



Universidad de Santiago de Chile Facultad de
Ingeniería Departamento Ingeniería en Minas



1° LABORATORIO MUESTREO Y ANALISIS GRANULOMETRICO DE PARTICULAS

Asignatura : Procesos Mineralúrgicos Profesor
: Gil Olivares
Ayudante : Luis Vilchez
Integrante : Claudio Pozo Barrena
Fecha de Ejecución : 23/5/2012
Fecha de Entrega : 06/7/2012

RESUMEN

El laboratorio realizado en el Departamento de Ingeniería en Minas Usach, específicamente en el "Laboratorio de Procesos Mineralúrgicos" de la Ex-Enami.

El desarrollo de este laboratorio fue utilizar una muestra proveniente de Chuquicamata para hacer un muestreo y un análisis de partículas, utilizando la metodología especificada en etapas consecutivas del proceso de análisis granulométrico.

La muestra fue homogeneizada utilizando la técnica del roleo, a través de un paño roleador, para posteriormente mediante el método de muestreo de cono y cuarteo, obtener un espécimen granulométricamente representativo, cuya masa fue de 197.4 gramos.

El análisis granulométrico se realizó usando una serie de tamices (Taylor desde el número 10 al 48 y finalizando con un 65), ayudado de la maquina Rc-tap que finalmente es la que mediante movimientos vibratorios y de golpeteo produce el desplazamiento de las partículas a través de las mallas.

Luego de este proceso, se masaron cada una de las partes de la muestra que quedaron atrapadas en las mallas, de donde se determinó, luego de realizado un análisis de gabinete (proceso de cálculos), que el 80% de las partículas de la muestra tiene un tamaño de 708 μm , mientras que el d80 corresponde a 1017,60 μm .

El muestro realizado se considera bueno cumpliendo con los objetivos planteados, teniendo un error de 0.41% de pérdida de material durante el proceso de análisis granulométrico, que es inferior al rango de 2% con lo cual se rechaza el experimento.

Sin embargo si se requiere mayor exactitud y precisión, se deben considerar los factores de instrumentos; como el nylon ocupado, el que produce estática afectando la muestra; el uso de tamices, fuentes (donde se transportaba la muestra) y los tamices se encontraban contaminados con otro material, se recomienda lavar los instrumentos con anticipación; y finalmente el error al tarar la balanza por uso de varios elementos de transporte de la balanza, cambiar a sólo un elemento. De ésta manera los errores serían de cualquier manera mínimos teniendo los mejores resultados obtenibles posibles.

INDICE

CONTENIDOS

Página

INTRODUCCION

El presente laboratorio de procesos mineralúrgicos nos permite conocer y entender cómo se desarrollan los procedimientos en planta y así obtener el producto que se desea, controlando cada punto de la etapa de elaboración.

La optimización de los recursos provenientes de la mina, nos lleva a controlar las etapas desarrolladas en el tratamiento del material, entre mina y planta, estudiando previamente los parámetros establecidos en detalle, atendiendo cualquier aspecto del mineral y de su tratamiento, fundamentalmente la granulometría despachada a planta.

Por los motivos anteriores, en el laboratorio realizado se desarrolló y se aplicaron los conceptos de Muestreo y Análisis Granulométrico, considerando parámetros como el tamaño de la muestra, homogeneizado (Uso del paño roedor) y métodos de muestreo, utilizando para este laboratorio el método de Cono y Cuarteo.

En el presente informe se analizan en detalle los conceptos mencionados en el párrafo anterior de acuerdo al procedimiento de laboratorio, así como también el desarrollo de cálculos establecidos en la Guía, "Muestreo y Análisis Granulométrico de Partículas.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar muestreo y análisis granulométrico de una muestra en el laboratorio.

