



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Determinación de la velocidad específica de fractura para
sílice en molino SAG”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE
INGENIERA EN MINAS**

Autora:

VIVIANA CAROLINA VERA LUZURIAGA

Director:

ING. FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA - ECUADOR

2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
Marco teórico	3
1.1 Molienda en minería	3
1.1.1. Clasificación de la molienda	4
1.1.2. Tipos de molienda	4
1.2. Molienda SAG	6
1.2.1. Características generales de la molienda SAG.....	7
1.2.2. Características del molino SAG a escala de laboratorio	8
1.2.3. Parámetros operacionales de los molinos SAG.....	9
1.3. Mecánica de fractura de partículas minerales.....	15
1.4. Fracturas.....	16
1.4.1. Tipos de fractura.....	16
1.4.2. Aplicaciones cualitativas de la teoría de fractura: energía de molienda.	16
16	
1.5. Velocidad Específica de Fractura.	18
1.6. Granulometría.	19
1.6.1. Clasificación Granulométricos.	19
1.6.2. Tamizado.	19
1.6.3. Análisis Granulométrico.....	20
1.7. Minerales Silíceos.....	23
CAPÍTULO 2	25
Experimentación	25
2.1. Georreferenciación.....	25

2.2.	Geología.....	26
2.3.	Caracterización de las muestras.....	26
2.4.	Diseño de experimentos para la molienda SAG.....	27
2.4.1.	Preparación de las muestras.....	27
2.4.2.	Dosificación de muestras.....	27
2.4.3.	Respuesta reológica del material.....	28
2.4.4.	Realización de ensayos.....	28
2.4.5.	Clasificación de muestras efecto de los ensayos.....	29
2.5.	Ejecución experimental de la molienda.....	30
2.5.1.	Cronograma de actividades.....	30
2.5.2.	Recopilación de información.....	31
CAPÍTULO 3.....		34
Análisis y Resultados.....		34
3.1.	Resultados.....	34
3.2.	Análisis de Resultados.....	36
3.2.1.	Mono-tamaño 9525 μm	37
CONCLUSIONES.....		40
RECOMENDACIONES.....		42
BIBLIOGRAFÍA.....		43
ANEXOS.....		46
Anexo 1:	Curvas granulométricas y Distribución de Shumman.....	46
Anexo 2:	Cálculo de la Velocidad Específica de Fractura.....	71
Anexo 3:	Imágenes de la realización de ensayos.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Molino de bolas tradicional.	3
Figura 1.2. Esquema general de un molino tipo SAG.	6
Figura 1.3. Molino SAG usado para la experimentación.....	9
Figura 1.4. Características del movimiento de carga en molinos rotatorios.	10
Figura 1.5. Efecto de la velocidad y el ángulo de ataque del levantador sobre las trayectorias de caída de la cara interna de un molino rotatorios.	10
Figura 1.6. Influencia de la carga sobre la molienda.	12
Figura 1.7. Desarrollo de un árbol de grietas durante la propagación de la fractura, observado por fotografía de alta velocidad.	17
Figura 1.8. Gráfica para cálculo de velocidad específica de fractura.	18
Figura 1.9. Serie de tamices.	20
Figura 1.10. Ejemplo de una Curva granulométrica.	21
Figura 1.11. Ejemplo de un diagrama Gates-Gaudin-Schuhmann.....	23
Figura 1.12. Clasificación Minerales Silíceos.	24
Figura 2.1. Mapa de Ubicación.	25
Figura 2.2. Ubicación Geológica.	26
Figura 2.3. Respuesta reológica de material silíceo.....	28
Figura 2.4. Muestreador metálico del molino SAG.....	33
Figura 3.1. Grafica Resultados Velocidad Específica de Fractura para todos los mono-tamaños.	35
Figura 3.2. Grafica Resultados Velocidad Específica de Fractura.....	37
Figura 3.3. Velocidad Específica de Fractura vs Reología del material para Mono-tamaño = 9525 μm	39
Figura 3.4. Velocidad Específica de Fractura vs Reología del material para Mono-tamaño = 2380 μm	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de Molienda.	4
Tabla 1.2. Tamaño de Tamices.	20
Tabla 2.1. Georreferenciación.	25
Tabla 2.2. Características de la muestra.	26
Tabla 2.3. Distribución de muestras para cada ensayo.	27
Tabla 2.4. Clasificación de muestras.	29
Tabla 2.5. Cronograma de actividades.	30
Tabla 2.6. Ensayo 1 (seco).	31
Tabla 2.7. Ensayo 2 (HSF).	31
Tabla 2.8. Ensayo 3 (HCF 20%).	32
Tabla 2.9. Ensayo 4 (HCF 40%).	32
Tabla 2.10. Ensayo 5 (HCF 50%).	33
Tabla 3.1. Tabla de Resultados de la Velocidad Específica de Fractura.	35
Tabla 3.2. Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 9525 μm	37
Tabla 3.3. Tabla comparativa de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 9525 μm	37
Tabla 3.4. Valores para el ajuste lineal de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 9525 μm	37
Tabla 3.5. Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 2380 μm	38
Tabla 3.6. Tabla comparativa de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 2380 μm	38
Tabla 3.7. Valores para el ajuste lineal de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 2380 μm	38

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, quienes supieron guiarme durante este largo camino, ayudándome incondicionalmente mediante su apoyo, comprensión y amor.

A mi hermano que a pesar de la distancia me brindo su motivación y apoyo para culminar mis estudios y a toda mi familia que han sido un pilar fundamental en el desarrollo de mi vida.

A mis mejores amigos Santiago, Martí, a mis primos y amigos quienes me ayudaron durante mi proceso académico, siempre estaré agradecida por su amor y confianza durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de la manera más comedida a mis padres: Francisco Vera y María Luzuriaga, de igual manera, a mi hermano Juan Francisco por el cariño y apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida personal y profesional.

A toda mi familia por brindarme apoyo, comprensión y que han sido un pilar fundamental para convertirme en el ser humano que soy hoy en día.

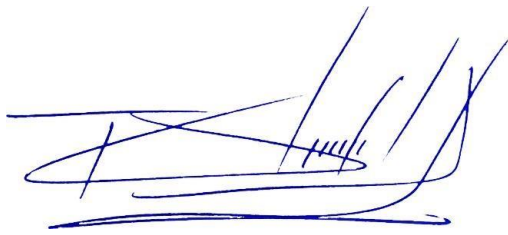
A mi tutor Ing. Fernando Valencia y demás docentes que fueron quienes transmitieron con mucho empeño y dedicación cada uno de sus conocimientos. Por inculcarme la pasión hacia mi carrera y motivar de manera directa la culminación de este proyecto.

**“DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA DE FRACTURA
PARA SÍLICE EN MOLINO SAG”**

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como finalidad, la experimentación y el análisis del comportamiento de la velocidad específica de fractura de una mena silíceas en un molino SAG a escala de laboratorio. Para la elaboración del estudio se diseñó un programa experimental que consideró la realización de cinco ensayos, dentro de los cuales se utilizó un alimento con un tamaño de ½ pulgada, posteriormente se fue variando las condiciones iniciales de humedad y la presencia de finos, dando como resultado la obtención de 25 muestras en diferentes intervalos de tiempo. La cantidad de finos presentes durante los ensayos, fueron variando desde una muestra seca sin finos, una pulpa húmeda sin finos hasta unas pulpas húmedas con 20%, 40% y 50% de finos; siendo el tiempo y la cantidad de humedad constantes. Los resultados muestran que la velocidad específica de fractura disminuye en función de la presencia de finos en el alimento.

Palabras Clave: Velocidad específica de fractura, mena silíceas, molino SAG, humedad, pulpa.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director del Trabajo de Titulación



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Viviana Carolina Vera Luzuriaga

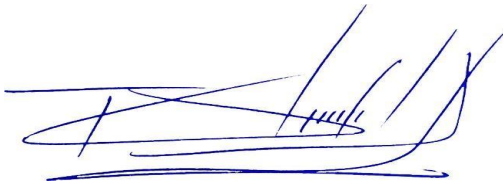
Autora

**"DETERMINATION OF SPECIFIC FRACTURE RATE FOR
SILICA IN SAG MILL"**

ABSTRACT

The purpose of this project was the experimentation and analysis of the behavior of the specific fracture rate of a siliceous ore in a laboratory scale SAG mill. For the elaboration of the study, an experimental program was designed that considered the realization of five tests, within which a feed with a size of ½ inch was used, subsequently the initial conditions of humidity and the presence of fines were varied, resulting in obtaining 25 samples in different time intervals. The amount of fines present during the tests varied from a dry sample with no fines, a wet pulp with no fines, to wet pulps with 20%, 40% and 50% fines, with the time and amount of moisture being constant. The results showed that the specific fracture rate decreases as a function of the presence of fines in the feed.

Keywords: Specific fracture rate, siliceous ore, SAG mill, moisture, pulp.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Thesis Director



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

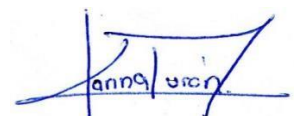
School Coordinator

Translated by



Viviana Carolina Vera Luzuriaga

Author



Vera Luzuriaga Viviana Carolina.

Trabajo de Titulación.

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela.

Octubre, 2021.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA DE FRACTURA PARA SÍLICE EN MOLINO SAG

INTRODUCCIÓN

La molienda es el último escalón de la fragmentación mineral, después de la trituración. Se caracteriza por la conminución del mineral de centímetros a milímetros o incluso a micras. Es necesario que, durante este proceso exista un control eficiente del tamaño de partícula, porcentaje de humedad, tiempo de molienda, velocidad crítica, volumen de la carga, tamaño máximo de los elementos moledores y la potencia del molino, los mismos permitirán que el producto final de la molienda presente condiciones óptimas para beneficiar los procesos subsiguientes tales como: homogenización de la muestra, clasificación, concentración (gravimétrica, flotación, magnética), transformación mineral (hidrometalurgia, pirometalurgia, entre otras). Uno de los parámetros más importantes dentro de este proceso es la velocidad específica de fracturación de las partículas minerales al interior de la cámara de molienda, ya que, al poder tener un mejor control de la misma, se puede conocer con qué tiempo y porcentaje de humedad se puede obtener un tamaño de partícula ideal que beneficie de manera técnica y económica el tratamiento del material silicio tratado durante esta investigación.

La nueva era minera presente en nuestro país, ha visto favorable emplear la molienda SAG, ya que esta trae beneficios tales como: obtener condiciones mecánicas y de granulometría en el material adecuadas para procesos posteriores de conminución y tratamiento, así como la disminución global en el gasto energético y por ende los costos de este proceso.

A lo largo de la historia minera dentro de nuestro país se ha notado que la mayoría de los procesos de fragmentación mineral se ha focalizado en la utilización de molinos chilenos y de bolas, mismos que se han mantenido en un escalonamiento de producción entre mediana y pequeña minería. En los últimos años en el mundo se han visto avances impresionantes dentro de la utilización de nuevas tecnologías como los molinos semiautógenos, que han tenido una importante participación dentro de la implementación de las nuevas y sofisticadas plantas de beneficio que existen en la actualidad.

Uno de los problemas que se han venido manejando dentro del proceso de molienda a lo largo de los años ha sido un ineficiente control de parámetros fundamentales que optimicen este proceso, tales como, la sobremolienda que genera dos problemáticas principales. Primero el excesivo gasto y elevados costos de energía, y segundo que en vez de beneficiar los procesos subsiguientes (post molienda) los complica al no poder obtener un adecuado tamaño de partículas, lo que da como resultado un gasto económico para la empresa.

En el presente trabajo se experimentó la eficiencia de molienda semiautógena (SAG) en una mena silíceas. Considerando que existen varios parámetros operacionales que deben ser predeterminados tales como: granulometría, cantidad de humedad presente en el alimento, tiempo, distribución del tamaño de bolas, entre otros. Los cuales inciden de manera directa en la eficiencia de la molienda. Se utilizó exclusivamente el tiempo y porcentaje de humedad como variables operacionales para el presente trabajo, permitiendo determinar la velocidad específica de fractura, misma que fue expresada mediante un modelo de distribución de tamaño de partículas DTP, para su posterior utilización (Gaudin–Schuhmann).

Para el desarrollo experimental se procedió a utilizar un molino SAG a escala de laboratorio, mediante la realización de ensayos con diferentes tiempos y porcentajes de humedad presentes en el alimento, se obtuvieron y analizaron aquellos parámetros que permitieron determinar una velocidad específica de fractura, dando como resultado un tamaño de partícula óptimo que mejorará y optimizará los procesos subsiguientes de molienda.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Molienda en minería

La molienda es el último escalón de la fragmentación industrial, y se caracteriza por el tamaño de salida de los productos que pueden tener tamaños de milímetros, incluso de micrones (Blanco, 2019). “La reducción de tamaño por trituración y molienda es una operación importante en las industrias minera- metalúrgica, de energía y química (Austin & Cocha, 1994).

Según (Blanco, 2019) afirma que la molienda se realiza mediante equipos denominados molinos y estos pueden trabajar en seco o en húmedo. La diferencia entre ambos medios se suele caracterizar por una humedad en torno al 8% (este valor produce en los productos una cierta adherencia y marca una diferencia en el comportamiento dentro del proceso de molienda). Por debajo de este intervalo se considera humedad superficial y el trabajo de los equipos es en seco, siendo deseable que esta humedad no rebase el 3% y 4%.

El trabajo en húmedo se caracteriza por rangos de humedad elevados, del 40% al 70% de agua en volumen, lo que representa para la mayoría de los minerales unos valores de Sp (relación de sólidos en peso) entre el 55% y el 80%. (Blanco, 2019).

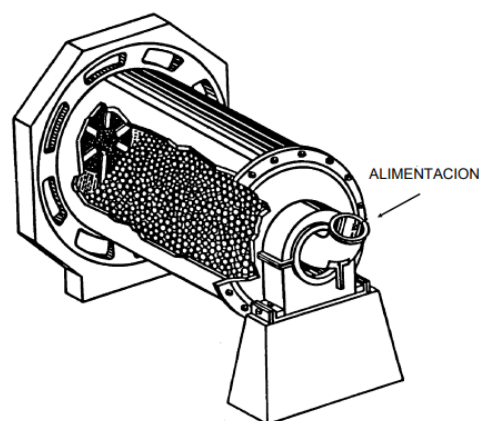


Figura 0.1. Molino de bolas tradicional.

Fuente: (Austin & Cocha, 1994).

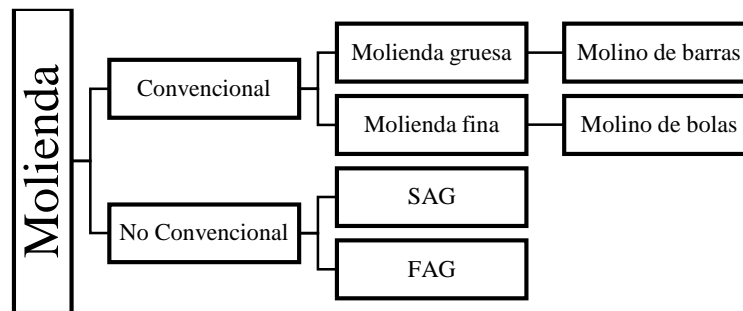
1.1.1. Clasificación de la molienda

Molienda Seca: Consiste en trabajar con materiales secos. Es habitual que la molienda sea seca para la fabricación del cemento y que sea húmeda en la preparación de minerales para concentración (Austin & Cocha, 1994).

Molienda húmeda: El material a moler es mojado en el líquido elevando su humedad, favoreciéndose así el manejo y transporte de pulpas, que podrá ser llevado a cabo, por ejemplo, con bombas en cañerías. En el proceso de molienda húmeda, posterior al proceso de fragmentación, la clasificación de partículas se llevará a cabo mediante diferentes procesos dependiendo el uso final que tenga el mismo. El líquido, además, tiene un efecto refrigerante debido a los calores generados en el interior del molino (Austin & Cocha, 1994).

1.1.2. Tipos de molienda

Tabla 0.1. Tipos de Molienda.



Fuente: Viviana Vera.

Molienda convencional

Molino de barras

El molino de barras es muy similar al molino de bolas, pero el molino de barras utiliza barras largas para la molienda, estas muelen el mineral a través del volteo dentro del molino. Para evitar que las condiciones que conducen al mal funcionamiento del molino, la relación, longitud sobre diámetro (L/D) se mantiene entre 1.4 a 1.6. El molino de barras se puede alimentar de partículas que presenten un tamaño de hasta 50 mm (2 pulgadas) y producir el producto con un tamaño comprendido entre 270 y 3000 mm (Austin & Concha, 1994).

Molino de bolas

Un molino de bolas es un tipo de molino utilizado para moler y mezclar materiales, por ejemplo, en procesos de mezclado de minerales, pinturas, pirotecnia y cerámicas. Funcionan por el principio de impacto y fricción, la reducción de medidas se obtiene por impacto al momento de caer las bolas desde la parte alta del cilindro hacia el material. El eje del cilindro puede ser tanto horizontal como tener un ángulo pequeño con respecto a la horizontal. Es parcialmente llenado con bolas, las cuales pueden ser elaboradas de acero cromado, acero inoxidable, cerámico, o goma. La superficie interior del cilindro es normalmente recubierta con un material resistente a la abrasión como el acero de manganeso o goma, aunque presentan menores desgastes los forrados en goma. La longitud del molino es aproximadamente igual a su diámetro. (Valderrama, Magne, & Pontt, 1999).

Molienda no convencional

Molienda autógena (AG)

Es aquella molienda en la cual la fragmentación se realiza por medio del propio mineral, funciona al igual que el molino semiautógeno. La desintegración y la reducción del tamaño de los minerales en los molinos (AG) se logra mediante una combinación de fuerzas de impacto, atricción y abrasión durante la rotación del molino. Las partículas que se encuentran ubicadas en la parte inferior de la carga del molino y son afectadas por las fuerzas de impacto de las partículas de mayor diámetro que caen sobre el material. Las partículas que se encuentran en la carga del molino se deslizan parcialmente a partir de diferentes alturas y dependen de un proceso combinado por desgaste, atricción y abrasión que ofrecen como consecuencia una reducción de tamaño. (Austin & Concha, 1994).

Molienda semiautógena (SAG)

La molienda semiautógena es una variación del proceso de molienda autógena; es la más frecuente en la práctica y en ella se adicionan medios molidores metálicos. El nivel volumétrico de llenado de bolas varía normalmente del 4 a 14 % con respecto al volumen interno del molino (Valderrama, Magne, & Pontt, 1999).

1.2. Molienda SAG

(Estay, 2010) se refiere a que un molino semiautógeno (SAG) es un equipo creado para disgregar material mediante fuerzas de impacto.

Son muy similares a los molinos de bolas, con la característica básica de que el elemento molturador lo constituye una mezcla de bolas y elementos del propio mineral a moler de tamaño grande o notablemente mayor que el correspondiente a un molino de bolas (Blanco, 2019).

En términos generales, la molienda que utiliza como principio de conminución solamente el impacto del mismo material aledaño, se denomina molienda autógena (AG). Sin embargo, al incorporar una porción de bolas de acero (porcentualmente menor que en un molino de bolas), se llega a la categoría de molienda semiautógena (SAG) (Estay, 2010).

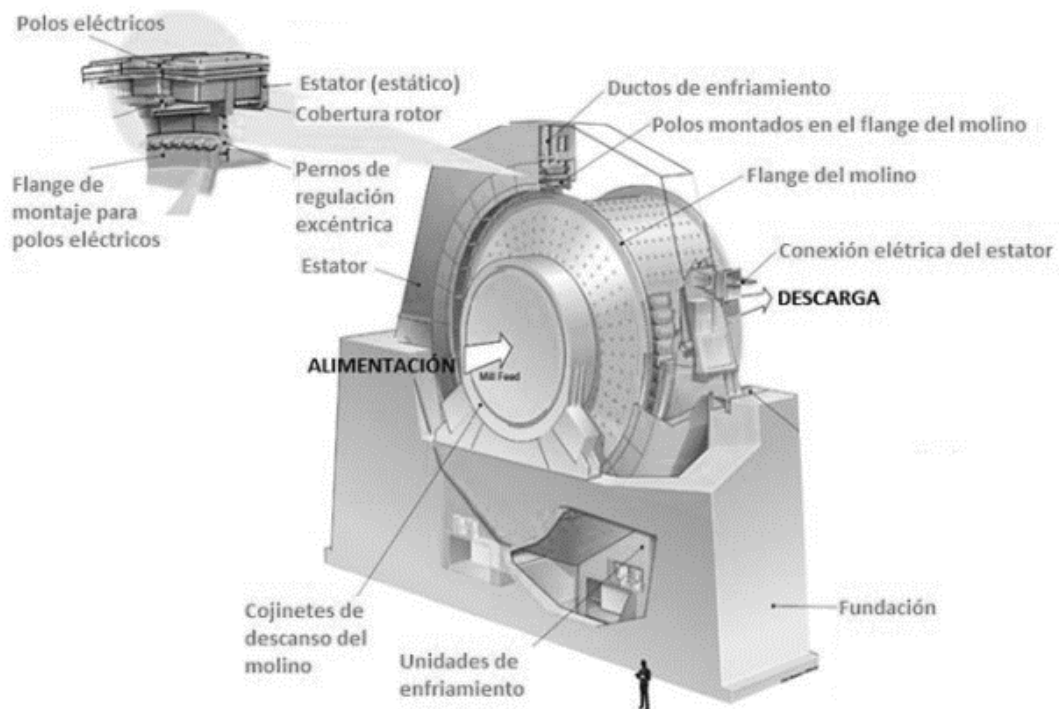


Figura 0.2. Esquema general de un molino tipo SAG.

Fuente: (Estay, 2010).

1.2.1. Características generales de la molienda SAG

La teoría del procesamiento dinámico de minerales en un molino SAG consiste en que el material es reducido por la acción del mismo mineral, el cual está presente en una gran distribución de tamaños, y además por la acción de numerosas bolas de acero de 5” de diámetro que se encuentran en su interior, llamadas medios de molienda, las que ocupan entre el 12 al 15% de la capacidad del volumen del molino (Austin & Concha, 1994).

(Austin, 1994) establece que la energía útil en el rompimiento del mineral no supera el 3% de toda la energía consumida por este tipo de molinos; por su parte, (Beke, 1964) determina que el consumo de energía en el rompimiento del mineral no sobrepasa el 0,6% de toda la energía consumida. Independientemente de los resultados obtenidos por los diferentes autores, debemos estar de acuerdo con que la energía de conminución mineral es sumamente pequeña.

Según (Austin, 1994) nos dice que el movimiento de la carga depende principalmente de la velocidad de giro del molino (fracción de la velocidad crítica), diseño de los revestimientos, el nivel de llenado total y su composición (porcentaje de agua, mineral, bolas, aditivos, distribución de tamaño entre otros).

Existen diversos estudios de los efectos de molienda, suceden principalmente por los efectos de abrasión entre partículas, que giran alrededor de su propio eje, más que por impactos dentro de la carga. Varios estudios realizados demostraron que la forma y geometría del revestimiento tiene un papel fundamental en la dinámica de carga de la molienda SAG y la distribución espacial de energía de eventos por impacto, abrasión y atrición en la cinética de la molienda (Mishra & Rajamani, 2001).

