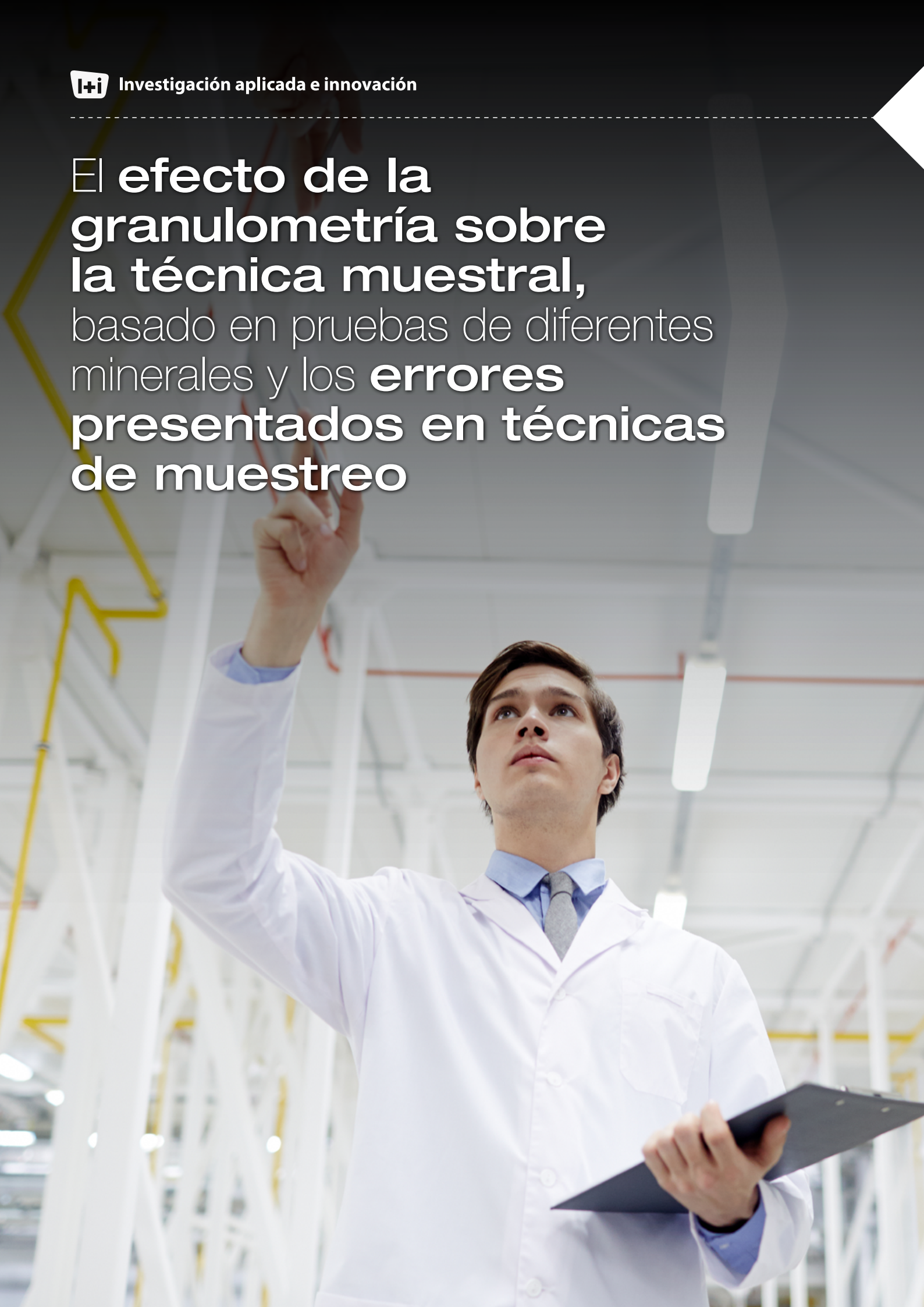


# El efecto de la granulometría sobre la técnica muestral, basado en pruebas de diferentes minerales y los **errores** presentados en técnicas de muestreo



# El error de muestreo de minerales, un análisis del muestreo manual y el uso del divisor Jones

## Mineral Sampling Error, Manual Sampling Analysis and Use of Jones Splitter

### RESUMEN

El error más común en la realización de una técnica muestral es diferente que la determinación del error de muestra según Gy. Los resultados de pruebas metalúrgicas generan resultados que muchas veces al escalarlos a las operaciones, no son aplicables al tener resultados que no mejoran la performance del proceso a evaluar; y la pregunta que surge es «¿dónde está el error?».

El artículo describe la evaluación de técnicas muestrales tanto manuales como mecánicas aplicados a diferentes tipos de minerales, considerando el error muestral obtenido según la técnica empleada en el proceso.

En la mayoría de laboratorios, no se tiene un equipo que reduzca la masa del mineral, esto se realiza utilizando el equipo Jones y al ser la masa pequeña un cuarteo manual. Para evitar los errores propios del cambio de muestra, se trabajó por cada grupo con el mismo mineral caracterizado por su distribución granulométrica.

En la parte experimental se tomaron diversas muestras minerales entre sulfuros de cobre, sulfuros de zinc, sulfuros de Pb-Zn, sulfuros de Pb-Cu-Zn-Ag y minerales auríferos. En la parte experimental se realizaron 584 cuarteos, divididos en 192 pruebas para el cuarteo manual, 192 para el cuarteador Jones y 192 para el cuarteo por damero. Las 192 pruebas de cada bloque fueron divididas en 8 grupos de 24 cuarteos cada uno.

Los resultados de las pruebas indicaron que el cuarteo manual presenta mayor error que cuarteo utilizando el equipo Jones y este a su vez presenta mayor error que el muestreo por damero. El error general de los muestreos por cuarteo manual fue de 6.75 % comparado con el error del cuarteo en el equipo Jones que fue de 4.87 %. Realizando la discriminación de la peor muestra por Grubbs se obtuvieron los siguientes resultados 5.91 % para el cuarteo manual y 4.22 % para el cuarteo por Jones. En el caso del cuarteo por la técnica del damero fue de 1.53 %.

Con la experimentación se corrobora que el muestreo manual es la peor técnica en la reducción de muestras para pruebas metalúrgicas.

### ABSTRACT

*Sampling technique errors differ from sampling error determination according to Gy. Metallurgical tests provide results that, when applied to operations, do not improve the process performance, so the question is where is error is.*

*This article describes the evaluation of both manual and mechanical sampling techniques applied to different types of minerals.*

*Most laboratories do not have proper equipment to reduce mineral mass, which is done with a Jones Splitter because of the small size of the sample. To avoid errors due to sampling changes, each group worked with the same mineral based on its granulometric distribution.*

*The experiment considered different mineral samples like copper sulfides, zinc sulfides, Pb-Cu sulfides, Pb-Cu-Zn-Ag sulfides and gold minerals. There were 584 quartering processes divided as follows: 192 for manual reduction, 192 for the Jones divider, and 192 for checkerboard reduction. Every block was divided into 8 groups of 24 reductions each.*

*The results showed that manual quartering has more errors compared to the use of a Jones splitter, but this in turn presents more errors than the checkerboard method. The manual quartering sampling had a 6.77% error compared to that of Jones with 4.87%. The Grubbs' test was performed to identify the worst sample resulting in 5.91% for the manual reduction, 4.22% for the Jones divider, and 1.53% for the checkerboard method.*

*The experiment proves that manual sampling is not the best technique to divide samples for metallurgic tests.*



### Palabras Claves

Error de muestreo, método de Pierre Gy, equipo Jones, damero, distribución granulométrica.