Objetivos Específicos

- Ejecutar las etapas del proceso de análisis granulométrico.
- Ejecutar la homogeneización de una muestra mediante la técnica de roleo, utilizando un paño roleador.
- Comprender los métodos de muestreo y utilizar cuarteo para subdividir la muestra.
- Realizar el análisis granulométrico de la muestra utilizando una serie de mallas Tyler y una máquina Rc-Tap.
- Calcular F_{80}
- Identificar los potenciales errores dentro del análisis.
- Realizar y explicar los gráficos obtenidos de acuerdo con los resultados.

MARCO TEORICO

Para entender el laboratorio desarrollado, es necesario manejar los siguientes conceptos:

Análisis granulométrico: Es la medida ordenada de tamaño, en una distribución que permite relacionar a la granulometría, con resultados metalúrgicos de etapas posteriores o la evaluación de equipos reductores.

Homogeneizado: Operación que permite uniformar los elementos que corresponden a la muestra. Se ejecuta con un **Paño Roleador**. En muestras de gran masa el roleo se ejecuta con más de una persona, las cuales se posicionan en cada punta del paño, y las levantan cuidadosamente (sin perder material), de forma cíclica, así el material se irá sobreponiendo en capas. Y con muestras más pequeñas sólo una persona realizan el procedimiento, como en el caso del laboratorio desarrollado.

Paño Roleador: Paño que varía de tamaño dependiendo del tamaño de la muestra.

Métodos de muestreo: Solo describiremos el método utilizado en el laboratorio:

Método de Cono y Cuarteo: Método simple, que no requiere implementación especial, se utiliza cuando el material tiene como mínimo tamaño 1 pulgada. Se construye con una espátula o pala, un cono con el material, se aplana hasta conseguir una torta circular. Se divide en 4 partes congruentes, se descartan 2 opuestas y se retiran. Luego con las 2 partes que se mantienen, se realiza el mismo procedimiento antes mencionado.

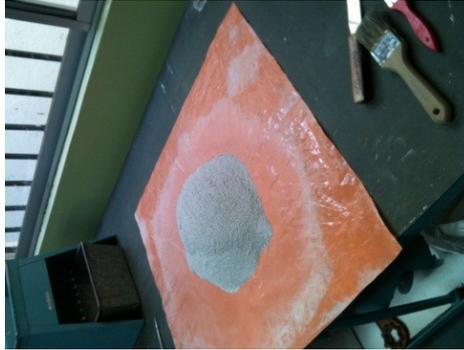
F₈₀ : Abertura media por la cual pasa el 80% del materia tamizado.

Tamizado: El análisis o prueba de tamices (harneros circulares) se lleva a cabo cerniendo los agregados a través de una serie de tamices o cedazos enumerados. Estos tamices están en números ascendentes, en el caso del laboratorio desarrollado, #14, #20, #28, #35, #48 y #65. El número de los tamices nos indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal.

ETAPAS DEL LABORATORIO

Materiales empleados en el Laboratorio:

- Material usado como muestra, proveniente de Codelco Norte, División Chuquicamata
- Paño roleador de plástico (nylon)



- Espátula



- Balanza digital



- Cortadores de Chutes o Rifles, método de reducción de muestras la que consiste en reducir en forma homogénea sobre un cortador de chutes que divide la muestra en dos partes aproximadamente iguales, el uso repetido y alternado entre la bandeja que sale de la muestra y la que se divide permite obtener muestras aleatorias y representativas a la forma de fracciones $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2^n}$ de la muestra original.



- Rc-Tap



- Serie de tamices



- Brochas, bandeja y elementos para masar

Procedimiento:

- Muestreo

Para comenzar la experiencia la muestra molida es proveniente de Calama, Chuquicamata. Se masaron 197,4 gramos de ésta.

1.- La muestra fue manipulada al paño roleador, en este caso un paño de nylon; y se homogeneizó durante unos minutos tomando los costados de éste último y levantándolos para mover la muestra y de esta manera obtener una buena mezcla.



