



*Ministerio de Educación Superior
Instituto Minero-Metalúrgico
"Doctor A. Núñez Jiménez"*

*Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia*

Trabajo de Diploma

Título: *Estudio Experimental de la Trituración por Impacto a Escala Industrial en la Planta de Zeolita de San Andrés.*

Firma

Diplomante: Hendrik Rainier Hernández Blanco _____

Tutores: DrC. Ing. Alfredo L. Coello Velázquez _____

MsC. Ing. José R. Hechavarría Pérez _____

*Moa 2008
"Año 50 de la Revolución"*



*Ministerio de Educación Superior
Instituto Minero-Metalúrgico
"Doctor A. Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia*

Trabajo de Diploma

Título: *Estudio Experimental de la Trituración por Impacto a Escala Industrial en la Planta de Zeolita de San Andrés.*

Diplomante: *Hendrik Rainier Hernández Blanco*

Tutores: *DrC. Ing. Alfredo L. Coello Velázquez*

MsC. Ing. José R. Hechavarría Pérez

*Moa 2008
"Año 50 de la Revolución"*

Pensamiento

La sabiduría es la capacidad para procesar las señales externas que se reciben en la vida y convertirla en la brújula del espíritu.

José Martí

Dedicatoria:

*A mi Madre Luz Mirella Blanco Rosell, a mi Padre Andrés
Hernández Benítez y a mis Hermanos.*



Agradecimientos

Yo agradezco de todo corazón a todas las personas que hicieron posible la realización de este arduo trabajo. A mis tutores José Ramón Hechavarría y Alfredo Coello Velásquez quienes fueron el eslabón fundamental y sin los cuales no hubiese sido posible la culminación de este trabajo. A mis compañeros que estuvieron a lo largo de la carrera, a Abel Maceo y su colectivo de trabajadores de la Empresa SERCONI. Y al colectivo de trabajadores de la Empresa Geominera de Holguín y, los que me brindaron su apoyo incondicional.

A todos ellos muchas gracias.



RESUMEN.

En el presente trabajo se desarrolla un estudio experimental del comportamiento de trituración por impactos del mineral de zeolita del yacimiento de San Andrés en la provincia de Holguín.

El trabajo se desarrolló mediante la experimentación del proceso a escala industrial con el objetivo de determinar la influencia de las variables; flujo de alimentación de mineral, velocidad de impacto y regulación de la salida de la trituradora en el comportamiento de la distribución de tamaño del mineral de salida o producto.

Para lograr los objetivos propuestos se diseñó un experimento factorial de 3 variables independientes con 2 niveles de cada una de estas. Las principales respuestas del sistema son presentadas en forma de tablas y gráficos, a partir de los cuales es posible valorar las variables de mayor influencia en el proceso así como las dependencias de las interacciones de estas en la obtención de un producto más fino o más grueso, todo lo cual reviste una gran importancia para la toma de acciones en función del incremento de la eficiencia tecnológica de la instalación.

INDICE



No	Contenido	Página
	INTRODUCCION.	1
1	CAPITULO 1 ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA DE TRITURACION DE MINERALES.	
1.1	Métodos y Equipos de Trituración y Molienda.	
1.2	Principales Regularidades del Comportamiento de Trituración de los Minerales.	
1.3	Principales Modelos Analíticos del Comportamiento de Trituración de Minerales.	
1.4	Principales Resultados Experimentales del Comportamiento de Trituración de Minerales Mediante Impactos.	
1.4.1	Análisis de los trabajos realizados sobre la trituración del mineral de San Andrés.	
1.5	Conclusiones del Capítulo 1.	
2	CAPITULO 2 MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS.	
2.1	2.1 Diseño de Experimento.	
2.2	Descripción del Procedimiento Experimental.	
2.3	Descripción de los Principales Equipos y Medios.	
2.4	Características Principales de la Materia Prima.	
3	CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	
3.1	Ajuste de Curvas de las Distribuciones del producto Obtenido Durante la Experimentación.	
3.2	Modelación Estadística.	
	CONCLUSIONES	
	RECOMENDACIONES	
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

INTRODUCCION

La Planta de San Andrés ubicada en la provincia de Holguín se utiliza en el procesamiento de zeolita natural procedente del yacimiento del mismo nombre y su producción se destina al mercado nacional y a la exportación; principalmente a Brasil, Colombia, Venezuela, España, Italia y Otros.