### Key words

Sampling error, Pierre Gy method, Jones equipment, checkerboard method, particle-size distribution.

## INTRODUCCIÓN

Para la realización de pruebas de cuarteo, generalmente se utiliza, en muchas operaciones metalúrgicas y laboratorios, el cuarteo manual como parte de su procedimiento de reducción de muestra. Sin embargo, no se toma en consideración el error generado al realizar este muestreo, sumando a otros errores propios de la estadística, así como de errores manuales y de contaminación, los cuales hacen que las pruebas posteriores realizadas a estas muestras —ya sean de lixiviación o de concentración por flotación— no guarden relación con lo que el proceso requiere al estar fuera de la confiabilidad deseada.

Según Pittard (2009), la precisión del muestreo puede llegar al 20 % al ser medido en muestras gruesas; si utilizamos divisor, podría llegar al 13 %, reduciéndose conforme el tamaño de las partículas se hace más pequeño o, metalúrgicamente, el D80 se hace más pequeño; lo menciona como un error general suma de todos los errores en muestreo.

Khan (1968), en su tesis, plantea las desviaciones *standard* encontradas a través de las pruebas que realizó con diversas muestras. Al aplicar la técnica de cuarteo, plantea que el error es de 6.8 %, muy cercano a los valores de esta investigación; para muestras que cumplen las mejores condiciones al utilizar el cuarteador Jones, el resultado fue de entre 1.01 % y 5.14 % con un promedio de 3.8 %, también guardando cierta relación con los datos obtenidos en la investigación actual.

Gy (1979 y 2004) nos plantea, desde el enfoque de la teoría de muestreo (TOS), que una de las variables más influyentes y determinantes del error muestral es el tamaño máximo de partícula, que en nuestro caso lo relacionamos a la función granulométrica y el D80 del mismo.

Según Francois Bongarcon (1999), el error común del uso de la fórmula de Gy es la determinación del error muestral, y nos plantea que error muestral es la suma de múltiples errores que se comenten en el desarrollo de la toma de la muestra de análisis, ya sea analíticamente o para pruebas metalúrgica, en su propuesta plantea tres tipos de errores comunes.

Toconas (2008) refiere los tipos de errores: el fundamental, producida por la pérdida de precisión de la muestra, la segregación, generada por distribuciones no al azar del mineral, la heterogeneidad de largo alcance que es un error fluctuante y no al azar, la heterogeneidad periódica generada por la fluctuación temporal/espacial, la delimitación de incrementos producida por un mal diseño de muestreo, así como una mala selección de equipos, la extracción de incrementos en la cual el procedimiento muestral falla por la extracción imprecisa del incremento de la muestra final y, por último, la preparación error producido por contaminación de la muestra y pérdidas del proceso.

Uno de los problemas más comunes en los laboratorios es definir los tipos de cuarteos por un lado y por otro el efecto de la granulometría en el error de una determinada técnica muestral. Estudios al respecto sobre cuál es el error de una técnica específica de muestreo son muy escasos, no se determina la diferencia entre los errores cometidos al realizar una técnica, no se evalúa el impacto de la forma del mineral, pese a que la masa muestral está dentro de las consideraciones de los estadísticos, lo cual es muy importante.

En este trabajo se busca determinar el efecto de la granulometría sobre la técnica muestral, basados en pruebas de diferentes tipos de minerales tanto oxidados como sulfurados, así como también determinar sobre todo el error por cada técnica muestral. Para este estudio se tomó como base las técnicas muestrales de cuarteo manual, uso del *splitter* Jones y técnica del damero, técnicas que son las más difundidas y utilizadas en los laboratorios metalúrgicos, sin que esto elimine otros tipos de técnicas que podrían aplicarse a la reducción de muestras aplicables a protocolos hechos en laboratorios.

## FUNDAMENTOS

En muchas plantas concentradoras no confían en las pruebas metalúrgicas realizadas en sus instalaciones, esto se debe a múltiples causales, podría deberse a inexperiencia en la realización de pruebas metalúrgicas, contaminación de las muestras, mal muestreo, reactivos vencidos, equipo de laboratorio defectuoso o limpieza deficiente. Entre estos posibles causales, no se toma en consideración el error en la reducción de la muestra, que puede estar asociada a un mal método muestral o diseño de protocolo muestral.

Uno de los errores que no se toma en consideración en la mayoría de operaciones es el error de reducción de la muestra; no la consideran al realizar sus experimentos y esto puede generar la desconfianza en sí de los resultados, asumiendo que los otros causales de error se minimizan.

Evans y Napier (2003) señalan: «Cuando las características del mineral, como las distribuciones de tamaño de grano mineral, se cuantifican mediante mediciones en muestras de partículas, existe un error asociado con los valores medidos». La magnitud de este error es función de la ley del mineral de interés, la textura del mineral y la cantidad de partículas de mineral medidas en el análisis. En la práctica, el deseo de minimizar el error debido al muestreo, aumentando el número de partículas medidas, debe equilibrarse con el aumento del tiempo y el coste de analizar este aumento del número de partículas.

Kim Esbensen y Claas Wagner (2014) plantean la incertidumbre de la medición en el proceso de muestreo, generada por el proceso de reproducibilidad de pruebas dentro de la teoría del muestreo (TOS), en la cual recalca la importancia de un buen protocolo de muestreo para evitar elevar el error propio de la no representatividad de la muestra extraída del todo que se analizará posteriormente.

Simon (2019) presenta un estudio de un caso basado en una operación de oro subterránea, donde un muestreo metalúrgico deficiente condujo a un rendimiento inferior a la ley y la recuperación. Los problemas relacionados con el muestreo incluyeron enlace deficiente entre geólogos y metalúrgicos, pobre dominio, muy pocas muestras metalúrgicas recolectadas y analizadas, muestras compuestas y submuestras no representativas, mala práctica de laboratorio, y la falta de documentación y QAQC. Estos problemas provocaron interrupciones durante cuatro años y se estima que costaron alrededor de 115 millones de dólares en ingresos perdidos y 7.5 millones de dólares en gastos correctivos.

