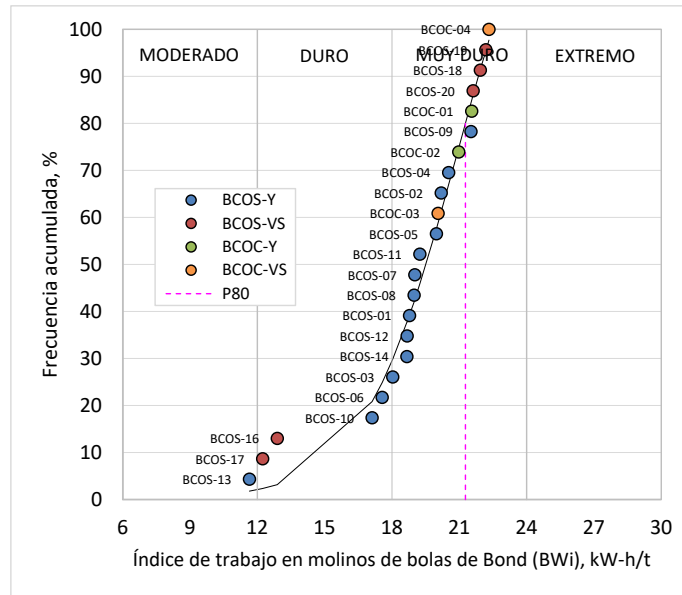


Figura 3.3: Índice de trabajo para molinos de bolas (BW_i) – Distribución percentil

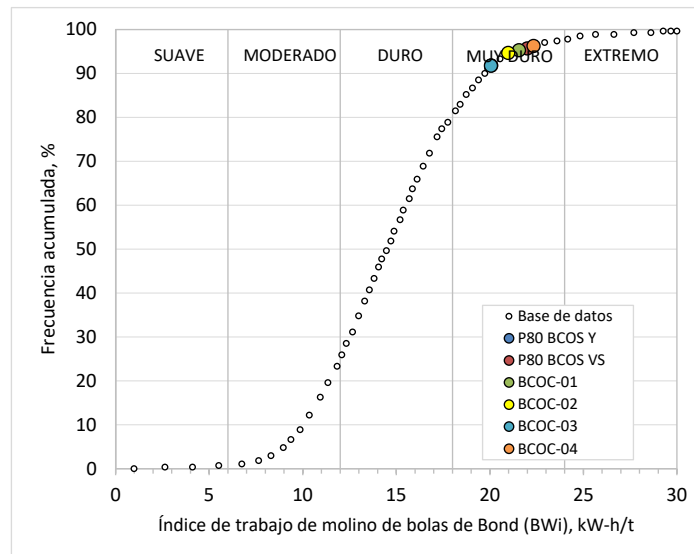


Figura 3.4: Índice de trabajo para molinos de bolas (BW_i) – Distribución percentil

El valor obtenido de BW_i, que representa la resistencia a la fractura en molinos de bolas, es superior al empleado en la etapa PEA y se encuentra en el rango de muy duro, respecto a la base de datos. Esto impactará en el dimensionamiento del molino de bolas (costo de capital) y en el consumo de energía (costo operativo).

3.2.2.1 Prueba de Conminución para Molino SAG (SMC)

La prueba de conminución para molino SAG (SAG Mill Comminution Test – SMC) es utilizada para determinar la medida en la que se fractura una muestra de mineral. Las pruebas de SMC proporcionan un medio rentable de obtención de datos que se pueden usar para predecir la variabilidad del rendimiento del circuito de conminución. Esta prueba reporta el índice de caída de peso (Drop Weight Index – DWi), la cual junto a otros parámetros de la función fractura del molino SAG, resistencia al impacto (Axb) y resistencia a la abrasión (t_a) reportados en esta prueba, y las pruebas del índice de trabajo de molienda (BWi), son utilizados para estimar el consumo de energía específica del circuito de conminución que incluyen molinos AG o SAG.

La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas SMC sobre las veinte muestras de variabilidad y cuatro compósitos de conminución. Los valores del índice de caída de peso (Drop Weight Index – DWi) estuvieron en el intervalo desde 2.4 hasta 14.4 kW-h/m³, los valores del parámetro Axb estuvieron en el intervalo de 18.0 hasta 108.2 y los valores del parámetro t_a estuvieron en el intervalo de 0.17 hasta 1.04.

3.2.2.2 DWi

La Tabla 3.3 muestra el análisis percentil del DWi para las muestras de variabilidad y compósitos; el análisis estadístico reportó el percentil 80 de 11.3 kW-h/m³ y el percentil 50 de 9.51 kW-h/m³ para el DWi.

La Tabla 3.5 muestra cómo se ubican estos percentiles dentro de la base de datos (en forma distribución acumulada) de los índices de caída de peso. El percentil 80 de las muestras de variabilidad de Yaraguá se ubica dentro del 98% más duro de la base de datos y de Veta Sur, dentro del 95% de la base de datos, lo cual ubica al mineral dentro del rango de duro a muy duro.

Tabla 3.3: Conminución para molino SAG (SMC) – Resultados

Muestra	DWi kW-h/m ³	A	b	Axb	Categoría	SG	ta	Mia kW-h/t	Mih kW-h/t
BCOS-1	11.1	77.7	0.31	24.1	Muy Duro	2.87	0.22	27.4	22.4
BCOS-2	11.9	100	0.22	22.0	Muy Duro	2.75	0.21	30.1	25.0
BCOS-3	12.2	100	0.25	25.0	Muy Duro	2.77	0.23	30.7	25.6
BCOS-4	9.23	68.3	0.48	32.8	Duro	2.73	0.31	24.9	19.6
BCOS-5	11.6	100	0.22	22.0	Muy Duro	2.72	0.21	30.0	24.8
BCOS-6	6.72	69.7	0.65	45.3	Medio	2.77	0.42	19.0	14.1
BCOS-7	7.69	79.8	0.40	31.9	Duro	2.61	0.32	22.5	17.1
BCOS-8	10.3	95.4	0.26	24.8	Muy Duro	2.70	0.24	27.4	22.1
BCOS-9	14.4	100	0.18	18.0	Muy Duro	2.77	0.17	34.9	30.1
BCOS-10	7.33	68.3	0.51	34.8	Duro	2.73	0.33	20.7	15.6
BCOS-11	9.78	84.7	0.36	30.5	Duro	2.76	0.29	25.8	20.6
BCOS-12	10.6	100	0.24	24.0	Muy Duro	2.70	0.23	28.1	22.8
BCOS-13	2.80	61.5	1.76	108	Suave	2.78	1.01	9.40	5.80
BCOS-14	8.36	80.5	0.37	29.8	Muy Duro	2.61	0.29	24.0	18.6
BCOS-15	2.36	60.1	1.80	108	Suave	2.70	1.04	8.40	5.10
BCOS-16	5.31	61.9	0.83	51.4	Medio	2.86	0.47	15.3	10.8
BCOS-17	3.73	65.9	1.05	69.2	Suave	2.69	0.67	12.2	8.00
BCOS-18	10.0	98.7	0.27	26.6	Muy Duro	2.69	0.25	27.0	21.6
BCOS-19	8.56	65.8	0.49	32.2	Duro	2.79	0.30	22.9	17.8
BCOS-20	11.4	100	0.23	23.0	Muy Duro	2.72	0.22	29.6	24.3
BCOC-001	11.2	100	0.23	23.0	Muy Duro	2.79	0.22	28.4	23.3
BCOC-002	8.22	80.9	0.41	33.2	Duro	2.49	0.35	24.9	19.2
BCOC-003	8.39	80.3	0.38	30.5	Duro	2.69	0.30	23.4	18.1
BCOC-004	9.91	77.2	0.35	27.0	Muy Duro	2.72	0.26	26.5	21.2

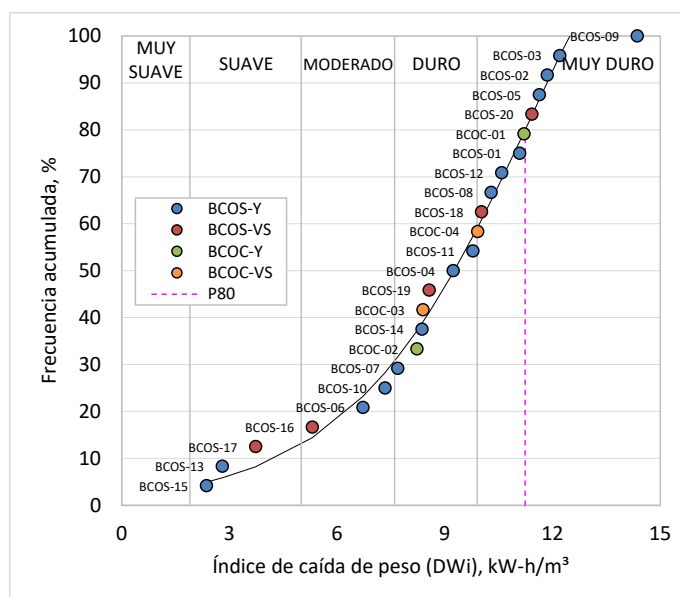


Figura 3.5: Índice de caída de peso (DWi) – Percentil

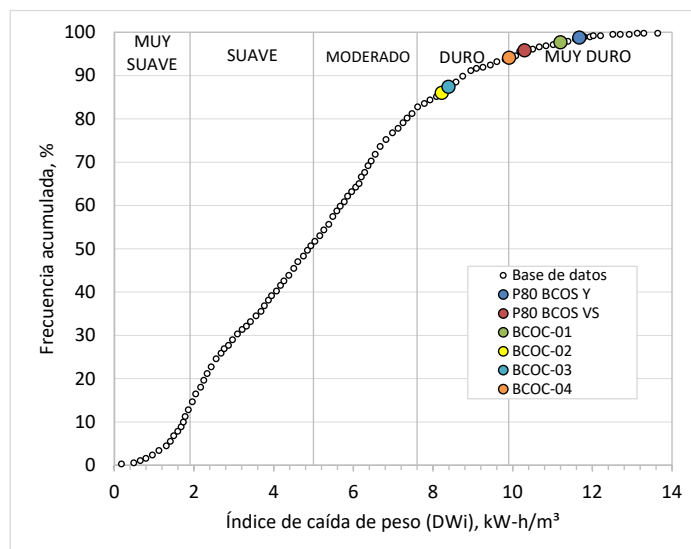


Figura 3.6: Índice de caída de peso (DWi) – Comparación con base de datos

La representación en 3D de los resultados del índice de caída de peso (SMC) se encuentra en el Apéndice 6.1.3.

3.2.2.3 Axb (SMC)

La Figura 3.7 muestra el análisis percentil del Axb para todas las muestras; el análisis estadístico reportó el percentil 80 de 39.0 y percentil 50 de 30.1 para el Axb.

La Figura 3.8 muestra cómo se ubican estos percentiles dentro de la base de datos (en forma distribución acumulada) de los índices de caída de peso. El percentil 80 de las muestras de variabilidad de Yaraguá se ubica dentro del 70% más duro de la base de datos y de Veta Sur dentro del 38% más duro de la base de datos, lo cual ubica al mineral de dentro del rango de moderadamente suave a moderadamente duro.

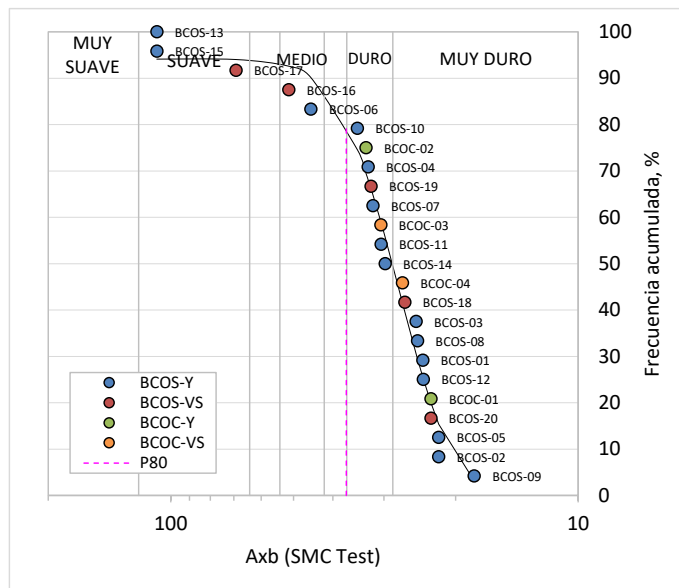


Figura 3.7. Axb (SMC) – Percentil

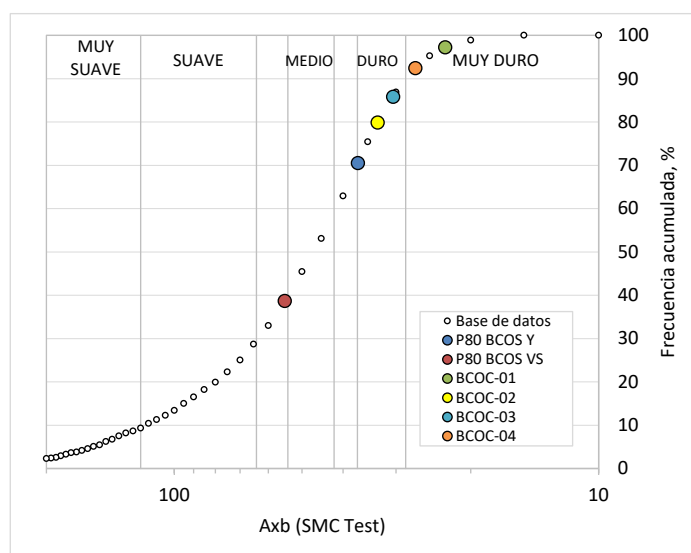


Figura 3.8: Axb (SMC) – Comparación con base de datos

3.2.2.4 t_a (SMC)

La muestra el análisis percentil del t_a para todas las muestras; el análisis estadístico reportó el percentil 80 de 0.38 y el percentil 50 de 0.29 para el t_a .

La Figura 3.9 muestra cómo se ubican estos percentiles dentro de la base de datos (en forma distribución acumulada) de los índices de caída de peso. El percentil 80 de las muestras de variabilidad de Yaraguá se ubica dentro del 45% más abrasivo de la base de datos y de Veta Sur dentro del 68% más abrasivo.