Fig. 1 - Homogenización de la muestra mediante paño roleador

2.- El proceso de rolear y reducir la muestra se realizó mediante el cortador de chutes hasta masar 197,4 gramos



Fig. 2 – Masado de la muestra a tamizar

3.- En forma inmediata se vacía la muestra en la serie de tamices



Fig. 3 – Vaciado de la Muestra a tamizar en la serie de Tamices Taylor

4.- Sellado de la serie de Tamices y posteriormente se ubica en la tamizadora RC-TAP para iniciar el proceso de tamizado, en donde la maquina gira y vibra a los tamices para que el material sea distribuido de la manera más representativa, esta se deja actuar durante 5 min.

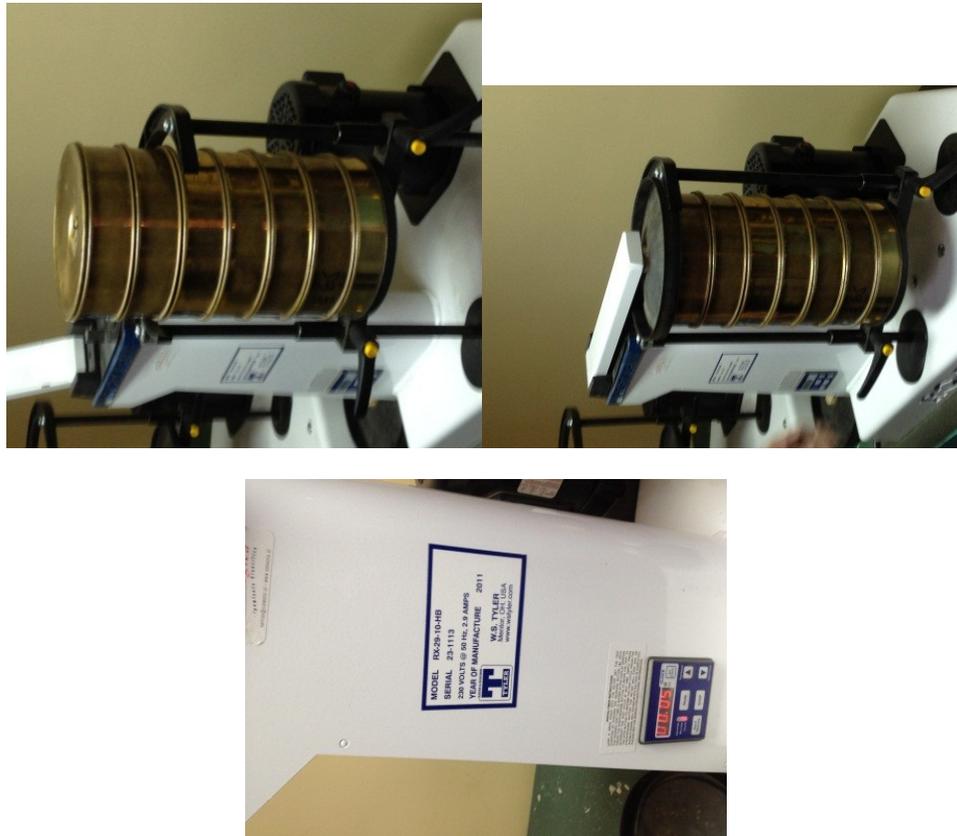


Fig. 4 – Ubicación de la serie de tamices en la maquina RC-TAP

La primera malla se asume 14, por lo tanto el tamaño máximo a encontrar en la muestra corresponde a 1180 mm. La última malla utilizada es la número 70, que no corresponde a la serie de Tyler, por lo tanto se deberá realizar interpolación a la serie ya mencionada para realizar el análisis.

5. La etapa siguiente es separar cada tamiz individualmente y se masaron cada una de las partes de la muestra que permaneció en cada una de las mallas y así se obtiene la distribución de los tamaños.



Fig. 5 – Distribución de Tamaños en Peso de las Mallas #14, #20 y #28



Fig. 6 – Distribución de Tamaños en Peso de las Mallas #35, #48 y #65



Fig. 7 – Fondo (-#65)

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

- **Análisis Granulométrico**

La muestra ocupada en la experiencia es de un tamaño inferior a 1180 micrones, por este motivo se empezó con el tamiz numero 14 el cual posee esta abertura.