Una de las principales limitaciones del estudio en la determinación de cuál es el error muestral es la escasa bibliografía que nos

permita comprender mejor los orígenes de dichos errores; sin embargo, pese a ello, se realizaron cientos de cuarteos por diversos métodos, así como a diferentes granulometrías para tener la suficiente data que nos permita realizar la estadística del caso y tener referentes sobre los errores de las técnicas muestrales más conocidas en diversas condiciones de estudio como lo es el factor de forma de las partículas y la variedad granulométrica.

## METODOLOGÍA

Se seleccionaron los minerales motivo del estudio en tres grandes bloques: uno para prueba de muestreo por cuarteo manual, otro para muestreo por cuarteo con el equipo Jones y el tercero para las pruebas por damero. Cada bloque de muestras consta de ocho muestras minerales de diferentes orígenes, óxidos, sulfuros y mixtos. Cada una de las ocho muestras sirvió para la reproductibilidad de las pruebas de muestreo respectivo.

Las muestras minerales motivo de la investigación en el proceso de cuarteo por las tres técnicas de reducción de muestra fueron tratadas de igual forma por el equipo de operadores, que ejecuto la práctica. La experimentación se realizó en el caso del muestreo manual siguiendo los estándares de protocolo muestral, es decir, reduciendo de ser el caso la granulometría de la misma para que encaje dentro del método de GY con un error de muestreo homogéneo, planteados por Pittard en 2019.

Se realizaron ocho pruebas con una repetitividad de 8 experimentos por cada prueba, las muestras fueron entre mineral ligeramente grueso y fino para el muestreo por cuarteo manual, de igual manera para las pruebas del cuarteador Jones. La data granulométrica de las muestras se adjunta en los resultados, donde el tiempo de uso en el rotap fue de 18 minutos por cada pasada por el equipo.

Los cuarteos fueron realizados por cada muestra el mismo día, es decir a razón de ocho muestras a cuartear por día del mismo mineral, así sucesivamente, para evitar el cambio en la humedad de las muestras que generen resultados diferentes.

La elección de las técnicas muestrales se dio a partir de encuestas realizadas en las operaciones mineras sobre cuál es la técnica de reducción de muestra que utilizan para obtener una

pequeña muestra representativa que tenga el menor error posible y que esté enmarcada por debajo del error estadístico aceptado según la teoría de Pierre Gy.

El mineral utilizado para las pruebas fue mineral oxidado aurífero y cuprífero, mineral sulfurado de cobre y de plomo, así como polimetálicos también.

Las pruebas experimentales tuvieron como objetivo principal determinar el error de los cuarteos para los diferentes minerales y evaluar el efecto de este error en las pruebas metalúrgicas y de análisis químicos para las cuales se toman dichas muestras.

La cantidad de mineral empleado en cada una de las pruebas fue de 50 kg en principio, que fue reduciéndose de tamaño en función a un protocolo muestral, hasta obtener una muestra que en masa se encuentre por debajo de los 5 kg para la realización de los cuarteos manuales, y por debajo de 10 kg para la realización del cuarteo con el equipo Jones.

Cada grupo de muestras analizadas granulométricamente y las pruebas de reproductibilidad realizadas fueron ejecutadas con las mismas herramientas y en el mismo ambiente, para las pruebas con el equipo Jones de igual manera se desarrolló la experiencia siguiendo los mismos estándares.

Se prueba el exploratorio sobre el cuarteo por damero, que es muy utilizado para concentrados; se realizó unas pruebas piloto donde el error muestral fue del orden del 2 %.

## RESULTADOS

La data granulométrica de las muestras se adjunta, donde el tiempo de uso en el rotap fue de 18 minutos por cada pasada por el equipo; en dicho proceso, el error por cada granulométrico fue el siguiente: 0.13 %, 0.76 %, 0.28 %, 0.53 %, 0.27 %, 0.17 %, 0.38 % y 0.60 % para las muestras de cuarteo manual, el error granulométrico para las muestras que pasaron por el cuarteador Jones fueron: 0.24 %, 0.49 %, 0.27 %, 0.32 %, 0.23 %, 0.55 %, 0.49 % y 0.21 % respectivamente para la data adjunta en resultados. Las muestras de ensayo tuvieron humedades relativamente bajas por lo que no se realizó para algunas mallas finas el tamizaje en húmedo.

### Cuarteo manual

Tabla 1  
Análisis granulométrico 1

| Granulométrico n.º 1 - Mineral grueso |               |         |           |                  |                  |
|---------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial: 476.10                  |               |         |           |                  |                  |
| Malla                                 | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 4                                     | 4750          | 112.40  | 23.64     | 23.64            | 76.36            |
| 6                                     | 3350          | 212.90  | 44.77     | 68.41            | 31.59            |
| 8                                     | 2360          | 85.70   | 18.02     | 86.44            | 13.56            |
| 12                                    | 1700          | 50.20   | 10.56     | 96.99            | 3.01             |
| 16                                    | 1180          | 3.30    | 0.69      | 97.69            | 2.31             |
| 20                                    | 841           | 1.10    | 0.23      | 97.92            | 2.08             |
| 30                                    | 595           | 0.70    | 0.15      | 98.07            | 1.93             |
| Base                                  | -             | 9.20    | 1.93      | 100.00           | 0.00             |
| Total                                 |               | 475.50  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =                |               | 0.13    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2  
Análisis granulométrico 2

| Granulométrico n.º 2 - Mineral fino |               |         |           |                  |                  |
|-------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial: 211.90                |               |         |           |                  |                  |
| Malla                               | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 12                                  | 1700          | 30.80   | 14.65     | 14.65            | 85.35            |
| 16                                  | 1180          | 52.40   | 24.92     | 39.56            | 60.44            |
| 20                                  | 841           | 40.70   | 19.35     | 58.92            | 41.08            |
| 30                                  | 600           | 19.60   | 9.32      | 68.24            | 31.76            |
| 40                                  | 425           | 14.40   | 6.85      | 75.08            | 24.92            |
| 50                                  | 300           | 9.90    | 4.71      | 79.79            | 20.21            |
| 70                                  | 212           | 6.90    | 3.28      | 83.07            | 16.93            |
| Base                                | -             | 35.60   | 16.93     | 100.00           | 0.00             |
| Total                               |               | 210.30  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =              |               | 0.76    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3  
Análisis granulométrico 3

| Granulométrico n.º 3 - Mineral grueso |               |         |           |                  |                  |
|---------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial: 246.85                  |               |         |           |                  |                  |
| Malla                                 | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 8                                     | 2360          | 36.50   | 14.83     | 14.83            | 85.17            |
| 12                                    | 1700          | 44.05   | 17.90     | 32.72            | 67.28            |
| 16                                    | 1180          | 49.95   | 20.29     | 53.02            | 46.98            |
| 20                                    | 841           | 32.85   | 13.35     | 66.36            | 33.64            |
| 30                                    | 600           | 18.90   | 7.68      | 74.04            | 25.96            |
| 40                                    | 425           | 14.85   | 6.03      | 80.07            | 19.93            |
| 50                                    | 300           | 10.90   | 4.43      | 84.50            | 15.50            |
| Base                                  | -             | 38.15   | 15.50     | 100.00           | 0.00             |
| Total                                 |               | 246.15  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =                |               | 0.28    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4  
Análisis granulométrico 4