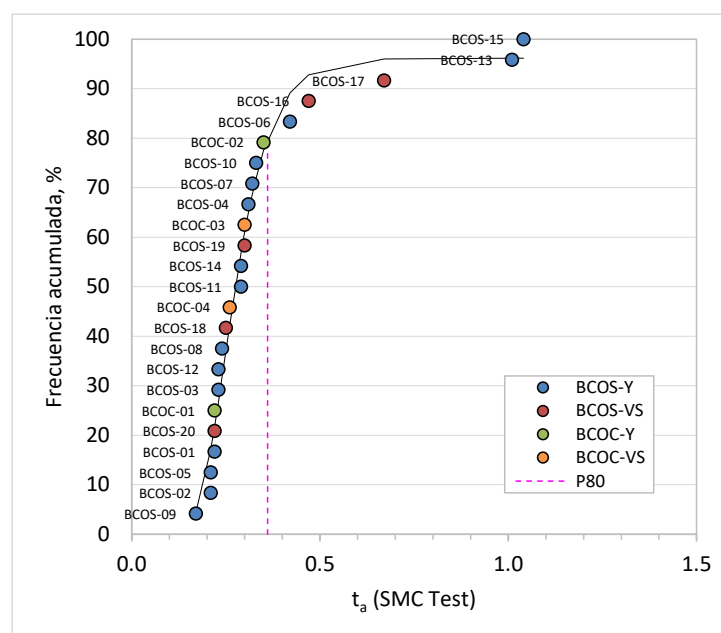


Figura 3.9: t_a (SMC) – Percentil

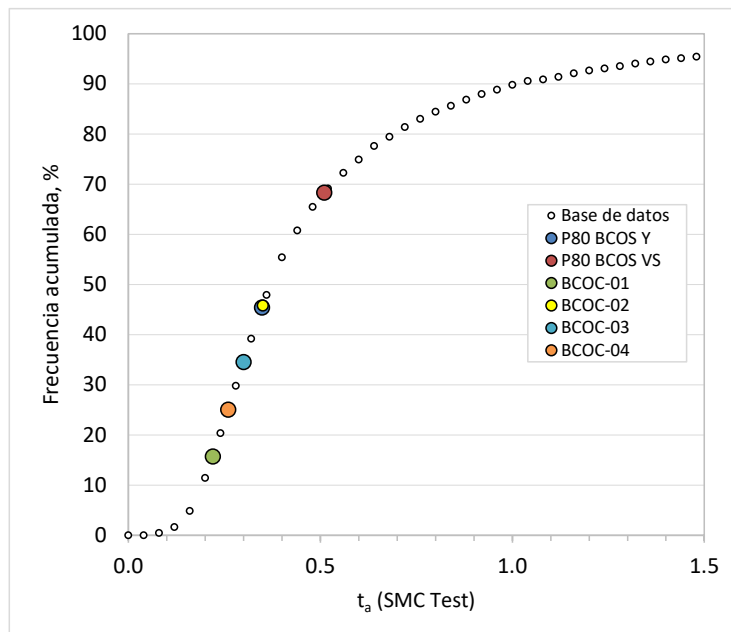


Figura 3.10: t_a (SMC) – Comparación con base de datos

3.2.3 Cálculo de la Energía Específica para el Circuito SAB

Se estimó la energía específica para el circuito de conminución SAB, según la Figura 3.11, que incluye un molino SAG y un molino de bolas. Se utilizó la metodología desarrollada por Steve Morrell. Cabe señalar que, para el cálculo de las energías específicas, se asumió el tamaño de transferencia (T80) para el circuito del molino de bolas con el valor de $2,000 \mu\text{m}$ y P80 del circuito de conminución de $105 \mu\text{m}$.

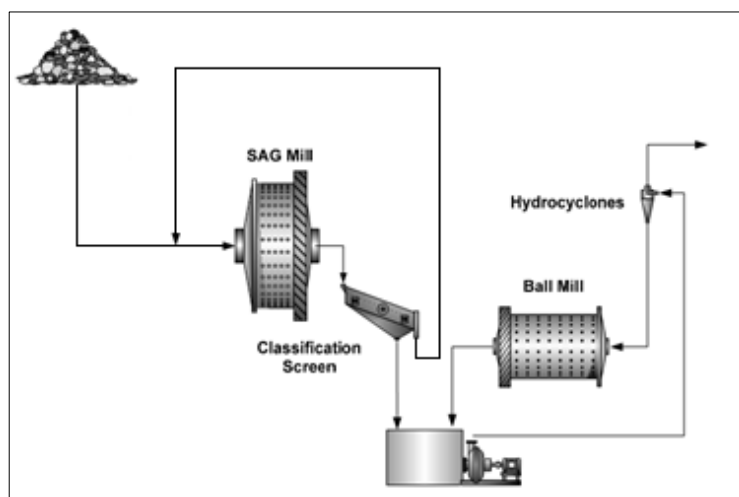


Figura 3.11: Circuito de conminución SAB

La Tabla 3.4 muestra los resultados de la energía específica calculada sobre las 24 muestras de conminución. Los valores calculados de la energía específica para moler partículas gruesas (W_a) estuvieron en el rango de 3.8 a 13.9 kW-h/t con una desviación estándar relativa de 25%, los valores de energía específica para moler partículas finas (W_b) estuvieron en el rango de 7.9 a 18 kW-h/t con una desviación estándar relativa de 19% mientras que los valores de energía específica total (W_T) estuvieron en el rango de 11.7 a 31.2 kW-h/t con una desviación estándar relativa de 20%.

Tabla 3.4: Energía específica de conminución – Resultados

Muestra	W_a	W_b	W_T
BCOS-1	10.9	14.4	25.4
BCOS-2	12.0	16.0	28.0
BCOS-3	12.3	13.7	25.9
BCOS-4	9.94	16.2	26.1
BCOS-5	12.0	15.8	27.7
BCOS-6	7.58	13.4	21.0
BCOS-7	8.98	14.7	23.7
BCOS-8	10.9	14.6	25.6
BCOS-9	13.9	17.4	31.3
BCOS-10	8.26	12.8	21.1
BCOS-11	10.3	14.9	25.2
BCOS-12	11.2	14.5	25.7
BCOS-13	3.75	8.01	11.8
BCOS-14	9.58	14.3	23.9
BCOS-16	6.11	9.08	15.2
BCOS-17	4.87	8.48	13.4
BCOS-18	10.8	17.7	28.5
BCOS-19	9.14	17.9	27.0
BCOS-20	11.8	17.2	29.0
BCOC-001	11.3	17.0	28.3
BCOC-002	9.94	16.4	26.3
BCOC-003	9.34	15.7	25.0
BCOC-004	10.6	18.0	28.6

La Figura 3.12 muestra la distribución percentil de los resultados de la energía específica total (W_T) calculada de todas las muestras; el análisis estadístico reportó el percentil 80 de 28.1 kW-h/t para la energía específica total.

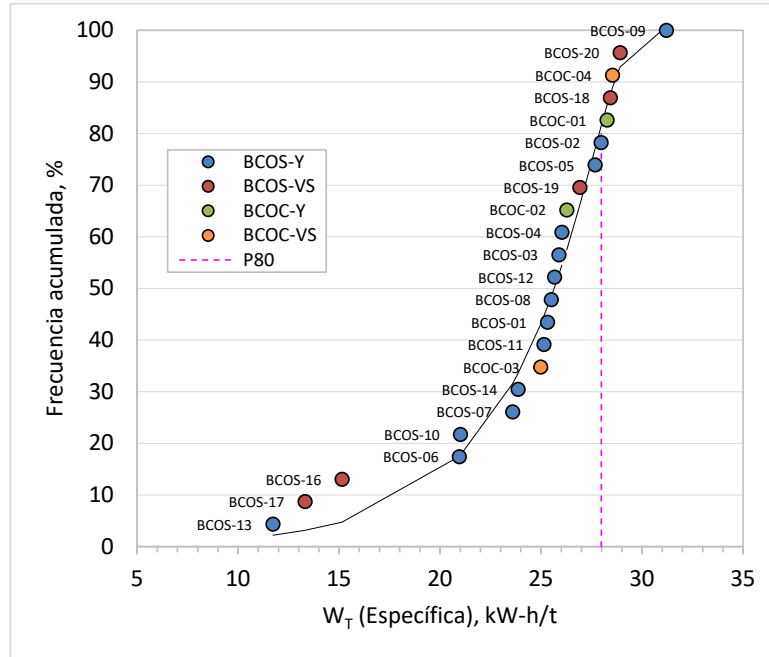


Figura 3.12: Energía específica de conminución – Distribución percentil

3.2.4 Distribución de la Energía según el Plan de Minado

La Figura 3.13 muestra la potencia requerida y disponible según el plan de minado, estos cálculos son determinados con:

- La potencia instalada para el circuito de conminución que comprende un molino SAG y un molino dos molinos de bolas, con una capacidad de producción de 76,000 t/d.
- La energía específica de cada mineral (A-F) y el flujo de mineral por periodo.

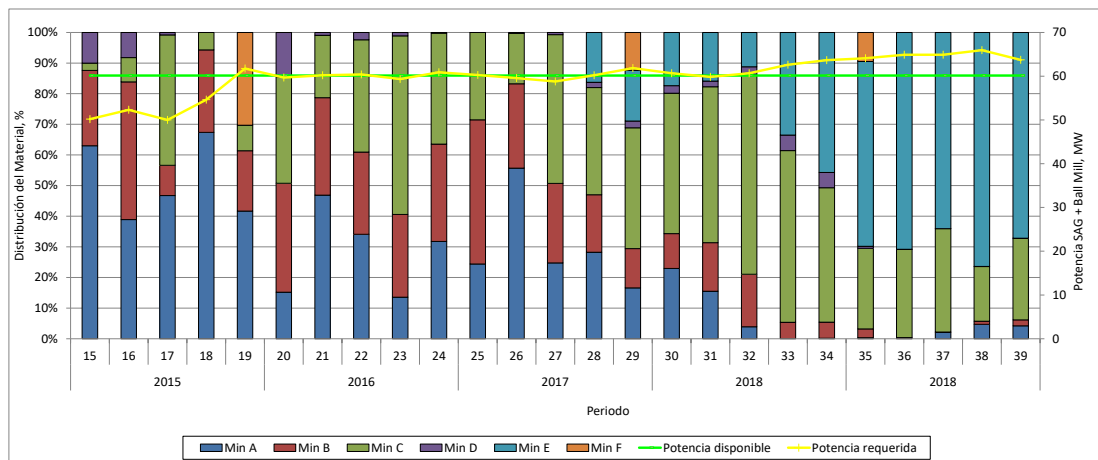


Figura 3.13: Distribución de energía según plan de minado

3.3 Pruebas de flotación

3.3.1 Pruebas de variabilidad

Las pruebas de variabilidad de flotación rougher se llevaron a cabo sobre un grupo de las 30 muestras, las condiciones utilizadas son mostradas en la Tabla 3.5. Las leyes de cabeza de las muestras estaban en el rango de 0,12 a 1,08% de Cu. Las pruebas de variabilidad de flotación fueron del tipo cinéticas a los tiempos de 0, 1, 2, 4, 8 y 18 minutos.

Tabla 3.5: Pruebas de variabilidad – Condiciones de flotación

Stage	Reagents, g/t					Grinding P80, μm	Solids %	Time, min		pH
	CaO Req.	A 3894 10	A 317 5	QHS (20) 400	AF-65 Req.			Cond.	Flot.	
Grinding	Req.	10	5			160				
Conditioning	Req.	10	5	400	Req.		33	3		10
Rougher									10	

Los resultados de la prueba de variabilidad mostrando el grado y la recuperación acumulada hasta los 10 minutos de flotación, se detallan en la Tabla 3.6. Las recuperaciones rougher estuvieron en el intervalo de 30.3 a 94.0% de Cu y 43.3 a 91.3% de Au; los grados rougher estuvieron en el intervalo de 0.7 a 13.7% de Cu y 0.2 a 8.7 g/t de Au.

Las curvas cinéticas de cada muestra incluida en las pruebas de variabilidad rougher se muestran en el Anexo 01.

Tabla 3.6: Resultados de las pruebas de variabilidad

Muestras ID	Análisis de cabeza				Grado Ro Acumulado (18 min)				Ro Cumulative Recovery (18 min)				Mass Pull
	Cu, %	Au, g/t	Ag, g/t	S, %	Cu, %	Au, g/t	Ag, g/t	S, %	Cu, %	Au, %	Ag, %	S, %	% (18 min)
MS-01	0.29	0.11	0.60	0.65	1.37	0.56	2.54	2.10	90.0	89.8	68.3	74.8	20.3
MS-02	1.21	0.54	6.32	1.77	5.47	2.27	28.3	6.87	90.0	85.1	86.3	80.0	20.8
MS-03	0.41	0.14	5.16	1.26	1.78	0.55	23.0	3.64	89.9	82.9	75.3	68.0	21.5
MS-04	1.29	0.75	6.03	1.82	4.45	1.63	19.9	4.96	90.3	69.0	77.1	73.7	26.3
MS-05	0.29	0.15	1.63	0.82	1.03	0.43	5.67	1.77	86.9	84.2	79.1	60.0	25.8
MS-06	0.21	0.10	2.26	0.25	0.55	0.23	6.18	0.57	87.6	74.3	76.6	83.4	34.7
MS-07	0.59	0.25	3.45	0.91	1.92	0.81	11.2	1.98	85.2	82.1	79.1	62.2	26.4
MS-08	0.37	0.10	1.33	0.41	1.38	0.43	5.30	1.23	86.6	88.2	84.4	84.8	24.0
MS-09	0.44	0.15	3.49	0.73	2.25	0.84	15.4	3.01	89.8	91.8	84.7	86.1	18.5
MS-10	0.36	0.34	10.4	0.76	1.20	0.90	28.7	1.62	84.2	72.7	74.4	60.2	27.2
MS-11	1.26	0.79	10.5	1.85	4.90	2.12	41.2	5.56	85.5	72.8	79.9	70.0	21.7
MS-12	0.97	0.65	26.7	5.01	2.62	1.59	71.5	8.13	88.7	77.6	83.0	55.0	33.7
MS-13	0.67	0.22	4.67	0.99	2.05	0.59	14.7	2.75	88.7	84.1	81.1	81.5	27.8
MS-14	0.33	0.22	4.30	1.59	1.51	0.80	18.6	4.59	89.2	86.9	72.3	60.7	20.3
MS-15	0.32	0.22	11.5	0.66	0.97	0.68	13.4	1.38	83.8	74.8	75.5	63.1	28.9
MS-16	0.25	0.18	4.73	1.73	0.73	0.47	9.24	2.77	90.2	73.6	54.1	53.7	33.1
MS-17	0.36	0.15	2.44	0.51	1.02	0.40	6.25	1.14	84.5	80.5	81.5	74.0	31.0
MS-18	0.58	0.21	2.33	1.48	2.86	0.78	10.4	4.98	90.6	83.1	68.1	63.5	18.9
MS-19	0.65	0.15	5.20	2.34	1.78	0.47	15.5	5.00	93.2	89.3	84.6	67.3	33.5
MS-20	1.12	0.52	4.67	1.09	3.82	1.24	16.1	3.73	75.3	63.6	68.9	74.3	21.4
MS-21	0.45	0.51	8.71	0.91	1.45	1.60	29.8	2.43	89.7	75.8	86.5	77.6	28.6
MS-22	0.46	0.52	18.7	1.26	1.77	2.59	90.7	3.65	82.0	85.9	79.0	58.1	20.5
MS-23	0.63	0.082	13.9	2.09	2.17	0.31	47.9	6.02	95.7	89.1	95.1	82.9	28.7
MS-24	0.45	0.28	5.77	0.72	2.46	1.41	32.2	3.08	84.9	75.5	80.4	78.1	16.5
MS-25	0.49	0.18	12.1	3.81	2.19	0.52	52.3	9.60	92.1	69.9	87.8	60.8	22.0
MS-26	0.47	0.16	2.52	0.95	2.45	0.61	10.5	3.61	88.3	84.1	71.6	71.6	17.8
MS-27	0.47	0.16	10.6	1.50	1.68	0.52	35.7	3.44	84.9	67.5	78.9	58.9	25.0
MS-28	0.36	0.15	5.44	0.68	1.26	0.48	21.6	1.97	88.7	81.5	88.3	80.4	26.2
MS-29	0.76	0.35	6.21	1.25	4.04	1.61	31.4	5.57	91.8	90.5	89.6	81.4	18.1
MS-30	0.42	0.19	5.97	3.24	2.75	0.61	34.4	5.77	92.9	54.7	81.5	27.6	15.1

La Figura 3.14 muestra la relación entre la distribución del cobre secuencial en la cabeza con la recuperación rougher a 10 minutos. Las recuperaciones más bajas se obtuvieron para las muestras con mayor distribución de CuSS/CuT.