La serie de mallas Tyler empleadas se muestran en la siguiente tabla:

Número de Tamiz	Abertura en Micrones
14	1180
20	850
28	600
35	425
48	300
65	212
-65	-

Tabla 1 - Abertura en micrones de las mallas utilizadas

Como se muestra en la tabla anterior, se ocupó un tamiz número 65, del cual se desconoce su abertura, por este motivo, se dedujo de la siguiente forma:

Número de Tamiz	Abertura en Micrones
14	1180
20	850
28	600
35	425
48	300
65	212

Tabla 2 - Puntos utilizados para el gráfico

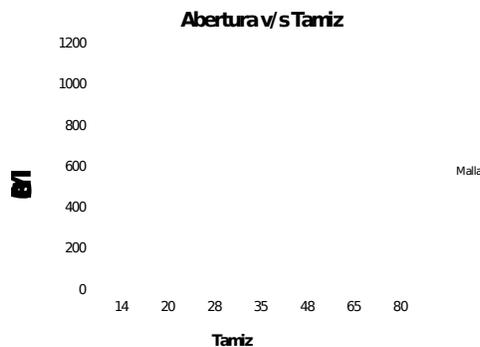


Gráfico 1 - Número de tamiz vs abertura en micrones

Se determinó la abertura del Número de tamiz 80 a través de interpolación, el cual fue determinado por un complemento en Excel para el valor del tamiz desconocido

$$Y = 134 \text{ um}$$

Una vez conocido el valor de la abertura faltante, se procede a realizar los cálculos requeridos para esta experiencia.

A continuación se presenta una tabla, en la cual se realizó un análisis granulométrico con una masa inicial, antes de tamizar, de 197.4 g

Malla	Abertura malla (um)	Abertura media (um)	Masa (g)	Masa corregida (g)
14	1180	1190	26.70	26.83
20	850	841	28.50	28.63
28	600	595	20.00	20.13
35	425	420	22.40	22.53
48	300	297	16.70	16.83
65	212	210	13.60	13.73
Fondo			68.70	68.70
Suma			196.60	197.40

Tabla 3 - Análisis granulométrico de la masa tamizada

Masa inicial (g)	197,40
Masa final (g)	196,60
Error (g)	0,80
Error (%)	0,41

Tabla 4 - Error de tamizado

Después de tamizar se encontró un error entre la masa inicial y final de 0.8 (g). Lo cual corresponde a un 0.41 %, el cual es inferior a un 2%. Por este motivo, se considera que el tamizado fue el adecuado y se procede a corregir la masa.

Luego se determinaron los porcentajes retenidos parcial, acumulado y pasante. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Malla	Abertura Malla (μm)	Abertura Media (μm)	Masa (g)	Masa corregida (g)	% Retenido parcial (Fi)	% Retenido Acumulado (Fo)	% Retenido Pasante (Fu)
14	1180	1190	26.70	26.83	13.59	13.59	100.00
20	850	841	28.50	28.63	14.51	28.10	85.49
28	600	595	20.00	20.13	10.20	38.30	75.30
35	425	420	22.40	22.53	11.42	49.71	63.88
48	300	297	16.70	16.83	8.53	58.24	55.35

65	212	210	13.60	13.73	6.96	65.20	48.40
Fondo			68.70	68.70	34.80	100,00	13.59
			196.60	197.30			

Tabla 5 - Análisis de masas en el proceso de tamizado

Posteriormente para un mejor análisis, realizamos los ajustes de Shumanh y Rosin – Rammler:

Ajuste de Schumann

$$F_u = \left(\frac{X}{K} \right)^M \quad F_{u\%} = 100 * \left(\frac{X}{K} \right)^M$$