| Granulométrico n.º 4 - Mineral fino |               |         |           |                  |                  |
|-------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial: 271.40                |               |         |           |                  |                  |
| Malla                               | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 16                                  | 1180          | 86.90   | 32.19     | 32.19            | 67.81            |
| 20                                  | 841           | 16.80   | 6.22      | 38.41            | 61.59            |
| 30                                  | 600           | 23.55   | 8.72      | 47.14            | 52.86            |
| 40                                  | 425           | 23.15   | 8.58      | 55.71            | 44.29            |
| 50                                  | 300           | 22.55   | 8.35      | 64.07            | 35.93            |
| 70                                  | 212           | 15.45   | 5.72      | 69.79            | 30.21            |
| 100                                 | 150           | 28.05   | 10.39     | 80.18            | 19.82            |
| Base                                | -             | 53.50   | 19.82     | 100.00           | 0.00             |
| Total                               |               | 269.95  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =              |               | 0.53    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5  
Análisis granulométrico 5

| Granulométrico n.º 5 - Mineral fino |               |         |           |                  |                  |
|-------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial: 262.30                |               |         |           |                  |                  |
| Malla                               | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 20                                  | 841           | 108.80  | 41.59     | 41.59            | 58.41            |
| 30                                  | 600           | 28.90   | 11.05     | 52.64            | 47.36            |
| 40                                  | 425           | 24.30   | 9.29      | 61.93            | 38.07            |
| 50                                  | 300           | 20.25   | 7.74      | 69.67            | 30.33            |
| 70                                  | 212           | 13.05   | 4.99      | 74.66            | 25.34            |
| 100                                 | 150           | 21.95   | 8.39      | 83.05            | 16.95            |
| 140                                 | 106           | 12.90   | 4.93      | 87.98            | 12.02            |
| Base                                | -             | 31.45   | 12.02     | 100.00           | 0.00             |
| Total                               |               | 261.60  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =              |               | 0.27    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6  
Análisis granulométrico 6

| Granulométrico n.º 6 - Mineral grueso |               |         |           |                  |                  |
|---------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial:                         |               | 302.80  |           |                  |                  |
| Malla                                 | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 4                                     | 4750          | 16.95   | 5.61      | 5.61             | 94.39            |
| 6                                     | 3350          | 26.10   | 8.63      | 14.24            | 85.76            |
| 8                                     | 2360          | 29.05   | 9.61      | 23.85            | 76.15            |
| 12                                    | 1700          | 64.20   | 21.24     | 45.09            | 54.91            |
| 16                                    | 1180          | 40.55   | 13.41     | 58.50            | 41.50            |
| 20                                    | 841           | 30.80   | 10.19     | 68.69            | 31.31            |
| 30                                    | 595           | 18.25   | 6.04      | 74.73            | 25.27            |
| Base                                  | -             | 76.40   | 25.27     | 100.00           | 0.00             |
| Total                                 |               | 302.30  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =                |               | 0.17    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7  
Análisis granulométrico 7

| Granulométrico n.º 7 - Mineral grueso |               |         |           |                  |                  |
|---------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial:                         |               | 269.47  |           |                  |                  |
| Malla                                 | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 30                                    | 595           | 125.40  | 46.71     | 46.71            | 53.29            |
| 40                                    | 425           | 27.10   | 10.09     | 56.81            | 43.19            |
| 50                                    | 300           | 18.85   | 7.02      | 63.83            | 36.17            |
| 70                                    | 212           | 15.00   | 5.59      | 69.42            | 30.58            |
| 100                                   | 150           | 15.45   | 5.76      | 75.17            | 24.83            |
| 140                                   | 106           | 11.10   | 4.13      | 79.31            | 20.69            |
| 200                                   | 75            | 10.60   | 3.95      | 83.26            | 16.74            |
| Base                                  | -             | 44.95   | 16.74     | 100.00           | 0.00             |
| Total                                 |               | 268.45  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =                |               | 0.38    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8  
Análisis granulométrico 8

| Granulométrico n.º 8 - Mineral grueso |               |         |           |                  |                  |
|---------------------------------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------------|
| Masa inicial:                         |               | 285.65  |           |                  |                  |
| Malla                                 | Abertura (um) | Masa(g) | % en masa | G <sub>(x)</sub> | F <sub>(x)</sub> |
| 16                                    | 1180          | 57.65   | 20.30     | 20.30            | 79.70            |
| 20                                    | 841           | 35.85   | 12.63     | 32.93            | 67.07            |
| 30                                    | 600           | 26.15   | 9.21      | 42.14            | 57.86            |
| 40                                    | 425           | 23.50   | 8.28      | 50.41            | 49.59            |
| 50                                    | 300           | 19.05   | 6.71      | 57.12            | 42.88            |
| 70                                    | 212           | 18.30   | 6.44      | 63.57            | 36.43            |
| 100                                   | 150           | 23.30   | 8.21      | 71.77            | 28.23            |
| Base                                  | -             | 80.15   | 28.23     | 100.00           | 0.00             |
| Total                                 |               | 283.95  | 100.00    |                  |                  |
| Error granulométrico =                |               | 0.60    | %         |                  |                  |

Fuente: Elaboración propia.

## A. Errores del cuarteo manual

Tabla 9  
Errores del cuarteo manual 1

| Del granulométrico 1 grueso |              |           |           |           |         |         |         |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                    | 2221.90      | 1174.50   | 608.90    | 323.50    | 5.72    | 3.69    | 6.26    |
| Prueba 2                    | 2221.75      | 1170.20   | 608.10    | 331.60    | 5.34    | 3.93    | 9.06    |
| Prueba 3                    | 2221.68      | 1129.50   | 581.00    | 298.70    | 1.68    | 2.88    | 2.82    |
| Prueba 4                    | 2221.15      | 1138.50   | 571.90    | 300.20    | 2.51    | 0.47    | 4.98    |
| Prueba 5                    | 2221.15      | 1142.70   | 562.70    | 293.50    | 2.89    | 1.51    | 4.32    |
| Prueba 6                    | 2221.05      | 1138.90   | 607.90    | 305.00    | 2.56    | 6.75    | 0.35    |
| Prueba 7                    | 2220.95      | 1127.30   | 549.70    | 276.80    | 1.52    | 2.47    | 0.71    |
| Prueba 8                    | 2220.80      | 1132.20   | 607.10    | 255.90    | 1.96    | 7.24    | 15.70   |
|                             |              |           |           |           | 3.02    | 3.62    | 5.52    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10  
Errores del cuarteo manual 2