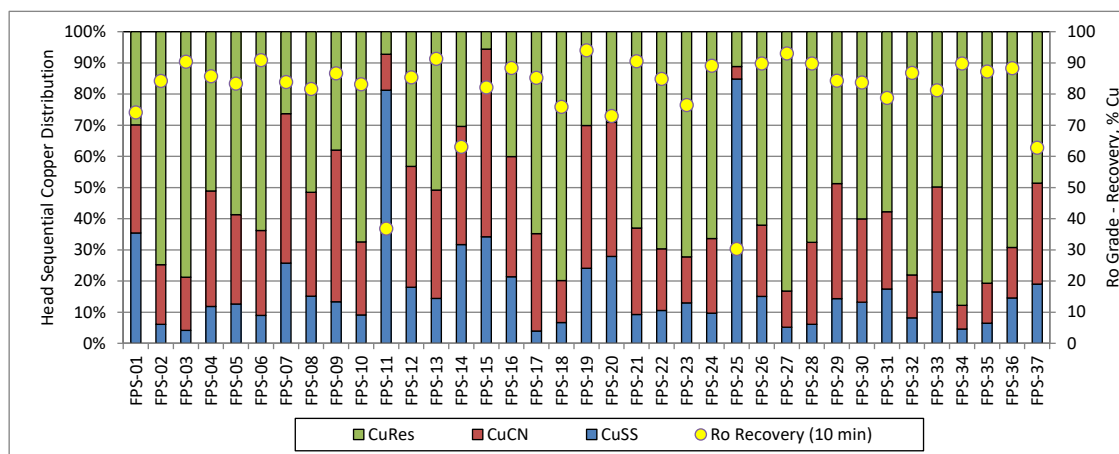


Figura 3.14: Distribución de cobre vs. Recuperación de cobre

En la Figura 3.15, la imagen de la izquierda muestra la relación entre la cabeza calculada de cobre con la recuperación y concentrado rougher de cobre, y la imagen

de la derecha muestra la relación entre la cabeza calculada de oro con la recuperación y concentrado rougher de oro; ambas imágenes para 10 minutos de flotación. Se observa una ligera correlación entre la cabeza calculada de oro con el grado en el concentrado rougher.

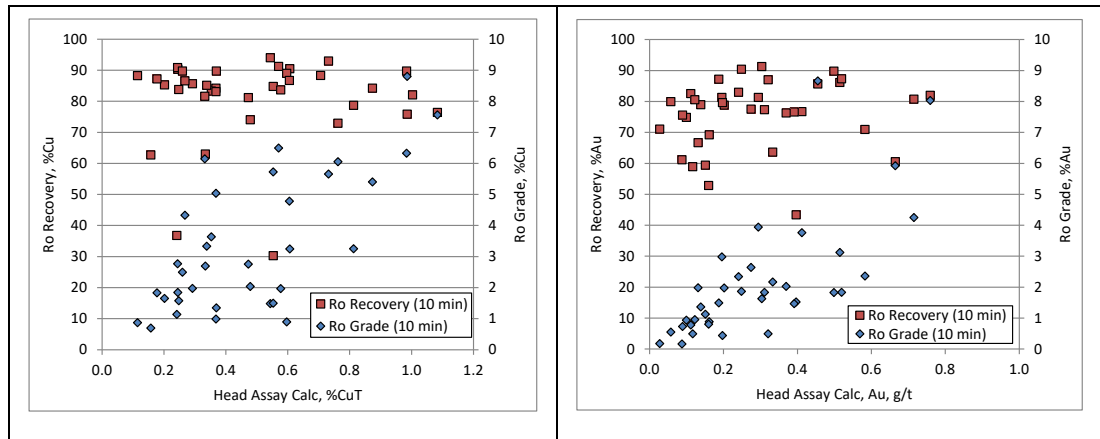


Figura 3.15: Cabeza calculada versus recuperación y grado

En la Figura 3.16, la imagen de la izquierda muestra la relación entre la cabeza calculada de cobre con la recuperación y concentrado rougher de oro, y la imagen de la derecha muestra la relación entre la cabeza calculada de oro con la recuperación y concentrado rougher de cobre, ambas imágenes son para 10 minutos de flotación. Se observa que la recuperación de cobre disminuye cuando se aumenta la cabeza de oro.

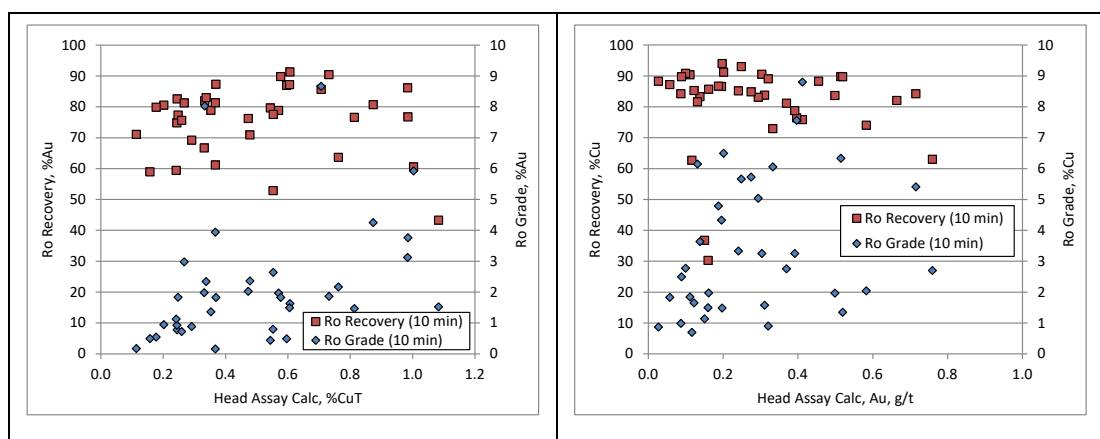


Figura 3.16: Cabeza calculada versus recuperación y grado

En la Figura 3.17, la imagen de la izquierda muestra la relación entre el análisis de cabeza de cobre soluble con la recuperación y concentrado rougher de cobre, y la imagen de la derecha muestra la relación entre el análisis de cabeza de cobre cianurable más cobre residual (cobre flotable) con la recuperación y concentrado rougher de cobre; ambas imágenes son para 10 minutos de flotación.

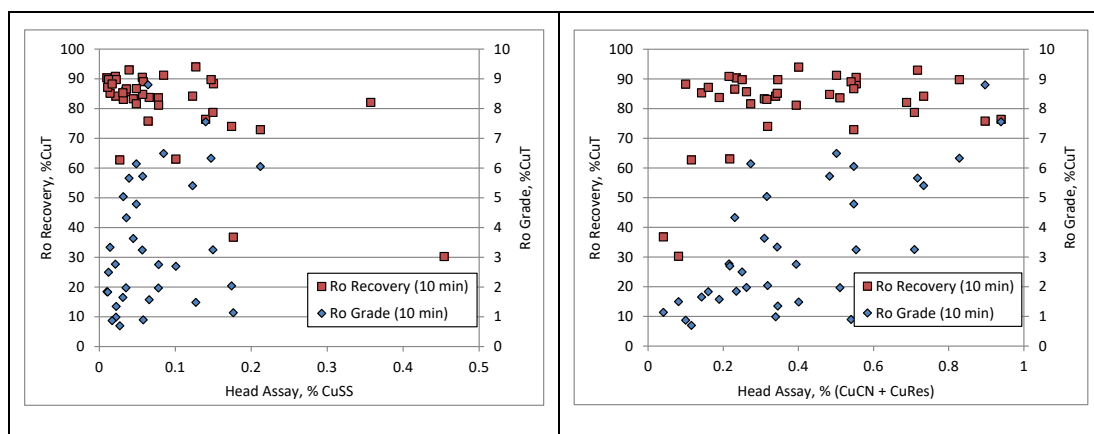


Figura 3.17: Cabeza analizada versus recuperación y grado

En la Figura 3.18, la imagen de la izquierda muestra la relación entre la recuperación de cobre y recuperación de oro, y la imagen de la derecha muestra la relación entre la recuperación de cobre y recuperación de molibdeno, ambas imágenes para 10 minutos de flotación.

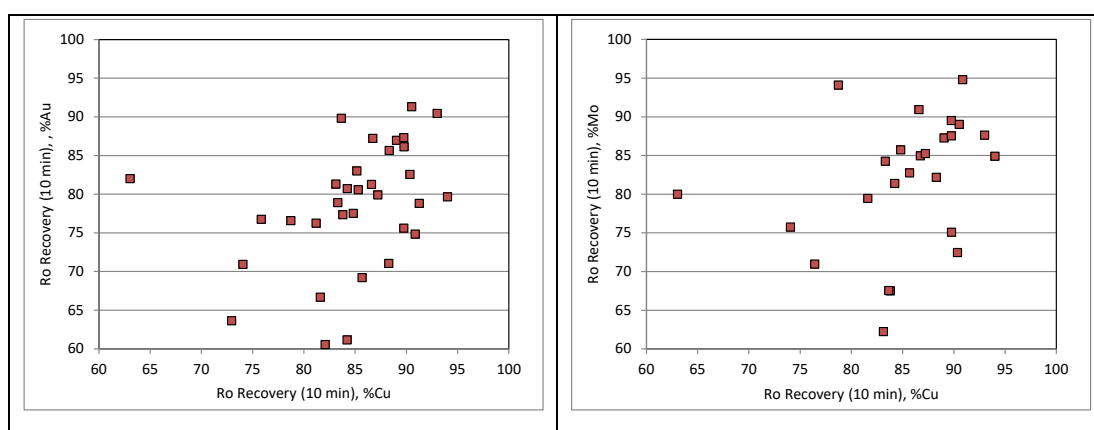


Figura 3.18: Recuperación de cobre versus recuperación de oro y molibdeno

Los resultados de recuperaciones y grados en 3D de cada muestra incluida en las pruebas de variabilidad rougher se muestra en el Anexo 6.3.1.

Como medida de control de calidad de pruebas en la Figura 3.19 se muestra la comparación de las leyes de cabeza de Cu, Au, Fe y Mo calculadas y analizadas.

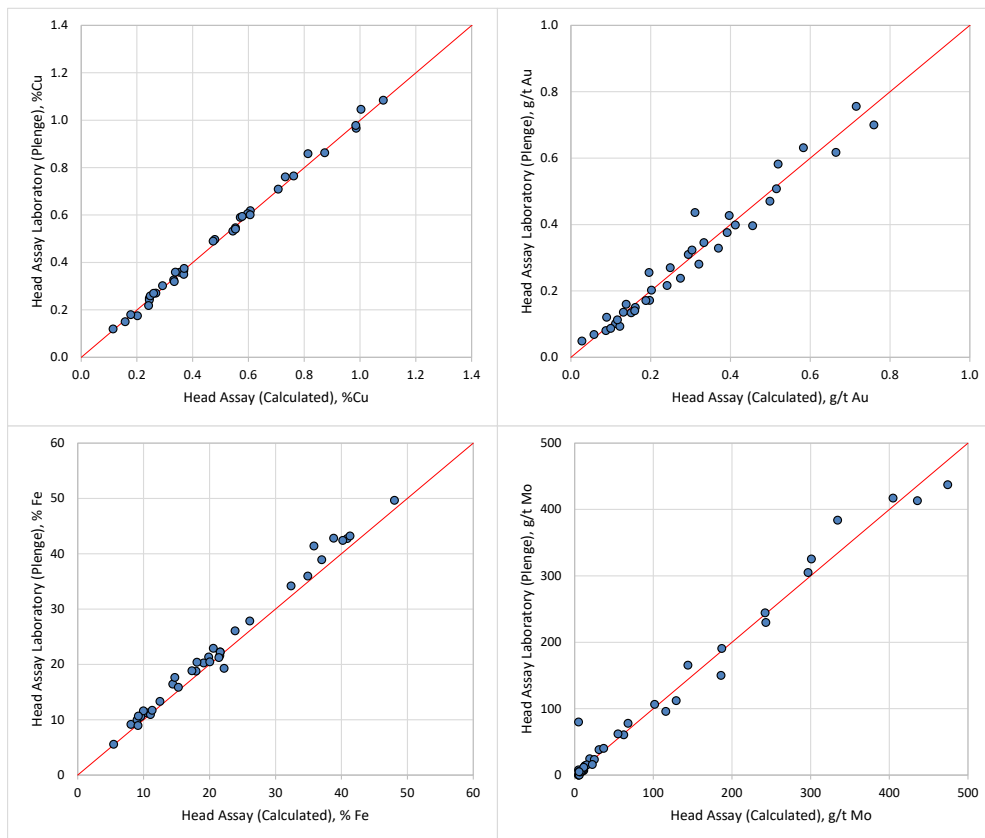


Figura 3.19: Pruebas de variabilidad – Comparación de leyes de cabeza

CAPÍTULO IV

MODELAMIENTO DE FLOTACIÓN ROUGHER

4.1 Introducción

El objetivo del análisis de regresión múltiple es tratar de encontrar un modelo lineal relacionando una variable dependiente (Y) con variables independientes (X), el modelo lineal puede ser expresado de la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_1 + \beta_3 * x_1 + \dots + \beta_n * x_n$$

El siguiente estudio consiste en tratar de encontrar un modelo lineal que represente la recuperación de cobre a los 18 minutos de flotación, que será la variable dependiente o variable controlada, en base a la ubicación y leyes de cabeza de cada una de las muestras en estudio, que son las variables independientes o variables a controlar.