Las zeolitas naturales se caracterizan por su amplia gama de utilización, destacándose entre sus mayores aplicaciones; las producciones de fertilizantes y pienso animal, el mejoramiento de los suelos, el tratamiento de aguas y residuales, las producciones de detergentes y muchas otras, debido a esta causa existen diferencias en las exigencias de los productos que demandan los diferentes clientes y por tanto se requiere del conocimiento del comportamiento del proceso tecnológico para su mejora con el objetivo de satisfacer estas demandas en los plazos requeridos y con costos aceptables.

Por otra parte resulta conocido que; en la actualidad el incremento de la eficiencia energética de los procesos e instalaciones reviste una importancia de primer orden. Para lograr este objetivo también resulta imprescindible el incremento continuo del conocimiento acerca de los mismos.

En este contexto en la Planta de San Andrés se han desarrollado diferentes trabajos de investigación del comportamiento de la trituración del mineral de zeolita: Hechavarría y Coello (2003) realizaron una evaluación del comportamiento de la trituración por impacto a escala industrial teniendo en cuenta la influencia de algunas variables de operación, Ballar et al (2006) determinaron el comportamiento de trituración del mineral en sus diferentes etapas para condiciones nominales de las variables de operación, Guevara et al (2007) investigaron la influencia de diferentes variables de operación en el comportamiento de la trituración del mineral a escala de laboratorio.



Sin embargo no se conoce la influencia de las variables; flujo de alimentación, velocidad de impacto y regulación de la salida en las trituradoras de martillos en el comportamiento de trituración del mineral a escala industrial, a partir de la caracterización de este en una gama relativamente amplia de tamaños, lo cual limita el conocimiento del comportamiento del proceso de trituración y por tanto su evaluación y mejora, lo cual constituye el **problema** de la presente investigación.

El Objeto de trabajo se define como; el comportamiento de la trituración por impacto del mineral de zeolita en las condiciones de la Planta de San Andrés.

Objetivo: Determinar de forma experimental la influencia del flujo de alimentación, la velocidad y la regulación de la salida de la trituradora de impacto en la distribución de tamaño del producto obtenido.

Hipótesis: Si se determina el comportamiento del producto en función del flujo de alimentación, la velocidad y la regulación de la salida de la trituradora de impacto, es posible recomendar alternativas para la mejora del proceso tecnológico de la instalación objeto de trabajo.

Tareas de investigación:

1 Estudio del estado actual del tema.

2 Selección de los métodos y técnicas necesarios para el desarrollo experimental de la investigación.

3 Presentación y evaluación de resultados.



CAPITULO 1 ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA DE TRITURACION DE MINERALES.

La trituración y el desmenuzamiento se realizan generalmente en los minerales con el fin de someter estos a operaciones posteriores de enriquecimiento o para su utilización inmediata en diferentes ramas como la industria química, en la construcción, agricultura, etc.

Las especificaciones de tamaño del producto resultan de gran importancia tanto en un caso como en el otro.

Según se plantea en Andreiev (1980) resultan escasos los procesos o industrias donde no se utilicen procesos de trituración. Por otra parte los procesos de trituración de minerales consumen un elevado monto de energía, por tanto teniendo en cuenta todos estos aspectos, se puede apreciar la importancia del estudio y la mejora continua de dichos procesos.

1.1 Métodos y Equipos de Trituración y Molienda.

Los métodos de trituración y molienda constituyen procedimientos para la reducción de tamaño de los materiales, que se diferencian entre sí por el tipo de fuerza o acción destructora a que se someten los mismos.

Según Taggart (1950) y Andreiev (1980) los procesos de reducción de tamaño se clasifican en cuatro tipos principales:

- ◆ Por aplastamiento o compresión.
- ◆ Por hendimiento o penetración.
- ◆ Por impactos.
- ◆ Por fricción.



Los principales equipos de trituración y molienda se clasifican según sus parámetros constructivos y por los métodos de trituración que predominan en ellos en las 5 clases que se relacionan a continuación (Shubin (1975), Taggart (1950) y Andreiev (1980).

- ◆ Trituradoras de mandíbulas.
- ◆ Trituradoras de cono.
- ◆ Trituradoras de rodillos o cilindros.
- ◆ Trituradoras por choques o impactos.
- ◆ Molino de tambor.