| Del granulométrico 2 fino |              |           |           |           |         |         |         |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                  | 1759.20      | 893.85    | 439.25    | 224.75    | 1.62    | 1.72    | 2.33    |
| Prueba 2                  | 1758.83      | 861.20    | 433.10    | 219.80    | 2.07    | 0.58    | 1.50    |
| Prueba 3                  | 1758.75      | 874.90    | 450.40    | 233.40    | 0.51    | 2.96    | 3.64    |
| Prueba 4                  | 1758.70      | 916.30    | 443.95    | 227.71    | 4.20    | 3.10    | 2.58    |
| Prueba 5                  | 1758.15      | 891.70    | 444.75    | 233.75    | 1.44    | 0.25    | 5.12    |
| Prueba 6                  | 1758.08      | 843.90    | 424.10    | 213.90    | 4.00    | 0.51    | 0.87    |
| Prueba 7                  | 1757.95      | 863.80    | 443.50    | 215.80    | 1.73    | 2.69    | 2.68    |
| Prueba 8                  | 1757.93      | 875.30    | 433.70    | 221.50    | 0.42    | 0.90    | 2.14    |
|                           |              |           |           |           | 2.00    | 1.59    | 2.61    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11  
Errores del cuarteo manual 3

| Del granulométrico 3 grueso |              |           |           |           |         |         |         |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                    | 2010.35      | 1002.65   | 498.50    | 259.20    | 0.25    | 0.56    | 3.99    |
| Prueba 2                    | 2010.25      | 983.80    | 469.70    | 229.15    | 2.12    | 4.51    | 2.43    |
| Prueba 3                    | 2009.80      | 988.70    | 493.50    | 240.75    | 1.61    | 0.17    | 2.43    |
| Prueba 4                    | 2009.75      | 1004.50   | 502.65    | 257.50    | 0.04    | 0.08    | 2.46    |
| Prueba 5                    | 2009.60      | 964.15    | 459.10    | 219.00    | 4.05    | 4.77    | 4.60    |
| Prueba 6                    | 2009.51      | 1032.80   | 525.10    | 257.10    | 2.79    | 1.68    | 2.08    |
| Prueba 7                    | 2009.15      | 984.40    | 512.40    | 258.20    | 2.01    | 4.10    | 0.78    |
| Prueba 8                    | 2008.82      | 1003.30   | 507.40    | 215.70    | 0.11    | 1.15    | 14.98   |
|                             |              |           |           |           | 1.62    | 2.13    | 4.22    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12  
Errores del cuarteo manual 4

| Del granulométrico 4 fino |              |           |           |           |         |         |         |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                  | 2087.75      | 1019.15   | 499.20    | 255.15    | 2.37    | 2.04    | 2.22    |
| Prueba 2                  | 2087.10      | 1089.90   | 547.50    | 278.90    | 4.44    | 0.47    | 1.88    |
| Prueba 3                  | 2086.50      | 1048.40   | 562.70    | 287.95    | 0.49    | 7.34    | 2.35    |
| Prueba 4                  | 2086.50      | 1056.00   | 517.90    | 253.10    | 1.22    | 1.91    | 2.26    |
| Prueba 5                  | 2086.10      | 1063.90   | 518.20    | 260.85    | 2.00    | 2.58    | 0.68    |
| Prueba 6                  | 2085.90      | 1065.63   | 529.25    | 254.00    | 2.17    | 0.67    | 4.02    |
| Prueba 7                  | 2085.70      | 1017.90   | 496.25    | 246.90    | 2.39    | 2.50    | 0.49    |
| Prueba 8                  | 2085.40      | 1008.20   | 502.55    | 252.30    | 3.31    | 0.31    | 0.41    |
|                           |              |           |           |           | 2.30    | 2.23    | 1.79    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13  
Errores del cuarteo manual 5

| Del granulométrico 5 fino |              |           |           |           |         |         |         |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                  | 2012.35      | 1028.00   | 503.95    | 245.20    | 2.17    | 1.96    | 2.69    |
| Prueba 2                  | 2012.35      | 1054.20   | 522.75    | 266.85    | 4.77    | 0.83    | 2.09    |
| Prueba 3                  | 2011.85      | 996.35    | 482.95    | 251.25    | 0.95    | 3.06    | 4.05    |
| Prueba 4                  | 2011.50      | 1005.65   | 510.25    | 252.80    | 0.01    | 1.48    | 0.91    |
| Prueba 5                  | 2011.05      | 1017.80   | 493.30    | 251.30    | 1.22    | 3.07    | 1.89    |
| Prueba 6                  | 2010.70      | 966.65    | 480.45    | 240.85    | 3.85    | 0.59    | 0.26    |
| Prueba 7                  | 2010.55      | 1018.00   | 512.10    | 263.15    | 1.27    | 0.61    | 2.77    |
| Prueba 8                  | 2010.30      | 1029.05   | 531.35    | 261.30    | 2.38    | 3.27    | 1.65    |
|                           |              |           |           |           | 2.08    | 1.86    | 2.04    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14  
Errores del cuarteo manual 6

| Del granulométrico 6 grueso |              |           |           |           |         |         |         |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                    | 2037.50      | 1026.95   | 548.35    | 266.08    | 0.80    | 6.79    | 2.95    |
| Prueba 2                    | 2037.09      | 1040.47   | 547.35    | 282.55    | 2.15    | 5.21    | 3.24    |
| Prueba 3                    | 2036.65      | 1012.75   | 531.15    | 269.65    | 0.55    | 4.89    | 1.53    |
| Prueba 4                    | 2036.35      | 1038.05   | 526.50    | 248.30    | 1.95    | 1.44    | 5.68    |
| Prueba 5                    | 2034.80      | 1039.05   | 523.80    | 276.30    | 2.13    | 0.82    | 5.50    |
| Prueba 6                    | 2033.50      | 1056.15   | 512.95    | 270.15    | 3.88    | 2.86    | 5.33    |
| Prueba 7                    | 2033.45      | 1055.75   | 512.90    | 268.56    | 3.84    | 2.84    | 4.72    |
| Prueba 8                    | 2033.09      | 1051.67   | 536.29    | 259.95    | 3.46    | 1.99    | 3.06    |
|                             |              |           |           |           | 2.34    | 3.36    | 4.00    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15  
Errores del cuarteo manual 7

| Del granulométrico 7 grueso |              |           |           |           |         |         |         |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                    | 2072.50      | 1063.20   | 542.75    | 278.20    | 2.60    | 2.10    | 2.51    |
| Prueba 2                    | 2072.30      | 973.10    | 482.50    | 250.95    | 6.09    | 0.83    | 4.02    |
| Prueba 3                    | 2071.90      | 1049.20   | 553.40    | 294.60    | 1.28    | 5.49    | 6.47    |
| Prueba 4                    | 2071.65      | 1107.40   | 586.55    | 302.05    | 6.91    | 5.93    | 2.99    |
| Prueba 5                    | 2071.20      | 1004.20   | 516.30    | 270.85    | 3.03    | 2.83    | 4.92    |
| Prueba 6                    | 2071.15      | 1084.10   | 572.60    | 296.45    | 4.69    | 5.64    | 3.55    |
| Prueba 7                    | 2070.08      | 1075.45   | 544.35    | 286.45    | 3.90    | 1.23    | 5.24    |
| Prueba 8                    | 2069.60      | 1067.95   | 537.15    | 285.95    | 3.20    | 0.59    | 6.47    |
|                             |              |           |           |           | 3.96    | 3.08    | 4.52    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16  
Errores del cuarteo manual 8