4.2 Metodología

Procedimiento:

1. Tener la base de datos en Excel 2010 tal como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 4.1: Base de datos de las pruebas de variabilidad

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	ID	Variables													Y	
2	Samples	Coordinates			Head Assay SGS											Ro Recovery (18 min)
3		x*	y*	z*	Cu, %	Au, g/t	Ag, g/t	Fe, %	CuSS	CuCN	CuRes	S	Tota S	Sulf S=	Cu, %	
4	PRS-01	204658.2	8397493.7	4239.1	0.29	0.11	0.60	20.0	0.018	0.028	0.25	0.65	0.49	0.16	89.96	
5	PRS-02	204554.2	8397572.4	4135.9	1.21	0.54	6.32	39.0	0.038	0.044	1.09	1.77	1.17	0.60	89.96	
6	PRS-03	204580.7	8397567.8	4035.3	0.41	0.14	5.16	31.5	0.014	0.039	0.36	1.26	0.79	0.47	89.88	
7	PRS-04	204785.4	8397388.6	4034.9	1.29	0.75	6.03	32.0	0.032	0.053	1.15	1.82	1.21	0.61	90.33	
8	PRS-07	204683.1	8397148.3	4088.4	0.29	0.15	1.63	28.2	0.018	0.031	0.25	0.82	0.49	0.33	86.94	
9	PRS-11	204763.7	8397149.2	4113.6	0.21	0.10	2.26	3.97	0.022	0.053	0.13	0.25	0.20	0.050	87.62	
10	PRS-12	204770.7	8397150.4	4073.1	0.59	0.25	3.45	25.0	0.057	0.11	0.39	0.91	0.66	0.25	85.15	
11	PRS-15	204782.3	8397263.0	4171.4	0.37	0.10	1.33	14.3	0.036	0.077	0.26	0.41	0.28	0.13	86.65	
12	PRS-16	204793.0	8397281.5	4050.2	0.44	0.15	3.49	30.2	0.024	0.038	0.40	0.73	0.49	0.24	89.81	
13	PRS-18	204756.0	8397507.9	4280.7	0.36	0.34	10.4	24.0	0.039	0.075	0.24	0.76	0.59	0.17	84.20	
14	PRS-19	204614.7	8397133.9	4109.0	1.26	0.79	10.5	44.7	0.13	0.25	0.89	1.85	1.26	0.59	85.51	
15	PRS-20	204946.9	8397117.2	4157.3	0.97	0.65	26.7	21.5	0.036	0.14	0.76	5.01	3.60	1.41	88.68	
16	PRS-21	204863.9	8397280.8	4082.2	0.67	0.22	4.67	24.1	0.019	0.054	0.58	0.99	0.74	0.25	88.74	
17	PRS-22	204526.3	8397672.3	4256.1	0.33	0.22	4.30	41.6	0.028	0.047	0.25	1.59	1.01	0.58	89.16	
18	PRS-23	204508.4	8397641.3	4122.6	0.32	0.22	11.5	13.6	0.012	0.030	0.27	0.66	0.45	0.21	83.85	
19	PRS-24	204636.4	8397500.0	4298.7	0.25	0.18	4.73	12.0	0.0080	0.034	0.21	1.73	0.78	0.95	90.21	
20	PRS-27	204644.0	8397507.0	4275.0	0.36	0.15	2.44	17.1	0.024	0.061	0.28	0.51	0.35	0.16	84.49	
21	PRS-30	204760.4	8397051.0	4093.3	0.58	0.21	2.33	40.0	0.021	0.023	0.51	1.48	0.99	0.49	90.65	
22	PRS-31	204881.8	8397096.0	4117.3	0.65	0.15	5.20	17.5	0.018	0.033	0.57	2.34	1.68	0.66	93.23	
23	PRS-32	204652.2	8397055.0	4135.7	1.12	0.52	4.67	36.8	0.080	0.11	0.88	1.09	0.87	0.22	75.31	
24	PRS-34	204717.9	8396996.0	4125.9	0.45	0.51	8.71	14.1	0.015	0.048	0.38	0.91	0.59	0.32	89.66	
25	PRS-35	204827.2	8397150.0	4052.5	0.46	0.52	18.7	8.39	0.015	0.050	0.40	1.26	0.79	0.47	82.03	
26	PRS-36	204639.4	8397551.0	4126.5	0.63	0.082	13.9	14.1	0.013	0.048	0.56	2.09	1.20	0.89	95.71	
27	PRS-37	204624.9	8397551.0	4044.4	0.45	0.28	5.77	27.2	0.039	0.098	0.30	0.72	0.46	0.26	84.92	
28	PRS-39	204613.2	8397498.0	4110.8	0.49	0.18	12.1	17.3	0.014	0.058	0.41	3.81	2.07	1.74	92.10	
29	PRS-40	204726.8	8397400.0	4154.9	0.47	0.16	2.52	29.8	0.015	0.041	0.40	0.95	0.69	0.26	88.33	
30	PRS-42	204795.7	8397293.0	4056.6	0.47	0.16	10.6	22.5	0.019	0.038	0.42	1.50	1.05	0.45	84.86	
31	PRS-43	204607.3	8397700.0	4027.9	0.36	0.15	5.44	14.4	0.011	0.044	0.31	0.68	0.52	0.16	88.74	
32	PRS-46	204784.7	8397403.0	4198.3	0.76	0.35	6.21	37.0	0.025	0.034	0.69	1.25	0.86	0.39	91.77	
33	PRS-49	204704.3	8397584.6	4190.0	0.42	0.19	5.97	29.2	0.011	0.049	0.36	3.24	1.71	1.53	92.94	

- Debido a errores muestrales cometidos en el laboratorio se elimina la fila que contenga el valor máximo y el valor mínimo de los valores de Y (Recuperación de cobre).
- En Excel 2010 cargar el complemento de Herramienta para análisis, Ir a Archivo, Opciones, Complementos.
- En la Cinta de Opciones ir a la ficha Datos, Análisis de Datos, en la ventana emergente ir a Regresión y Aceptar.
- Así nuestro modelo lineal tendrá la siguiente estructura:

$$\begin{aligned}
 \text{Recovery Cu} = & \beta_0 + \beta_1 * x_{coord} + \beta_2 * y_{coord} + \beta_3 * z_{coord} + \beta_4 * Cu_{Head} + \beta_5 \\
 & * Au_{Head} + \beta_6 * Ag_{Head} + \beta_7 * Fe_{Head} + \beta_8 * CuSS_{Head} + \beta_9 \\
 & * CuCN_{Head} + \beta_{10} * CuRes_{Head} + \beta_{11} * S_{tot_{Head}} + \beta_{12} \\
 & * S_{Sulf_{Head}} + \beta_{12} * S =
 \end{aligned}$$

6. Para realizar el resumen del modelo lineal, se debe colocar el Rango Y de entrada y el Rango X de entrada tal como se muestra en la siguiente figura y hacer clic en Aceptar.

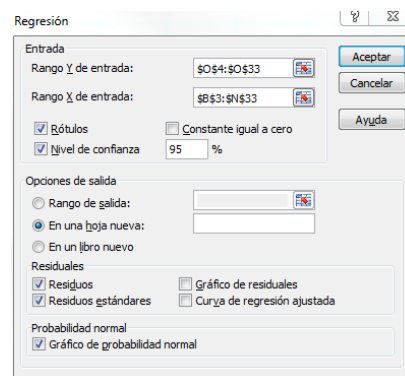


Figura 4.1: Cuadro de regresión en Excel

7. El resumen del modelo lineal será mostrado en una nueva hoja, de la siguiente manera:

Tabla 4.2: Análisis estadístico en Excel A

Estadísticas de la regresión		Grados de libertad		Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coefficiente de correlación múltiple	0.89						
Coefficiente de determinación R ²	0.79						
R ² ajustado	0.55						
Error típico	1.83						
Observaciones	28.0						
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Regresión	13.0	185	14.2	4.59	0.0039		
Residuos	15.0	50.4	3.36				
Total	28.0	235					
Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	263	0.0093	0.99	-60,015	60,542	-60,015	60,542
x*	6.27914E-05	0.0059	0.99	-0.013	0.013	-0.013	0.013
y*	-2.174E-05	0.0033	0.99	-0.0070	0.0069	-0.0070	0.0069
z*	-0.0013	0.0060	0.83	-0.014	0.012	-0.014	0.012
Cu, %	-32.1	32.6	0.34	-102	37.5	-102	37.5
Au, g/t	6.13	6.21	0.34	-7.10	19.4	-7.10	19.4
Ag, g/t	-0.59	0.18	0.0050	-0.97	-0.21	-0.97	-0.21
Fe, %	-0.018	0.060	0.77	-0.15	0.11	-0.15	0.11
CuSS	8.84	90.5	0.92	-184	202	-184	202
CuCN	10.2	47.8	0.83	-91.8	112	-91.8	112
CuRes	32.8	33.3	0.34	-38.1	104	-38.1	104
S_Total	1.18	1.97	0.56	-3.03	5.39	-3.03	5.39
S_Sulfato	3.20	3.89	0.42	-5.08	11.5	-5.08	11.5
S=	0	0	#NUM!	0	0	0	0

8. Estudio del análisis estadístico:
 - a. El primer objetivo del análisis de regresión lineal es la de identificar si las variables (x) son estadísticamente influyentes sobre el modelo lineal. Para esto se analiza la columna Probabilidad “valor de p ”; los números en esta columna indican que tan significativa son cada una de las variables en nuestro modelo. Tomando un nivel de confianza de 95% se tiene un nivel de significancia (α) de 5% (0.05), así, se considera que las variables X no son significativas si el valor de la columna Probabilidad “valor de p ” es mayor que 0.05 o tienen el valores numéricos no válidos (#NUM!), por tanto, esta variable será eliminada para el siguiente estudio. En primera instancia es eliminada la variable S por contener valores numéricos no válidos (#NUM!).
 - b. Nuevamente se analiza la columna Probabilidad, eliminando una de las variables X que no es significativa. Se empieza eliminando las variables con mayor “valor de p ”; en el ejemplo se empezaría removiendo la variable z -coord.
 - c. Realizar este proceso hasta que los valores de p son menores a 0.05, por tanto, estas variables son significativas en el modelo.
 - d. El coeficiente de correlación múltiple es un índice estadístico que permite medir la relación lineal entre las variables dependientes e independientes. Cuanto más cercanos al 0 sean los valores, indican una mayor debilidad de la relación o incluso ausencia de correlación entre las variables, sin embargo no es un factor determinante para definir el modelo de la ecuación de la regresión.
9. Se realiza nuevamente el análisis de regresión lineal, el cual tendrá el siguiente resumen:

Tabla 4.3: Análisis estadístico en Excel B

Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple	0.86								
Coefficiente de determinación R ²	0.75								
R ² ajustado	0.70								
Error típico	1.61								
Observaciones	28.0								
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	4.00	176	44.0	17.0	1.29548E-06				
Residuos	23.0	59.5	2.59						
Total	27.0	235							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	87.8	0.67	131	1.53419E-34	86.4	89.1	86.4	89.1	
Cu. %	-18.2	5.37	-3.39	0.0025	-29.3	-7.10	-29.3	-7.10	
Ag. g/t	-0.45	0.077	-5.86	5.74536E-06	-0.61	-0.29	-0.61	-0.29	
CuRes	21.1	6.23	3.38	0.0026	8.17	33.9	8.17	33.9	
S. Sulfato	4.32	0.68	6.36	1.71885E-06	2.92	5.73	2.92	5.73	

10. Como se observa en la columna Probabilidad, los valores de p son menores a 0.05, por tanto, estas variables son significativas en el modelo.

11. La Tabla 4.4 muestra los resultados de la regresión lineal con los datos experimentales y modelados.

Tabla 4.4: Regresión lineal – Resultados

Muestra	Análisis de Cabeza				Rec. Acum. Ro (18 min)	
ID	x1	x2	x3	x4	Exp	Modelado
	Cu, %	Ag, g/t	Cu_Res,%	S_total,%	Cu, %	Cu, %
MF-01	0.29	0.60	0.25	0.65	90.0	89.0
MF-02	1.21	6.32	1.09	1.77	90.0	91.1
MF-03	0.41	5.16	0.36	1.26	89.9	88.8
MF-04	1.29	6.03	1.15	1.82	90.3	91.2
MF-05	0.29	1.63	0.25	0.82	86.9	89.1
MF-06	0.21	2.26	0.13	0.25	87.6	86.4
MF-07	0.59	3.45	0.39	0.91	85.2	86.5
MF-08	0.37	1.33	0.26	0.41	86.6	87.0
MF-09	0.44	3.49	0.40	0.73	89.8	88.5
MF-10	0.36	10.43	0.24	0.76	84.2	83.9
MF-11	1.26	10.50	0.89	1.85	85.5	84.8
MF-12	0.97	26.67	0.76	5.01	88.7	88.4
MF-13	0.67	4.67	0.58	0.99	88.7	88.5
MF-14	0.33	4.30	0.25	1.59	89.2	89.2
MF-15	0.32	11.47	0.27	0.66	83.8	84.5
MF-16	0.25	4.73	0.21	1.73	90.2	89.9
MF-17	0.36	2.44	0.28	0.51	84.5	87.4
MF-18	0.58	2.33	0.51	1.48	90.6	90.8
MF-19	0.65	5.20	0.57	2.34	93.2	91.8
MF-20	0.45	8.71	0.38	0.91	89.7	86.3
MF-21	0.46	18.71	0.40	1.26	82.0	83.2
MF-22	0.45	5.77	0.30	0.72	84.9	85.4
MF-23	0.49	12.06	0.41	3.81	92.1	92.3
MF-24	0.47	2.52	0.40	0.95	88.3	89.1
MF-25	0.47	10.63	0.42	1.50	84.9	87.6
MF-26	0.36	5.44	0.31	0.68	88.7	87.2
MF-27	0.76	6.21	0.69	1.25	91.8	89.3
MF-28	0.42	5.97	0.36	3.24	92.9	93.4

12. La Tabla 4.5 muestra las constantes de cada variable dependiente de la regresión lineal.

Tabla 4.5: Regresión lineal – Parámetros

β_0	β_1	β_2	β_3	β_4
Constante	Análisis de Cu	Análisis de Ag	Análisis de CuRes	Análisis de S tot
87.4	-16.5	-0.42	20.0	2.56

13. Así nuestro modelo quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Recup Cu} = 87.79 - 18.21 * Cu_{Head} - 0.45 * Ag_{Head} + 21.06 * CuRes_{Head} + 4.32 * S_{tot_{Head}}$$

14. La Figura 4.2 muestra la comparación entre los datos experimentales y los modelados, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.76.

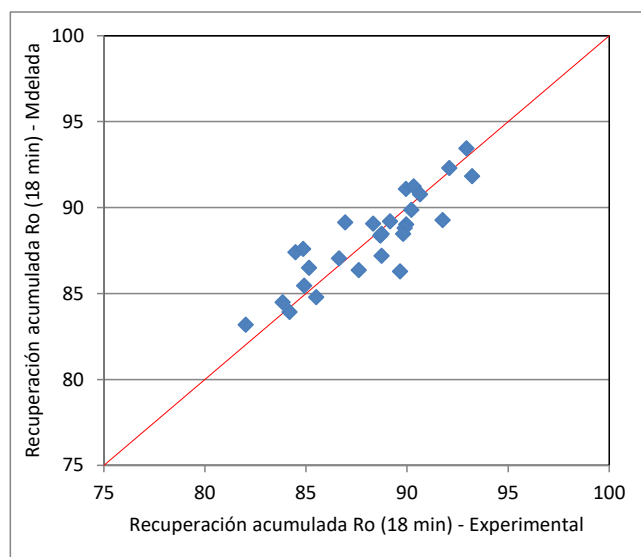


Figura 4.2: Regresión lineal entre variables experimentales y modeladas

CONCLUSIONES

- 1 La aplicación de la geometalurgia es fundamental en la selección en base a la geología de un número de muestras que serán sometidas a pruebas para determinar los parámetros metalúrgicos y la distribución de estos parámetros a lo largo de un yacimiento.
- 2 El yacimiento es uno de los activos que tiene la mina a su disposición para generar ingresos. La naturaleza rara vez proporciona yacimientos ordenados y coherentes por lo que es esencial comprender la variabilidad yacimiento y su interacción con los planos de la mina propuesta.
- 3 Una fundamental dificultad en la comprensión del yacimiento es que la mayoría de la información disponible es de naturaleza geológica y no es fácilmente interpretable, así también la información metalúrgica es típicamente escasa y esta desconectada de la geología.
- 4 La aplicación de la geometalurgia en la selección de muestras reduce significativamente el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documenta la variabilidad en un depósito.
- 5 Los datos geológicos de las perforaciones son bases de datos extensas, las características de los datos de perforación bibliotecas hacen que sea difícil para los ingenieros de procesos para trabajar: su tamaño y su complejidad.
- 6 Las pruebas de conminución de Steve Morrell (SMC) y Bond bolas (BWi) determinan la energía específica del mineral en kW-h/t, los cuales nos indicarán cuanto mineral puede ser alimento al circuito de molienda ya diseñado.
- 7 La distribución en la recuperación del mineral valioso está influenciado por la estructura geológica del yacimiento, los cuales son identificados en las muestras seleccionadas.