Por su parte, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, y Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Santiago de Chile USACH presentó un “Modelo simplificado dinámico de molienda semiautógena, basado en consideraciones fenomenológicas”, en dicho modelo se plantea una ecuación que sirve durante el proceso de transporte de la pulpa a través de un molino, se modela la categorización interna ajustando una ecuación que es dependiente del porcentaje de sólidos en el interior del molino, además se muestra la consistencia del modelo basados en resultados de una campaña experimental efectuada en un molino continuo de

cascada de 6"x2" (diámetro x largo). En dicho proyecto se investigó el efecto del flujo de alimentación, granulometría y porcentaje de sólidos en la alimentación y fracción de llenado de bolas sobre la respuesta metalúrgica del molino (Améstica et al., 1995).

Otros aspectos generales que han favorecido la alternativa tecnológica que representan los molinos semiautógenos, son la necesidad creciente de procesar mayores cantidades de material, por causa de las bajas leyes en la mena, además, estos molinos tienen la capacidad de procesar el material producto de un chancador primario, simplificando significativamente los requerimientos en la etapa de chancado (Magne, 1997). La reducción del tamaño del molino SAG se debe a la acción de tres tipos de fuerzas que pueden actuar simultáneamente como son: Impacto, compresión y abrasión (Barahona, 1992).

1.2.2. Características del molino SAG a escala de laboratorio

El molino SAG es un cilindro rotatorio sobre un eje longitudinal cuyo diámetro es mayor al largo, generalmente la razón D/L de este tipo de molinos tipo cascada es mayor a 1.5. En su interior el molino posee una parrilla en la zona de descarga, la cual retiene las partículas de gran tamaño y permite la evacuación de las partículas finas (Garrido, 2004).

Para la realización de los ensayos se utilizó un molino SAG a escala de laboratorio que contempla las siguientes características:

- Capacidad del molino: 62203.68 cm³
- Velocidad Crítica: 57 rpm.
- Velocidad de Rotación: 43 rpm.
- Distancia del centro de gravedad al eje del molino: 0.1273 m.
- Potencia del motor: 1.5 hp.

Información de (García & Muñoz, 2016).



Figura 0.3. Molino SAG usado para la experimentación.

Fuente: Viviana Vera.

1.2.3. Parámetros operacionales de los molinos SAG

A continuación, se describirán cada uno de los parámetros que intervienen dentro del funcionamiento de un molino SAG.

Velocidad de rotación

Tiene un efecto importante la velocidad sobre los resultados operacionales de una planta, se espera que la velocidad de rotación del molino sea considerada una variable de operación manipulable, para lograr la optimización del proceso, esperando así maximizar las capacidades de procesamiento. Sin embargo, al no existir certeza sobre el nivel de llenado de la carga total del molino, el operador limita la velocidad de operación del molino buscando proteger los revestimientos del impacto directo de los medios moledores. Por ello, es común ver que, a pesar de contar con velocidad variable, los molinos son operados a velocidad constante, utilizándose variaciones de velocidad sólo para salvar situaciones de emergencia operacional como son disminuciones o aumentos drásticos del nivel de llenado volumétrico (Magne et al., 2000).

Al caracterizar el movimiento de la carga interna de un molino, la carga en movimiento de caída libre es identificada como una caída en forma de catarata y la que cae inmediatamente sobre el riñón de carga se conoce como caída en forma de cascada.

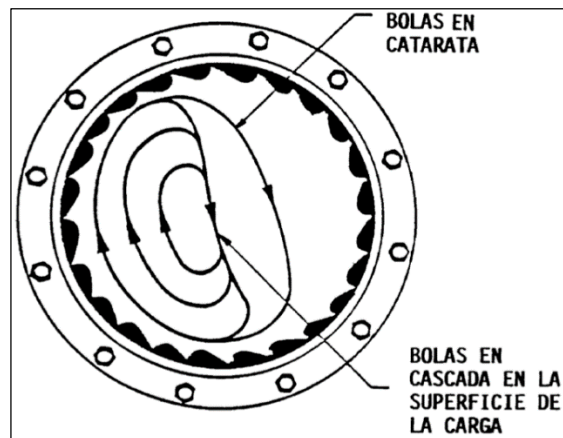


Figura 0.4. Características del movimiento de carga en molinos rotatorios.

Fuente: (Austin & Cocha, 1994).

La masa de carga al interior del molino es levantada y dejada caer, en una secuencia en la que se atribuye la importancia de la velocidad de rotación del molino. Sin embargo, el diseño del revestimiento (altura y ángulo de ataque a la carga), resultan ser tanto o más relevantes, como se observa en la figura 1.4.

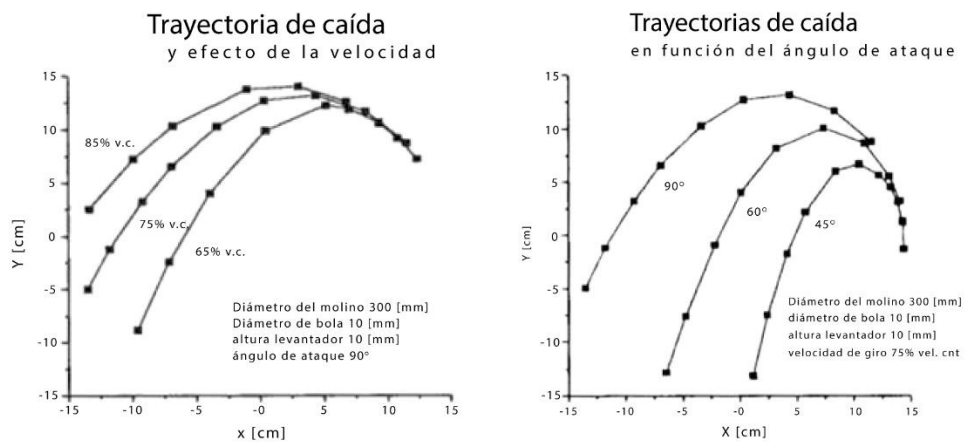


Figura 0.5. Efecto de la velocidad y el ángulo de ataque del levantador sobre las trayectorias de caída de la cara interna de un molino rotatorio.

Fuente: (Valderrama et al.1995).

La figura (1.5.a) muestra cómo aumenta la trayectoria de la capa externa de la carga interna al subir la velocidad de rotación del 65% al 85% de la velocidad crítica de rotación del molino, manteniendo fijo el perfil del levantador utilizado. También se observa, en la figura (1.5.b) cómo varían las trayectorias al tener fija la velocidad de rotación al 75% de la velocidad crítica, y se varía el ángulo de ataque del levantador de 45° a 90°. De esta forma, resulta evidente que, en las características del movimiento de la carga interna, el diseño del levantador puede superponerse al efecto de la velocidad de rotación del molino (Austin & Concha, 1994).

Para los operadores de molinos semiautógenos, resulta evidente la importancia del efecto de la velocidad de rotación sobre el consumo de potencia del molino: “Mayor velocidad, genera un mayor consumo de potencia”. Si se tiene presente la regla válida para molienda convencional: “Mayor potencia, implica una mayor eficiencia de molienda”, se tiende a pensar que en un molino semiautógeno se da que: “Mayor velocidad, mayor potencia consumida y por lo tanto mayor eficiencia de molienda”, lo que no necesariamente resulta cierto. Desde este punto de vista, la operación óptima del molino no se consigue necesariamente a la máxima velocidad de operación (máximo consumo de potencia), sino en aquella condición en que se logre un sistema balanceado de diseño del revestimiento, velocidad, nivel de llenado de bolas y nivel de llenado de carga total del molino (Austin & Concha, 1994).

En las investigaciones de (Putland, Kock & Siddall, 2011) sobre el poder de controlar la velocidad de operación del molino AG/SAG, ofrecen mejoras frente a varias adversidades. Por ejemplo, en el caso de tener un nivel de llenado restringido para el molino, si se está generando una sobremolienda por parte de este, se puede incrementar la velocidad de rotación para generar preferentemente la fractura del material más grueso. Por otra parte, la velocidad de operación del molino puede reducirse, para disminuir la fractura del material más grueso y así estabilizar la carga interna del equipo, cuando se tienen cargas circulantes demasiado altas al molino SAG/AG.

Según (Cleary, 1998) sostiene que el estudio cinético para fracturar minerales se ha realizado en distintos estudios para entender la interacción de los mecanismos que llevan a cabo la fractura de mineral. (Rosales et al, 2020) estudiaron la fractura por compresión en un lecho confinado. Los procesos de molienda de bolas en húmedo es una metodología novedosa, ya que, desde el punto de vista industrial, las cinéticas de

molienda en húmedo arrojan mejores aproximaciones que la molienda en seca (Bhattacharyya, 2016).

Grado de llenado

El grado de llenado, es decir la proporción del volumen interno del molino que ocupa la carga (mena a moler y elementos molturadores), es un factor que afecta directamente al rendimiento del molino. Representando la alteración de la potencia consumida por el molino en función del nivel de llenado, se observa que tiene un buen rendimiento en un rango de llenado que se encuentra entre el 50 al 55% del total del volumen del molino (Bhattacharyya, 2016).

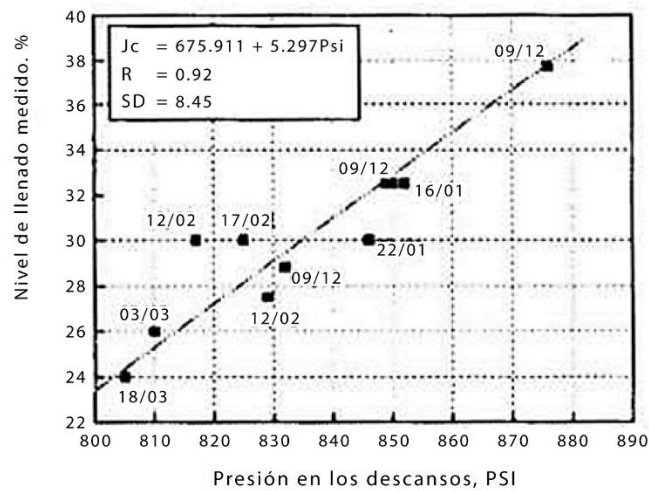


Figura 0.6. Influencia de la carga sobre la molienda.

Fuente: (Austin & Concha, 1994).

El grado de llenado, en la práctica está comprendido entre el 40% y el 55%, habitualmente el 45%, y lo forman bolas o barras (elementos molturadores) y el propio mineral a moler.

El volumen ocupado, lo producen normalmente los elementos molturadores y entre estos se introduce el material a moler, siendo estos huecos entre las barras o las bolas el concepto utilizado para obtener el peso del material molturador. Se considera por geometría que los huecos entre barras representan el 20% del volumen y entre las bolas el 40% del volumen (Magne, 1997).

Velocidad crítica

La velocidad de giro de un molino se define como un porcentaje de la “velocidad crítica teórica” o “velocidad crítica del molino”, y es aquella velocidad de rotación del molino para la cual la primera fila de bolas se encuentra en contacto con la carcasa o las protecciones del tambor, y por el efecto centrífugo, se adhiere a la carcasa y deja de producir el efecto de molienda, permaneciendo adherida a la carcasa durante una vuelta completa. Esta velocidad es teórica y por el efecto de deslizamiento o el contrario de arrastre de los forros, sufre ligeras modificaciones (Austin & Cocha, 1994).

El concepto de velocidad crítica se aplica porque representa la menor velocidad que produce el efecto mencionado, ya que cualquiera velocidad mayor que está, produce dicho efecto de adherencia al tambor. En el momento que se alcanza la velocidad crítica, el molino pierde capacidad de molienda ya que hay un porcentaje de la carga de elementos molidores que no realiza trabajo alguno (Austin & Concha, 1994).

El valor de la “velocidad crítica” es:

$$V_c = \frac{42,2}{\sqrt{D - d}} \quad (1)$$

En donde:

D: diámetro interno del molino en (m).

d: diámetro máximo de bolas (m).

(Austin & Concha, 1994)

Se observa que este parámetro depende del diámetro interno del molino y es indiferente al tipo de material molido. La velocidad real del molino se suele fijar en un porcentaje de esta velocidad crítica y varía entre el 60% y el 80% normalmente. El punto de máximo rendimiento, medido por la potencia necesaria para accionar el molino, está en el rango del 75% y se suelen utilizar velocidades de rotación del 65 al 70% para los molinos de bolas y del 50 al 70% para los molinos de barras (Austin & Concha, 1994).

El nivel de llenado de carga total

La forma más utilizada para estimar el nivel de llenado de carga total de un molino semiautógeno, es haciendo una relación entre mediciones puntuales del nivel de llenado volumétrico con el molino detenido y la presión de inyección de lubricante en los descansos del molino al momento de detenerlo (Barahona, 1992).

Así, al variar la presión en los descansos, se considera que han ocurrido variaciones en el peso de la carga interna y ello debe reflejar variaciones en el nivel de llenado volumétrico del molino. Esta forma de estimar el nivel de llenado de carga total deja fuera diferentes aspectos, como:

- Importantes variaciones en las características físicas del volumen efectivo del molino durante el tiempo que transcurre la operación. Estas variaciones son la pérdida de peso y cambios en la forma de los revestimientos, variaciones en el nivel de llenado de bolas, variaciones en el sistema de lubricación y del lubricante mismo (Barahona, 1992).
- Variaciones de la densidad aparente de la carga interna, por la modificación de la relación entre las masas de medias de molienda, mineral y agua (Barahona, 1992).

La definición del punto de referencia de operación para el nivel de llenado volumétrico de carga total de un molino semiautógeno se define normalmente entre el 28 al 32%. Sin embargo, es muy difícil asegurar que, durante la operación del molino, el nivel de llenado se pueda mantener en el entorno del valor definido (Austin & Concha, 1994).

La incertidumbre en la práctica que existe sobre el nivel de llenado con que opera un molino, se puede traducir en la ocurrencia de dos situaciones extremas:

- **Sobrellenado típico del molino:** que consiste en la acumulación excesiva de carga interna del molino, producto de la disminución de la capacidad de molienda y evacuación, y que en la operación se observa como un brusco aumento de la presión en los descansos y disminución del consumo de potencia del molino. Si no se logra controlar a tiempo, el resultado es la detención del

molino por problemas en el sistema de lubricación y/o accionamientos, por un tiempo prolongado.

- **Operación con bajos niveles de carga:** lo que implica que el molino trabaja con un llenado volumétrico definido por los medios de molienda metálicos exclusivamente. El resultado de esta situación es bastante común a lo largo de la operación del molino, se refleja en una alta tasa de fractura de bolas (que genera consumos de acero mayor a lo normal) y daños severos en los revestimientos internos (placas y levantadores) (Valderrama, Magne, & Pontt, 1999).

1.3. Mecánica de fractura de partículas minerales

Teoría de grietas de Griffith

La teoría de la fractura estudia la iniciación de grietas a partir de fallas (grietas microscópicas) y su propagación en el material. De acuerdo con el comportamiento en este sentido, la fractura puede ser frágil o dúctil. La fractura frágil se caracteriza por una imperfección elástica antes de la ruptura y por una rápida propagación de la grieta. La fractura dúctil va acompañada de una gran deformación plástica alrededor de las grietas antes y durante su propagación.

La suposición fundamental fue que el material es un sólido elástico y frágil conteniendo un gran número de grietas microscópicas, que posteriormente tomaron el nombre de fallas de Griffith. “Al someter tal material a una tensión, los esfuerzos se concentran en las puntas de las fallas estableciéndose un frente de ruptura por donde se propaga la grieta” (Austin & Concha, 1994).

Griffith, argumentó que los sólidos reales contienen muchas pequeñas fallas que corresponden al equivalente tridimensional de los agujeros elípticos y que estos puntos de debilidad inician las grietas a niveles de esfuerzo mucho menores que los ideales. Griffith hizo cuatro suposiciones básicas:

1. La concentración de esfuerzos ocurre en la punta de la falla.

2. El sólido es deformado al punto en que los lazos intermoleculares en la punta de la falla son estirados hasta el límite de ruptura.
3. El estado de esfuerzo es reproducido en la punta para una expansión infinitesimal de la falla.
4. La energía necesaria para expandir la falla, como una grieta que se propaga, está disponible ya que el sólido no puede relajarse inmediatamente del esfuerzo exterior aplicado (Austin & Concha, 1994).

1.4. Fracturas

1.4.1. Tipos de fractura

Fractura: es el impacto masivo que produce la desintegración completa de una partícula (fractura).

Astillamiento: un golpe de refilón puede astillar una esquina, este mecanismo redondea rocas irregulares a rocas aproximadamente esféricas en la molienda autógena.

Abrasión: la fricción produce desgaste de las superficies.

Nuevamente en molienda, las piedras más o menos esféricas, formadas por astillamiento, se desgastan hasta formar piedras suaves como las piedras de ríos. El astillamiento y la abrasión conducirán a la producción de material fino. Su efecto combinado se denomina atrición (Austin & Concha, 1994).

1.4.2. Aplicaciones cualitativas de la teoría de fractura: energía de molienda

Según (Austin & Concha, 1994) sostienen que la resistencia a la molienda o moliendabilidad de ciertos materiales se correlacionan sólo con la dureza o la resistencia de los enlaces químicos, afirmando así que los materiales son más fuertes en compresión que en tensión.

Varios autores basados en experimentos y teorías a lo largo de los años sostienen que una fractura que se propaga bajo esfuerzos de tensión local adquiere rápidamente alta velocidad. Esto conduce a una onda de esfuerzo que se propaga desde la punta de la grieta y que, por su parte, inicia más fracturas en los defectos que encuentra en su trayectoria dando como resultado una bifurcación de la grieta con bifurcaciones de

cada uno de los nuevos brazos, en forma sucesiva para dar un “árbol” de grietas a través del sólido como se muestra en figura 1.7 (Austin & Concha, 1994).

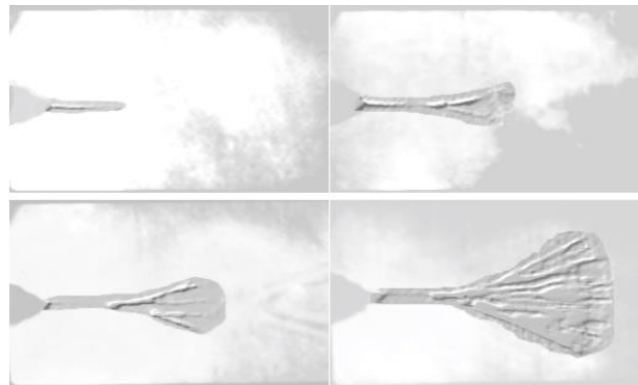


Figura 0.7. Desarrollo de un árbol de grietas durante la propagación de la fractura, observado por fotografía de alta velocidad.

Fuente: (Austin & Concha, 1994).

La literatura sobre molienda, se muestra errónea en cuanto a conceptos referentes a la energía de molienda. Las discusiones previas muestran que un sólido fuerte debe ser llevado a un alto estado de esfuerzo para que ocurra una fractura, especialmente por la aplicación de fuerzas compresivas. Tan pronto como, la fractura ha comenzado, solamente una fracción de la energía de deformación es almacenada localmente alrededor de las grietas que se propagan, esta energía es utilizada para romper enlaces. Los fragmentos de sólidos son liberados de los esfuerzos externos cuando el sólido se desintegra transformándose el resto de la energía de deformación acumulada del sólido en calor y sonido (Austin & Concha, 1994).

Según (Austin & Cocha, 1994) algunos ensayos realizados en molinos muestran que la fracción de la energía eléctrica aplicada al molino que es utilizada directamente para romper fuerzas de enlace es muy baja ($< 1\%$). La ley de Rittinger indica que “La energía de reducción de tamaño es proporcional a la nueva superficie producida”, no tiene una base teórica correcta. El aumento de temperatura del material molido puede ser calculado con bastante exactitud suponiendo que toda la energía se convierte en calor.

1.5. Velocidad Específica de Fractura

Este parámetro es fundamental dentro del proceso de molienda, se calcula en base a las siguientes ecuaciones:

Si la masa retenida en el molino es fija, se tiene que:

$$w_1 = w_1(0) \exp(-S_i t) \quad (2)$$

En donde:

S_i : velocidad específica de fractura.

Luego de realizar fórmulas de despeje se obtiene la siguiente ecuación:

$$\log[w_1(t)] = \log[w_1(0)] - S_i t / 2.3 \quad (3)$$

Utilizando la suposición de cinética de orden uno $n = 1$, se puede obtener la siguiente gráfica:

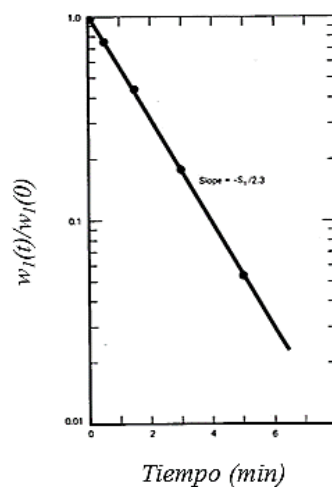


Figura 0.8. Gráfica para cálculo de velocidad específica de fractura.

Fuente: (Austin & Concha, 1994).

Como se indica en la figura 1.8, una vez calculada la pendiente se procede a multiplicar por la constante 2.3 obteniendo de esta forma la velocidad específica de fractura para cada material.

1.6. Granulometría

1.6.1. Clasificación granulométrica

“La clasificación es una operación minera cuyo objetivo básico es separar los productos que ya tienen un determinado tamaño, o rango de tamaños, de aquellos que no reúnen las dimensiones adecuadas” (Blanco, 2019).

El proceso de clasificación granulométrica se realiza posterior a la fragmentación mineral. (Blanco, 2019) señala que durante este proceso se origina toda una gama de tamaños en las partículas que interesa clasificar por el concepto de tamaño, utilizando definiciones del tipo: dimensión característica y dimensión máxima.

Este proceso de clasificación se puede dar por tres métodos diferentes como lo son:

- Cribado.
- Tamizado.
- Sedimentación.
- Microscopio.

Durante la realización de este proyecto se utilizó el proceso de tamizado mismo que será descrito a continuación.

1.6.2. Tamizado

Este proceso es considerado una operación unitaria que como se dijo anteriormente nos facilita la clasificación de un material que fue previamente fracturado.

(Samaniego & Estrada, 2012) sostienen que es un proceso que consiste en la separación de una mezcla de partículas de diferentes tamaños en dos o más fracciones, cada una de las cuales estará formado por partículas de tamaño más uniforme que la mezcla original.

Durante este proceso “Se emplean tamices (mallas calibradas) y es apto para tamaños entre 0,1 mm y 200 mm o superior (37 o 40 μm límite inferior de los tamices)” (Blanco, 2019).



Figura 0.9. Serie de tamices.

Fuente: Viviana Vera

Un tamiz es una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el compuesto sólido previamente molido. Las aberturas que deja el tejido y, que en conjunto constituyen la superficie de tamizado, pueden ser de forma distinta, según la clase de tejido (Samaniego & Estrada, 2012).

Las aberturas o mallas de clasificación más utilizados pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 0.2. Tamaño de Tamices.