| Del granulométrico 8 grueso |              |           |           |           |         |         |         |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1 | Error 2 | Error 3 |
| Prueba 1                    | 2004.10      | 1002.90   | 502.80    | 275.95    | 0.08    | 0.27    | 9.77    |
| Prueba 2                    | 2003.90      | 1041.40   | 531.70    | 274.20    | 3.94    | 2.11    | 3.14    |
| Prueba 3                    | 2003.40      | 1075.30   | 543.55    | 276.05    | 7.35    | 1.10    | 1.57    |
| Prueba 4                    | 2003.25      | 1037.40   | 546.38    | 284.04    | 3.57    | 5.34    | 3.97    |
| Prueba 5                    | 2003.03      | 1027.95   | 526.20    | 268.70    | 2.64    | 2.38    | 2.13    |
| Prueba 6                    | 2002.43      | 1057.85   | 553.72    | 297.69    | 5.66    | 4.69    | 7.52    |
| Prueba 7                    | 2002.70      | 1041.18   | 529.84    | 298.14    | 3.98    | 1.78    | 12.54   |
| Prueba 8                    | 2002.50      | 1025.15   | 518.56    | 275.15    | 2.39    | 1.17    | 6.12    |
|                             |              |           |           |           | 3.70    | 2.35    | 5.85    |

Fuente: Elaboración propia.

## B. Errores del cuarteo Jones

Tabla 17

Errores del cuarteo con el splitter Jones 1

| Cuarteo 1 de mineral fino |              |           |           |           |             |             |             |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>           | 2024.70      | 1017.10   | 495.00    | 248.50    | 0.47        | 2.66        | 0.40        |
| <b>Prueba 2</b>           | 2024.60      | 1008.20   | 537.20    | 281.80    | 0.41        | 6.57        | 4.91        |
| <b>Prueba 3</b>           | 2024.60      | 983.30    | 498.50    | 243.20    | 2.86        | 1.39        | 2.43        |
| <b>Prueba 4</b>           | 2024.50      | 1039.30   | 502.30    | 249.70    | 2.67        | 3.34        | 0.58        |
| <b>Prueba 5</b>           | 2024.50      | 1055.80   | 516.55    | 271.55    | 4.30        | 2.15        | 5.14        |
| <b>Prueba 6</b>           | 2024.00      | 1012.50   | 550.10    | 254.45    | 0.05        | 8.66        | 7.49        |
| <b>Prueba 7</b>           | 2023.50      | 1004.40   | 516.40    | 261.80    | 0.73        | 2.83        | 1.39        |
| <b>Prueba 8</b>           | 2023.00      | 1002.60   | 520.90    | 259.30    | 0.88        | 3.91        | 0.44        |
|                           |              |           |           |           | <b>1.55</b> | <b>3.94</b> | <b>2.85</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Errores del cuarteo con el splitter Jones 2

| Cuarteo 2 de mineral grueso |              |           |           |           |             |             |             |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>             | 2053.95      | 1074.40   | 523.65    | 268.90    | 4.62        | 2.52        | 2.70        |
| <b>Prueba 2</b>             | 2053.00      | 1052.45   | 527.00    | 240.20    | 2.53        | 0.15        | 8.84        |
| <b>Prueba 3</b>             | 2052.60      | 1051.20   | 527.00    | 257.90    | 2.43        | 0.27        | 2.13        |
| <b>Prueba 4</b>             | 2053.40      | 1021.60   | 491.70    | 250.70    | 0.50        | 3.74        | 1.97        |
| <b>Prueba 5</b>             | 2053.60      | 1018.20   | 522.90    | 261.60    | 0.84        | 2.71        | 0.06        |
| <b>Prueba 6</b>             | 2052.00      | 1084.02   | 500.00    | 240.40    | 5.65        | 7.75        | 3.84        |
| <b>Prueba 7</b>             | 2051.80      | 973.10    | 488.60    | 250.60    | 5.15        | 0.42        | 2.58        |
| <b>Prueba 8</b>             | 2056.60      | 1026.70   | 492.90    | 226.90    | 0.16        | 3.98        | 7.93        |
|                             |              |           |           |           | <b>2.73</b> | <b>2.69</b> | <b>3.76</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Errores del cuarteo con el splitter Jones 3

| Cuarteo 3 de mineral fino |              |           |           |           |             |             |             |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>           | 1997.60      | 1018.10   | 500.60    | 262.80    | 1.93        | 1.66        | 4.99        |
| <b>Prueba 2</b>           | 1997.55      | 982.85    | 477.00    | 243.65    | 1.59        | 2.94        | 2.16        |
| <b>Prueba 3</b>           | 1997.55      | 986.55    | 468.55    | 255.85    | 1.22        | 5.01        | 9.21        |
| <b>Prueba 4</b>           | 1997.50      | 998.55    | 490.15    | 279.50    | 0.02        | 1.83        | 14.05       |
| <b>Prueba 5</b>           | 1997.20      | 1000.60   | 490.00    | 250.90    | 0.20        | 2.06        | 2.41        |
| <b>Prueba 6</b>           | 1996.90      | 1002.50   | 508.00    | 249.00    | 0.41        | 1.35        | 1.97        |
| <b>Prueba 7</b>           | 1995.75      | 980.75    | 494.80    | 243.30    | 1.72        | 0.90        | 1.66        |
| <b>Prueba 8</b>           | 1995.55      | 977.20    | 492.20    | 246.40    | 2.06        | 0.74        | 0.12        |
|                           |              |           |           |           | <b>1.14</b> | <b>2.06</b> | <b>4.57</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Errores del cuarteo con el splitter Jones 4

| Cuarteo 4 de mineral grueso |                |           |           |           |             |             |             |
|-----------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Masa inicial   | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>             | <b>2002.90</b> | 987.50    | 486.85    | 261.80    | 1.39        | 1.40        | 7.55        |
| <b>Prueba 2</b>             | <b>2002.60</b> | 1005.00   | 478.20    | 237.70    | 0.37        | 4.84        | 0.59        |
| <b>Prueba 3</b>             | <b>2001.90</b> | 1034.00   | 524.00    | 251.30    | 3.30        | 1.35        | 4.08        |
| <b>Prueba 4</b>             | <b>2001.65</b> | 1004.80   | 503.25    | 264.50    | 0.40        | 0.17        | 5.12        |
| <b>Prueba 5</b>             | <b>2001.40</b> | 1005.05   | 497.50    | 244.70    | 0.43        | 1.00        | 1.63        |
| <b>Prueba 6</b>             | <b>2001.10</b> | 1037.70   | 503.85    | 248.05    | 3.71        | 2.89        | 1.54        |
| <b>Prueba 7</b>             | <b>2000.70</b> | 1020.70   | 553.85    | 284.20    | 2.03        | 8.52        | 2.63        |
| <b>Prueba 8</b>             | <b>2000.35</b> | 1001.90   | 487.80    | 254.85    | 0.17        | 2.63        | 4.49        |
|                             |                |           |           |           | <b>1.48</b> | <b>2.85</b> | <b>3.45</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21  
Errores del cuarteo con el splitter Jones 5