- 8 La metodología empleada es una técnica costo-efectiva para caracterizar la variabilidad del mineral durante las etapas de exploración, desarrollo u operación.
- 9 La metodología del modelamiento de la flotación tiene la capacidad de pronosticar y reconciliar la producción mensualmente y/o periódica de las operaciones metalúrgicas en plantas existentes.
- 10 Con la ayuda de la regresión lineal, se encuentra un modelo que permite determinar la recuperación de cobre en base a los ensayos de cabeza.
- 11 La geometalurgia complementa, pero no reemplaza al enfoque metalúrgico tradicional durante el desarrollo y operación de una mina, es principalmente utilizada para determinar el tamaño de equipos, pronostica la producción y reducir el riesgo durante el estudio del depósito.
- 12 La selección de muestras, las pruebas de variabilidad usando pruebas estandarizadas de bajo costo que requieren un pequeño volumen de muestras, la recolección de datos relacionados y correlaciones son componentes de la geometalurgia que todo proyecto minero debe considerar para realizar el estudio de un depósito.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUILAR OSCAR M., Parameter Estimation in Physical Models: A Comparison between Bayesian and Frequentist Methods. 2013.
2. BULATOVIC SRDJAN M., Handbook of Flotation Reagents. Edición 2007, Editorial Elsevier Science & Technology Books – Australia. Pág. 87-123.
3. BULLED D. & MCINNES C., Flotation Plant Design and Production Planning Through Geometallurgical Modelling. 2005. Brisbane – Australia.
4. CYTEC, Mining Chemicals handbook. Edición 2003. Pág. 63-78.
5. DALGAARD PETER, Introductory Statistics with R. Edición 2008, Editorial Springer Science + Business Media – USA. Pág. 372-460.
6. DUNHAM S. & J VANN, Geometallurgy, Geostatistics and Project Value — Does Your Block Model Tell You What You Need to Know? 2007. Melbourne.
7. FARAWAY JULIAN, Practical Regression and Anova using R. 2002. USA.
8. GUPTA A. AND YAN D.S. Introduction to Mineral Processing Design and Operation. Edición 2006. Pág. 555-603.
9. MINNOVEX TECHNOLOGIES, Modelamiento Geometalúrgico – Un Enfoque Nuevo para el Diseño de Planta y Pronóstico/Planeamiento de Producción y Optimización de Mina/Concentradora.2004. Canadá.
10. MONTGOMERY DOUGLAS & C., RUNGER GEORGE C., Applied Statistics and Probability for Engineers. Edición 2003, Editorial John Wiley & Sons – USA. Pág. 372-460.

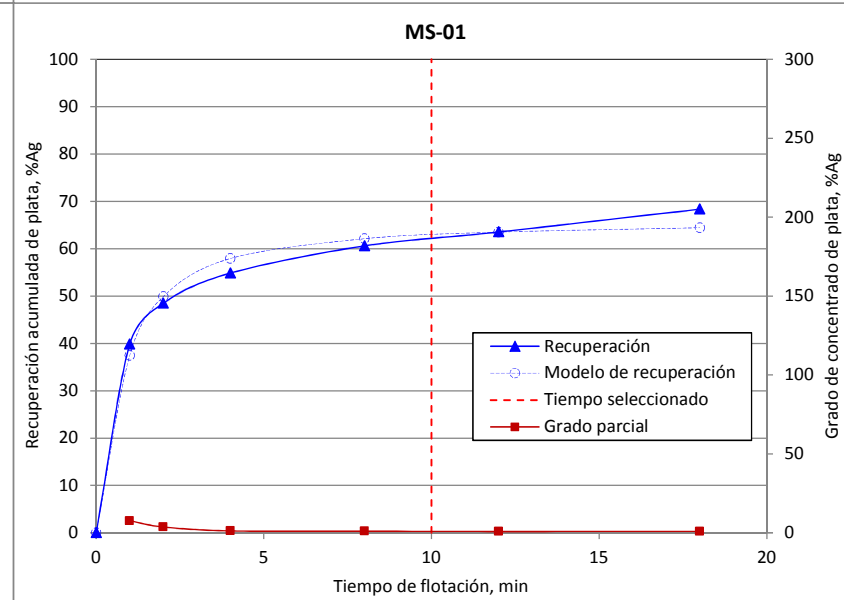
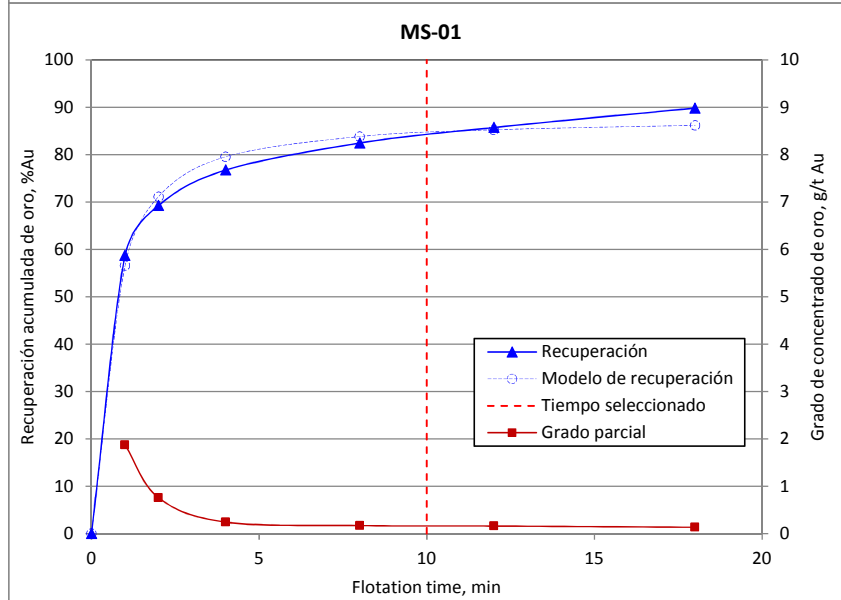
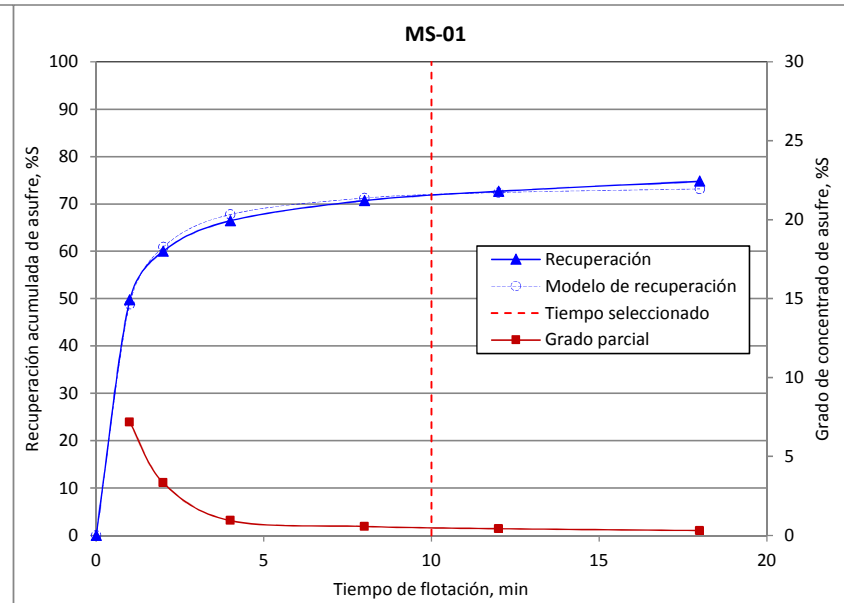
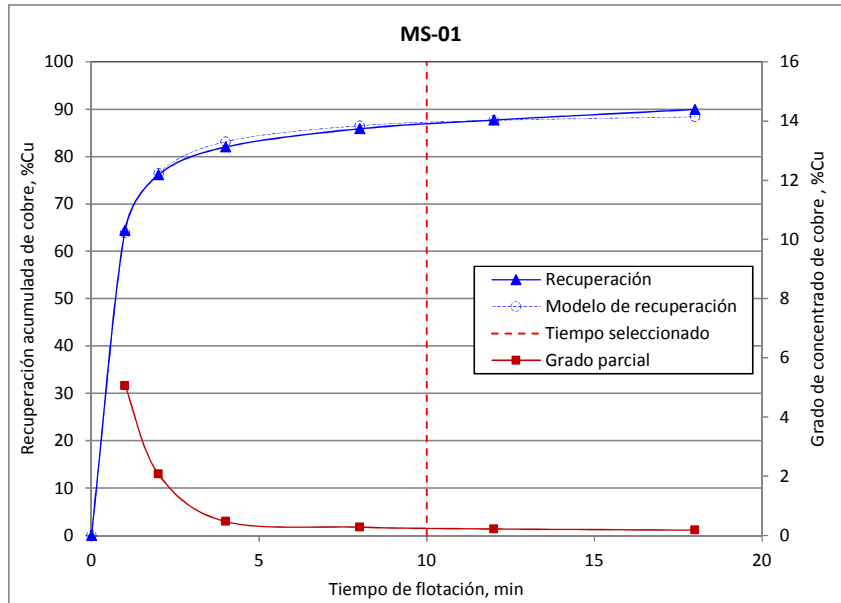
11. SIDES E. J., Geological modelling of mineral deposits for prediction in mining. 1997. Holanda.

12. WILLS BARRY A. & NAPIER-MUNN TIM, Mineral Processing Technology. Edición 2006, Editorial Elsevier Science & Technology Books – Australia. Pág. 267-352

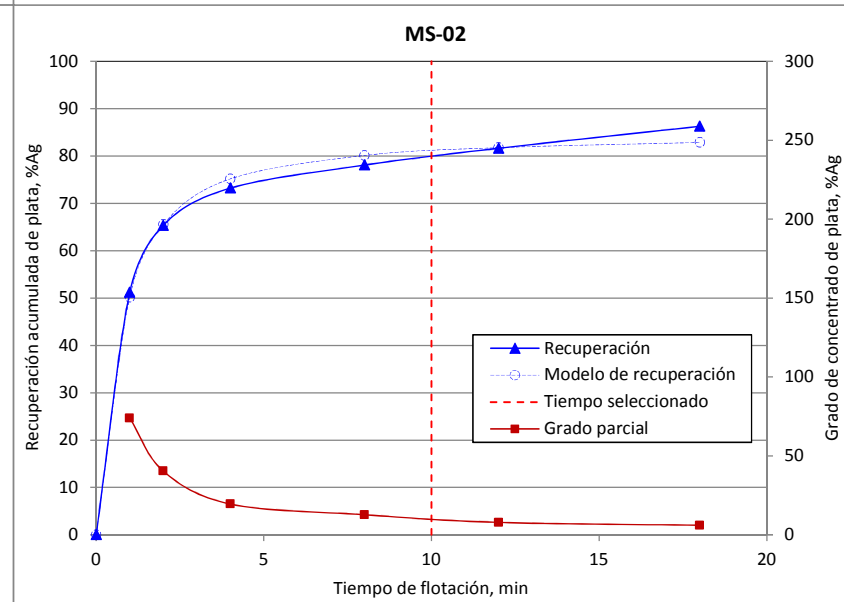
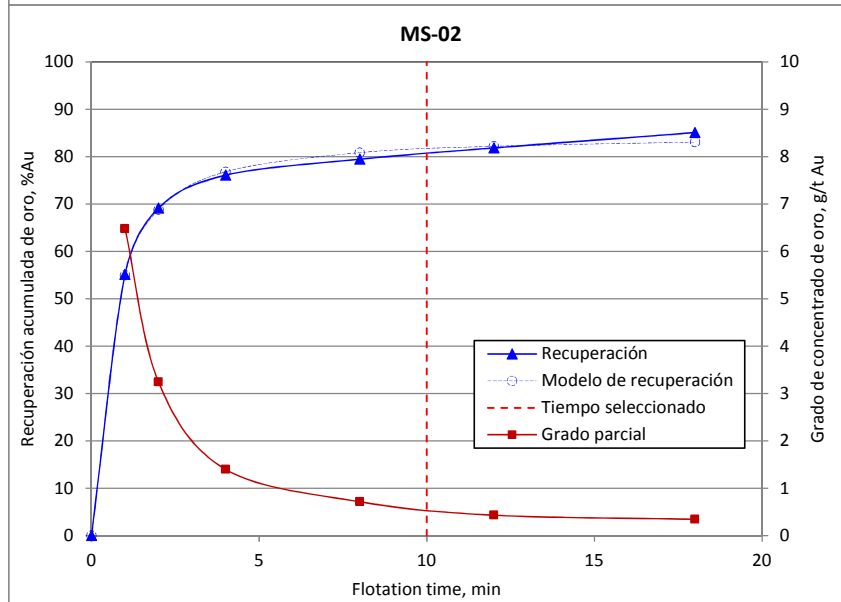
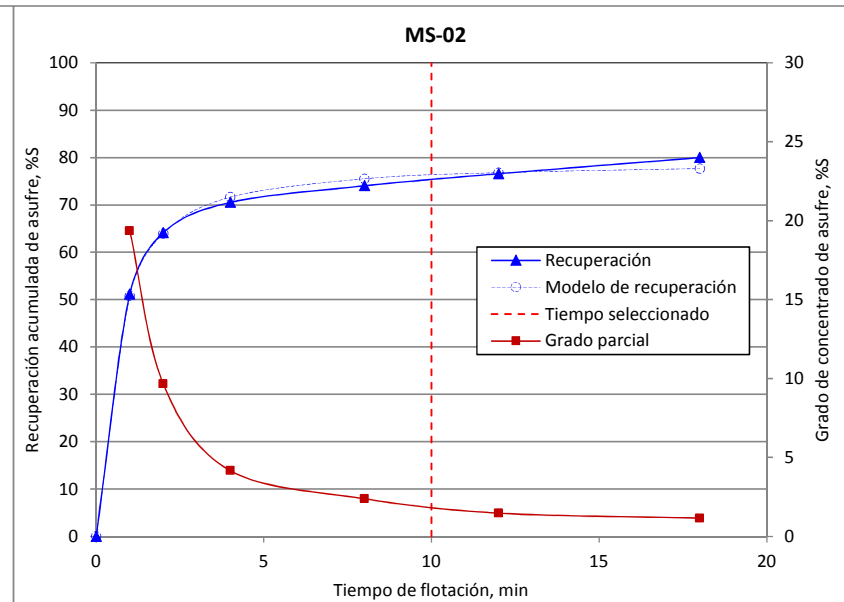
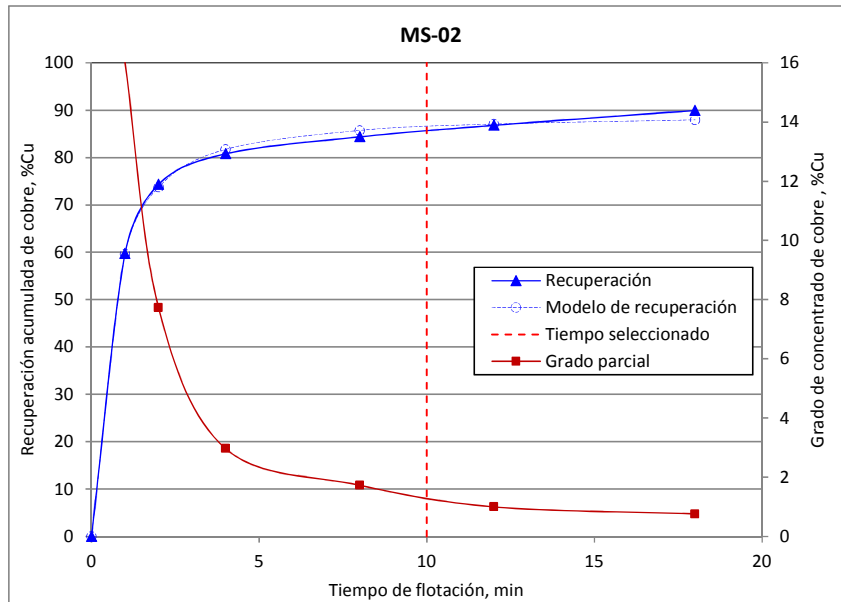
ANEXO 01