En las trituradoras de impacto el material se tritura fundamentalmente por los golpes que recibe de los elementos de trituración, gracias a la energía cinética que estos poseen.

Este grupo de equipos se puede dividir en tres clases principales:

- ◆ Trituradoras de martillos.
- ◆ Trituradoras giratorias.
- ◆ Desintegradoras.

Esta clasificación obedece a la forma de los elementos trituradores.

Los trituradores de martillos constan de elementos trituradores en forma de martillos (ver figura no.1.1).

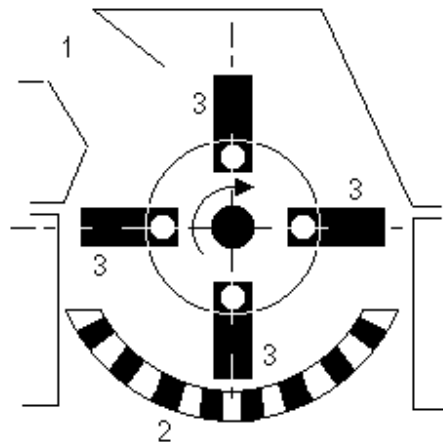


Figura 1.1 .Esquema de una trituradora de martillos.

En este tipo de trituradoras los órganos de trituración serán martillos articulados al rotor 3 que gira en el espacio de trabajo del equipo, el cual está limitado por el cuerpo revestido de placas acorazadas de material resistente al impacto y al desgaste.

El material a triturar penetra en el espacio de trabajo a través de la abertura de carga de la trituradora 1 y cae en la zona de acción de los martillos que golpean los fragmentos y los lanzan hacia las paredes revestidas.

De tal forma la destrucción del material se llevará a cabo por:

- ◆ Los golpes de los martillos.
- ◆ Los golpes al chocar con las corazas, al ser lanzados los fragmentos contra ellas.
- ◆ Por la fricción y aplastamiento ocasionados por la acción de los martillos sobre el material alojado entre estos y las paredes del equipo.

Las machacadoras de martillos se fabrican con rejillas o sin ellas. Las rejillas están destinadas a obtener el producto por debajo de cierto tamaño máximo y se emplean



principalmente en la trituración fina. Las trituradoras de martillo sin rejillas garantizan el producto necesario debido a la alta velocidad del rotor.

Es notable que en las trituradoras sin rejillas la destrucción del material por aplastamiento y fricción tendrá una importancia mucho menor que en las trituradoras con rejillas.

Las trituradoras de martillo se pueden clasificar.

- ◆ De uno o de dos rotores.
- ◆ De acuerdo a la forma de giro del rotor en reversibles y no reversibles.

Las trituradoras reversibles permiten la utilización de los martillos por ambas caras de trabajo sin realizar el desmontaje de estos.

La velocidad para los terminales de los martillos según Shubin (1975) es de 30 - 55 m/seg. Según Andreiev (1980) la velocidad está en los límites de 35-65 m/seg y puede llegar a 115 m/seg.

Andreiev (1980) plantea que; en los molinos con rejillas la misma ocupa entre 135- 180 grados de la circunferencia descritas por los martillos. Esta rejilla puede acercarse o alejarse de los martillos con un mecanismo sencillo en algunas construcciones de este tipo de trituradoras.

Los tipos de martillos más frecuentemente utilizados en estos equipos según Taggart (1950) y Andreiev (1980) se muestran en la figura no.1.2.

Según Taggart (1980): Los martillos tipo barra se emplean para triturar rocas frágiles, poco abrasivas y blandas, algunos de estos tipos de martillos tienen agujeros por ambos lados, lo cual permite su utilización por los dos extremos (figuras 1.2, A, B y C).

Los martillos tipo bandaje (figura 1.2; E, F, G) tienen un área de trabajo con una sección mayor y se utilizan para materiales resistentes y de abrasividad media.

Los martillos de abrazaderas (figura H) se emplean para el mismo fin que los martillos de barras.

Los martillos de abrazaderas reforzados (figura I) se emplean para triturar materiales resistentes.

Los martillos de abrazaderas tienen como desventaja fundamental el alto grado de desequilibrio del rotor de la máquina debido al desgaste. Lo cual según Andreiev (1980) se produce más rápidamente que con la utilización de los martillos de barras.