| Cuarteo 5 de mineral fino |              |           |           |           |             |             |             |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>           | 2004.15      | 1021.10   | 508.60    | 239.20    | 1.90        | 0.38        | 5.94        |
| <b>Prueba 2</b>           | 2003.80      | 989.25    | 504.70    | 266.00    | 1.26        | 2.04        | 5.41        |
| <b>Prueba 3</b>           | 2003.45      | 992.80    | 495.90    | 253.10    | 0.89        | 0.10        | 2.08        |
| <b>Prueba 4</b>           | 2003.45      | 998.85    | 493.80    | 257.30    | 0.29        | 1.13        | 4.21        |
| <b>Prueba 5</b>           | 2003.10      | 1028.00   | 501.75    | 268.50    | 2.64        | 2.38        | 7.03        |
| <b>Prueba 6</b>           | 2002.65      | 1038.60   | 550.85    | 272.70    | 3.72        | 6.08        | 0.99        |
| <b>Prueba 7</b>           | 2002.25      | 1053.80   | 519.10    | 290.30    | 5.26        | 1.48        | 11.85       |
| <b>Prueba 8</b>           | 2001.85      | 1038.10   | 520.70    | 283.15    | 3.71        | 0.32        | 8.76        |
|                           |              |           |           |           | <b>2.46</b> | <b>1.74</b> | <b>5.78</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22  
Errores del cuarteo con el splitter Jones 6

| Cuarteo 6 de mineral grueso |              |           |           |           |             |             |             |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>             | 2007.00      | 979.90    | 501.45    | 248.65    | 2.35        | 2.35        | 0.83        |
| <b>Prueba 2</b>             | 2006.65      | 1074.35   | 542.60    | 262.85    | 7.08        | 1.01        | 3.11        |
| <b>Prueba 3</b>             | 2006.55      | 1103.70   | 488.25    | 257.45    | 10.01       | 11.52       | 5.46        |
| <b>Prueba 4</b>             | 2006.35      | 1006.85   | 484.65    | 253.45    | 0.37        | 3.73        | 4.59        |
| <b>Prueba 5</b>             | 2006.20      | 1027.45   | 542.65    | 283.45    | 2.43        | 5.63        | 4.47        |
| <b>Prueba 6</b>             | 2006.10      | 1031.35   | 470.05    | 235.95    | 2.82        | 8.85        | 0.39        |
| <b>Prueba 7</b>             | 2006.05      | 1012.65   | 492.75    | 268.65    | 0.96        | 2.68        | 9.04        |
| <b>Prueba 8</b>             | 2006.00      | 1058.25   | 535.05    | 265.85    | 5.51        | 1.12        | 0.63        |
|                             |              |           |           |           | <b>3.94</b> | <b>4.61</b> | <b>3.57</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23  
Errores del cuarteo con el splitter Jones 7

| Cuarteo 7 de mineral fino |              |           |           |           |             |             |             |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                           | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>           | 2007.50      | 1022.00   | 510.85    | 260.95    | 1.82        | 0.03        | 2.16        |
| <b>Prueba 2</b>           | 2007.35      | 1047.70   | 526.90    | 260.50    | 4.39        | 0.58        | 1.12        |
| <b>Prueba 3</b>           | 2007.25      | 1042.00   | 541.80    | 277.10    | 3.82        | 3.99        | 2.29        |
| <b>Prueba 4</b>           | 2007.15      | 1050.90   | 519.70    | 264.95    | 4.72        | 1.09        | 1.96        |
| <b>Prueba 5</b>           | 2007.00      | 1025.15   | 528.80    | 276.10    | 2.16        | 3.17        | 4.43        |
| <b>Prueba 6</b>           | 2006.85      | 1018.50   | 513.60    | 268.40    | 1.50        | 0.85        | 4.52        |
| <b>Prueba 7</b>           | 2006.75      | 994.70    | 490.10    | 243.50    | 0.86        | 1.46        | 0.63        |
| <b>Prueba 8</b>           | 2006.55      | 1028.40   | 509.20    | 248.00    | 2.50        | 0.97        | 2.59        |
|                           |              |           |           |           | <b>2.72</b> | <b>1.52</b> | <b>2.46</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24  
Errores del cuarteo con el splitter Jones 8

| Cuarteo 8 de mineral grueso |              |           |           |           |             |             |             |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Masa inicial | Cuarteo 1 | Cuarteo 2 | Cuarteo 3 | Error 1     | Error 2     | Error 3     |
| <b>Prueba 1</b>             | 2002.00      | 1076.75   | 544.70    | 290.20    | 7.57        | 1.17        | 6.55        |
| <b>Prueba 2</b>             | 1999.45      | 989.45    | 502.70    | 259.55    | 1.03        | 1.61        | 3.26        |
| <b>Prueba 3</b>             | 1999.10      | 1028.20   | 521.75    | 257.85    | 2.87        | 1.49        | 1.16        |
| <b>Prueba 4</b>             | 1998.75      | 1043.65   | 508.60    | 261.80    | 4.43        | 2.53        | 2.95        |
| <b>Prueba 5</b>             | 1998.10      | 1071.25   | 551.75    | 280.25    | 7.23        | 3.01        | 1.59        |
| <b>Prueba 6</b>             | 1997.86      | 1063.35   | 530.50    | 274.05    | 6.45        | 0.22        | 3.32        |
| <b>Prueba 7</b>             | 1997.85      | 1069.45   | 546.40    | 268.45    | 7.06        | 2.18        | 1.74        |
| <b>Prueba 8</b>             | 1997.83      | 1020.87   | 523.84    | 275.20    | 2.20        | 2.63        | 5.07        |
|                             |              |           |           |           | <b>4.85</b> | <b>1.86</b> | <b>3.20</b> |

Fuente: Elaboración propia.