TAMICES SERIE ASTM					
Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura
3/8"	9.53	12	1.70	60	0.250
5/16"	7.94	14	1.40	70	0.212
0.265"	6.73	16	1.18	80	0.180
1/4"	6.35	18	1.00	100	0.150
4	4.75	20	0.85	120	0.125
5	4.00	25	0.71	140	0.106
6	3.35	30	0.60	170	0.090
7	2.80	35	0.50	200	0.075
8	2.36	40	0.43		
10	2.00	50	0.36		

Fuente: Blog Ingeniería Civil by Eddy.

1.6.3. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico tiene como objetivo el determinar en el laboratorio la composición por tamaño de un determinado material molido previamente. Sus

resultados suelen expresarse en las llamadas tablas o diagramas granulométricos (Samaniego & Estrada, 2012).

(Blanco, 2019) afirma: Los análisis granulométricos se representan mediante curvas en las que se indica en la abscisa el tamaño o el número de tamiz y en las ordenadas el porcentaje en peso de pasante.

Curva granulométrica

Es una representación gráfica que nos permite analizar de manera más precisa el comportamiento del material que fue triturado y tamizado con anterioridad.

Para poder graficar dicha curva se necesita de los siguientes parámetros calculados previamente:

- **Abertura del tamiz:** Este parámetro se puede obtener mediante una tabla donde se indica la abertura en milímetros y micras.
- **Masa retenida:** Este parámetro se puede obtener después de haber pesado el material que se retuvo en cada tamiz.
- **% Retenido:** Este parámetro se obtiene luego de dividir la masa retenida en cada tamiz para la totalidad de la muestra tamizada.
- **% Retenido Acumulado:** Este parámetro se obtiene de la suma entre el primer % retenido y el % acumulado anterior.
- **% Pasante:** Es la resta del 100% y el % retenido acumulado.

Una vez obtenidos todos estos parámetros se procede a graficar la abertura del tamiz vs el % pasante en una escala logarítmica obteniendo como resultados una curva.

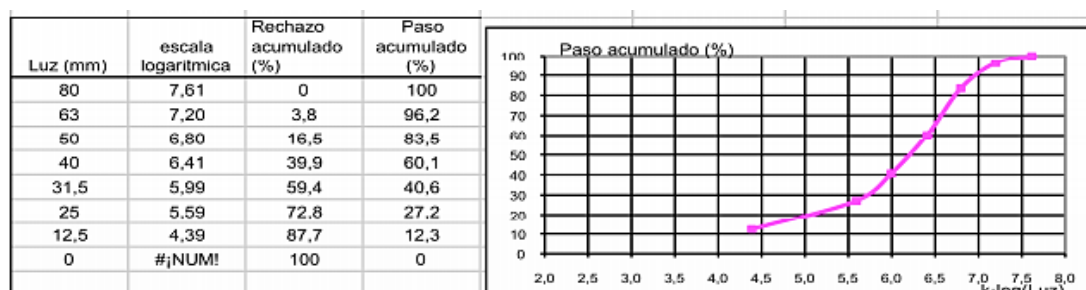


Figura 0.10. Ejemplo de una Curva granulométrica.

Fuente: (Blanco, 2019).

Modelo de distribución de Gates-Gaudin-Schuhmann

La función de Gates-Gaudin-Schuhmann es el modelo de distribución más utilizado y tiene como objetivo representar distribuciones de tamaño obtenidas por tamizaje (distribución en peso o masa) (Rodríguez, 2010).

Según (Rodríguez, 2010) afirma que en algunos casos la distribución granulométrica aparece sesgada y se puede obtener una representación lineal de la misma trazando el logaritmo del % pasante acumulado versus la abertura de la malla (tamaño partícula), preferiblemente en papel con abscisas y ordenadas logarítmicas, es decir, en escala log-log.

La ecuación de esta distribución es la siguiente:

$$y = 100 * \left(\frac{x}{k}\right)^m \quad (4)$$

En donde:

- y: % pasante acumulado.
- x: tamaño de abertura de malla.
- k: módulo de tamaño.
- m: módulo de distribución.

El resultado de esta gráfica da una línea recta, como resultado se obtiene una ecuación de la recta que permite encontrar cada uno de estos parámetros que nos ayudaran a realizar un análisis mucho más concreto.

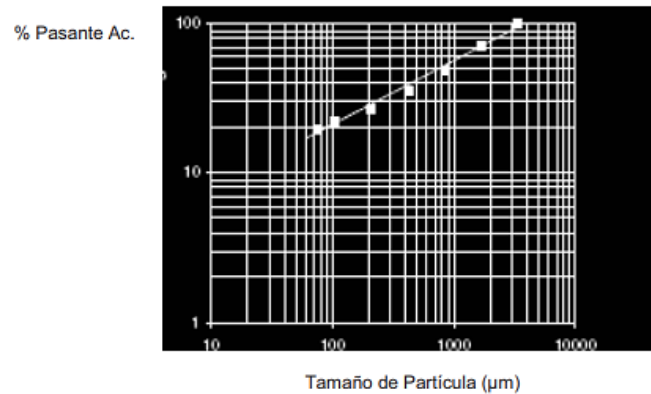


Figura 0.11. Ejemplo de un diagrama Gates-Gaudin-Schuhmann.

Fuente: (Rodríguez, 2010).

1.7. Minerales silíceos

Se asume que una roca silícea es aquella que está formada por más de un 50 % de minerales de sílice. De los diversos tipos de rocas silíceas que aparecen en la extensión de la tierra, únicamente son usadas como tales en la industria las que contienen más del 80 % de dióxido de silicio, siendo en varios casos primordial que éste supere el 95 %. Sin embargo, para que estos minerales constituyan casi la totalidad de la roca, se requiere la intervención de procesos generadores específicos y restrictivos que tienen lugar en zonas muy localizadas de la superficie de la corteza terrestre (Bustillo, 1992).

La composición química de este elemento es SiO_2 (dióxido de silicio). El silicio es un elemento químico metaloide, su número atómico es el 14, y situado en el grupo 14 de la tabla periódica de los elementos, haciendo parte de la familia de los carbonoides de símbolo Si. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno. Se presenta en forma amorfa y cristalizada de color azul grisáceo y brillo metálico. Las arenas con más de 98% de SiO_2 son conocidas como arenas silíceas, y son una fuente importante de materia prima para la fabricación del vidrio y otros materiales, para la metalúrgica, las cerámicas y esmaltes, y para derivados químicos (Valderrama, Magne, & Pontt, 1999).

(Álvarez et al., 2012) publicaron un artículo de “Evaluación de materias primas en una planta de beneficio de arena de sílice para aumentar la eficiencia energética del proceso de molienda”, se tuvo como objetivo primordial optimizar el consumo energético, en una planta de procesamiento de sílice. La metodología empleada consiste en aplicar la teoría de Bond para la selección de materias primas a tratar en la mencionada planta,

la cual dependiendo de las necesidades actuales opera con dos tamaños de molienda. Los ensayos experimentales se llevaron a cabo sobre muestras tomadas en la planta, teniendo en cuenta que las tres materias primas son de distinta procedencia y de similares características químicas y mineralógicas. Del análisis de los resultados obtenidos se concluye que el consumo energético de la planta puede reducirse hasta algo más de un 30% en ambos tamaños y evitando las emisiones de CO₂.

Clasificación

Los minerales silíceos se clasifican según su composición en:

Rocas silíceas de uso industrial		
	<i>Tipo de roca</i>	<i>Características composicionales</i>
Arenas silíceas	Sedimentaria-Detrítica	Granos de cuarzo mono o policristalinos sueltos o ligeramente enlazados
Cuarcitas	Sedimentaria-Detrítica (Ortocuarcita) Metamórfica (Metacuarcita)	Granos o cristales de cuarzo soldados o interpenetrados
Cristal de cuarzo y cuarzo masivo	Metamórfica, Plutónica o Volcánica.	Cristales de cuarzo individuales o soldados.
Silex (Flint, chert)	Sedimentaria	Roca inorgánica de cristales de cuarzo con texturas variables
Tripoli, Novaculita, Rottenstone	Sedimentaria	Roca de cristales de cuarzo con texturas variables y gran porosidad
Diatómita	Sedimentaria-Orgánica	Acumulación de frústulas de diatómeas (Opalo A)

Figura 0.12. Clasificación Minerales Silíceos.

Fuente: (Bustillo, 1992).

CAPÍTULO 2

EXPERIMENTACIÓN

2.1. Georreferenciación

Tabla 0.1. Georreferenciación.

Provincia:	Azuay
Cantón:	Sígsig
Parroquia:	San Sebastián
Nombre del sitio:	“Playas de Zhingate”
COORDENADAS UTM, SISTEMA GEODÉSICO WGS84 – 17SUR	
X : 744386.64	Y: 9662095.82
<p>OBSERVACIONES La muestra fue tomada en las orillas del rio Santa Bárbara, en el sector conocido como “Playas de Zhingate”, que se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, cantón Sígsig.</p>	

Fuente: Viviana Vera.

A continuación, se presenta el mapa de la ubicación:

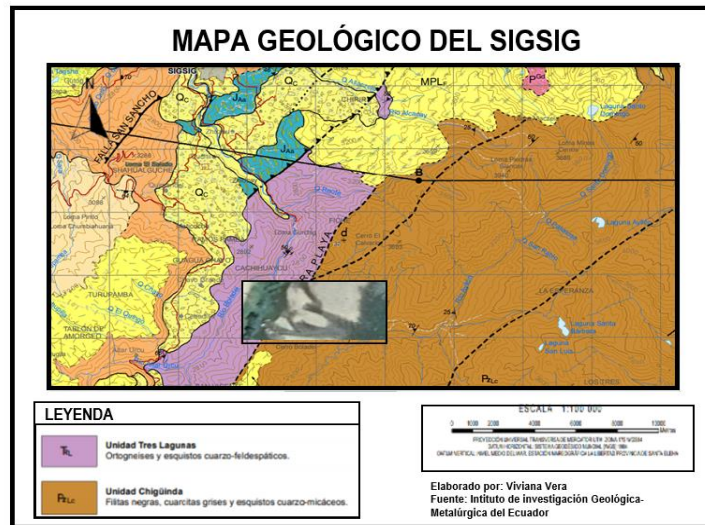


Figura 0.1. Mapa de Ubicación.

Fuente: Google Earth.

2.2. Geología

UBICACIÓN GEOLÓGICA



OBSERVACIONES

Unidad Tres Lagunas: Está compuesta litológicamente por gneis y esquistos cuarzo- feldespáticos de muscovita y biotita (IIGE, 2017-2018).

Unidad Chigüinda: Está compuesta litológicamente por filitas negras, cuarcitas grises y esquistos cuarzo-micáceos

Figura 0.2. Ubicación Geológica.

Fuente: Viviana Vera.

2.3. Caracterización de las muestras

La muestra con la que se trabajó presentó las siguientes características:

Tabla 0.2. Características de la muestra.

Color:	Blanco oscuro.
Tamaño	Heterogéneo, en su mayor parte entre 1 pulgada
Dureza	7 en la escala de Mohs
Tenacidad	Frágil. - Fractura: Ganchuda (fractura tosca e irregular con
Cohesión	bordes agudos y dentados).
Morfología	Presenta bordes irregulares

Fuente: Viviana Vera.

2.4. Diseño de experimentos para la molienda SAG

Para el desarrollo de este estudio se elaboró un programa experimental que consistía en la realización de 5 ensayos. El alimento utilizado durante estos ensayos consiste en una pulpa de material silicio, la cual antes de ser molido paso por un proceso previo que será descrito a continuación:

2.4.1. Preparación de las muestras

Para la preparación de la muestra es necesario someter las misma a varios procesos, con el fin de obtener un mono tamaño que nos facilite los procesos posteriores dentro del experimento.

Dichos procesos se describen a continuación:

- **Trituración:** El material previamente obtenido es sometido a un proceso de trituración, mismo que se realizó en una planta de trituración ubicada en la zona denominada “El Descanso”, ubicado en la provincia del Azuay. Obteniendo un material de alrededor de 1 pulgada.
- **Tamización:** Todo el mineral previamente triturado se tamizo entre la malla de 1 pulgada. y 3/8 de pulgada. Con el fin de obtener una muestra homogénea de 3/8 pulgadas.

2.4.2. Dosificación de muestras

Posterior al proceso de tamización y obtener la muestra total, la cual se distribuirá para los diferentes ensayos, mismos que se darán en diferentes condiciones tanto de humedad como de finos agregados al alimento. Dichas condiciones serán resumidas en la tabla puesta a continuación:

Tabla 0.3. Distribución de muestras para cada ensayo.

Ensayos	Fracción de Sólido Fino	Peso de Sólido Fino	Volumen de Agua	Peso Sólido Grueso	Peso Total de Carga	Carga de Bolas
	Cw	Ws (kg)	Vl (L)	Wm (kg)	Wt (kg)	Wb (kg)
1	-	-	-	31.77	31.77	38.82
2	-	-	1.87	29.9	31.77	38.82
3	0.20	0.47	1.87	29.43	31.77	38.82
4	0.40	1.24	1.87	28.66	31.77	38.82

5	0.50	1.87	1.87	28.04	31.77	38.82
---	------	------	------	-------	-------	-------

Fuente: Viviana Vera.

2.4.3. Respuesta reológica del material

Los experimentos tendrán un alimento que contendrá una pulpa preparada con agua y material fino a diferentes fracciones (20%, 40%, 50%), las mismas que según (Valencia, 2009) fueron medidas en una mena silíceo con una tasa de cizalladura de 21s^{-1} como se muestra a continuación:

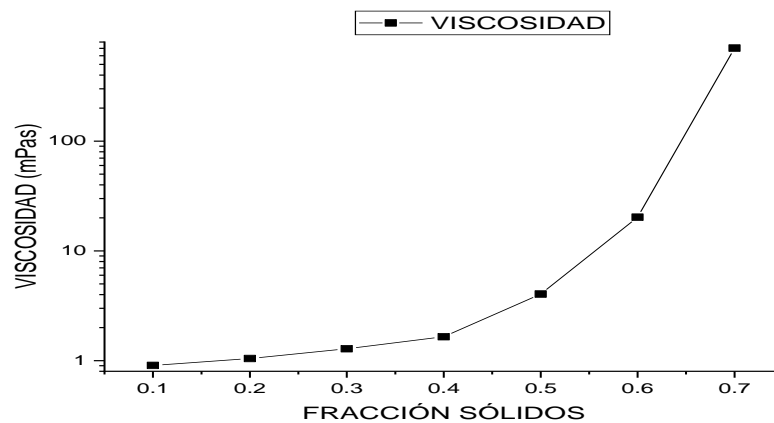


Figura 0.3. Respuesta reológica de material silíceo.

Fuente: (Valencia, 2009).

2.4.4. Realización de ensayos

Durante la realización de los ensayos propuestos se procedió a trabajar bajo ciertos parámetros que se pre-establecieron con anterioridad tales como: la cantidad de humedad y la cantidad de finos presentes en el alimento en diferentes intervalos de tiempo, después se procedió a sacar el material del molino con el fin de tamizarlo. Una vez finalizado el proceso de tamizaje se regresó el material tratado al molino devolviendo sus características iniciales y de esta manera no alterar los ensayos subsiguientes.

Dentro de la realización de los ensayos se realizaron cálculos previos como: la cantidad de bolas presentes durante el proceso y su masa en gramos como se describirá a continuación:

Cálculo de volumen de bolas

$$Vb = 0.15 * V_T * (1 - 0.47) \quad (5)$$

$$Vb = 0.15 * 62203.68 * (1 - 0.47)$$

$$\mathbf{Vb = 4945.22 \text{ cm}^3}$$

Cálculo de la masa de bolas

$$\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{Vb} \quad (6)$$

$$m = 7,85 * 4945.22$$

$$\mathbf{m = 38,820.0 \text{ kg}}$$

Una vez obtenidos estos datos se procedió a realizar cada uno de los ensayos previstos.

2.4.5. Clasificación de muestras efecto de los ensayos

A continuación, se describirá la masa total extraída en cada experimento a diferentes tiempos.

Tabla 0.4. Clasificación de muestras.

Ensayos	Tiempo	Masa Recolectada
	(minutos)	(kg)
1	1	0.774
	2.5	0.931
	5	0.989
	10	1.794
	15	1.245
2	1	1.348
	2.5	1.799
	5	0.888
	10	1.036
	15	0.776
3	1	1.524
	2.5	1.704
	5	1.206
	10	0.627
	15	0.709
4	1	1.296
	2.5	1.398
	5	1.411
	10	0.770
	15	0.866

5	1	1.564
	2.5	0.924
	5	1.248
	10	1.136
	15	0.627

Fuente: Viviana Vera.

2.5. Ejecución experimental de la molienda

En los ensayos realizados a continuación se determinó la velocidad específica de fractura para una mena silíceas, este factor nos permitirá saber el comportamiento de material durante el proceso de molienda someténdola a condiciones pre-establecidas.

Durante la realización de estos ensayos el molino presento una carga total de 31.77 kg de alimento y una carga de bolas igual a 38.82 kg; conforme se fueron realizando los ensayos se variaron las condiciones tanto de humedad, así como la cantidad de finos presentes en el alimento.

La cantidad de finos presentes en el alimento aumentaron a razón de 20, 40 y 50% respectivamente durante los ensayos.

2.5.1. Cronograma de actividades

Tabla 0.5. Cronograma de actividades.

Ensayo	Tamaño (pulgadas)	Peso total de la carga (kg)	Peso de solido fino (kg)	Tiempo de residencia (min)
1	3/8	31.77	-	1; 2.5; 5;10;15
2	3/8	31.77	-	1; 2.5; 5;10;15
3	3/8	31.77	0.47	1; 2.5; 5;10;15
4	3/8	31.77	1.24	1; 2.5; 5;10;15
5	3/8	31.77	1.87	1; 2.5; 5;10;15

Fuente: Viviana Vera.

2.5.2. Recopilación de información

Se realizaron en total 5 ensayos con un intervalo de tiempo constante y a diferentes condiciones en la carga inicial; la muestra fue recolectada a través de un recipiente metálico diseñado exclusivamente para el molino SAG.

Estos ensayos y sus condiciones se especificarán a continuación:

Tabla 0.6.Ensayo 1 (seco).

Tamaño del alimento (pulgadas)	Alimento (kg)	Tiempo de residencia (min)	Carga de bolas (kg)	Muestra Recolectada (g)
0.375	31.77	1	38.82	774
0.375	31.77	2.5	38.82	931
0.375	31.77	5	38.82	989
0.375	31.77	10	38.82	1794
0.375	31.77	15	38.82	1245

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.7.Ensayo 2 (HSF).

Tamaño del alimento (pulgadas)	Alimento (kg)	Tiempo de residencia (min)	Carga de bolas (kg)	Muestra Recolectada (g)
0.375	31.77	1	38.82	1336
0.375	31.77	2.5	38.82	1799
0.375	31.77	5	38.82	888
0.375	31.77	10	38.82	1036

0.375	31.77	15	38.82	776
-------	-------	----	-------	-----

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.8.Ensayo 3 (HCF 20%).

Tamaño del alimento (pulgadas)	Alimento (kg)	Tiempo de residencia (min)	Carga de bolas (kg)	Muestra Recolectada (g)
0.375	31.77	1	38.82	1524
0.375	31.77	2.5	38.82	1704
0.375	31.77	5	38.82	1206
0.375	31.77	10	38.82	627
0.375	31.77	15	38.82	709.7

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.9.Ensayo 4 (HCF 40%).

Tamaño del alimento (pulgadas)	Alimento (kg)	Tiempo de residencia (min)	Carga de bolas (kg)	Muestra Recolectada (g)
0.375	31.77	1	38.82	1296
0.375	31.77	2.5	38.82	1398
0.375	31.77	5	38.82	1411
0.375	31.77	10	38.82	770
0.375	31.77	15	38.82	866

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.10.Ensayo 5 (HCF 50%).

Tamaño del alimento (pulgadas)	Alimento (kg)	Tiempo de residencia (min)	Carga de bolas (kg)	Muestra Recolectada (g)
0.375	31.77	1	38.82	1564
0.375	31.77	2.5	38.82	924
0.375	31.77	5	38.82	1248
0.375	31.77	10	38.82	1136
0.375	31.77	15	38.82	627

Fuente: Viviana Vera.



Figura 0.4.Muestreador metálico del molino SAG.

Fuente: Viviana Vera.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Resultados

“La operación que se realiza en el molino SAG de laboratorio funciona a manera de circuito abierto” (García Campoverde & Muñoz Díaz, 2016).

Las variables operacionales que se usaron durante el experimento fueron contantes a excepción de la cantidad de humedad y cantidad de finos presentes en el alimento.

Las variables utilizadas en cada ensayo fueron las siguientes:

- Tipo de molienda: Seca y húmeda.
- Velocidad de rotación: 43 rpm.
- Carga de bolas: 38.82 kg.
- Muestreo: Intervalos de tiempo constante.
- Carga total: 31.77 kg (constante).
- Carga de finos: Variando desde 0, 20, 40, 50%.
- Volumen de agua: Variando desde 0 hasta 1.87 litros.

Luego de haber realizado todos los ensayos establecidos y recolectado todas las muestras necesarias, estas fueron sometidas a un proceso de tamizaje donde se obtuvieron datos, los mismos que fueron necesarios para poder realizar una curva granulométrica.

Luego de obtener la curva se utilizó el modelo de distribución granulométrico de Gates-Gaudin-Schuhmann, ya que como se explicó durante el capítulo 1, el mismo nos permitirá obtener la ecuación de distribución de tamaño mediante la ecuación de la recta.

Este modelo de distribución tiene una ventaja sobre los otros métodos ya que nos permite tener un menor margen de error al trabajar con una serie limitada de tamices.

Posterior a la realización de las gráficas descritas anteriormente, utilizando la metodología planteada en el capítulo 1 se procedió a calcular la velocidad específica

de fractura para cada uno de los tamaños de material obtenidos en la molienda (Anexo 1).

Los resultados obtenidos mediante gráficas y tablas de las curvas granulométricas, así como del modelo de distribución se mostrarán de forma resumida en el Anexo 1.

A continuación, se coloca la tabla y la gráfica donde se resumen los resultados obtenidos del cálculo de la velocidad específica de fractura.

Tabla 0.1.Tabla de Resultados de la Velocidad Específica de Fractura (min-1).

TAMAÑO	9525	2380	2000	590	297	177	149	74
	min-1							
SECO	0.0490	0.0377	0.1037	0.0948	0.0941	0.1148	0.1194	0.1093
HSF	0.0012	0.0090	0.0610	0.0534	0.0124	0.0009	0.0159	0.0400
HCF 20%	0.0320	0.0299	0.0014	0.0338	0.0644	0.0515	0.0644	0.0515
HCF 40%	0.0051	0.0154	0.0014	0.0129	0.0166	0.0219	0.0343	0.0124
HCF 50%	0.0186	0.0214	0.0269	0.0336	0.0593	0.0398	0.0409	0.0400

Fuente: Viviana Vera.