Las trituradoras de martillos se caracterizan por un alto nivel de ruidos que en muchos casos supera las normas establecidas por protección e higiene del trabajo.

Este tipo de trituradora tendrá índices de consumo de aceros por cantidad de material procesado que varían según el tipo de material y las características del proceso.

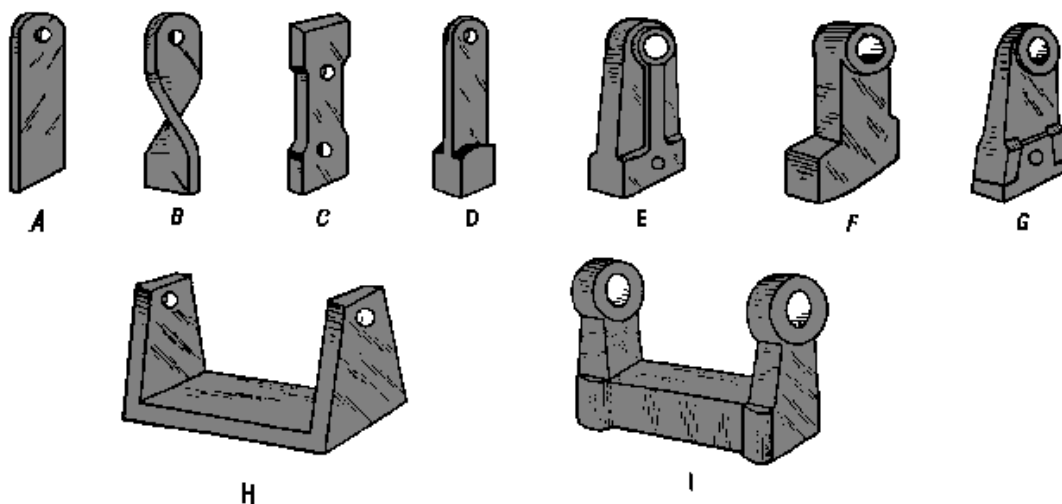


Figura 1.2. Principales tipos de martillos para trituradoras.



1.2 Principales Regularidades del Comportamiento de Trituración de los Minerales.

La descripción de las principales regularidades del comportamiento de trituración de los minerales resulta de gran importancia para el estudio de estos procesos al igual que los métodos utilizados para estos fines analizados en el acápite anterior.

Según Andreiev (1980) Mediante numerosas pruebas de las propiedades de resistencia de las rocas se ha comprobado un alto grado de variabilidad de los indicadores experimentales de trituración de los minerales incluso para muestras de una misma roca y la dependencia de estos indicadores de muchos factores que no pueden ser evaluados cuantitativamente.

Anisotropía de las propiedades de las rocas:

Esta propiedad se distingue por el hecho de que las rocas tienen diferentes propiedades en distintas direcciones, esta propiedad está vinculada con la estratificación, la equistocidad y el patrón de fisuras de las mismas.

Factor de escala:

A mayor volumen del fragmento de roca la probabilidad de encontrar defectos suficientemente apreciables como para que este pueda ser destruido por toda su sección bajo los efectos de una carga será mayor mientras que con la disminución del tamaño existirá un efecto contrario. La dependencia de la resistencia de los cuerpos sólidos con respecto a las dimensiones de los mismos se denomina factor de escala.

Dureza de las rocas.

La dureza de las rocas se determina por la resistencia a la penetración de estas con un instrumento sólido, los métodos de medición de la dureza presentan algunas diferencias y permiten clasificar estas en diferentes grupos



Coeficiente general de solidez de las rocas.

A consecuencia de la gran variación de los indicadores de las propiedades de las rocas y de las dependencias de los mismos de los procesos tecnológicos para los cuales se determinan, en la práctica se utilizan indicadores parciales de las propiedades de las rocas. Por ejemplo se han implementado indicadores de perforabilidad, explosividad, de trituración, de abrasividad, de molienda o desmenuzamiento y otros. Estos indicadores se obtienen tratando de reproducir el proceso real a escala de laboratorio llevando a cabo las pruebas correspondientes del comportamiento de los indicadores en partículas aisladas. Estos resultados se correlacionan con los indicadores de los procesos a escala industrial y se utilizan para los cálculos y diseños de los mismos.