CINÉTICA DE FLOTACIÓN ROUGHER

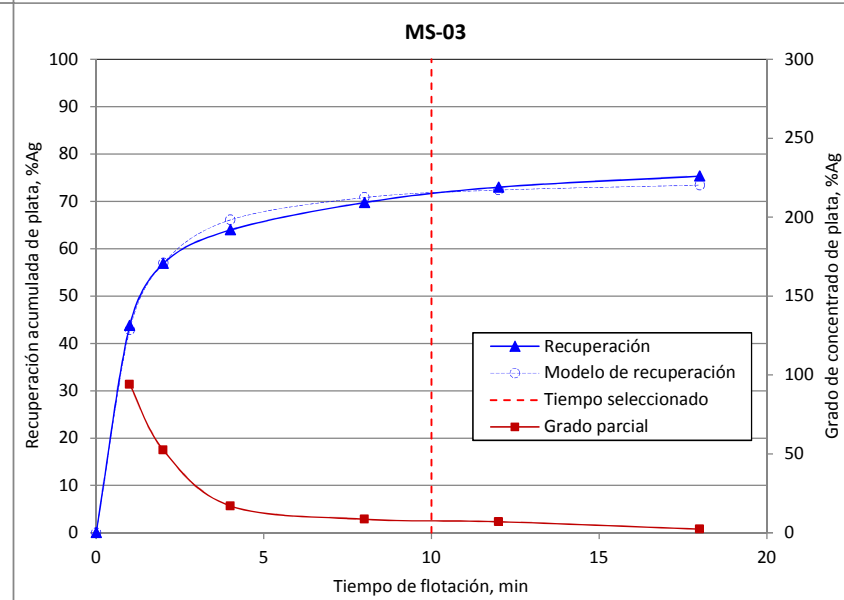
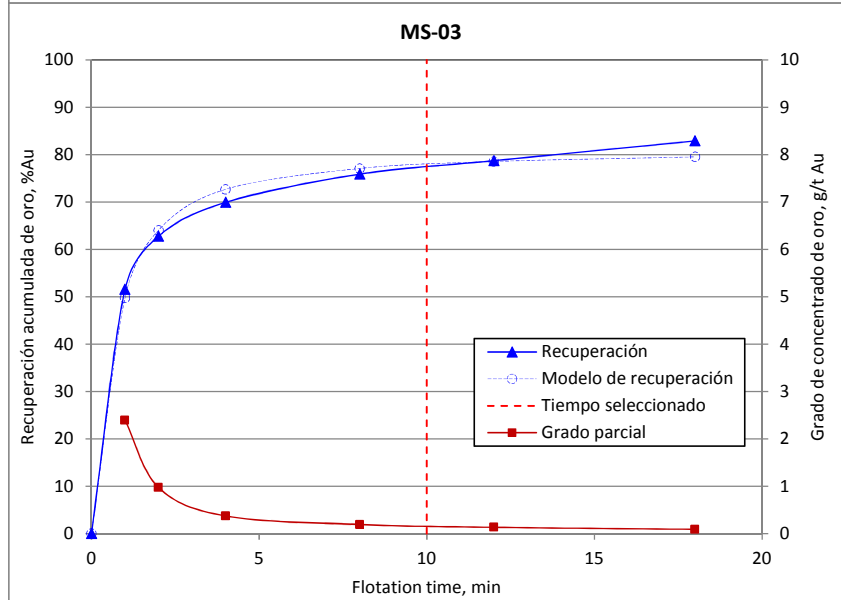
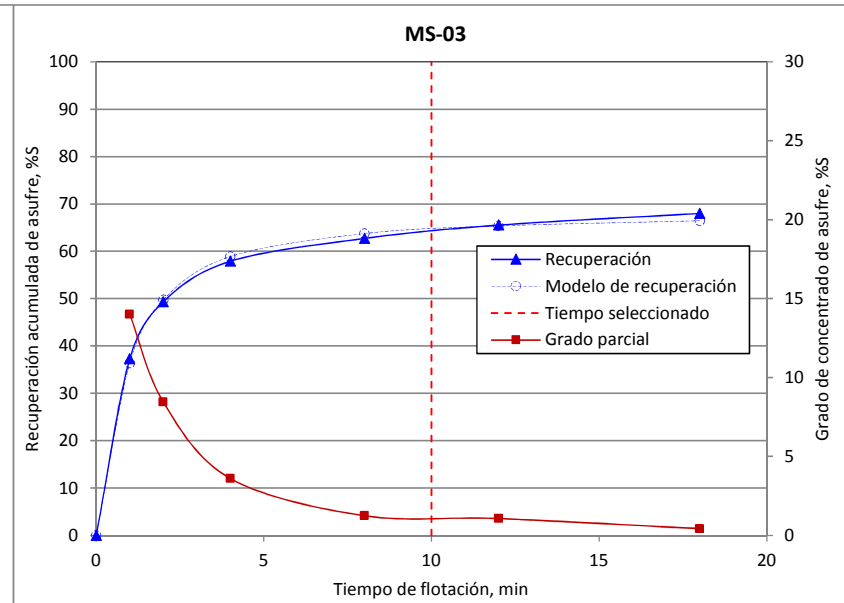
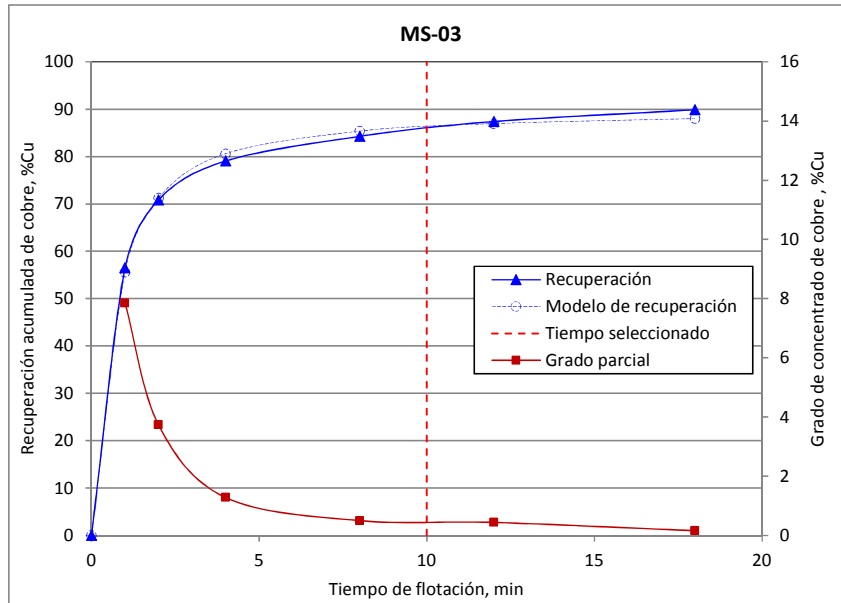
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



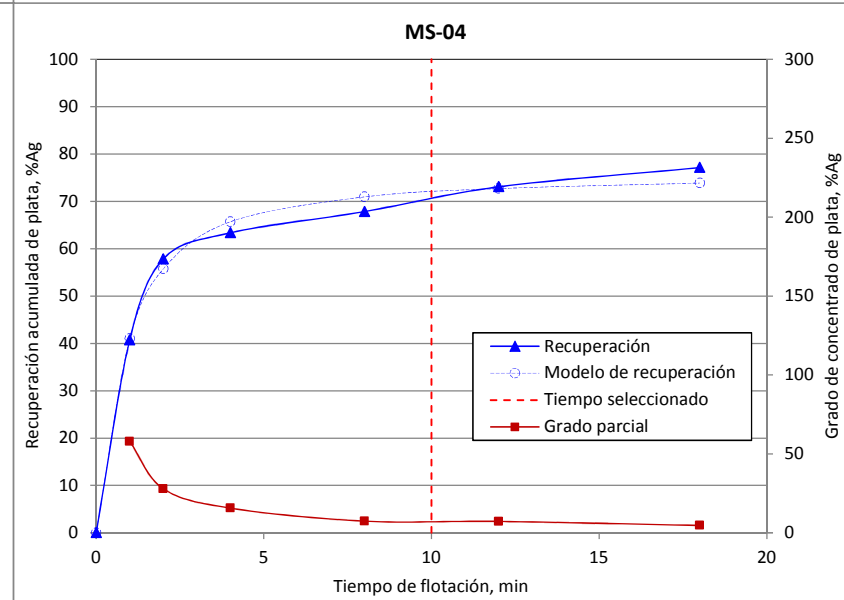
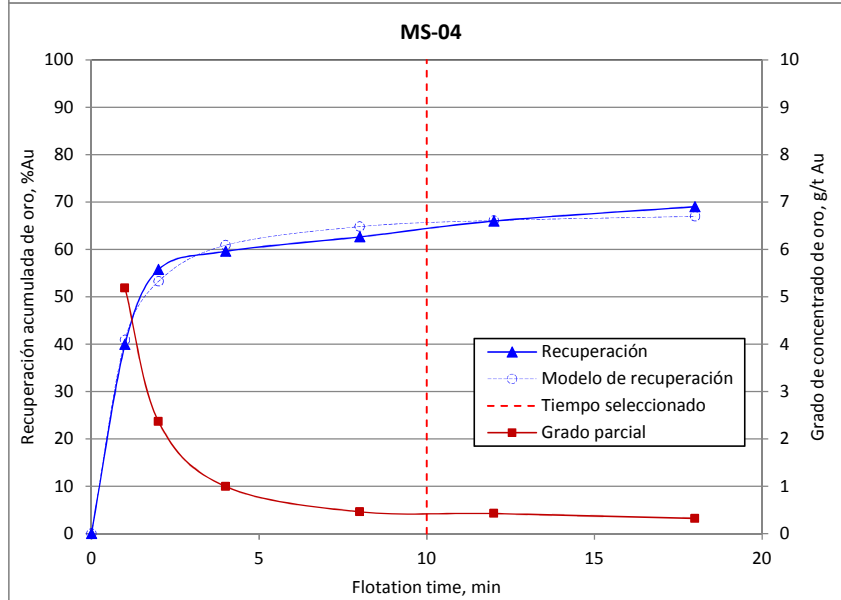
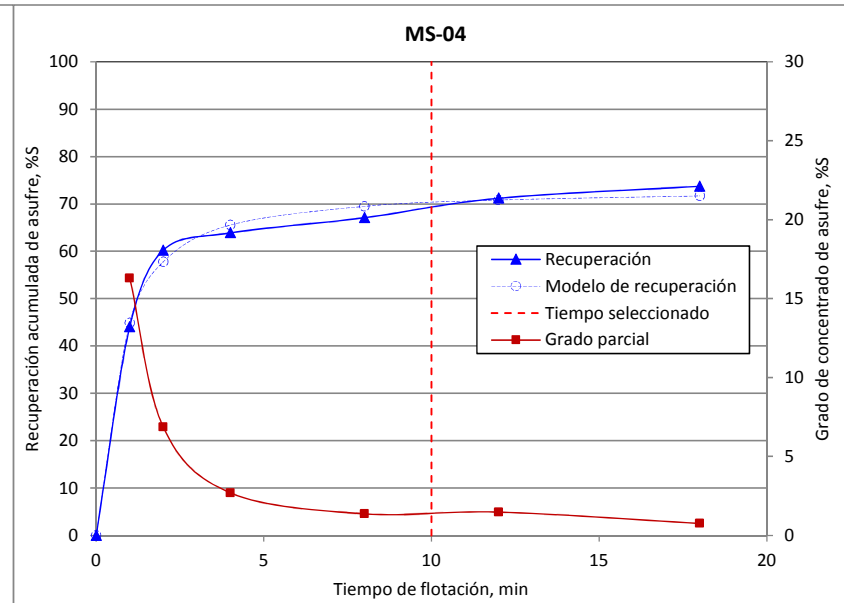
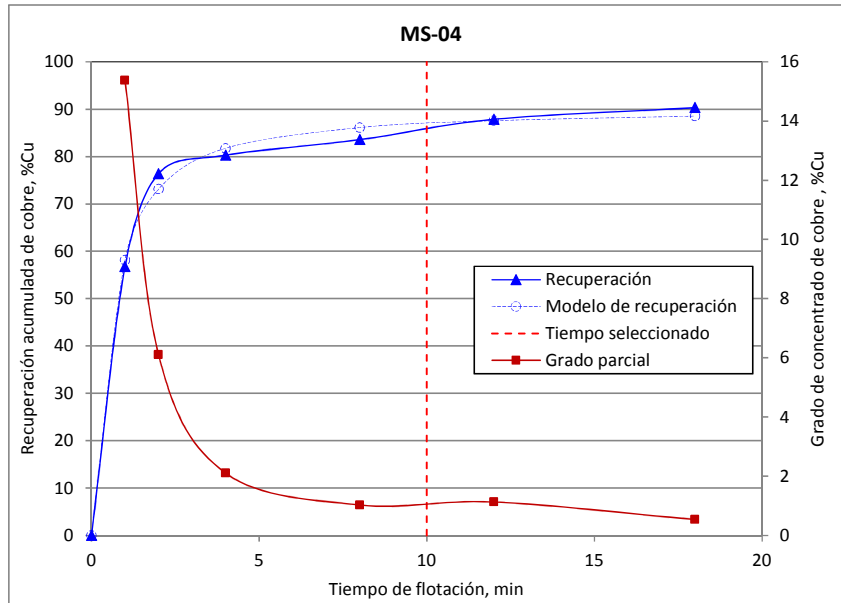
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