Fu= Fracción acumulada bajo el tamaño X

K= tamaño teórico por donde pasa el 100% del material

M= constante de distribución

Peso inicial: 197.4 gr

Malla	ABERTURA (um)	Peso (gr)	Peso Corregido (gr)	Fi %	Fo %	Fu %
14	1,180	26.7	26.83	13.59	13.59	86.41
20	850	28.5	28.63	14.51	28.10	71.90
28	600	20	20.13	10.20	38.30	61.70
35	425	22.4	22.53	11.42	49.71	50.29
48	300	16.7	16.83	8.53	58.24	41.76
65	212	13.6	13.73	6.96	65.20	34.80
-65	-212	68.7	68.70	34.80	100.00	0.00
TOTAL		196.6	197.40	100.00		

Tabla 6 – Análisis de masas

Para el ajuste no se considera el fondo

Sean: $X = \log(\text{tamaño } \mu\text{m})$

$Y = \log(\text{Fu}\%)$

	X	Y	XY	X ²
	3.07	1.937	5.95	9.44
	2.93	1.857	5.44	8.58
	2.78	1.790	4.97	7.72
	2.63	1.701	4.47	6.91
	2.48	1.621	4.01	6.14
	2.33	1.542	3.59	5.41
suma total	16.21	10.45	28.43	44.19

La ecuación de la recta es: $Y = mx + b$

Donde:

$$m = \frac{\sum X \sum Y - n \sum XY}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}, \text{ con } n = 6$$

$$b = \frac{\sum XY \sum X - \sum Y \sum X^2}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}$$

Reemplazando, se tiene:

$$m = 0.529475181$$

$$b = 0.310654322$$

$$Y = 0.529475181170876X + 0.310654322243057$$

Determinación de los parámetros tamaño teórico por donde pasa el 100% del material y constante de distribución

Luego, para encontrar K, se reemplaza Y por log (100)

$$2 = 0.529475181170876X + 0.310654322243057$$

$$X = 3.190604088$$

Por lo tanto:

$$K = 10_x$$

$$K = 1,550.97 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Para Calcular el d_{80} se reemplaza Y por log (80)

$$1.903 = 0.529475181170876X + 0.310654322243057$$

$$X = 3.01$$

$$d_{80} = 10_x$$

$$d_{80} = 1,017.59 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Finalmente, la Formula de Schumann queda:

$$F_u = \left(\frac{X}{1550.97} \right)^{0.5294}$$

Recta Ajustada

X	Fu(%)	Y (Ajustado)	Y (Sin Ajustar)
3.07	86.52	1.937	1.937
2.93	72.73	1.862	1.857
2.78	60.48	1.782	1.790
2.63	50.39	1.702	1.701
2.48	41.90	1.622	1.621
2.33	34.87	1.542	1.542

Malla	ABERTURA (μm)	Peso (gr)	Peso Corregido (gr)	Fi % (Aj)	Fo % (Aj)	Fu % (Aj)
-------	-------------------------------	--------------	------------------------	-----------	-----------	-----------

14	1,180	26.7	26.83	13.48	13.48	86.52
20	850	28.5	28.63	13.80	27.27	72.73
28	600	20	20.13	12.25	39.52	60.48
35	425	22.4	22.53	10.09	49.61	50.39
48	300	16.7	16.83	8.49	58.10	41.90
65	212	13.6	13.73	7.04	65.13	34.87
-65	212	68.7	68.70	34.87	100.00	0.00
TOTAL		196.6	197.4	100		

Ajuste de Rosin - Rammler

$$F_o = e^{-\left(\frac{X}{X_o}\right)^M}$$

Fo= Fracción acumulada bajo el tamaño X

Xo= tamaño característico.

M= constante de distribución

Peso inicial: 197.4 gr

Malla	ABERTURA (µm)	Peso (gr)	Peso Corregido (gr)	Fi %	Fo %	Fu %
14	1,180	26.7	26.83	13.59	13.59	86.41
20	850	28.5	28.63	14.51	28.10	71.90
28	600	20.0	20.13	10.20	38.30	61.70
35	425	22.4	22.53	11.42	49.71	50.29
48	300	16.7	16.83	8.53	58.24	41.76
65	212	13.6	13.73	6.96	65.20	34.80
-65	-212	68.7	68.70	34.80	100.00	0.00
TOTAL		196.6	197.40	100.00		