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE FRACTURA PARA CADA MONOTAMAÑO

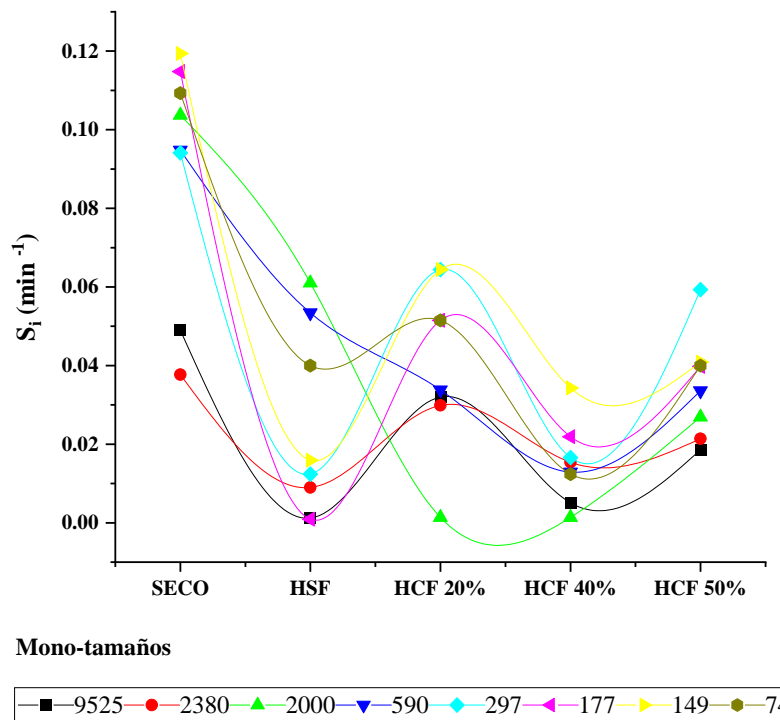


Figura 0.1.Gráfica Resultados Velocidad Específica de Fractura para cada mono-tamaño.

Fuente: Viviana Vera.

3.2. Análisis de resultados

Una vez obtenidos todos los resultados de la velocidad específica de fractura, se realizaron tablas y graficas comparativas de los coeficientes obtenidos en cada ensayo, así como de los coeficientes reológicos de la pulpa (los cuales se describieron en el capítulo 2).

Después de haber ingresado todos los datos de la velocidad específica, así como de la reología (viscosidad) de la pulpa se obtuvo una gráfica que muestra una línea de tendencia, además de unas tablas donde se muestra el proceso de ajuste lineal que se realizó para obtener dicha gráfica.

Para el análisis de la Velocidad Específica de fractura se tomarán los primeros dos mono- tamaños debido a que las partículas obtenidas en los mismos pueden ser analizadas mediante la ecuación de primer orden, la cual fue utilizada para el cálculo y obtención de este parámetro; y las partículas más pequeñas no cumplen con esta ecuación tal y como nos dice (Austin & Concha, 1994).

Todo este proceso se muestra a continuación:

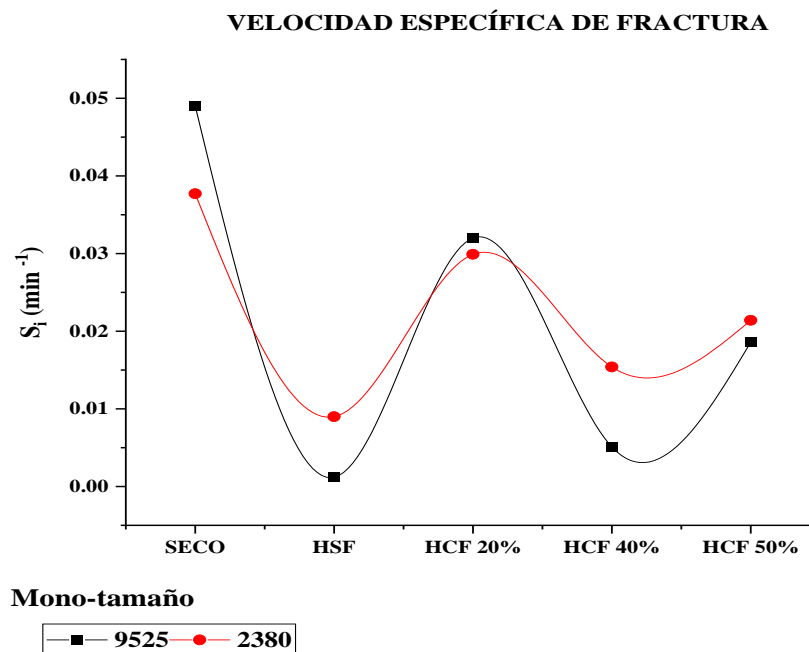


Figura 0.2. Grafica Resultados Velocidad Específica de Fractura.

Fuente: Viviana Vera.

3.2.1. Mono-tamaño 9525 µm

Tabla 0.2. Velocidad Específica de Fractura (min^{-1}) para mono-tamaño 9525 µm.

TAMAÑO	SECO	HSF	HCF 20%	HCF 40%	HCF 50%
9525	0.04899	0.00115	0.03197	0.00506	0.01863

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.3. Tabla comparativa de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 9525 µm.

	Reología	9525
	mPa*s	min^{-1}
SECO	0	0.04899
HSF	0.9	0.00115
HCF 20%	1.04609	0.03197
HCF 40%	1.65055	0.00506
HCF 50%	4.04586	0.01863

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.4. Valores para el ajuste lineal de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 9525 µm.

	Intercept		B1		B2		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Value	Standard Error	
9525	0.04709	0.0164	0.03807	0.02149	0.00768	0.00477	0.24273

Fuente: Viviana Vera.

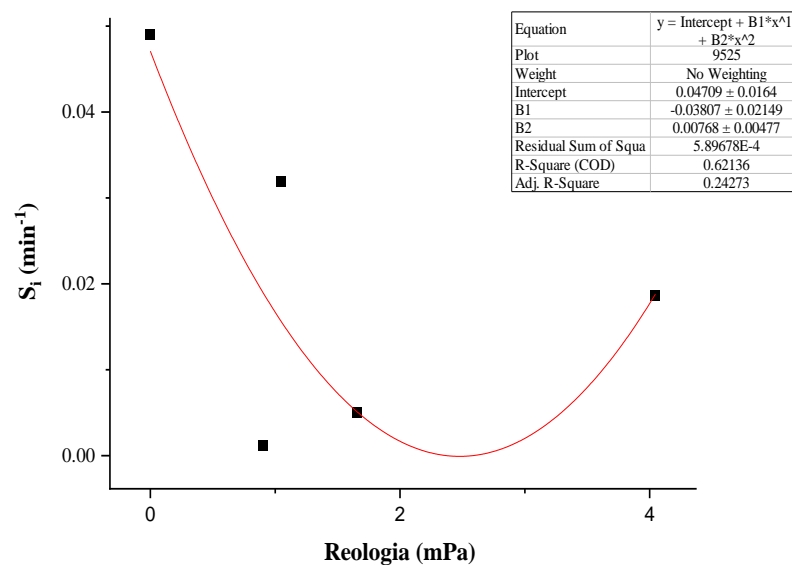


Figura 0.3. Velocidad Específica de Fractura vs Reología del material para Mono- tamaño = 9525 µm

Fuente: Viviana Vera.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la velocidad específica varía dependiendo de las condiciones iniciales del alimento previo al proceso de molienda (reología de la pulpa). Conforme las condiciones varían, la velocidad específica disminuye debido a que la presencia de finos durante el proceso de molienda hace que los materiales de mayor tamaño se fracturen a una velocidad más pequeña

3.2.2. Mono-Tamaño 2380 μm

Tabla 0.5. Velocidad Específica de Fractura (min^{-1}) para mono-tamaño 2380 μm .

TAMAÑO	SECO	HSF	HCF 20%	HCF 40%	HCF 50%
2380	0.03772	0.00897	0.0299	0.01541	0.02139

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.6. Tabla comparativa de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 2380 μm .

	Reología mPa*s	2380
SECO	0	0.03772
HSF	0.9	0.00897
HCF 20%	1.04609	0.0299
HCF 40%	1.65055	0.01541
HCF 50%	4.04586	0.02139

Fuente: Viviana Vera.

Tabla 0.7. Valores para el ajuste lineal de la Reología del material vs Velocidad Específica de Fractura Mono-tamaño 2380 μm .

	Intercept		B1		B2		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
2380	0.03601	0.01098	0.01965	0.01438	0.00398	0.00319	-0.01386

Fuente: Viviana Vera.

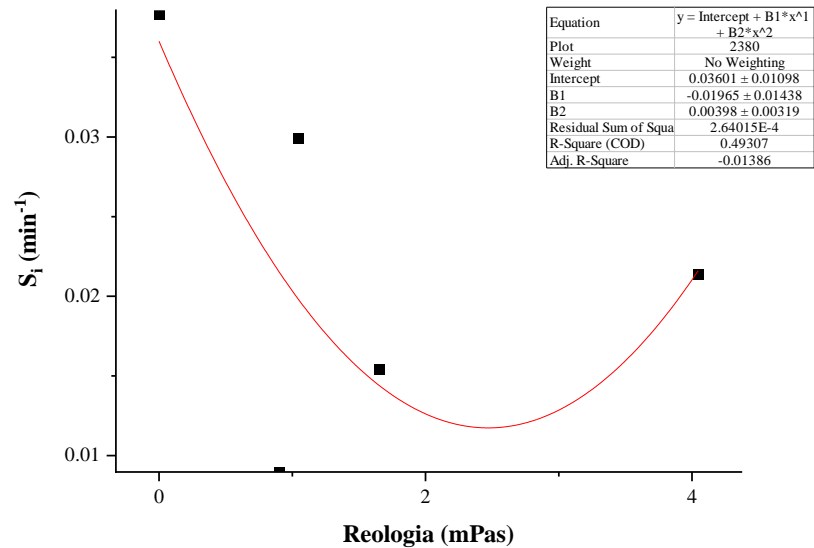


Figura 0.4. Velocidad Específica de Fractura vs Reología del material para Mono- tamaño = 2380 μm .

Fuente: Viviana Vera.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la velocidad específica varía dependiendo de las condiciones iniciales del alimento previo al proceso de molienda (reología de la pulpa). Cuando las condiciones de los ensayos cambian en función de la cantidad de humedad y finos en el alimento, la velocidad específica se mantiene variando, tendiendo a disminuir ya que estas condiciones generan que las partículas más grandes se fracturen de manera más lenta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El presente trabajo de titulación se enfocó en la experimentación mediante la variación de las condiciones iniciales de molienda como el porcentaje de humedad y la presencia de finos en el alimento; con el objetivo de encontrar la velocidad específica de fractura para un material silíceo y en base a los ensayos realizados se concluye que:

- La investigación realizada, así como el análisis de toda la bibliografía encontrada, brinda información de suma importancia para entender de forma clara y concisa el funcionamiento de todos los parámetros operacionales (tales como la velocidad crítica, velocidad de rotación, grado de llenado, potencia del molino, etc.) dentro de la molienda SAG, además de ser una guía importante para orientar de manera integral a futuras investigaciones.
- Durante la realización de los ensayos se utilizaron variables tales como el tamaño del alimento, los intervalos de tiempo, porcentaje de humedad y presencia de finos; los mismos que cumplieron con las especificaciones necesarias para realizar los ensayos de forma correcta. Debido a esto se puede afirmar con toda seguridad que las 25 muestras analizadas, cumplieron con los requisitos establecidos antes de la experimentación, tales como el porcentaje de humedad y la cantidad finos en el alimento, tiempo establecido de molienda y grado de llenado.
- Se logró observar que la velocidad específica de fractura tiende a disminuir conforme las condiciones iniciales varían; es decir mientras se va aumentando el porcentaje de humedad y la cantidad de finos en el alimento, la velocidad específica de fractura disminuye considerablemente; este fenómeno se debe a que la presencia de finos en el alimento disminuye la eficiencia de este proceso, ya que conforme va avanzando el tiempo, en la cámara de molienda se encuentra una menor cantidad de gruesos; por lo que la energía durante este proceso se va a centrar en tratar de moler el material más fino haciendo que la velocidad específica de fractura en materiales más gruesos sea mucho más lenta, como lo corrobora (Hernández & Ávila, 2020) en su escrito sobre “Cinética de Molienda de las Escombreras del Distrito Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México”.

- Se logró comprobar que la velocidad específica de fractura durante los 5 ensayos varía dependiendo el tamaño de material; denotando que durante el ensayo en seco los materiales más finos se fracturan a una velocidad superior que los materiales más gruesos; mientras que durante los ensayos que presentan humedad, la velocidad disminuye manteniéndose constante para los materiales más finos, mientras que sigue descendiendo para los tamaños más grandes; durante el ensayo 4 es donde la molienda presenta más inconvenientes ya que la velocidad desciende considerablemente para todos los tamaños.
- Mediante los análisis investigativos, empíricos y comparativos de las gráficas obtenidas para la velocidad específica por cada mono tamaño se determinó que cuando las condiciones varían, la velocidad específica de fractura disminuye, haciendo que la fracturación de materiales más gruesos sea mucho más lenta que la de materiales más finos; la presencia de finos en el alimento no permite que la velocidad de fracturación sea más rápida que en condiciones normales, notando que el porcentaje de humedad no afecta tanto la experimentación como el parámetro antes mencionado. En concordancia con la hipótesis planteada, después de la realización de trabajos tanto investigativos como prácticos, se corrobora que la velocidad específica de fractura depende notablemente de las variables a las que es sometido el alimento previo a la molienda, por lo cual el conocer este parámetro, permite tener un mejor control en cuanto al tamaño de partículas, lo que facilita los procesos subsiguientes mejorando de manera óptima la eficiencia del proceso de molienda.
- Finalmente, una vez realizados todos los ensayos se puede concluir que las condiciones óptimas en las cuales la velocidad específica de fractura es eficiente para el material silicio, son cuando el alimento se encuentra conformado por una pulpa seca y sin presencia de finos.

Recomendaciones

Considerando la gran cantidad de variables operacionales que influyen dentro del proceso de molienda y lo extenso de su estudio, para futuras investigaciones se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Seguir realizando ensayos para obtener la velocidad específica de fractura para varios materiales, ya que como se observó es un parámetro importante que permite tener un mejor control durante este proceso; haciendo más eficiente el proceso de molienda y menos costosa su operación. Vale recalcar que la investigación teórica respecto a los fenómenos de molienda es relativamente reciente.
- Realizar investigaciones sobre las relaciones y correlaciones entre los diferentes parámetros operacionales del molino tales como: velocidad de rotación, grado de llenado, carga de bolas, así como las condiciones iniciales del alimento, previo a la molienda.
- Implementar en el molino SAG del laboratorio de la Escuela un sistema más eficiente para la recolección del material, así como un sistema que permita tener un mejor control del tiempo de molienda para la obtención de las muestras en los intervalos de tiempo pre-establecidos.
- Equipar el laboratorio de la Escuela con instrumentos y equipos que permitan una mejor determinación de las variables operacionales tales como: medidores de tamaño de partículas para fracciones más finas a malla 200, un sistema de Clasificación vibratoria y un Molino de Bond que permita una mejor determinación de la velocidad específica de fractura.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, B., Menéndez, J., Dzioba, B. y Coello, A. (2012). Evaluación de materias primas en una planta de beneficio de sílice para aumentar la eficiencia energética del proceso de molienda. *Revista DYNA*, 80(177), 95-100. ISSN 0012-7353.
- Améstica, R., Magne, I., Barría, J. y Menacho, J. (1995). Modelización dinámica de molienda semiautógena basada en un modelo fenomenológico simplificado. *Revista de Metalurgia* 31(2), 97-105.
<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia>
- Austin, L. G., & Cocha, F. A. (1994). *Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación*. Chile: CYTED.
- Barahona, C. (1992). *Diseño y Operación de Circuitos en molienda Autógena*.
- Bhattacharyya, A., Tuzcu, E.T. y Rajamani, R. (2016). Experimental study on non-linear behavior of breakage rates due to fines generation in wet batch milling. *Minerals Engineering*, 99, 19- 29.
<http://dx.doi/10.1016/j.mineng.2016.09.018>
- Blanco, E.A. (2019). *Portal del personal investigador*. Universidad de Cantabria.
<https://web.unican.es/portal-investigador/personal-investigador/detalle-investigador?i=B1018AA606211CA8>
- Bustillo, M. A. (1992). *Recursos Minerales de España*. España: CSIC.
- Cleary, P.W., Sinnott, M. y Morrison, R. (2006). Prediction of slurry transport in SAG mills using SPH fluid flow in a dynamic DEM based porous media. *Minerals Engineering*, 19, 1517–1527.
- Estay, W.M (2010). *Análisis dinámico del molino SAG* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile].
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103662/cftejada_w.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- García Campoverde, J., & Muñoz Díaz, J. (2016). *Análisis de eficiencia de molienda seca sag para una mena de sulfuros*. [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9927>
- Garrido, C. (2004). *Control predictivo con restricciones para una planta de molienda SAG*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Concepción].
http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/883/1/Tesis_Control_Predictivo_con_Restricciones.Image.Marked.pdf
- Hernández-Ávila, J., Cerecedo-Saenz, E., Toro, N., Arenas-Flores, A., Rodríguez-Lugo, V., & Salinas-Rodríguez, E. (2020). Cinética de Molienda de las Escombreras del Distrito Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 74-79.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2018). *Mapas Geológicos 2017 - 2018*. <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>
- Magne L, Valderrama W, Titichoca G, Velásquez C. (2000). *Operación de Plantas de Molienda Semiautógena: Una Dura Realidad*, [Simposium Internacional de Mineralurgia]. Lima, Perú.
- Magne L, Valderrama W. (2000). *Operación, Mantenimiento y Control de Plantas de Molienda Semiautógena*. [Monografía para Curso a Operadores y Mantenedores de Plantas de Molienda Semiautógena, Centro Tecnológico de Molienda SAG y Sistemas Eléctricos].
- Magne, L. (1997). Visión Conceptual y Estado de la Tecnología en Molienda Semiautógena. *Workshop*, 1-3.
- Mishra, B. y Rajamani, R. (2001). Millsoft Simulation Software for TumblingMill Design and Shooting. University of Utah, *Magazine Mining Engineering, SME Society for mining*, 98-306.

- Putland, B., Kock, F. y Siddall, L. (2011). Single Stage SAG/AG Milling Design. International Conference on Autogenous Grinding, *Semiautogenous Grinding and High-Pressure Grinding Roll Technology*, 25-28.
- Rajamani, R. y Sherman, M. (1998). The Effect of Lifter Design on Alumbrea's SAG Mill Performance. *Design Expectations and Optimization, University of Utah EEUU*, 256-265.
- Rodríguez, B. Á. (2010). *Análisis de la influencia de los modelos de distribución de tamaños de partículas en la determinación de consumos energéticos en molienda mediante el método bond*. [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=180857>
- Rosales, G., Andrade, J., Alvarado, G., Espinosa, E. y Nava, D. (2020). Investigación experimental en el consumo de energía específica y reducción de tamaño en la molienda de bolas usando diferentes tipos de levantador. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 1-8.
- Samaniego, X., & Estrada, W. (2012). Diseño y construcción de un equipo mixto de molienda y tamizado para materiales minerales. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1973/1/96T00152.pdf>
- Valderrama, w., Magne, L., & Pontt, J. (1999). Operación de Molinos SAG controlando el movimiento de la carga. *Workshop Sag'99*.

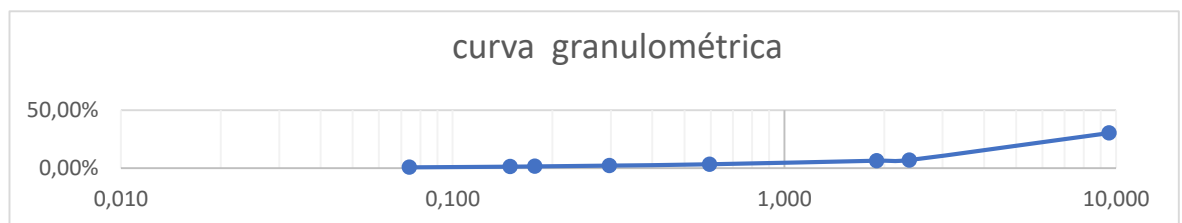
ANEXOS

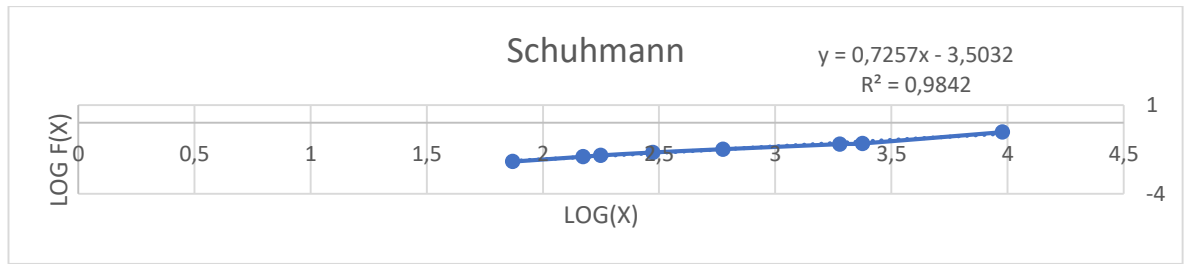
Anexo 1: Curvas granulométricas y Distribución de Shumman

Ensayo en Seco.

alimento		774			
TIEMPO (1 MINUTO)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	539	69.78%	69.78%	30.22%
8	2.38	179.7	23.27%	93.05%	6.95%
10	1.900	4.4	0.57%	93.62%	6.38%
30	0.595	23.8	3.08%	96.70%	3.30%
50	0.297	8.8	1.14%	97.84%	2.16%
80	0.177	5.3	0.69%	98.52%	1.48%
100	0.149	1.8	0.23%	98.76%	1.24%
200	0.074	4.5	0.58%	99.34%	0.66%
Fondo		5.1	0.66%	100.00%	0.00%
Total		772.4			

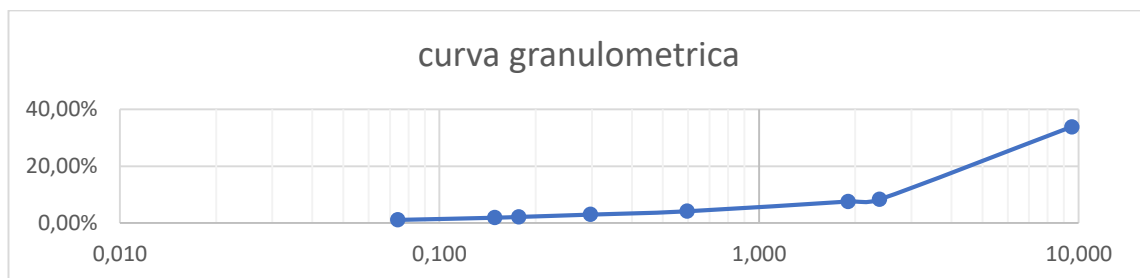
Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.697824961	0.302175039	0.697824961	-0.51974141	3.978636948
2380	0.232651476	0.069523563	0.930476437	-1.15786797	3.376576957
1900	0.00569653	0.063827033	0.936172967	-1.19499534	3.278753601
595	0.03081305	0.033013982	0.966986018	-1.48130208	2.774516966
297	0.011393061	0.021620922	0.978379078	-1.66512579	2.472756449
177	0.00686173	0.014759192	0.985240808	-1.83093741	2.247973266
149	0.002330399	0.012428793	0.987571207	-1.90557103	2.173186268
74	0.005825997	0.006602796	0.993397204	-2.18027208	1.86923172
	0.006602796	0	1		