## C. Para la prueba de damero

Tabla 25  
Errores del cuarteo por damero 1

| Prueba 1  |         |        |             |
|-----------|---------|--------|-------------|
| Cuarteo 1 |         | Error  |             |
| Masa      | 920.59  |        |             |
| Agua      | 110     | 504.65 | 2.065806965 |
| % de agua | 10.67 % |        |             |
| Cuarteo 2 |         | Error  |             |
| Agua      | 130     | 248    | 3.370348724 |
| % de agua | 12.37 % |        |             |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26  
Errores del cuarteo por damero 2

| Prueba 2  |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 960.65 |        |            |
| Agua      | 70     | 481.48 | 6.5677     |
| % de agua | 6.79 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 80 g   | 235.91 | 3.93370526 |
| % de agua | 6.73 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27  
Errores del cuarteo por damero 3

| Prueba 3  |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 920.18 |        |            |
| Agua      | 90     | 530.57 | 5.04464551 |
| % de agua | 8.91 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 90 g   | 261.3  | 2.95985442 |
| % de agua | 8.91 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28  
Errores del cuarteo por damero 4

| Prueba 4  |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 923.14 |        |            |
| Agua      | 90     | 475.74 | 6.08602957 |
| % de agua | 8.88 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 90 g   | 225.4  | 9.96245107 |
| % de agua | 8.88 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29  
Errores del cuarteo por damero 5

| Prueba 5  |         |        |             |
|-----------|---------|--------|-------------|
| Cuarteo 1 |         | Error  |             |
| Masa      | 920.35  |        |             |
| Agua      | 100     | 495.31 | 2.913706081 |
| % de agua | 9.80 %  |        |             |
| Cuarteo 2 |         | Error  |             |
| Agua      | 110     | 224.6  | 17.03298733 |
| % de agua | 10.68 % |        |             |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30  
Errores del cuarteo por damero 6

| Prueba 6  |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 920.38 |        |            |
| Agua      | 80     | 518.86 | 3.73258162 |
| % de agua | 7.99 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 100    | 271.18 | 9.4880491  |
| % de agua | 9.80 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31  
Errores del cuarteo por damero 7

| Prueba 7  |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 920.31 |        |            |
| Agua      | 100    | 506.42 | 0.73213043 |
| % de agua | 9.80 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 100    | 258.3  | 4.10285346 |
| % de agua | 9.80 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32  
Errores del cuarteo por damero 8

| Prueba 8  |         |        |            |
|-----------|---------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |         | Error  |            |
| Masa      | 920.55  |        |            |
| Agua      | 110     | 517.55 | 0.44151181 |
| % de agua | 10.67 % |        |            |
| Cuarteo 2 |         | Error  |            |
| Agua      | 130     | 274.1  | 12.5898542 |
| % de agua | 12.37 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33  
Errores del cuarteo por damero 9

| Prueba 9  |         |        |             |
|-----------|---------|--------|-------------|
| Cuarteo 1 |         | Error  |             |
| Masa      | 920.35  |        |             |
| Agua      | 100     | 495.31 | 2.913706081 |
| % de agua | 9.80 %  |        |             |
| Cuarteo 2 |         | Error  |             |
| Agua      | 110     | 224.6  | 17.03298733 |
| % de agua | 10.68 % |        |             |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34  
Errores del cuarteo por damero 10

| Prueba 10 |        |        |            |
|-----------|--------|--------|------------|
| Cuarteo 1 |        | Error  |            |
| Masa      | 920.11 |        |            |
| Agua      | 90     | 487.21 | 3.53327855 |
| % de agua | 8.91 % |        |            |
| Cuarteo 2 |        | Error  |            |
| Agua      | 90     | 248.3  | 3.93035034 |
| % de agua | 8.91 % |        |            |

Fuente: Elaboración propia.

En la realización de la técnica de muestreo manual, se empleó el coneo y cuarteo manual. Los resultados de las pruebas de muestreo manual arrojaron un error de muestreo de 6.75 % en promedio en todas pruebas como error general.

En las pruebas de cuarteo manual se observó que el error se elevaba, cuanto menor era la masa a cuartear, mayor era este error.

En las pruebas de cuarteo manual, cuanto más fino era el mineral, menor era el error de cuarteo.

Lo anteriormente indicado se replicaba también en las pruebas en equipo Jones, es decir, el error era mayor al cuartear una determinada más manteniendo la granulometría del mismo.

Realizando la discriminación de muestra fuera de rango utilizando el *software* Minitab, se determinó que error del cuarteo con el splitter Jones fue de 4.87 %. Si se discriminan las pruebas en las cuales se determina que al alimentar al costado existe un mayor que en la alimentación central en el equipo Jones, entonces el error se reduce a 4.22 %.

El error en la prueba de damero es mucho más bajo que en las anteriores pruebas, fue de 1.53 % en promedio de todas las pruebas, esto se debe principalmente porque la granulometría es fina, así como también las masas de donde se deben extraer las respectivas muestras fueron pequeñas.

En las pruebas exploratorias realizadas a mineral fino con características de concentrados el error se redujo hasta el 1.17 % comparado con las pruebas más gruesas, lo cual hace suponer que es la mejor técnica para muestras húmeda finas, así porque es la más utilizada en las operaciones metalúrgicas y laboratorios químicos.

## CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la técnica de cuarteo manual presenta el mayor error de todas las técnicas muestrales, lo cual se alinea con investigaciones anteriores.

El equipo Jones presenta menor error al realizar la experiencia comparada con el muestreo manual.

Cuanto más fino es el mineral, el error también se minimiza por cada muestreo ejecutado, lo cual corrobora el planteamiento del TOS de Gy.

Es fundamental realizar más investigaciones al respecto para poder minimizar el error muestral en el proceso de reducción, muy aparte del error determinado por TOS según la base de Gy.

## REFERENCIAS

- [1] Evans, C., y Napier-Munn, T. (2013). Estimating error in measurements of mineral grain size distribution. *Minerals Engineering*, 52, 198-203.
- [2] Esbensen, K., y Wagner, C. (2014). Theory of sampling (TOS) versus measurement uncertainty (MU)—A call for integration. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 57, 93-106.
- [3] Dominy, S., O'Connor, L., y Purevgerel, S. (2019). Importance of representative metallurgical sampling and testwork programmes to reduce project risk—a gold case study. *Mining Technology*.
- [4] Pitard, F. (2019). *Theory of sampling and sampling practice*. Chapman and Hall/CRC.

## ACERCA DEL AUTOR

### Luis Huere Anaya

Ingeniero metalurgista de la Universidad Nacional de Ingeniería, con maestrías en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Docencia Universitaria por la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, candidato a doctor en Ciencias de la Educación.

Trabajó en diversas unidades mineras polimetálicas Pb-Cu-Zn-Ag preconcentración de minerales, flotación *bulk* y separación diferencial con controles en sala de control y sistemas automatizados. Asimismo, en plantas hidrometalúrgicas de procesamiento de oro y plata, PADs

de lixiviación, flotación de pirita aurífera, tecnologías de carbón activado CIL, CIP y CIC, precipitación por los procesos Merrill Crowe y electrodeposición.

Docente principal de Procesamiento de Minerales e Hidrometalurgia en Tecsup, consultor de procesos en plantas de procesamiento de minerales, docente de programas de extensión universitaria y capacitación continua.

 lhuere@tecsup.edu.pe

Recibido: 17-08-22  
Revisado: 02-09-22  
Aceptado: 08-11-22



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.