Para el ajuste no se considera el fondo

Primer Ajuste

Sean: X = log (tamaño µm)

Y = log (ln (100/Fo))

	X	Y	XY	X ²
	3.072	0.300	0.922	9.436
	2.929	0.104	0.304	8.581
	2.778	-0.018	-0.049	7.718
	2.628	-0.155	-0.409	6.908
	2.477	-0.267	-0.661	6.136
	2.326	-0.369	-0.857	5.412
suma total	16.211	-0.405	-0.751	44.192

La ecuación de la recta es: Y = mx + b

Donde:

$$m = \frac{\sum X \sum Y - n \sum XY}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}$$

Con n = 6

$$b = \frac{\sum XY \sum X - \sum Y \sum X^2}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}$$

Reemplazando, se tiene:

$$m = 0.876815941$$

$$b = -2.436665755$$

$$Y = 0.876815941028895X - 2.43666575492915$$

Determinación de los parámetros tamaño característico por donde pasa el 100% del material y constante de distribución

Luego, para encontrar X_{100} , se tiene

$$X_{100} = 10_{(-b/m)}$$

$$X_{100} = 601.16 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Para Calcular el d_{80} se tiene lo siguiente

$$d_{80} = X_{(\ln(5))_{(1/m)}}$$

$$d_{80} = 1,034.44 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Finalmente, la Formula de Rosin - Rammler queda:

$$F_o = e^{-\left(\frac{X}{601.16}\right)^{0.8768}}$$

Recta Ajustada

X	Fo(%)	Y (Ajustado)	Y (Sin Ajustar)
---	-------	--------------	-----------------

3.07	16.42	0.26	0.30
2.93	25.80	0.13	0.10
2.78	36.85	0.00	-0.02
2.63	47.82	-0.13	-0.16
2.48	58.06	-0.26	-0.27
2.33	66.97	-0.40	-0.37

Malla	ABERTURA (μm)	Peso Corregido (gr)	Fi % (Aj)	Fo % (Aj)	Fu % (Aj)
14	1,180	26.83	16.42	16.42	83.58
20	850	28.63	9.37	25.80	74.20
28	600	20.13	11.05	36.85	63.15
35	425	22.53	10.97	47.82	52.18
48	300	16.83	10.25	58.06	41.94
65	212	13.73	8.90	66.97	33.03
-65	-212	68.70	33.03	100.00	0.00
TOTAL		197.40	100.00		

Segundo Ajuste

Sean: $X = \ln(\text{tamaño } \mu\text{m})$

$Y = \ln(\ln(100/F_0))$

	X	Y	XY	X ²
	7.07	0.69	4.89	50.03
	6.75	0.24	1.61	45.50
	6.40	-0.04	-0.26	40.92
	6.05	-0.36	-2.17	36.63
	5.70	-0.62	-3.51	32.53
	5.36	-0.85	-4.55	28.69
suma total	37.33	-0.93	-3.99	234.30

La ecuación de la recta es: $Y = mx + b$

Donde:

$$m = \frac{\sum X \sum Y - n \sum XY}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}, \text{ con } n = 6$$

$$b = \frac{\sum XY \sum X - \sum Y \sum X^2}{[\sum X]^2 - n \sum X^2}$$

Reemplazando, se tiene:

$$m = 0.876815941$$

$$b = -5.610630244$$

$$Y = 0.876815941028933X - 5.61063024390919$$

Determinación de los parámetros tamaño característico por donde pasa el 100% del material y constante de distribución

Luego, para encontrar X_o , se tiene

$$X_o = e^{(-b/m)}$$

$$X_o = 601.16 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Para Calcular el d_{80} se tiene lo siguiente

$$d_{80} = X_o (\ln(5))^{(1/m)}$$

$$d_{80} = 1,034.44 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Finalmente, la Formula de Rosin - Rammler queda:

$$F_o = e^{-\left(\frac{X}{601,16}\right)^{0.8764}}$$

Recta Ajustada

X	Fo (%)	Y (Ajustado)	Y (Sin Ajustar)
7.07	16.42	0.26	0.69
6.75	25.80	0.13	0.24
6.40	36.85	0.00	-0.04
6.05	47.82	-0.13	-0.36
5.70	58.06	-0.26	-0.62
5.36	66.97	-0.40	-0.85