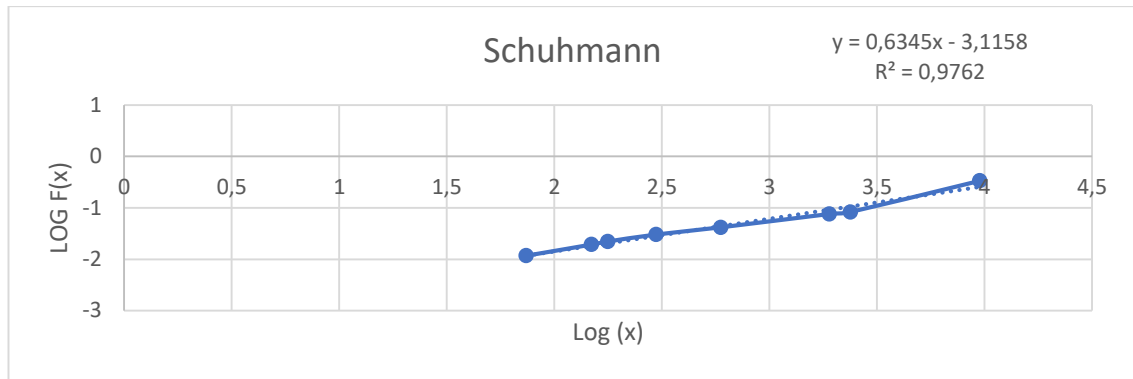




alimento		931			
TIEMPO (2.5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	614.9	66.17%	66.17%	33.83%
8	2.38	236.8	25.48%	91.65%	8.35%
10	1.900	6.7	0.72%	92.37%	7.63%
30	0.595	31.9	3.43%	95.80%	4.20%
50	0.297	10.8	1.16%	96.97%	3.03%
80	0.177	7.6	0.82%	97.78%	2.22%
100	0.149	2.6	0.28%	98.06%	1.94%
200	0.074	7.1	0.76%	98.83%	1.17%
fondo		10.9	1.17%	100.00%	0.00%
total		929.3			

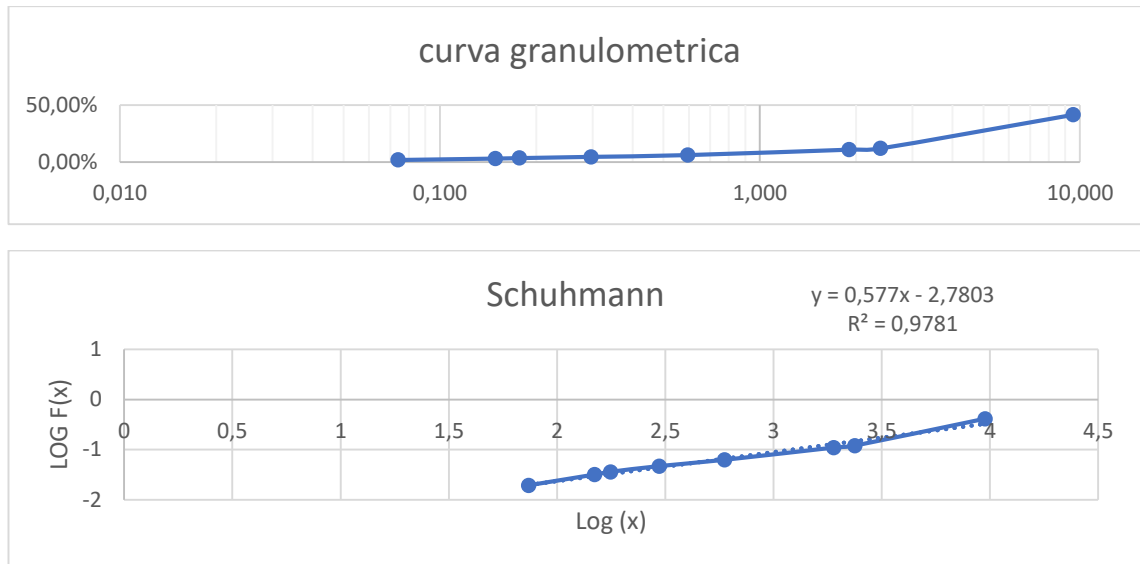
Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.661680835	0.338319165	0.661680835	-0.4706734	3.978636948
2380	0.254815452	0.083503712	0.916496288	-1.07829421	3.376576957
1900	0.007209728	0.076293985	0.923706015	-1.11750970	3.278753601
595	0.034326913	0.041967072	0.958032928	-1.37709133	2.774516966
297	0.011621651	0.030345421	0.969654579	-1.51790682	2.472756449
177	0.008178199	0.022167223	0.977832777	-1.65428871	2.247973266
149	0.002797805	0.019369418	0.980630582	-1.71288343	2.173186268
74	0.007640159	0.011729259	0.988270741	-1.93072943	1.86923172
	0.011729259	0	1		





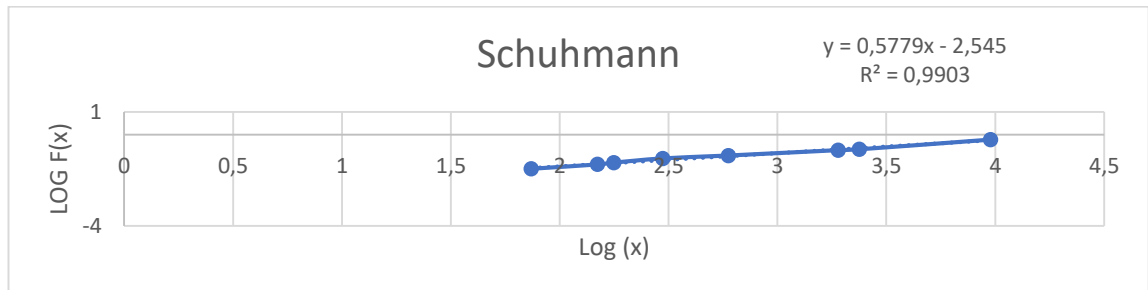
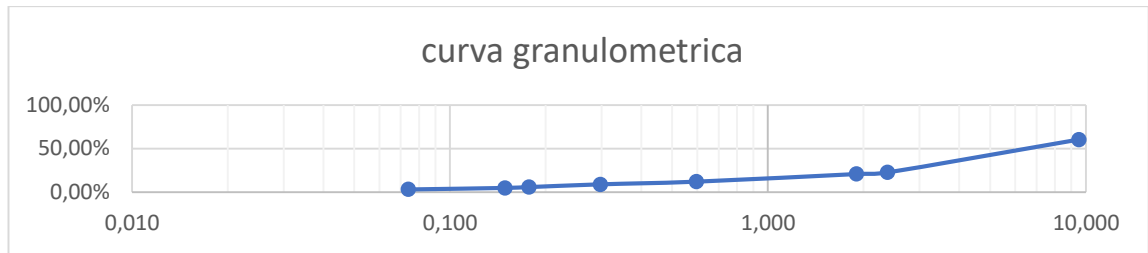
alimento		989			
TIEMPO (5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	576.7	58.49%	58.49%	41.51%
8	2.38	290.6	29.48%	87.97%	12.03%
10	1.900	10.3	1.04%	89.02%	10.98%
30	0.595	46.7	4.74%	93.75%	6.25%
50	0.297	15.4	1.56%	95.31%	4.69%
80	0.177	10.7	1.09%	96.40%	3.60%
100	0.149	4.2	0.43%	96.83%	3.17%
200	0.074	12.2	1.24%	98.06%	1.94%
fondo		19.1	1.94%	100.00%	0.00%
total		985.9			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.584947763	0.415052237	0.584947763	-0.38189724	3.978636948
2380	0.29475606	0.120296176	0.879703824	-0.91974817	3.376576957
1900	0.010447307	0.109848869	0.890151131	-0.95920441	3.278753601
595	0.047367887	0.062480982	0.937519018	-1.20425215	2.774516966
297	0.015620245	0.046860736	0.953139264	-1.32919089	2.472756449
177	0.010853028	0.036007709	0.963992291	-1.44360451	2.247973266
149	0.004260067	0.031747642	0.968252358	-1.49828852	2.173186268
74	0.01237448	0.019373162	0.980626838	-1.71279949	1.86923172
	0.019373162	0	1		



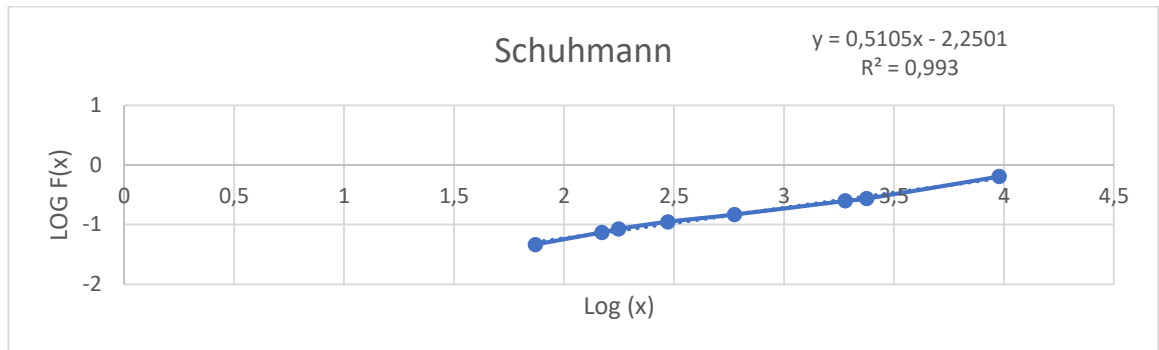
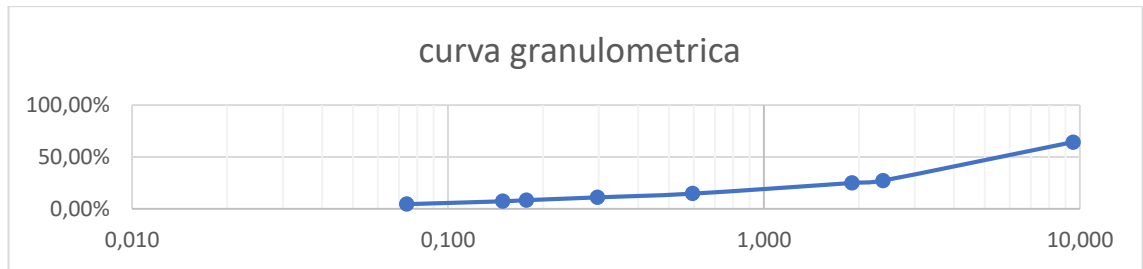
alimento		1794			
TIEMPO (10 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	709.9	39.68%	39.68%	60.32%
8	2.38	673.4	37.64%	77.31%	22.69%
10	1.900	33.3	1.86%	79.18%	20.82%
30	0.595	156.5	8.75%	87.92%	12.08%
50	0.297	54.6	3.05%	90.97%	9.03%
80	0.177	56.3	3.15%	94.12%	5.88%
100	0.149	17.5	0.98%	95.10%	4.90%
200	0.074	31.1	1.74%	96.84%	3.16%
fondo		56.6	3.16%	100.00%	0.00%
total		1789.2			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.396769506	0.603230494	0.396769506	-0.219516712	3.978636948
2380	0.376369327	0.226861167	0.773138833	-0.644239838	3.376576957
1900	0.01861167	0.208249497	0.791750503	-0.681416039	3.278753601
595	0.08746926	0.120780237	0.879219763	-0.918004123	2.774516966
297	0.030516432	0.090263805	0.909736195	-1.044486363	2.472756449
177	0.031466577	0.058797228	0.941202772	-1.23064315	2.247973266
149	0.009780908	0.049016320	0.95098368	-1.309659296	2.173186268
74	0.01738207	0.031634250	0.96836575	-1.499842458	1.86923172
	0.03163425	0	1		



alimento		1245			
TIEMPO (15 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	442.6	35.75%	35.75%	64.25%
8	2.38	457.9	36.98%	72.73%	27.27%
10	1.900	28.3	2.29%	75.02%	24.98%
30	0.595	126.9	10.25%	85.27%	14.73%
50	0.297	44.3	3.58%	88.85%	11.15%
80	0.177	33.4	2.70%	91.54%	8.46%
100	0.149	13.1	1.06%	92.60%	7.40%
200	0.074	34.4	2.78%	95.38%	4.62%
fondo		57.2	4.62%	100.00%	0.00%
total		1238.1			

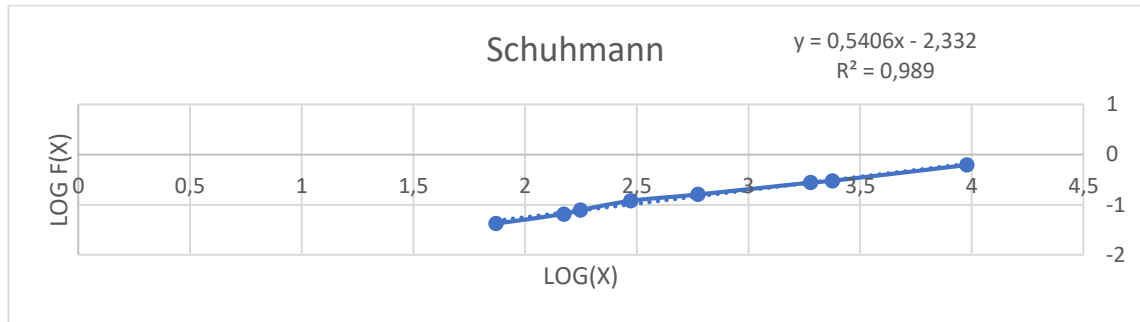
Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	x
				Log F(x)	log(x)
9520	0.35748324	0.642516760	0.35748324	-0.19211554	3.978636948
2380	0.369840885	0.272675874	0.727324126	-0.564353286	3.376576957
1900	0.022857604	0.249818270	0.75018173	-0.602375804	3.278753601
595	0.10249576	0.147322510	0.85267749	-0.83173089	2.774516966
297	0.035780632	0.111541879	0.888458121	-0.952562045	2.472756449
177	0.026976819	0.084565059	0.915434941	-1.072809042	2.247973266
149	0.010580729	0.073984331	0.926015669	-1.13086025	2.173186268
74	0.027784509	0.046199822	0.953800178	-1.335359695	1.86923172
	0.046199822	0	1		



Ensayo Húmedo sin finos.

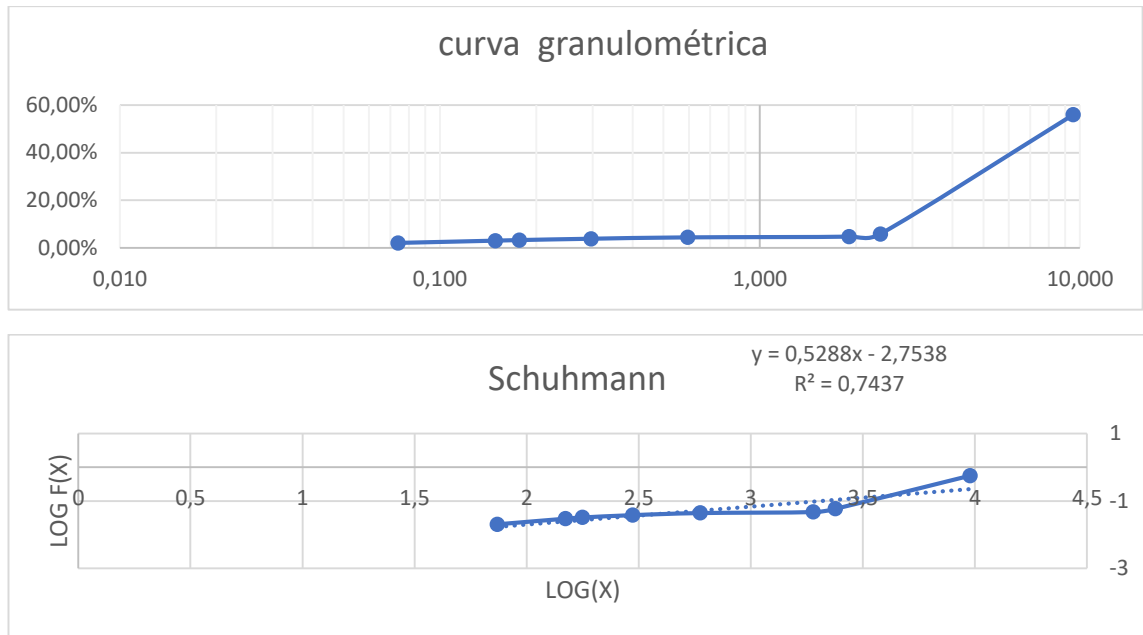
alimento	1348				
	TIEMPO (1 MINUTO)				
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	509.8	37.89%	37.89%	62.11%
8	2.38	430.4	31.99%	69.89%	30.11%
10	1.900	32.3	2.40%	72.29%	27.71%
30	0.595	156.7	11.65%	83.94%	16.06%
50	0.297	54.6	4.06%	88.00%	12.00%
80	0.177	56.3	4.18%	92.18%	7.82%
100	0.149	17.5	1.30%	93.48%	6.52%
200	0.074	31.1	2.31%	95.79%	4.21%
fondo		56.6	4.21%	100.00%	0.00%
total		1345.3			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.378948933	0.621051067	0.378948933	-0.20687268	3.978636948
2380	0.31992864	0.301122426	0.698877574	-0.52125689	3.376576957
1900	0.024009515	0.277112912	0.722887088	-0.55734323	3.278753601
595	0.116479596	0.160633316	0.839366684	-0.79416437	2.774516966
297	0.040585743	0.120047573	0.879952427	-0.9206466	2.472756449
177	0.041849402	0.078198171	0.921801829	-1.10680340	2.247973266
149	0.013008251	0.065189920	0.93481008	-1.18581954	2.173186268
74	0.02311752	0.042072400	0.9579276	-1.37600271	1.86923172
	0.0420724	0	1		



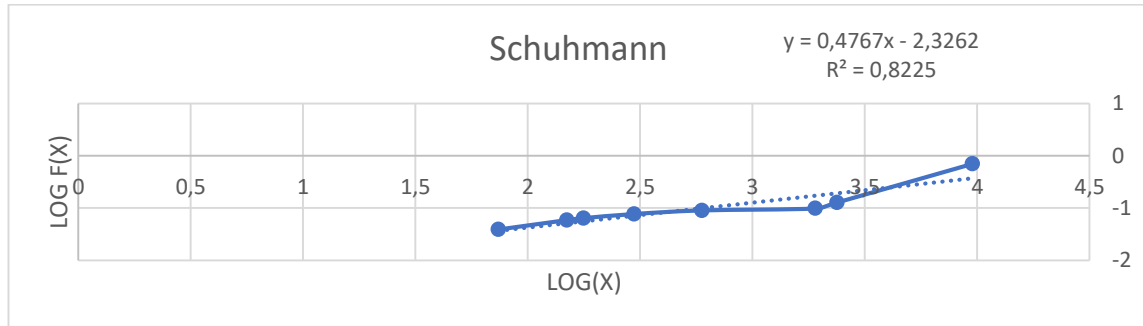
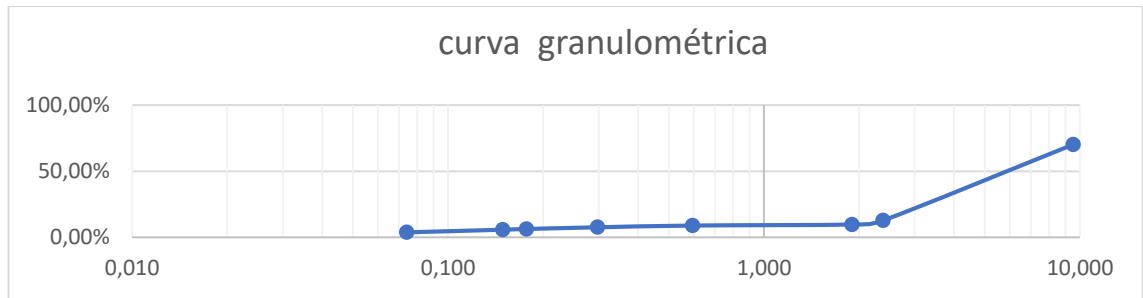
alimento		1799			
TIEMPO (2.5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	791.8	44.08%	44.08%	55.92%
8	2.38	899.8	50.10%	94.18%	5.82%
10	1.900	20.5	1.14%	95.32%	4.68%
30	0.595	5.5	0.31%	95.63%	4.37%
50	0.297	10.3	0.57%	96.20%	3.80%
80	0.177	10.1	0.56%	96.77%	3.23%
100	0.149	4.5	0.25%	97.02%	2.98%
200	0.074	17.1	0.95%	97.97%	2.03%
fondo		36.5	2.03%	100.00%	0.00%
total		1796.1			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	x
				Log F(x)	log(x)
9520	0.440844051	0.559155949	0.440844051	-0.25246705	3.978636948
2380	0.500974333	0.058181616	0.941818384	-1.235214222	3.376576957
1900	0.011413618	0.046767997	0.953232003	-1.330051227	3.278753601
595	0.00306219	0.043705807	0.956294193	-1.359460856	2.774516966
297	0.005734647	0.037971160	0.96202884	-1.420546138	2.472756449
177	0.005623295	0.032347865	0.967652135	-1.49015438	2.247973266
149	0.002505428	0.029842436	0.970157564	-1.525165723	2.173186268
74	0.009520628	0.020321808	0.979678192	-1.692037648	1.86923172
	0.020321808	0	1		



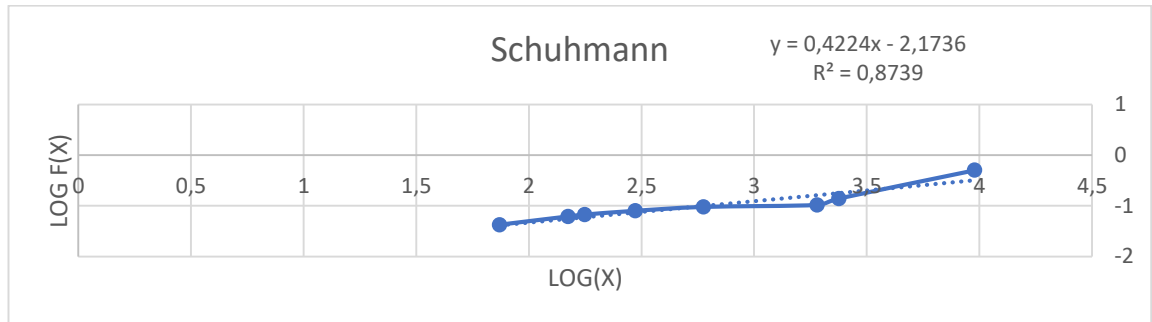
alimento 888					
TIEMPO (5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	264.1	29.83%	29.83%	70.17%
8	2.38	507.9	57.36%	87.19%	12.81%
10	1.900	26.2	2.96%	90.15%	9.85%
30	0.595	7.2	0.81%	90.96%	9.04%
50	0.297	11.7	1.32%	92.29%	7.71%
80	0.177	11.4	1.29%	93.57%	6.43%
100	0.149	4.7	0.53%	94.10%	5.90%
200	0.074	17.7	2.00%	96.10%	3.90%
fondo		34.5	3.90%	100.00%	0.00%
total		885.4			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.298283262	0.701716738	0.298283262	-0.153838164	3.978636948
2380	0.573639033	0.128077705	0.871922295	-0.892526463	3.376576957
1900	0.029591145	0.098486560	0.90151344	-1.006623033	3.278753601
595	0.008131918	0.090354642	0.909645358	-1.044049531	2.774516966
297	0.013214366	0.077140276	0.922859724	-1.112718814	2.472756449
177	0.012875536	0.064264739	0.935735261	-1.192027251	2.247973266
149	0.005308335	0.058956404	0.941043596	-1.229469015	2.173186268
74	0.019990965	0.038965439	0.961034561	-1.409320423	1.86923172
	0.038965439	0	1		