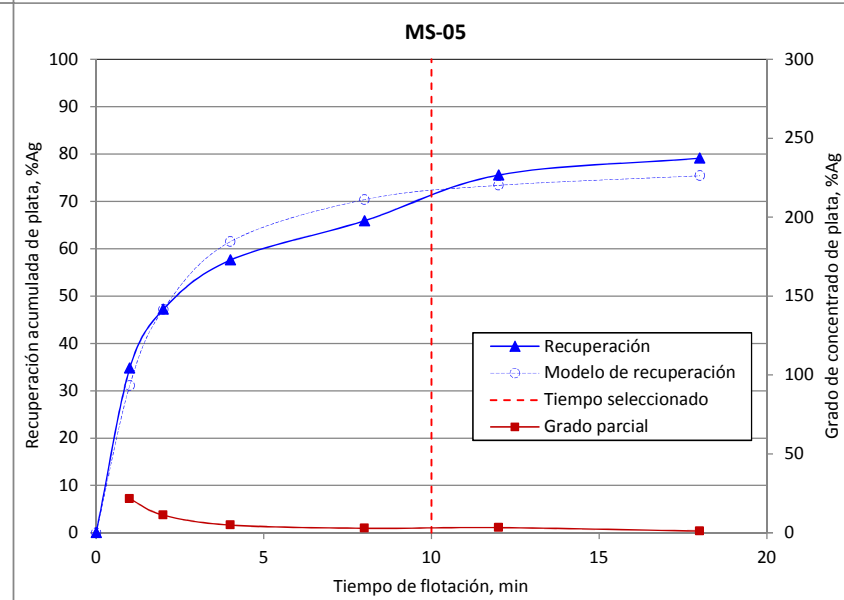
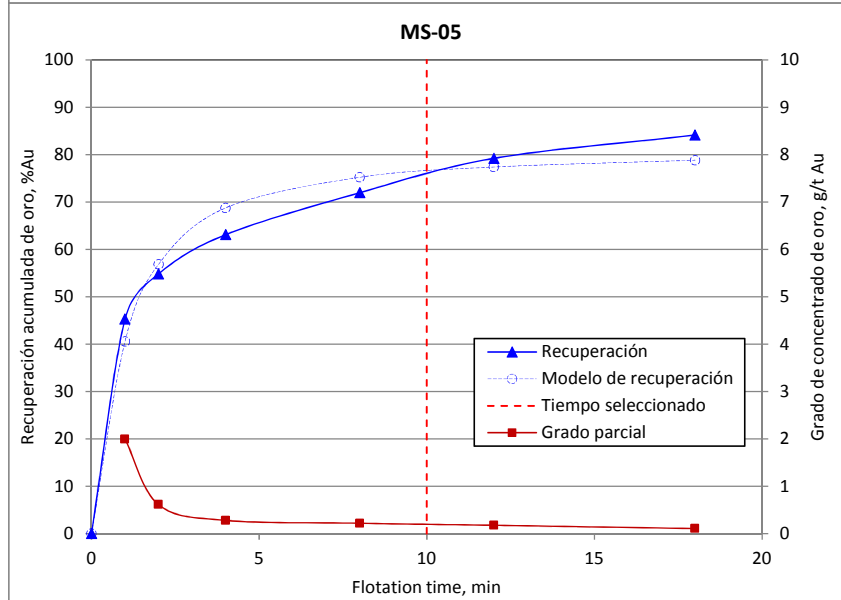
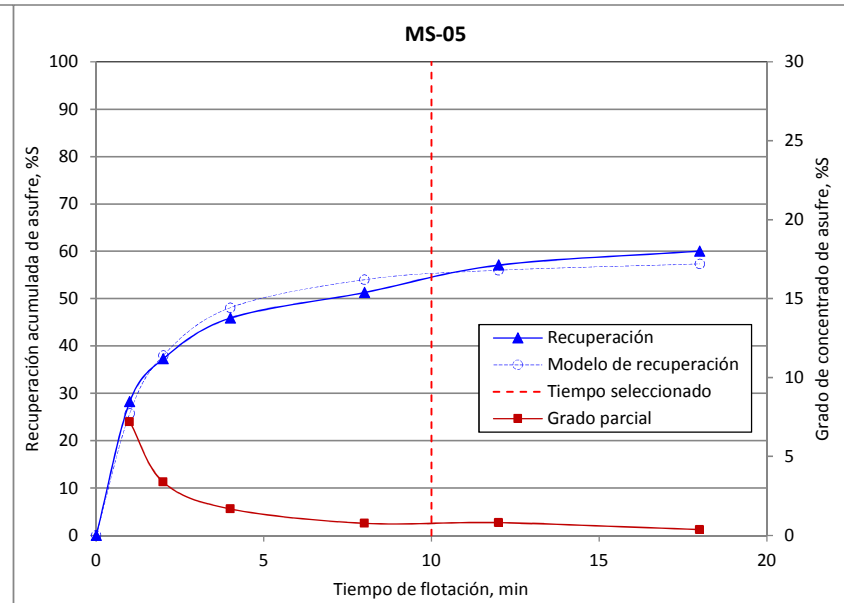
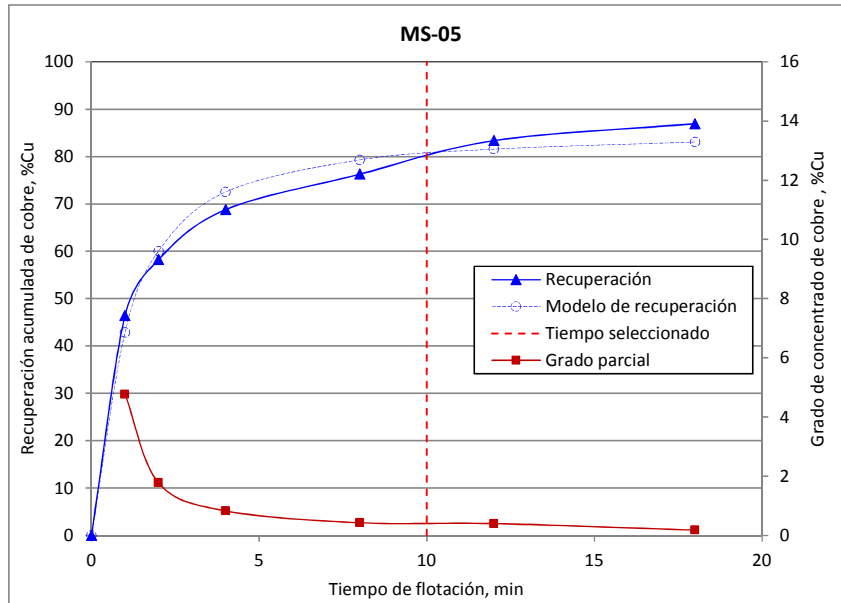
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



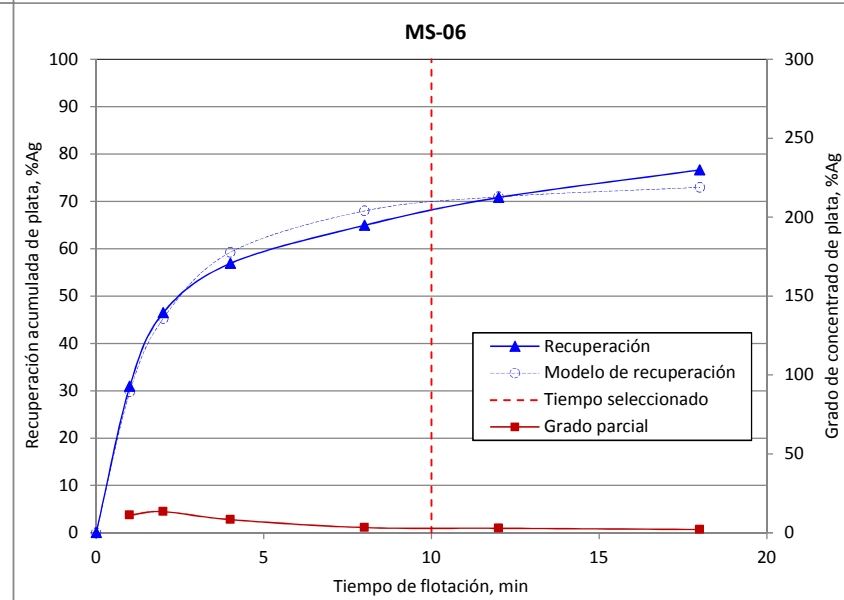
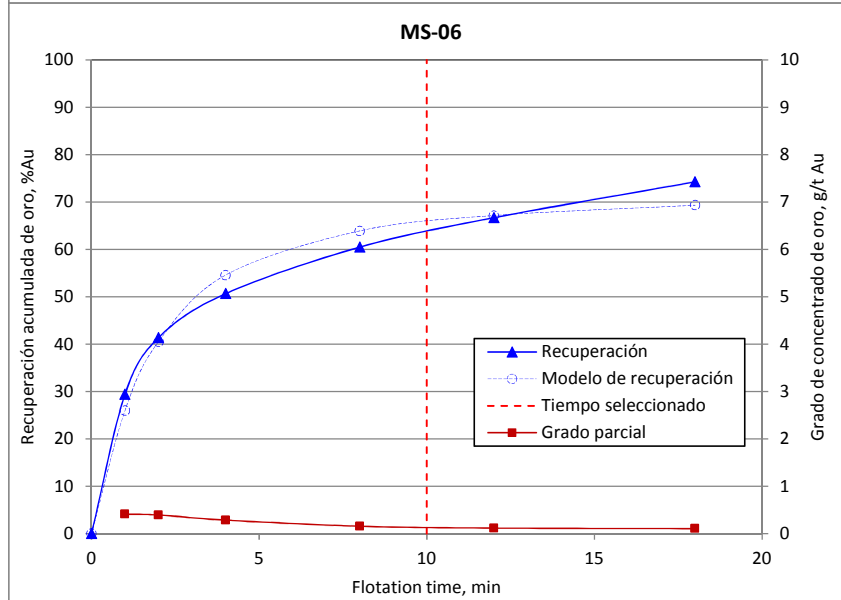
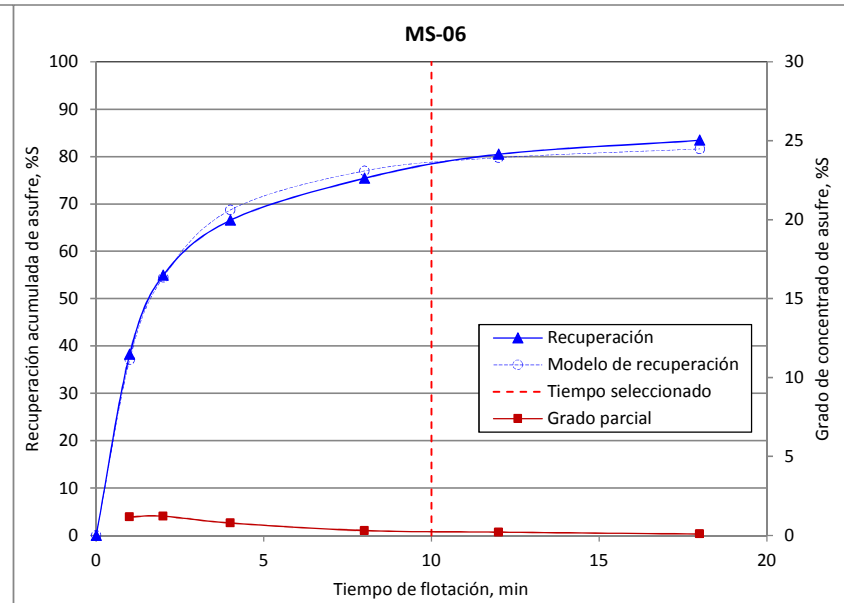
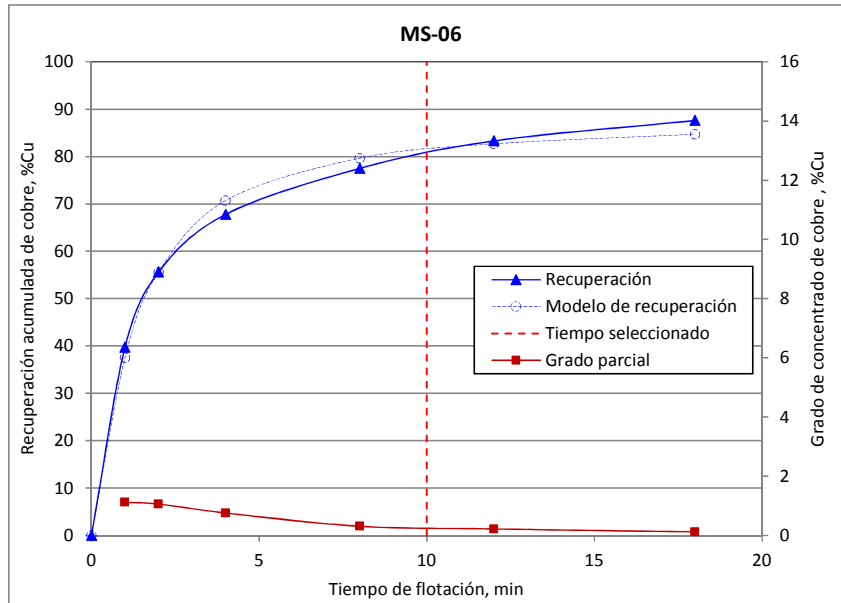
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



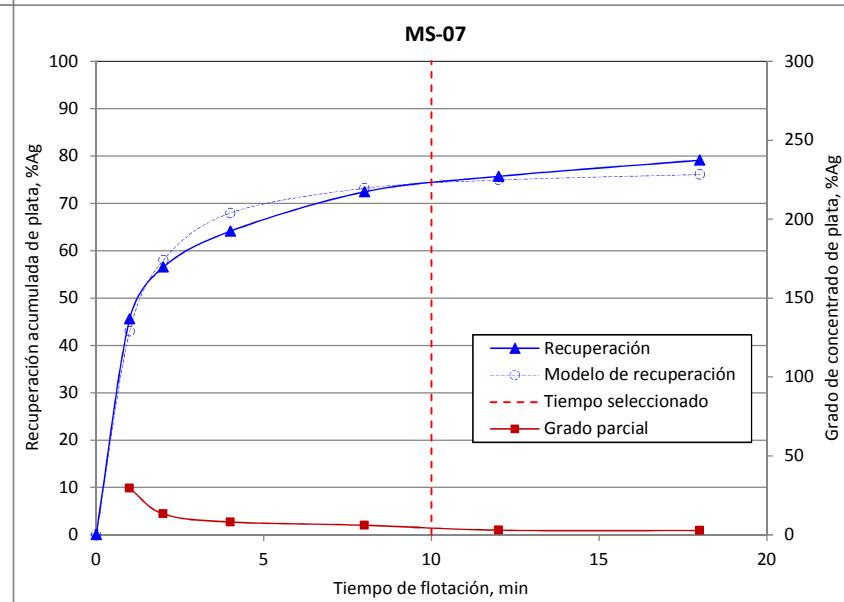
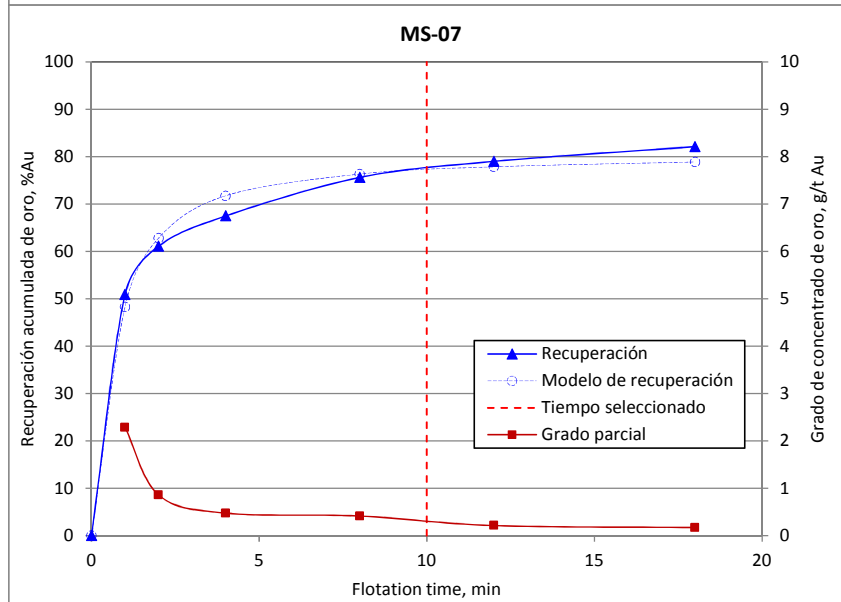
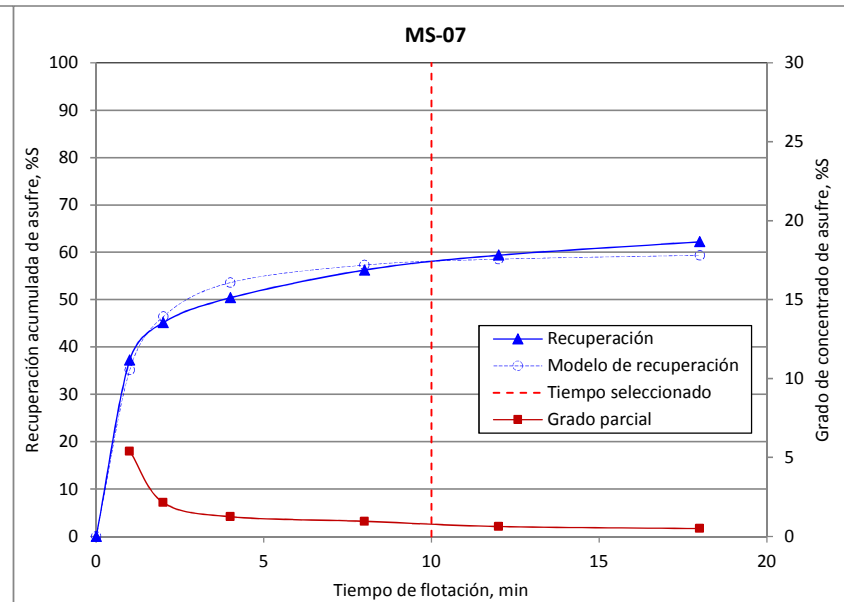
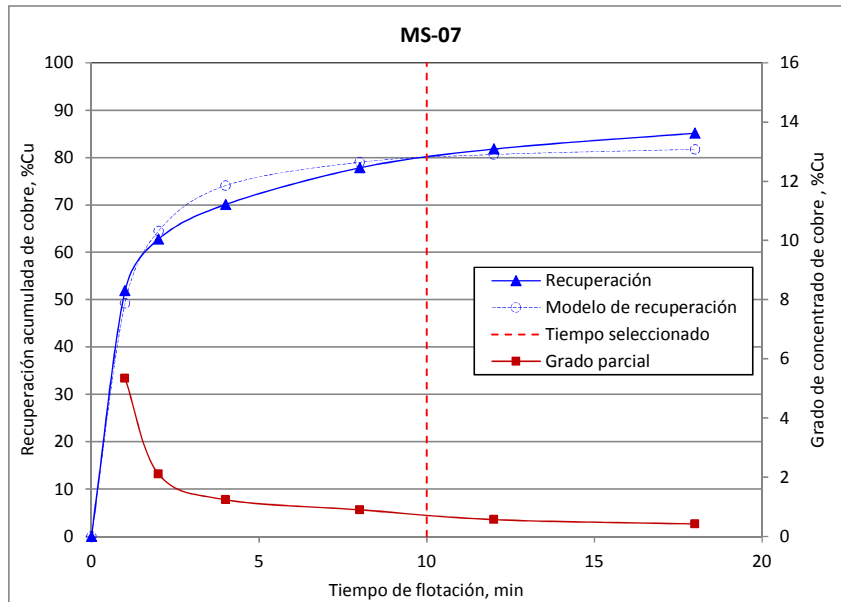
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