Malla	ABERTURA (μm)	Peso Corregido (gr)	Fi % (Aj)	Fo % (Aj)	Fu % (Aj)
14	1,180	26.83	16.42	16.42	83.58
20	850	28.63	9.37	25.80	74.20
28	600	20.13	11.05	36.85	63.15
35	425	22.53	10.97	47.82	52.18
48	300	16.83	10.25	58.06	41.94
65	212	13.73	8.90	66.97	33.03
-65	-212	68.70	33.03	100.00	0.00
TOTAL		197.40	100.00		

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo presentado como objetivos en lo que respecta al laboratorio realizado y a los resultados analizados posteriormente en el informe antes exhibido, se puede concluir que el objetivo principal se cumplió, ya que el muestreo y análisis granulométrico de una muestra fue logrado con éxito en el laboratorio.

Cabe destacar que los pasos desarrollados en el homogeneizado y posterior muestreo, no fueron ideales; lo que se confirma al obtener un error en masa faltante de 0,8 (g), es decir, un

0,41%; valores que se deben principalmente al cambio de posición de la masa, debido a la pérdida de material durante el roleo en la etapa de cuarteo y durante el tamizado (cuando fue pesado el material que permanecía en cada malla). Gracias a que el error es menor, se infiere que el tamizado fue adecuado. No hay que olvidar los errores instrumentales, que fueron representados por la balanza y que se deben a razones ligadas tanto al tratado de material como tarado de balanza.

Posteriormente en el análisis granulométrico hecho en gabinete, se puede desprender que de acuerdo a la fracción retenida parcial de material respecta de la abertura media de ésta; mientras la segunda sea más pequeña, menos material pasa por la malla. Lo que se puede observar directamente en las tablas.

Analizando todos los factores influyentes en los resultados, se puede inferir que los objetivos fueron logrados con éxito, ya que los resultados se encontraban dentro de los parámetros permitidos. Sin embargo si se requiere mayor exactitud y precisión, se deben considerar los factores de instrumentos; como el nylon ocupado, el que produce estática afectando la muestra; el uso de tamices, fuentes (donde se transportaba la muestra) y los tamices se encontraban contaminados con otro material, se recomienda lavar los instrumentos con anticipación; y finalmente el error al tarar la balanza por uso de varios elementos de transporte de la balanza, cambiar a sólo un elemento. De ésta manera los errores serían de cualquier manera mínimos teniendo los mejores resultados obtenibles posibles.

BIBLIOGRAFIA

Para la realización del presente informe se recurrió a las siguientes fuentes informativas, de manera de abalar de manera fehaciente nuestra experiencia.

- Apuntes de clases Procesos Mineralúrgicos, Profesor Gil Olivares.
- Guía Análisis Granulométrico, Profesor Luis Vílchez.

ANEXO MEMORIA DE CALCULO

- Error

$$\text{Error} = \text{Masa inicial} - \text{Masa final}$$

- Error (%)

$$\text{Error (\%)} = \frac{(\text{Masa inicial} - \text{Masa final})}{\text{Masa inicial}} * 100$$

- Abertura Media

$$\overline{AB} = \sqrt{ab_i} * \sqrt{ab_{i-1}}$$

- Peso Corregido i

$$PC = \text{Peso Malla}_i + (\text{error} * \text{fracción acumulada parcial}_i)$$

- % Retenido Parcial i

$$\% RP = \text{Masa corregida en tamiz } i / \text{Masa total corregida (masa inicial)}$$

- % Retenido Acumulado i

$$\% RA_i = \% \text{ Retenido Parcial } i / \% \text{ Retenido Acumulado}_{i-1}$$

- % Retenido Pasante i

$$\% RP_i = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado } i$$