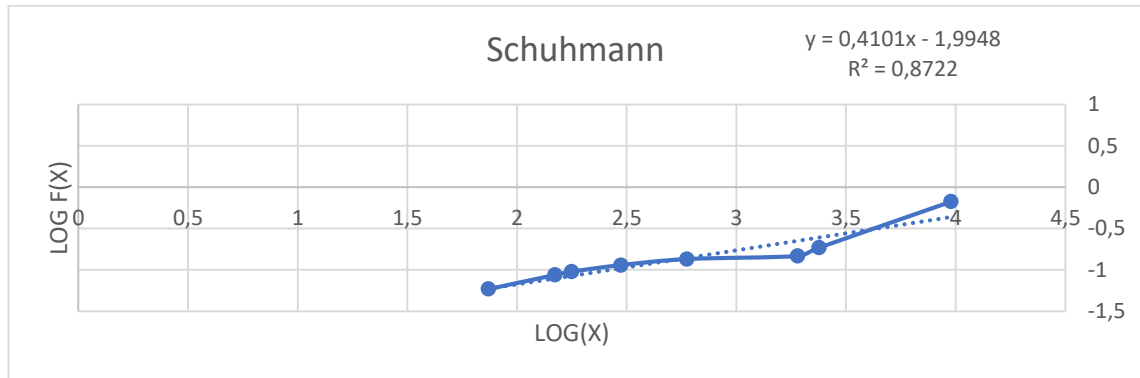
alimento		1036			
TIEMPO (10 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	514.7	49.82%	49.82%	50.18%
8	2.38	374.7	36.27%	86.08%	13.92%
10	1.900	36.4	3.52%	89.61%	10.39%
30	0.595	9.5	0.92%	90.52%	9.48%
50	0.297	15.8	1.53%	92.05%	7.95%
80	0.177	12.9	1.25%	93.30%	6.70%
100	0.149	5.7	0.55%	93.85%	6.15%
200	0.074	20	1.94%	95.79%	4.21%
fondo		43.5	4.21%	100.00%	0.00%
total		1033.2			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.498161053	0.501838947	0.498161053	-0.29943563	3.978636948
2380	0.362659698	0.139179249	0.860820751	-0.85642551	3.376576957
1900	0.035230352	0.103948897	0.896051103	-0.98318011	3.278753601
595	0.009194735	0.094754162	0.905245838	-1.02340170	2.774516966
297	0.015292296	0.079461866	0.920538134	-1.09984124	2.472756449
177	0.012485482	0.066976384	0.933023616	-1.17407830	2.247973266
149	0.005516841	0.061459543	0.938540457	-1.21141067	2.173186268
74	0.019357336	0.042102207	0.957897793	-1.37569514	1.86923172
	0.042102207	0	1		



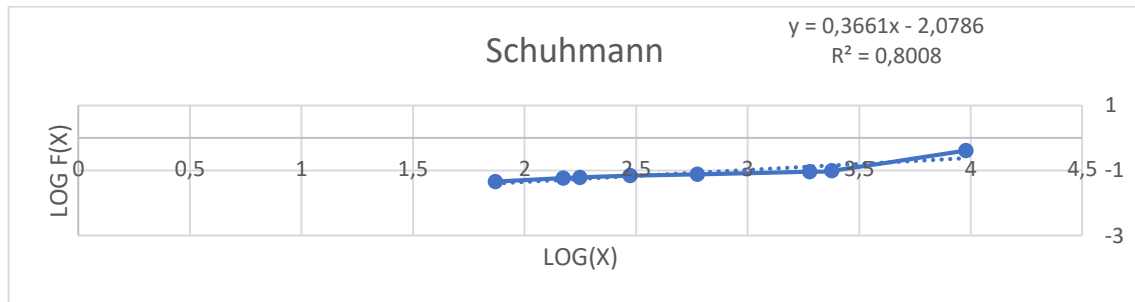
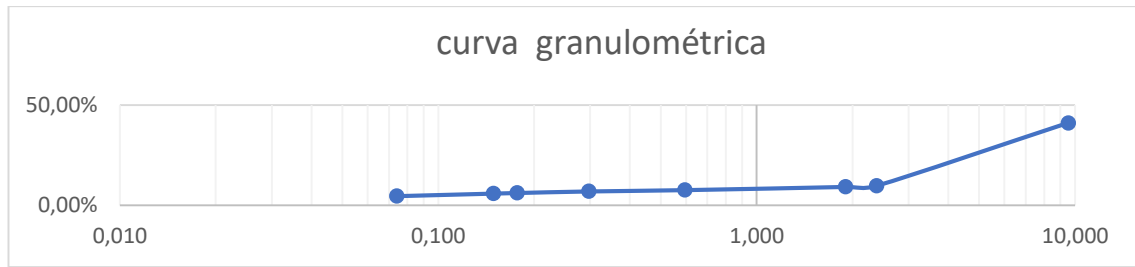
alimento		776			
TIEMPO (15 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	257.3	33.27%	33.27%	66.73%
8	2.38	372.7	48.20%	81.47%	18.53%
10	1.900	29.4	3.80%	85.27%	14.73%
30	0.595	9.4	1.22%	86.49%	13.51%
50	0.297	16.2	2.09%	88.58%	11.42%
80	0.177	14.7	1.90%	90.48%	9.52%
100	0.149	6.4	0.83%	91.31%	8.69%
200	0.074	21.9	2.83%	94.14%	5.86%
fondo		45.3	5.86%	100.00%	0.00%
total		773.3			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.332729859	0.667270141	0.332729859	-0.17569830	3.978636948
2380	0.481960429	0.185309712	0.814690288	-0.73210182	3.376576957
1900	0.03801888	0.147290832	0.852709168	-0.83182428	3.278753601
595	0.012155696	0.135135135	0.864864865	-0.86923172	2.774516966
297	0.020949179	0.114185956	0.885814044	-0.94238730	2.472756449
177	0.01900944	0.095176516	0.904823484	-1.02147019	2.247973266
149	0.008276219	0.086900297	0.913099703	-1.06097873	2.173186268
74	0.028320186	0.058580111	0.941419889	-1.23224980	1.86923172
	0.058580111	0	1		



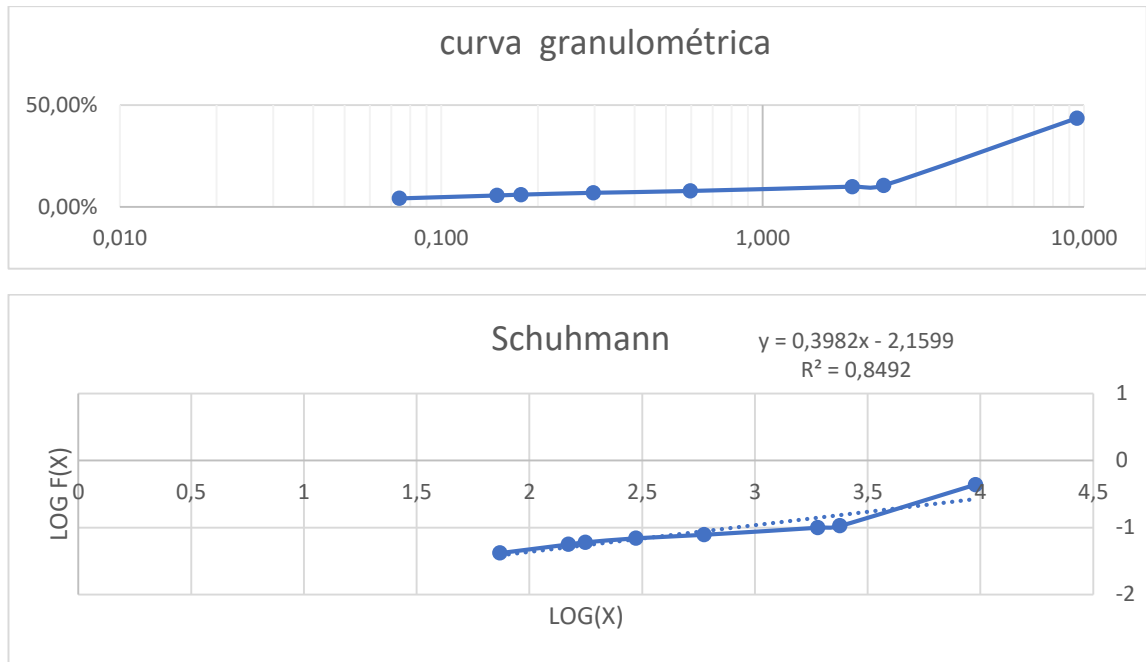
Ensayo Húmedo con el 20% de finos.

alimento		1524			
TIEMPO (1 MINUTO)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	897.4	58.89%	58.89%	41.11%
8	2.38	478.3	31.39%	90.28%	9.72%
10	1.900	8.7	0.57%	90.85%	9.15%
30	0.595	24.3	1.59%	92.45%	7.55%
50	0.297	10	0.66%	93.10%	6.90%
80	0.177	11.9	0.78%	93.88%	6.12%
100	0.149	4.6	0.30%	94.19%	5.81%
200	0.074	19.4	1.27%	95.46%	4.54%
fondo		69.2	4.54%	100.00%	0.00%
total		1523.8			
Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.588922431	0.411077569	0.588922431	-0.38607622	3.978636948
2380	0.313886337	0.097191232	0.902808768	-1.01237291	3.376576957
1900	0.005709411	0.091481822	0.908518178	-1.03866519	3.278753601
595	0.015946975	0.075534847	0.924465153	-1.12185264	2.774516966
297	0.006562541	0.068972306	0.931027694	-1.16132525	2.472756449
177	0.007809424	0.061162882	0.938837118	-1.21351205	2.247973266
149	0.003018769	0.058144113	0.941855887	-1.23549424	2.173186268
74	0.01273133	0.045412784	0.954587216	-1.34282187	1.86923172
	0.045412784	0	1		



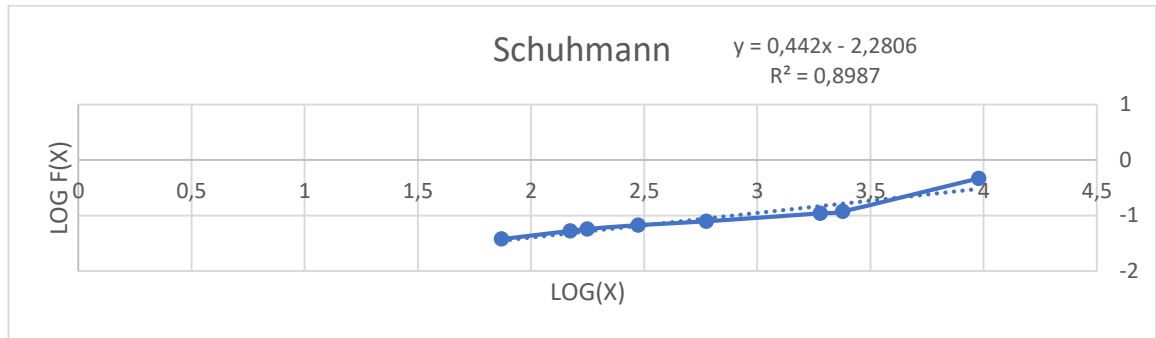
alimento		1704			
TIEMPO (2.5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	959.9	56.39%	56.39%	43.61%
8	2.38	562.2	33.03%	89.42%	10.58%
10	1.900	10.4	0.61%	90.03%	9.97%
30	0.595	36.5	2.14%	92.17%	7.83%
50	0.297	15.1	0.89%	93.06%	6.94%
80	0.177	15.4	0.90%	93.97%	6.03%
100	0.149	7	0.41%	94.38%	5.62%
200	0.074	24.6	1.45%	95.82%	4.18%
fondo		71.11	4.18%	100.00%	0.00%
total		1702.21			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.563913971	0.436086029	0.563913971	-0.36042782	3.978636948
2380	0.330276523	0.105809506	0.894190494	-0.97547531	3.376576957
1900	0.006109704	0.099699802	0.900300198	-1.00130570	3.278753601
595	0.021442713	0.078257089	0.921742911	-1.10647630	2.774516966
297	0.008870821	0.069386268	0.930613732	-1.15872646	2.472756449
177	0.009047062	0.060339206	0.939660794	-1.21940040	2.247973266
149	0.004112301	0.056226905	0.943773095	-1.25005582	2.173186268
74	0.014451801	0.041775104	0.958224896	-1.37908245	1.86923172
	0.041775104	0	1		



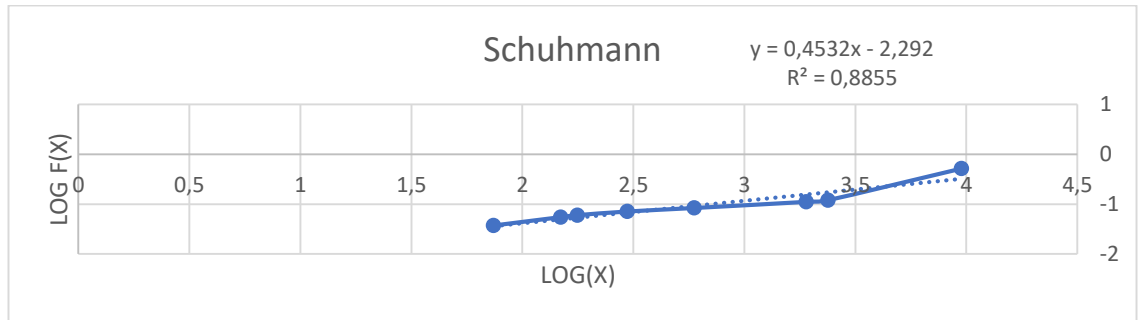
alimento		1206			
TIEMPO (5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	643	53.45%	53.45%	46.55%
8	2.38	418.1	34.75%	88.20%	11.80%
10	1.900	10.2	0.85%	89.04%	10.96%
30	0.595	37.3	3.10%	92.15%	7.85%
50	0.297	13.7	1.14%	93.28%	6.72%
80	0.177	12.1	1.01%	94.29%	5.71%
100	0.149	5.2	0.43%	94.72%	5.28%
200	0.074	18.3	1.52%	96.24%	3.76%
fondo		45.2	3.76%	100.00%	0.00%
total		1203.1			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	X
				Log F(x)	log(x)
9520	0.534452664	0.465547336	0.534452664	-0.33203615	3.978636948
2380	0.347518909	0.118028427	0.881971573	-0.92801338	3.376576957
1900	0.008478098	0.109550328	0.890449672	-0.96038631	3.278753601
595	0.031003242	0.078547087	0.921452913	-1.10486991	2.774516966
297	0.01138725	0.067159837	0.932840163	-1.17289036	2.472756449
177	0.010057352	0.057102485	0.942897515	-1.24334499	2.247973266
149	0.004322168	0.052780318	0.947219682	-1.27752800	2.173186268
74	0.015210706	0.037569612	0.962430388	-1.42516329	1.86923172
	0.037569612	0	1		



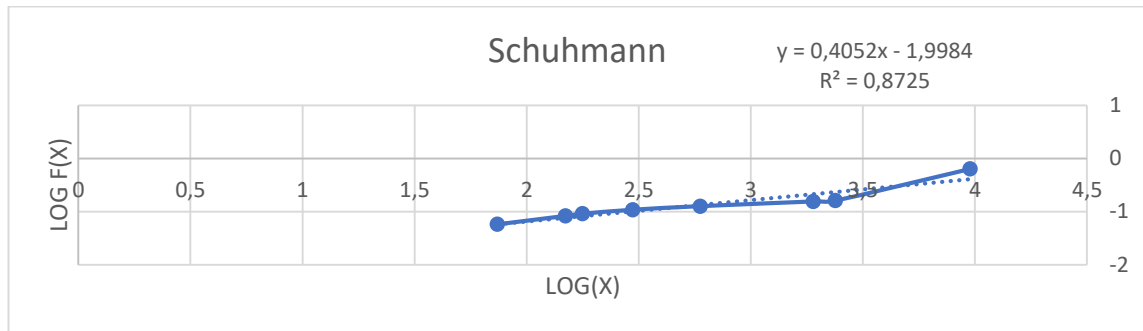
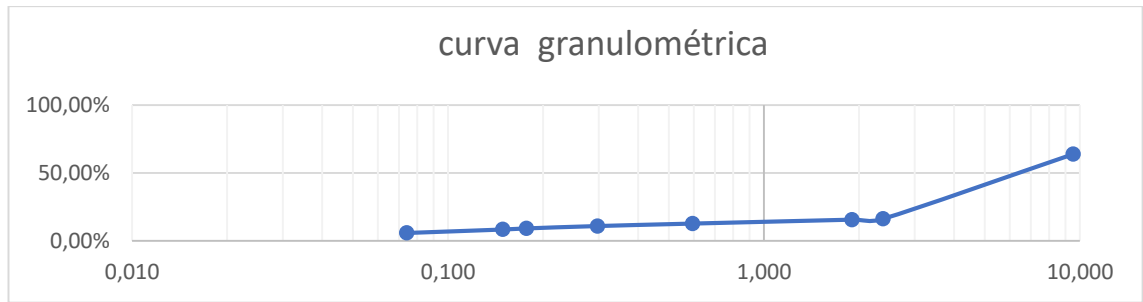
alimento		627			
TIEMPO (10 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	300.2	47.98%	47.98%	52.02%
8	2.38	250.1	39.97%	87.95%	12.05%
10	1.900	5.7	0.91%	88.86%	11.14%
30	0.595	17.2	2.75%	91.61%	8.39%
50	0.297	7.9	1.26%	92.87%	7.13%
80	0.177	6.9	1.10%	93.97%	6.03%
100	0.149	3.3	0.53%	94.50%	5.50%
200	0.074	11.1	1.77%	96.28%	3.72%
fondo		23.3	3.72%	100.00%	0.00%
total		625.7			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.479782643	0.520217357	0.479782643	-0.28381516	3.978636948
2380	0.399712322	0.120505034	0.879494966	-0.91899480	3.376576957
1900	0.009109797	0.111395237	0.888604763	-0.95313337	3.278753601
595	0.027489212	0.083906025	0.916093975	-1.07620685	2.774516966
297	0.012625859	0.071280166	0.928719834	-1.14703129	2.472756449
177	0.011027649	0.060252517	0.939747483	-1.22002480	2.247973266
149	0.005274093	0.054978424	0.945021576	-1.25980771	2.173186268
74	0.017740131	0.037238293	0.962761707	-1.42901023	1.86923172
	0.037238293	0	1		



alimento		709.7			
TIEMPO (15 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	255.9	36.19%	36.19%	63.81%
8	2.38	336.9	47.65%	83.84%	16.16%
10	1.900	3.8	0.54%	84.37%	15.63%
30	0.595	20.5	2.90%	87.27%	12.73%
50	0.297	12.9	1.82%	89.10%	10.90%
80	0.177	12.3	1.74%	90.84%	9.16%
100	0.149	5.7	0.81%	91.64%	8.36%
200	0.074	18.1	2.56%	94.20%	5.80%
fondo		41	5.80%	100.00%	0.00%
total		707.1			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	X log(x)
9520	0.361900721	0.638099279	0.361900721	-0.19511174	3.978636948
2380	0.476453118	0.161646160	0.83835384	-0.79143460	3.376576957
1900	0.005374063	0.156272097	0.843727903	-0.80611855	3.278753601
595	0.028991656	0.127280441	0.872719559	-0.89523832	2.774516966
297	0.01824353	0.109036911	0.890963089	-0.96242645	2.472756449
177	0.017394994	0.091641918	0.908358082	-1.03790583	2.247973266
149	0.008061095	0.083580823	0.916419177	-1.07789335	2.173186268
74	0.025597511	0.057983312	0.942016688	-1.23669698	1.86923172
	0.057983312	0	1		

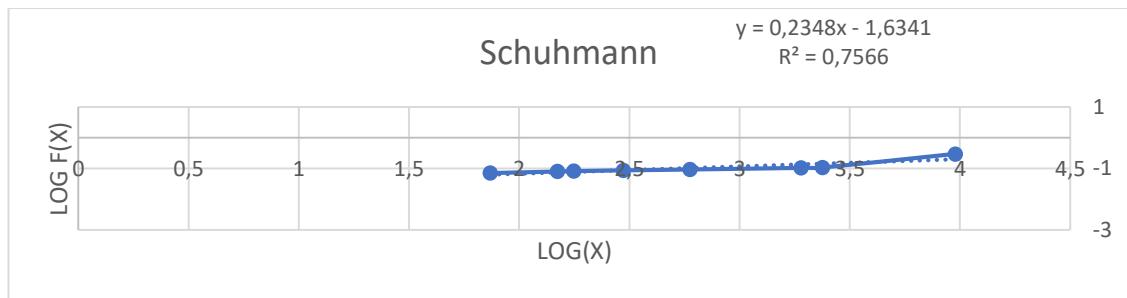
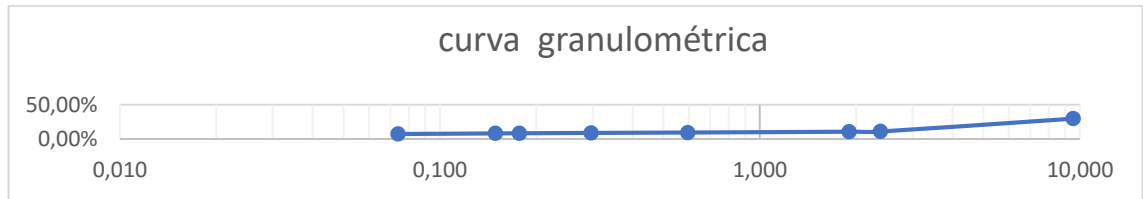


Ensayo Húmedo con el 40% de finos.

alimento		1296			
TIEMPO (1 MINUTO)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	910	70.23%	70.23%	29.77%
8	2.38	245.1	18.91%	89.14%	10.86%
10	1.900	3.7	0.29%	89.43%	10.57%
30	0.595	15.5	1.20%	90.62%	9.38%
50	0.297	7.4	0.57%	91.19%	8.81%
80	0.177	6.6	0.51%	91.70%	8.30%
100	0.149	2.9	0.22%	91.93%	8.07%
200	0.074	11.3	0.87%	92.80%	7.20%
fondo		93.3	7.20%	100.00%	0.00%
total		1295.8			