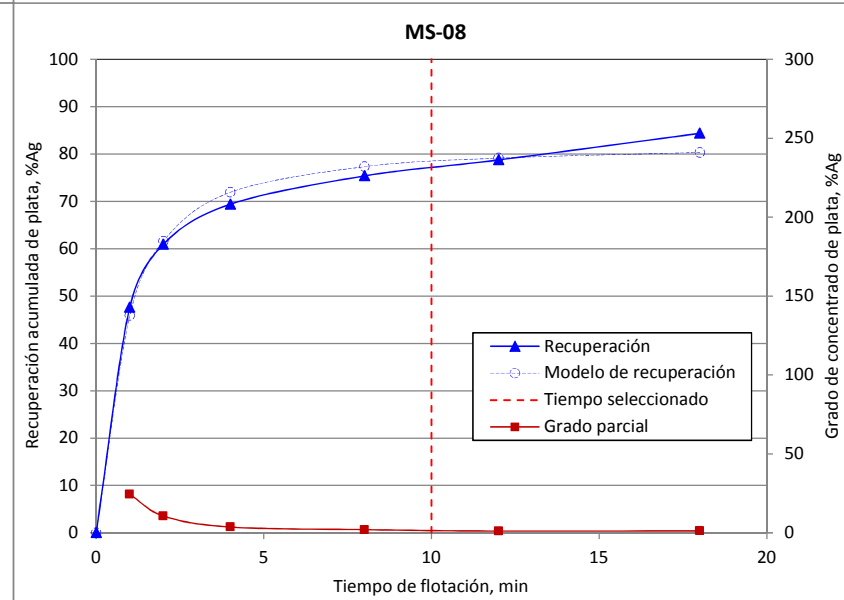
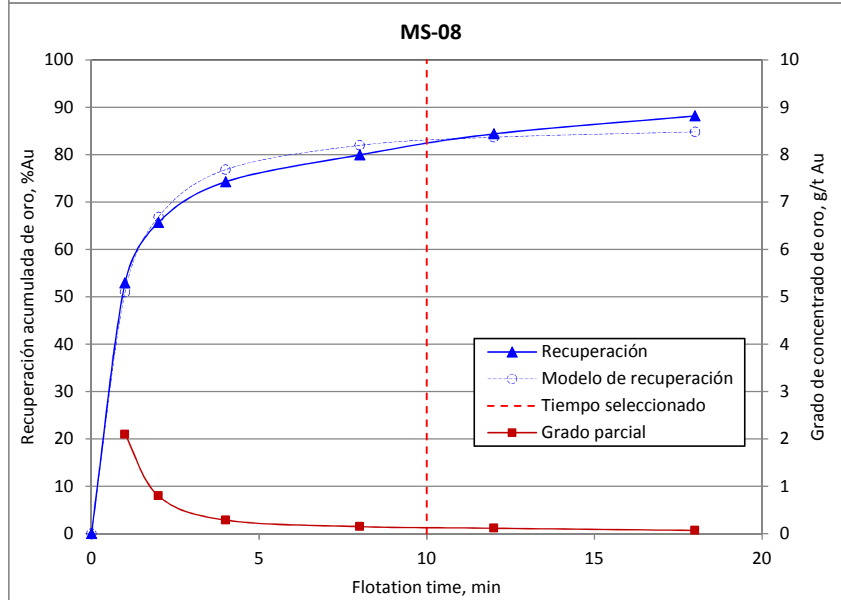
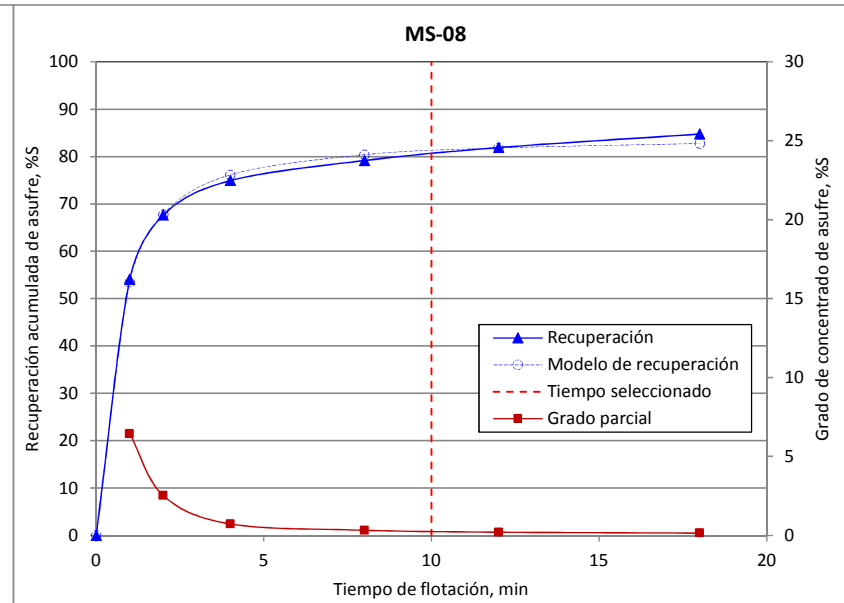
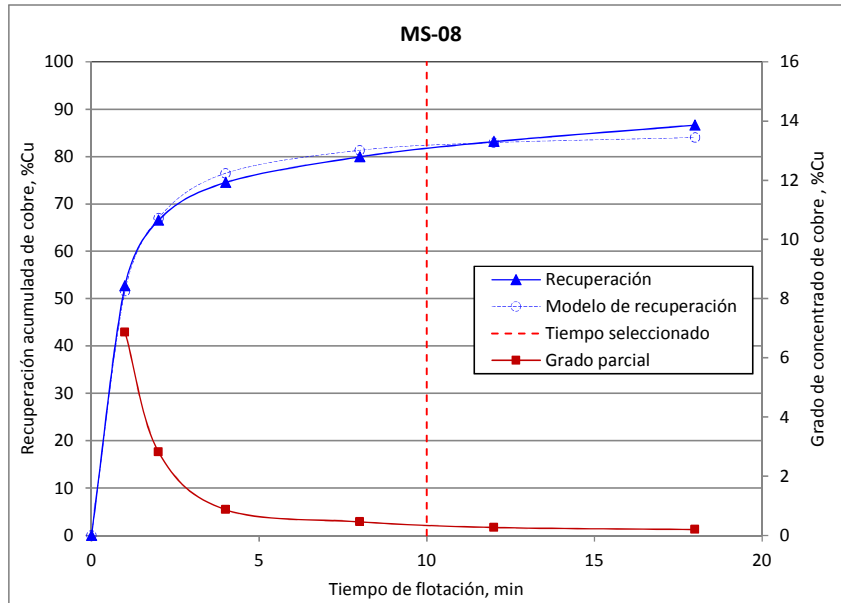
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



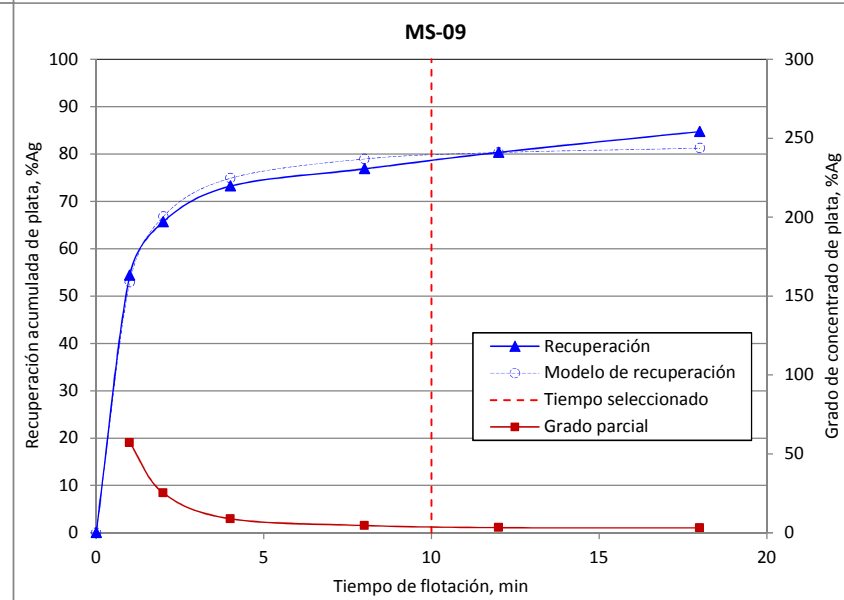
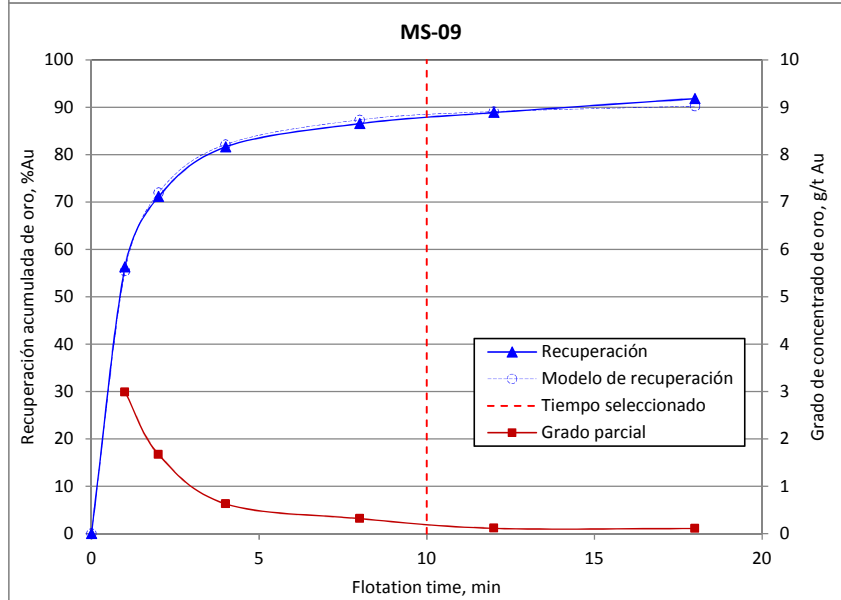
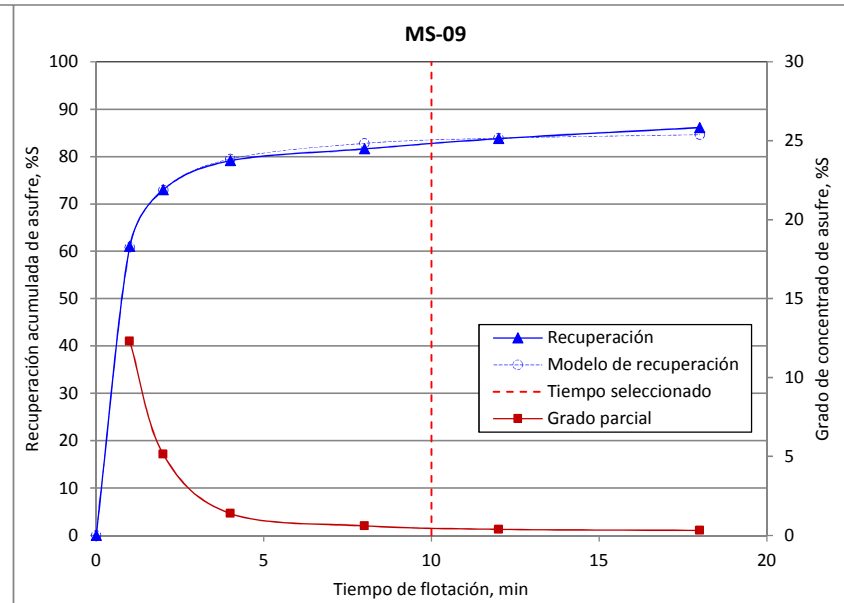
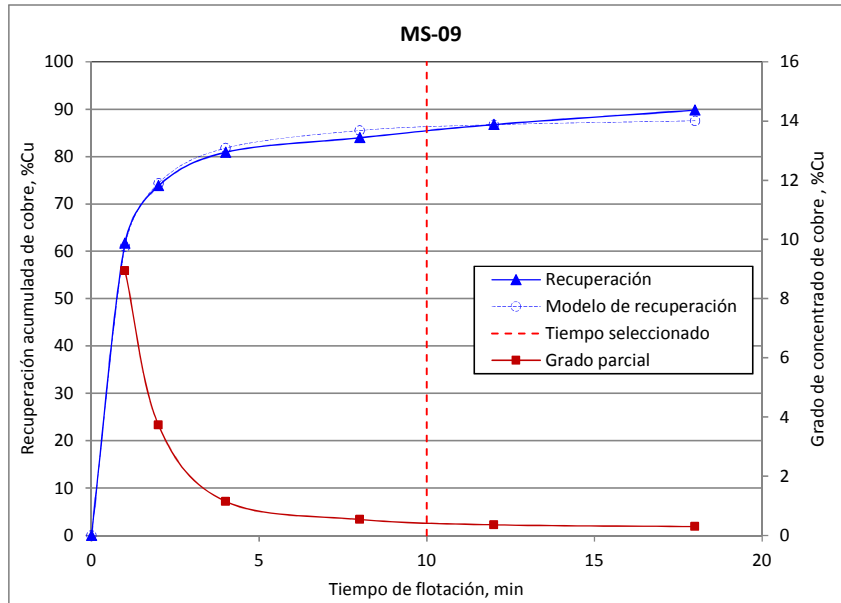
Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)



Pruebas de Variabilidad de Flotación (Cinética Rougher)