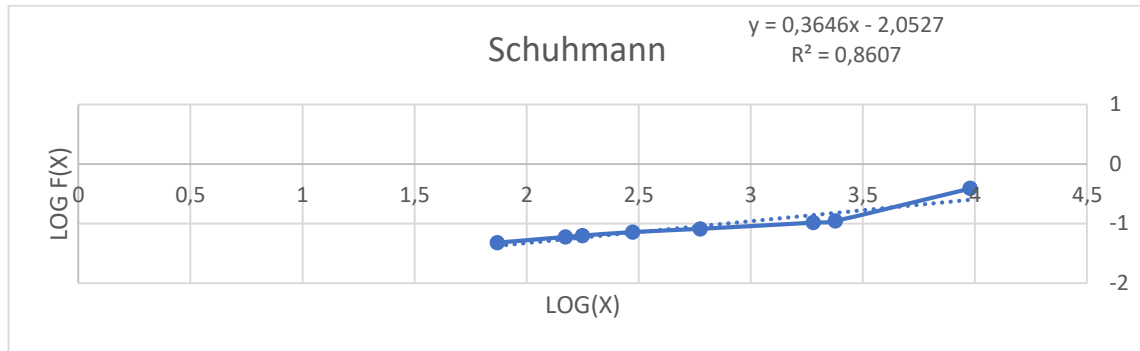
Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	X
				Log F(x)	log(x)
9520	0.702268869	0.297731131	0.702268869	-0.52617575	3.978636948
2380	0.18914956	0.108581571	0.891418429	-0.96424387	3.376576957
1900	0.002855379	0.105726192	0.894273808	-0.97581740	3.278753601
595	0.011961722	0.093764470	0.90623553	-1.02796169	2.774516966
297	0.005710758	0.088053712	0.911946288	-1.05525233	2.472756449
177	0.005093379	0.082960333	0.917039667	-1.08112951	2.247973266
149	0.002238	0.080722334	0.919277666	-1.09300629	2.173186268

74	0.008720482	0.072001852	0.927998148	-1.14265633	1.86923172
	0.072001852	0	1		



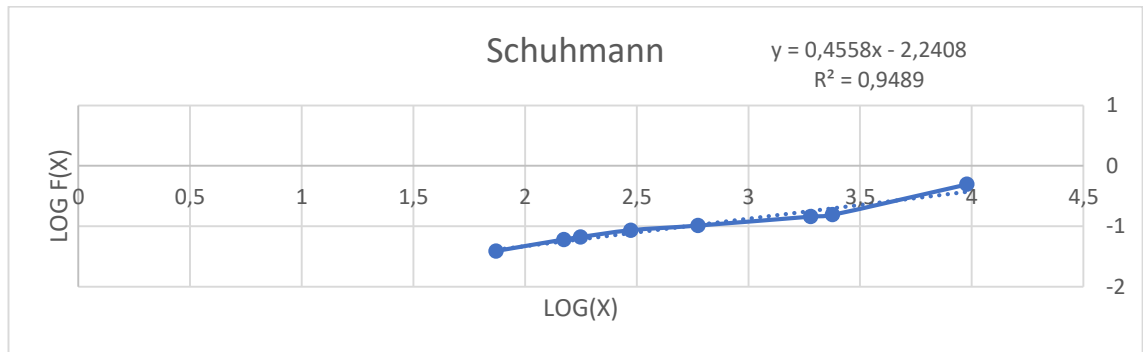
alimento		1398			
TIEMPO (2.5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	854.3	61.26%	61.26%	38.74%
8	2.38	386.4	27.71%	88.96%	11.04%
10	1.900	9.6	0.69%	89.65%	10.35%
30	0.595	30.7	2.20%	91.85%	8.15%
50	0.297	13.5	0.97%	92.82%	7.18%
80	0.177	12.7	0.91%	93.73%	6.27%
100	0.149	4.5	0.32%	94.06%	5.94%
200	0.074	16.5	1.18%	95.24%	4.76%
fondo		66.4	4.76%	100.00%	0.00%
total		1394.6			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.612577083	0.387422917	0.612577083	-0.41181469	3.978636948
2380	0.277068694	0.110354223	0.889645777	-0.95721104	3.376576957
1900	0.006883694	0.103470529	0.896529471	-0.98518333	3.278753601
595	0.022013481	0.081457049	0.918542951	-1.08907132	2.774516966
297	0.009680195	0.071776854	0.928223146	-1.14401558	2.472756449
177	0.009106554	0.062670300	0.9373297	-1.20293822	2.247973266
149	0.003226732	0.059443568	0.940556432	-1.22589513	2.173186268
74	0.011831349	0.047612219	0.952387781	-1.32228158	1.86923172
	0.047612219	0	1		



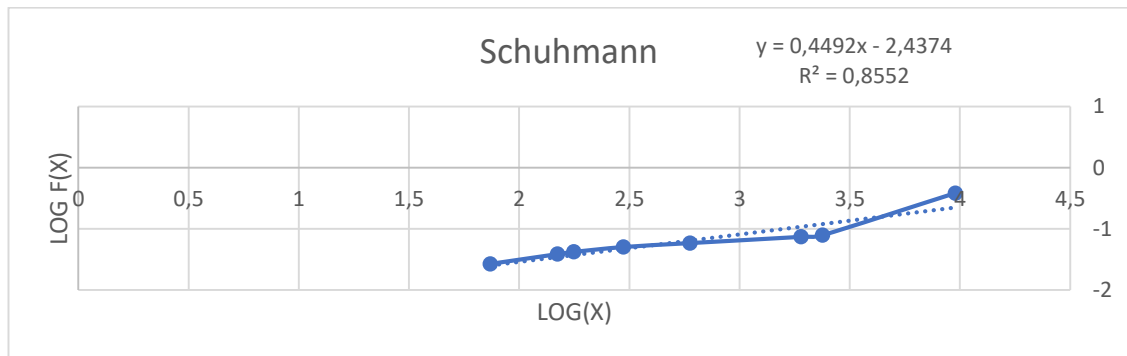
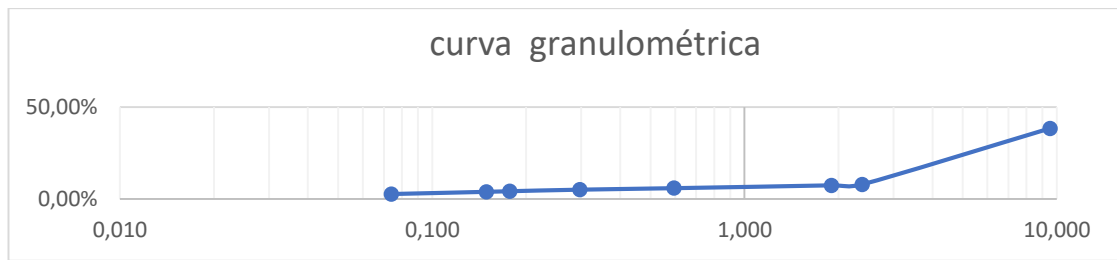
alimento		1411			
TIEMPO (5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	713.1	50.64%	50.64%	49.36%
8	2.38	477.4	33.90%	84.53%	15.47%
10	1.900	14.2	1.01%	85.54%	14.46%
30	0.595	59	4.19%	89.73%	10.27%
50	0.297	23.5	1.67%	91.40%	8.60%
80	0.177	27.8	1.97%	93.37%	6.63%
100	0.149	8.4	0.60%	93.97%	6.03%
200	0.074	30.2	2.14%	96.12%	3.88%
fondo		54.7	3.88%	100.00%	0.00%
total		1408.3			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	Log F(x)	log(x)
9520	0.50635518	0.493644820	0.50635518	-0.30658541	3.978636948
2380	0.338990272	0.154654548	0.845345452	-0.81063730	3.376576957
1900	0.010083079	0.144571469	0.855428531	-0.83991740	3.278753601
595	0.041894483	0.102676986	0.897323014	-0.98852688	2.774516966
297	0.016686785	0.085990201	0.914009799	-1.06555103	2.472756449
177	0.019740112	0.066250089	0.933749911	-1.17881353	2.247973266
149	0.005964638	0.060285451	0.939714549	-1.21978748	2.173186268
74	0.021444295	0.038841156	0.961158844	-1.41070785	1.86923172
	0.038841156	0	1		



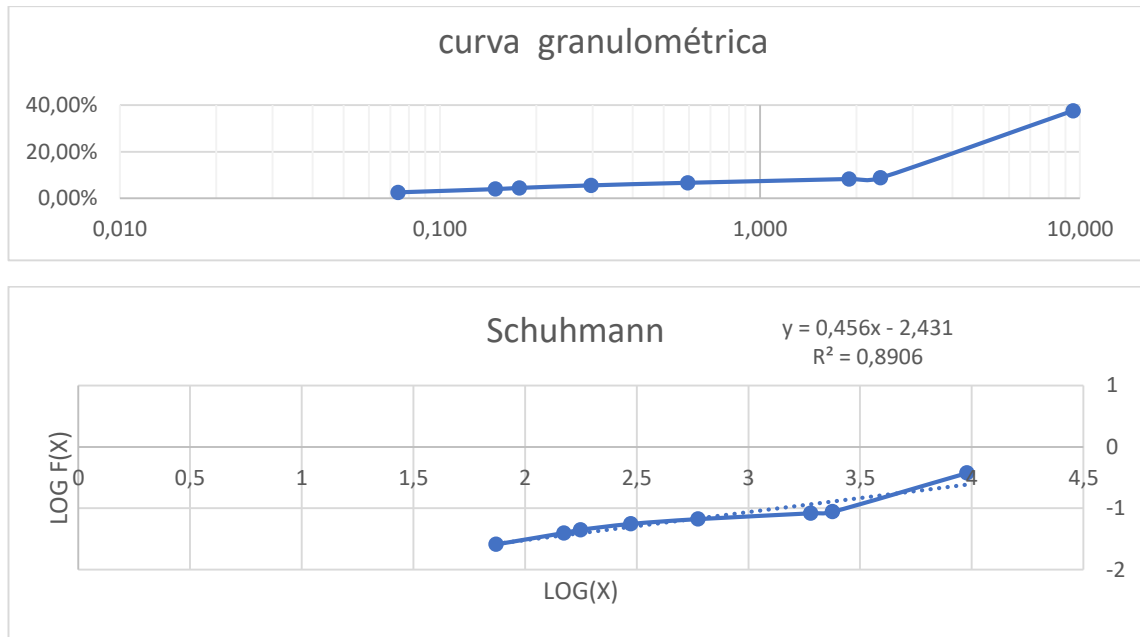
alimento		770			
TIEMPO (10 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	473.8	61.65%	61.65%	38.35%
8	2.38	234	30.45%	92.10%	7.90%
10	1.900	3.8	0.49%	92.60%	7.40%
30	0.595	11.9	1.55%	94.14%	5.86%
50	0.297	6.2	0.81%	94.95%	5.05%
80	0.177	6.5	0.85%	95.80%	4.20%
100	0.149	2.6	0.34%	96.14%	3.86%
200	0.074	9.1	1.18%	97.32%	2.68%
fondo		20.6	2.68%	100.00%	0.00%
total		768.5			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.616525699	0.383474301	0.616525699	-0.41626373	3.978636948
2380	0.304489265	0.078985036	0.921014964	-1.10245518	3.376576957
1900	0.004944697	0.074040338	0.925959662	-1.13053160	3.278753601
595	0.01548471	0.058555628	0.941444372	-1.23243135	2.774516966
297	0.008067664	0.050487964	0.949512036	-1.29681214	2.472756449
177	0.008458035	0.042029928	0.957970072	-1.37644135	2.247973266
149	0.003383214	0.038646714	0.961353286	-1.41288742	2.173186268
74	0.011841249	0.026805465	0.973194535	-1.57177665	1.86923172
	0.026805465	0	1		



alimento		969			
TIEMPO (15 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	604.6	62.48%	62.48%	37.52%
8	2.38	278.3	28.76%	91.24%	8.76%
10	1.900	4.6	0.48%	91.71%	8.29%
30	0.595	15.7	1.62%	93.33%	6.67%
50	0.297	10.7	1.11%	94.44%	5.56%
80	0.177	10.6	1.10%	95.54%	4.46%
100	0.149	4.9	0.51%	96.04%	3.96%
200	0.074	13.4	1.38%	97.43%	2.57%
fondo		24.9	2.57%	100.00%	0.00%
total		967.7			

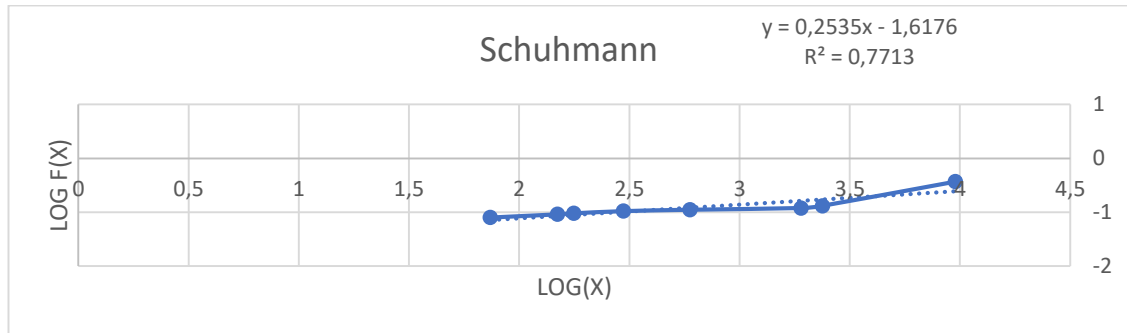
Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.624780407	0.375219593	0.624780407	-0.42571449	3.978636948
2380	0.287589129	0.087630464	0.912369536	-1.05734488	3.376576957
1900	0.004753539	0.082876925	0.917123075	-1.08156637	3.278753601
595	0.016224036	0.066652888	0.933347112	-1.17618102	2.774516966
297	0.011057146	0.055595742	0.944404258	-1.25495846	2.472756449
177	0.010953808	0.044641934	0.955358066	-1.35025699	2.247973266
149	0.005063553	0.039578382	0.960421618	-1.40254196	2.173186268
74	0.013847267	0.025731115	0.974268885	-1.58954139	1.86923172
	0.025731115	0	1		



Ensayo Húmedo con el 50% de finos.

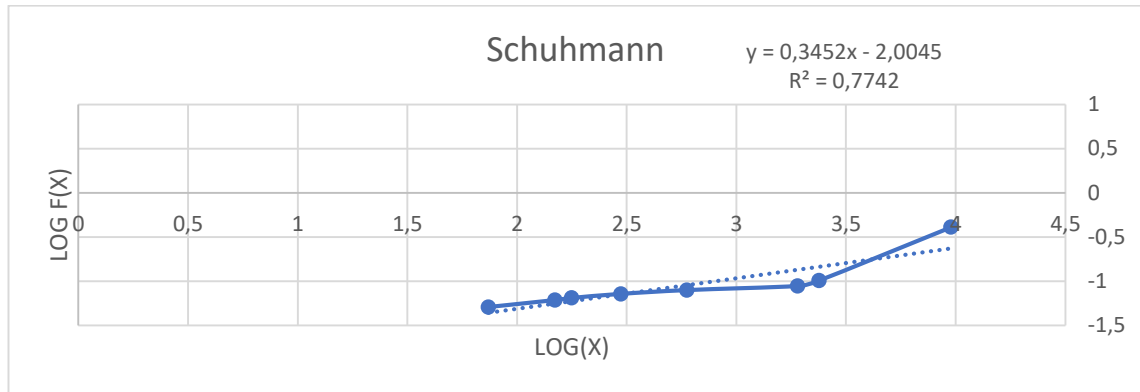
alimento		1564			
TIEMPO (1 MINUTO)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	983.8	62.92%	62.92%	37.08%
8	2.38	373.3	23.88%	86.80%	13.20%
10	1.900	18.8	1.20%	88.00%	12.00%
30	0.595	13.4	0.86%	88.86%	11.14%
50	0.297	10.2	0.65%	89.51%	10.49%
80	0.177	14.7	0.94%	90.45%	9.55%
100	0.149	6.4	0.41%	90.86%	9.14%
200	0.074	18.2	1.16%	92.02%	7.98%
fondo		124.7	7.98%	100.00%	0.00%
total		1563.5			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.629229293	0.370770707	0.629229293	-0.43089458	3.978636948
2380	0.238759194	0.132011513	0.867988487	-0.87938819	3.376576957
1900	0.012024304	0.119987208	0.880012792	-0.92086505	3.278753601
595	0.008570515	0.111416693	0.888583307	-0.95304973	2.774516966
297	0.006523825	0.104892869	0.895107131	-0.97925403	2.472756449
177	0.009401983	0.095490886	0.904509114	-1.02003807	2.247973266
149	0.00409338	0.091397506	0.908602494	-1.03906565	2.173186268
74	0.01164055	0.079756956	0.920243044	-1.09823143	1.86923172
	0.079756956	0	1		



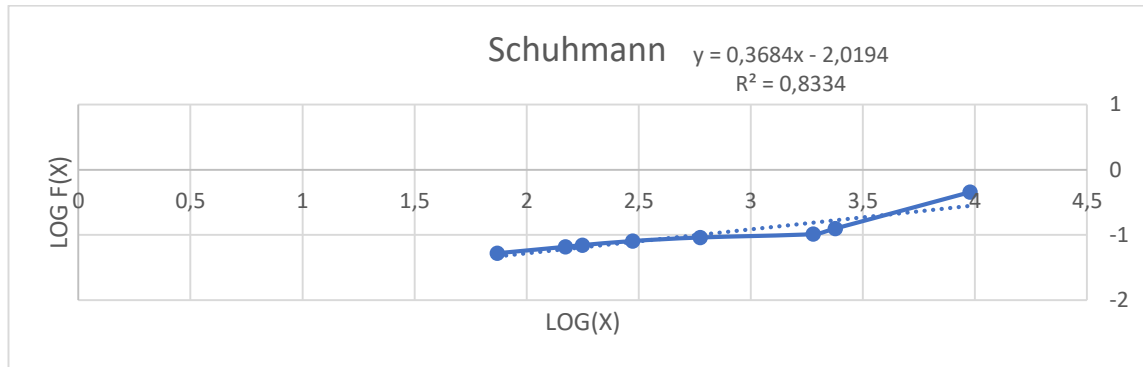
alimento		924			
TIEMPO (2.5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	545.9	59.23%	59.23%	40.77%
8	2.38	282.2	30.62%	89.85%	10.15%
10	1.900	12.2	1.32%	91.18%	8.82%
30	0.595	8.3	0.90%	92.08%	7.92%
50	0.297	6.9	0.75%	92.83%	7.17%
80	0.177	6.7	0.73%	93.55%	6.45%
100	0.149	3.1	0.34%	93.89%	6.11%
200	0.074	9.4	1.02%	94.91%	5.09%
fondo		46.9	5.09%	100.00%	0.00%
total		921.6			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	x
				Log F(x)	log(x)
9520	0.59233941	0.407660590	0.59233941	-0.38970127	3.978636948
2380	0.306206597	0.101453993	0.898546007	-0.99373085	3.376576957
1900	0.013237847	0.088216146	0.911783854	-1.05445192	3.278753601
595	0.009006076	0.079210069	0.920789931	-1.10121960	2.774516966
297	0.007486979	0.071723090	0.92827691	-1.14434100	2.472756449
177	0.007269965	0.064453125	0.935546875	-1.19075602	2.247973266
149	0.003363715	0.061089410	0.93891059	-1.21403407	2.173186268
74	0.010199653	0.050889757	0.949110243	-1.29336962	1.86923172
	0.050889757	0	1		



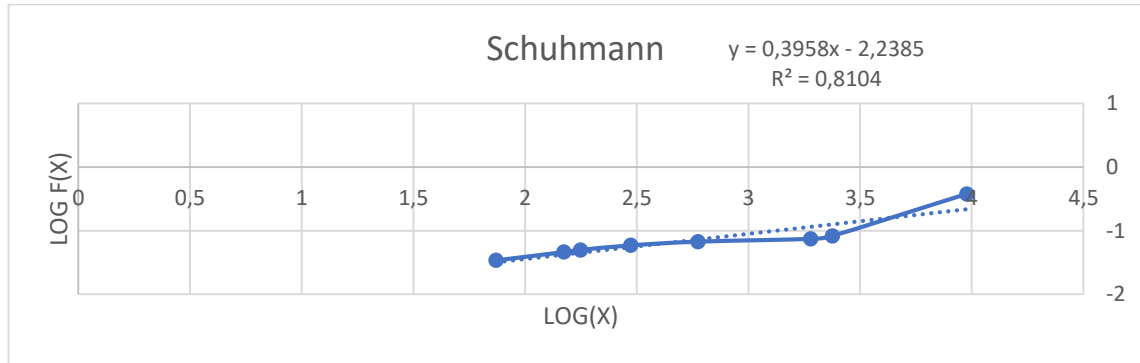
alimento		1248			
TIEMPO (5 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	681.2	54.63%	54.63%	45.37%
8	2.38	409.7	32.85%	87.48%	12.52%
10	1.900	27.6	2.21%	89.70%	10.30%
30	0.595	14.7	1.18%	90.87%	9.13%
50	0.297	13.3	1.07%	91.94%	8.06%
80	0.177	13.7	1.10%	93.04%	6.96%
100	0.149	4.9	0.39%	93.43%	6.57%
200	0.074	16.7	1.34%	94.77%	5.23%
fondo		65.2	5.23%	100.00%	0.00%
total		1247			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.546271051	0.453728949	0.546271051	-0.34320351	3.978636948
2380	0.328548516	0.125180433	0.874819567	-0.90246355	3.376576957
1900	0.022133119	0.103047314	0.896952686	-0.98696332	3.278753601
595	0.011788292	0.091259022	0.908740978	-1.03972419	2.774516966
297	0.010665597	0.080593424	0.919406576	-1.09370039	2.472756449
177	0.010986367	0.069607057	0.930392943	-1.15734672	2.247973266
149	0.003929431	0.065677626	0.934322374	-1.18258255	2.173186268
74	0.013392141	0.052285485	0.947714515	-1.28161885	1.86923172
	0.052285485	0	1		



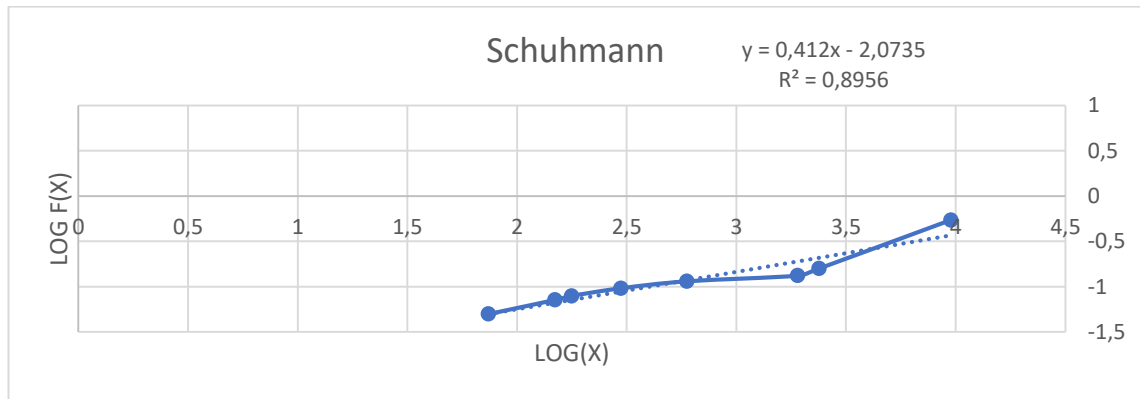
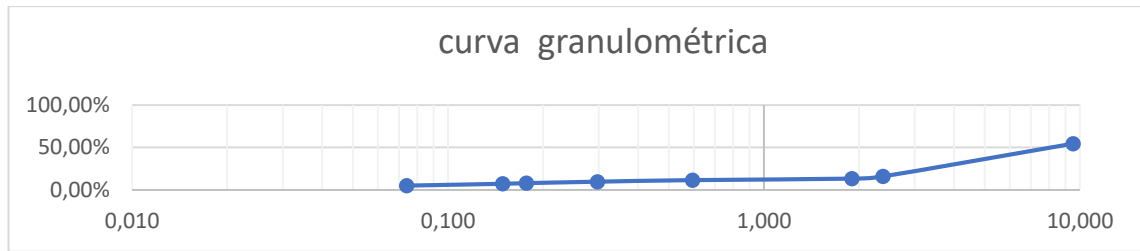
alimento		1136			
TIEMPO (10 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	704.2	62.12%	62.12%	37.88%
8	2.38	335.3	29.58%	91.69%	8.31%
10	1.900	9.7	0.86%	92.55%	7.45%
30	0.595	8.1	0.71%	93.26%	6.74%
50	0.297	9.6	0.85%	94.11%	5.89%
80	0.177	10.1	0.89%	95.00%	5.00%
100	0.149	4.3	0.38%	95.38%	4.62%
200	0.074	13.6	1.20%	96.58%	3.42%
fondo		38.8	3.42%	100.00%	0.00%
total		1133.7			

Schuhmann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y Log F(x)	x log(x)
9520	0.62115198	0.378848020	0.62115198	-0.42153497	3.978636948
2380	0.295757255	0.083090765	0.916909235	-1.08044724	3.376576957
1900	0.008556055	0.074534709	0.925465291	-1.12764143	3.278753601
595	0.007144747	0.067389962	0.932610038	-1.17140478	2.774516966
297	0.008467849	0.058922113	0.941077887	-1.22972168	2.472756449
177	0.008908882	0.050013231	0.949986769	-1.30091508	2.247973266
149	0.003792891	0.046220340	0.95377966	-1.33516686	2.173186268
74	0.011996119	0.034224222	0.965775778	-1.46566642	1.86923172
	0.034224222	0	1		



alimento		627			
TIEMPO (15 MINUTOS)					
denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
3/8	9.520	284.7	45.61%	45.61%	54.39%
8	2.38	240.7	38.56%	84.17%	15.83%
10	1.900	16.2	2.60%	86.77%	13.23%
30	0.595	11.1	1.78%	88.55%	11.45%
50	0.297	11.6	1.86%	90.40%	9.60%
80	0.177	10.6	1.70%	92.10%	7.90%
100	0.149	4.7	0.75%	92.85%	7.15%
200	0.074	13.5	2.16%	95.02%	4.98%
fondo		31.1	4.98%	100.00%	0.00%
total		624.2			

Schumann					
Abertura (mm)	fracción retenida	fracción pasante acumulada	fracción retenida acumulada	y	x
				Log F(x)	log(x)
9520	0.456103813	0.543896187	0.456103813	-0.26448398	3.978636948
2380	0.385613585	0.158282602	0.841717398	-0.80056682	3.376576957
1900	0.02595322	0.132329382	0.867670618	-0.87834371	3.278753601
595	0.017782762	0.114546620	0.88545338	-0.94101772	2.774516966
297	0.018583787	0.095962832	0.904037168	-1.01789694	2.472756449
177	0.016981737	0.078981096	0.921018904	-1.10247684	2.247973266
149	0.007529638	0.071451458	0.928548542	-1.14598890	2.173186268
74	0.021627683	0.049823774	0.950176226	-1.30256337	1.86923172
	0.049823774	0	1		



Anexo 2: Tablas y Gráficas para el cálculo de la Velocidad Específica de Fractura.

Ensayo Seco

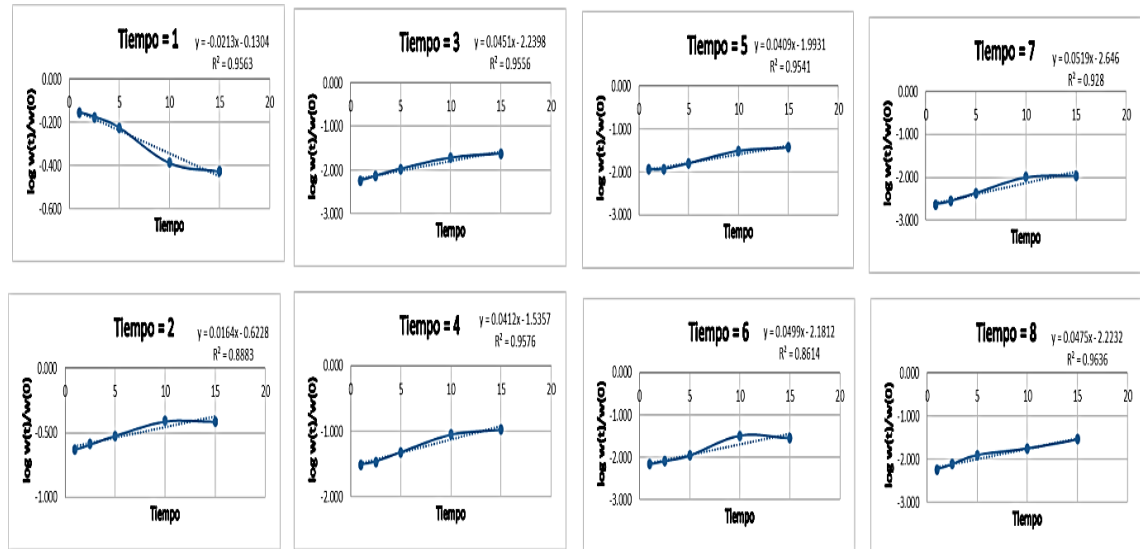
Tiempo	Tamaño en micras									
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74		
	masa (g)									
1	539	179.7	4.4	23.8	8.8	5.3	1.8	4.5	w(t)	767.30
2.5	614.9	236.8	6.7	31.9	10.8	7.6	2.6	7.1	w(t)	918.40
5	576.7	290.6	10.3	46.7	15.4	10.7	4.2	12.2	w(t)	966.80
10	709.9	673.4	33.3	156.5	54.6	56.3	17.5	31.1	w(t)	1732.60
15	442.6	457.9	28.3	126.9	44.3	33.4	13.1	34.4	w(t)	1180.90

Tiempo	Tamaño en micras								
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
	Fracción en peso que permanece en tamaño máximo w(t)/w(0)								
1	0.702	0.234	0.006	0.031	0.011	0.007	0.002	0.006	
2.5	0.670	0.258	0.007	0.035	0.012	0.008	0.003	0.008	
5	0.597	0.301	0.011	0.048	0.016	0.011	0.004	0.013	
10	0.410	0.389	0.019	0.090	0.032	0.032	0.010	0.018	
15	0.375	0.388	0.024	0.107	0.038	0.028	0.011	0.029	

Tiempo	Tamaño en micras								
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
	log w(t)/w(0)								
1	-0.153	-0.630	-2.242	-1.508	-1.940	-2.161	-2.630	-2.232	
2.5	-0.174	-0.589	-2.137	-1.459	-1.930	-2.082	-2.548	-2.112	

5	-0.224	-0.522	-1.972	-1.316	-1.798	-1.956	-2.362	-1.899
10	-0.388	-0.410	-1.716	-1.044	-1.502	-1.488	-1.996	-1.746
15	-0.426	-0.411	-1.620	-0.969	-1.426	-1.548	-1.955	-1.536

Cálculo de pendientes:



Ensayo Húmedo sin finos.

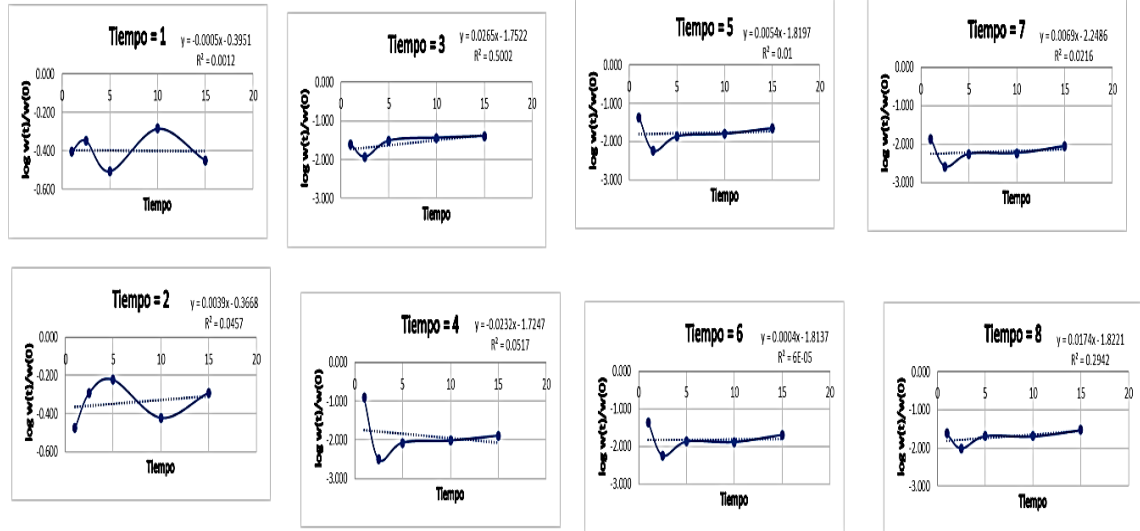
Tiempo	Tamaño en micras								masa (g)	
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74		
1	509.8	430.4	32.3	156.7	54.6	56.3	17.5	31.1	w(t)	1288.70
2.5	791.8	899.8	20.5	5.5	10.3	10.1	4.5	17.1	w(t)	1759.60
5	264.1	507.9	26.2	7.2	11.7	11.4	4.7	17.7	w(t)	850.90
10	514.7	374.7	36.4	9.5	15.8	12.9	5.7	20	w(t)	989.70
15	257.3	372.7	29.4	9.4	16.2	14.7	6.4	21.9	w(t)	728.00

Tiempo	Tamaño en micras								Fracción en peso que permanece en tamaño máximo w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	0.396	0.334	0.025	0.122	0.042	0.044	0.014	0.024	
2.5	0.450	0.511	0.012	0.003	0.006	0.006	0.003	0.010	
5	0.310	0.597	0.031	0.008	0.014	0.013	0.006	0.021	
10	0.520	0.379	0.037	0.010	0.016	0.013	0.006	0.020	
15	0.353	0.512	0.040	0.013	0.022	0.020	0.009	0.030	

Tiempo	Tamaño en micras								log w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	-0.403	-0.476	-1.601	-0.915	-1.373	-1.360	-1.867	-1.617	
2.5	-0.347	-0.291	-1.934	-2.505	-2.233	-2.241	-2.592	-2.012	

5	-0.508	-0.224	-1.512	-2.073	-1.862	-1.873	-2.258	-1.682
10	-0.284	-0.422	-1.434	-2.018	-1.797	-1.885	-2.240	-1.694
15	-0.452	-0.291	-1.394	-1.889	-1.653	-1.695	-2.056	-1.522

Cálculo de pendientes:



Ensayo Húmedo con finos al 20%.

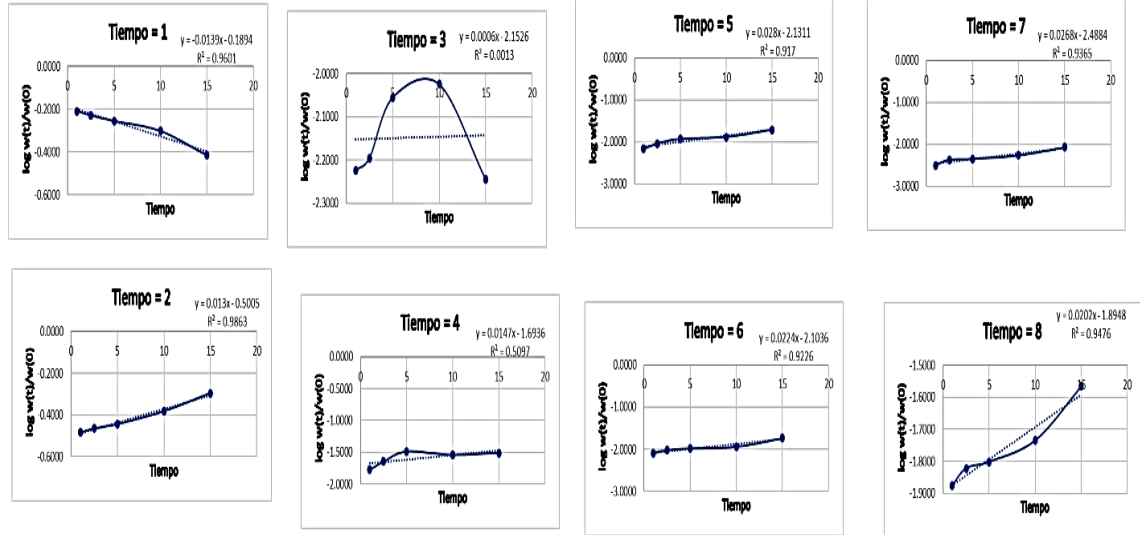
Tiempo	Tamaño en micras								w(t)	masa (g)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74		
1	897.4	478.3	8.7	24.3	10	11.9	4.6	19.4	w(t)	1454.60
2.5	959.9	562.2	10.4	36.5	15.1	15.4	7	24.6	w(t)	1631.10
5	643	418.1	10.2	37.3	13.7	12.1	5.2	18.3	w(t)	1157.90
10	300.2	250.1	5.7	17.2	7.9	6.9	3.3	11.1	w(t)	602.40
15	255.9	336.9	3.8	20.5	12.9	12.3	5.7	18.1	w(t)	666.10

Tiempo	Tamaño en micras								Fracción en peso que permanece en tamaño máximo w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	0.6169	0.3288	0.0059	0.0167	0.0068	0.0081	0.0031	0.0133	
2.5	0.5885	0.3446	0.0063	0.0223	0.0092	0.0094	0.0042	0.0150	
5	0.5553	0.361	0.0088	0.0322	0.0118	0.0104	0.0044	0.0158	
10	0.4983	0.4151	0.0094	0.0285	0.0131	0.0114	0.0054	0.0184	
15	0.3841	0.5057	0.0057	0.0307	0.0193	0.018	0.008	0.027	

Tiempo	Tamaño en micras								log w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	-0.210	-0.483	-2.223	-1.777	-2.163	-2.087	-2.500	-1.875	
2.5	-0.230	-0.463	-2.195	-1.650	-2.034	-2.025	-2.367	-1.822	
5	-0.255	-0.442	-2.055	-1.492	-1.927	-1.981	-2.348	-1.801	

10	-0.302	-0.382	-2.024	-1.544	-1.882	-1.941	-2.261	-1.735
15	-0.415	-0.296	-2.244	-1.512	-1.713	-1.734	-2.068	-1.566

Cálculo de pendientes:



Ensayo Húmedo con finos al 40%.

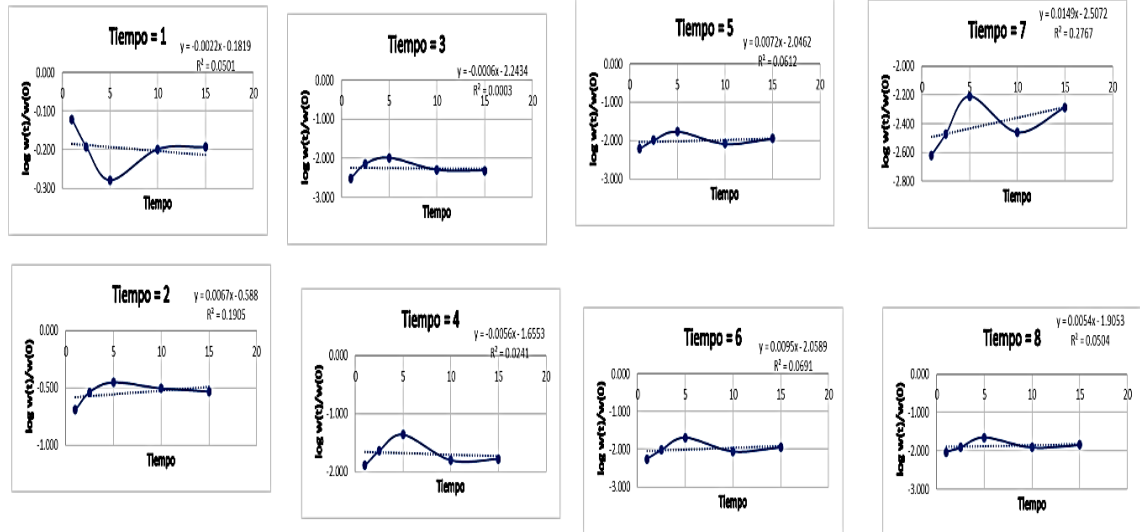
Tiempo	Tamaño en micras									
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74		
	masa (g)									
1	910	245.1	3.7	15.5	7.4	6.6	2.9	11.3	w(t)	1202.50
2.5	854.3	386.4	9.6	30.7	13.5	12.7	4.5	16.5	w(t)	1328.20
5	713.1	477.4	14.2	59	23.5	27.8	8.4	30.2	w(t)	1353.60
10	473.8	234	3.8	11.9	6.2	6.5	2.6	9.1	w(t)	747.90
15	604.6	278.3	4.6	15.7	10.7	10.6	4.9	13.4	w(t)	942.80

Tiempo	Tamaño en micras								
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
	Fracción en peso que permanece en tamaño máximo w(t)/w(0)								
1	0.7568	0.2038	0.0031	0.0129	0.0062	0.0055	0.0024	0.0094	
2.5	0.6432	0.2909	0.0072	0.0231	0.0102	0.0096	0.0034	0.0124	
5	0.5268	0.3527	0.0105	0.0436	0.0174	0.0205	0.0062	0.0223	
10	0.6335	0.3129	0.0051	0.0159	0.0083	0.0087	0.0035	0.0122	
15	0.6413	0.2952	0.0049	0.0167	0.0113	0.0112	0.0052	0.0142	

Tiempo	Tamaño en micras								
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
	log w(t)/w(0)								
1	-0.121	-0.691	-2.512	-1.890	-2.211	-2.261	-2.618	-2.027	
2.5	-0.192	-0.536	-2.141	-1.636	-1.993	-2.019	-2.470	-1.906	
5	-0.278	-0.453	-1.979	-1.361	-1.760	-1.687	-2.207	-1.651	

10	-0.198	-0.505	-2.294	-1.798	-2.081	-2.061	-2.459	-1.915
15	-0.193	-0.530	-2.312	-1.779	-1.945	-1.949	-2.284	-1.847

Cálculo de pendientes:



Ensayo Húmedo con finos al 50%.

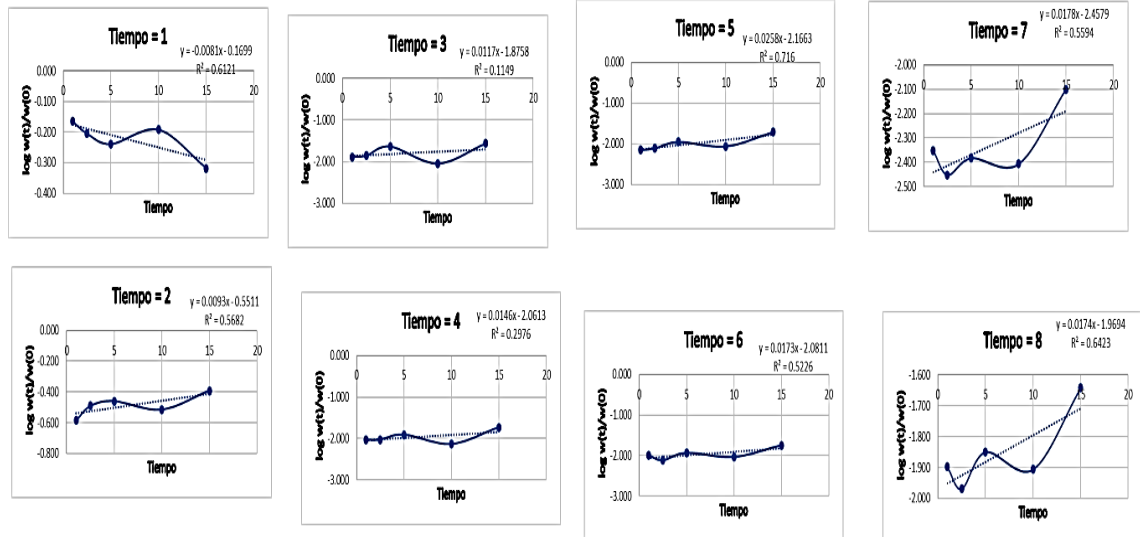
Tiempo	Tamaño en micras								w(t)	masa (g)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74		
1	983.8	373.3	18.8	13.4	10.2	14.7	6.4	18.2	w(t)	1438.80
2.5	545.9	282.2	12.2	8.3	6.9	6.7	3.1	9.4	w(t)	874.70
5	681.2	409.7	27.6	14.7	13.3	13.7	4.9	16.7	w(t)	1181.80
10	704.2	335.3	9.7	8.1	9.6	10.1	4.3	13.6	w(t)	1094.90
15	284.7	240.7	16.2	11.1	11.6	10.6	4.7	13.5	w(t)	593.10

Tiempo	Tamaño en micras								Fracción en peso que permanece en tamaño máximo w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	0.684	0.259	0.013	0.009	0.007	0.010	0.004	0.013	
2.5	0.624	0.323	0.014	0.009	0.008	0.008	0.004	0.011	
5	0.576	0.347	0.023	0.012	0.011	0.012	0.004	0.014	
10	0.643	0.306	0.009	0.007	0.009	0.009	0.004	0.012	
15	0.480	0.406	0.027	0.019	0.020	0.018	0.008	0.023	

Tiempo	Tamaño en micras								log w(t)/w(0)
	9525	2380	2000	590	297	177	149	74	
1	-0.165	-0.586	-1.884	-2.031	-2.149	-1.991	-2.352	-1.898	
2.5	-0.205	-0.491	-1.855	-2.023	-2.103	-2.116	-2.450	-1.969	

5	-0.239	-0.460	-1.632	-1.905	-1.949	-1.936	-2.382	-1.850
10	-0.192	-0.514	-2.053	-2.131	-2.057	-2.035	-2.406	-1.906
15	-0.319	-0.392	-1.564	-1.728	-1.709	-1.748	-2.101	-1.643

Cálculo de pendientes:



Anexo 3: Imágenes de la realización de ensayos.