No obstante existen indicadores generales utilizados durante muchos años que aunque no sustituyen a los indicadores parciales se puede utilizar para la comparación general de la resistencia de las rocas y para cálculos aproximados.

Un indicador general de resistencia es el coeficiente de solidez que se determina por la resistencia temporal de las rocas a la compresión de una muestra cilíndrica de diámetro igual a su altura entre 32 y 42 mm según la ecuación 1.1 (Andriev, 1980)

$$f = \frac{\sigma_{comp}}{300} + \frac{\sqrt{\sigma_{comp}}}{30} \quad (1.1)$$

Siendo:

f: Coeficiente de solidez.

σ compresión: La resistencia temporal a la compresión



1.3 Principales Modelos Analíticos del Comportamiento de Trituración de Minerales.

Los modelos analíticos del comportamiento de trituración de minerales predicen la distribución de tamaño del producto obtenido en la trituradora a partir de la reducción del tamaño del mineral de alimentación.

Existen diferentes modelos los cuales parten de elementos diferentes y tienen diferentes expresiones matemáticas.

Según Herbst y Potapov (2003) y Otros; los principales métodos utilizados para la modelación y simulación analítica de los procesos de trituración y molienda de minerales son:

- ◆ Los métodos de la energía.
- ◆ Los métodos de balance de la población de partículas.
- ◆ Métodos de modelación por elementos finitos.

Dentro de los métodos de la energía se encuentran; los modelos de Rittinger (1867), Kirpichov (1883) y Bond (1951).

Los principales modelos que utilizan el balance de la población de partículas se encuentran los modelos de White y Witten (1979) utilizados principalmente para la trituración por compresión y los modelos de Nikolov (2002 y 2004), así como los modelos de Vogel y Peukert (2005) para las trituradoras de Impactos.

Los principales modelos basados en el análisis por elementos finitos, para la trituración por impacto se encuentra el modelo de Djordjevic (2003).

1.4 Principales Resultados Experimentales del Comportamiento de Trituración de Minerales Mediante Impactos.

Las investigaciones experimentales más amplias de la influencia de diferentes variables en la distribución de tamaño del producto de una trituradora de martillos, encontradas durante la revisión bibliográfica, pertenecen a Taggart (1950) y fueron obtenidas durante la trituración de grava de río, las cuales se exponen a continuación, con sus respectivas representaciones gráficas.

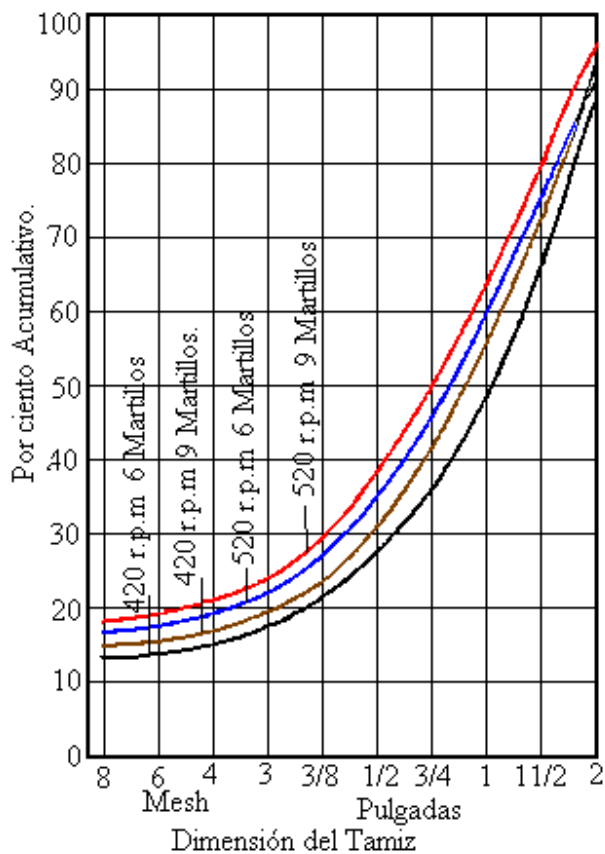


Figura 1.3. Relación entre la cantidad de martillos y la distribución de tamaño de salida del material.

En la figura 1.3 Se observa el efecto del incremento del número de martillos para dos escalas de velocidades sobre la distribución de tamaño del producto obtenido, observándose que un mayor número de martillos provoca una disminución del grosor del producto en ambos casos

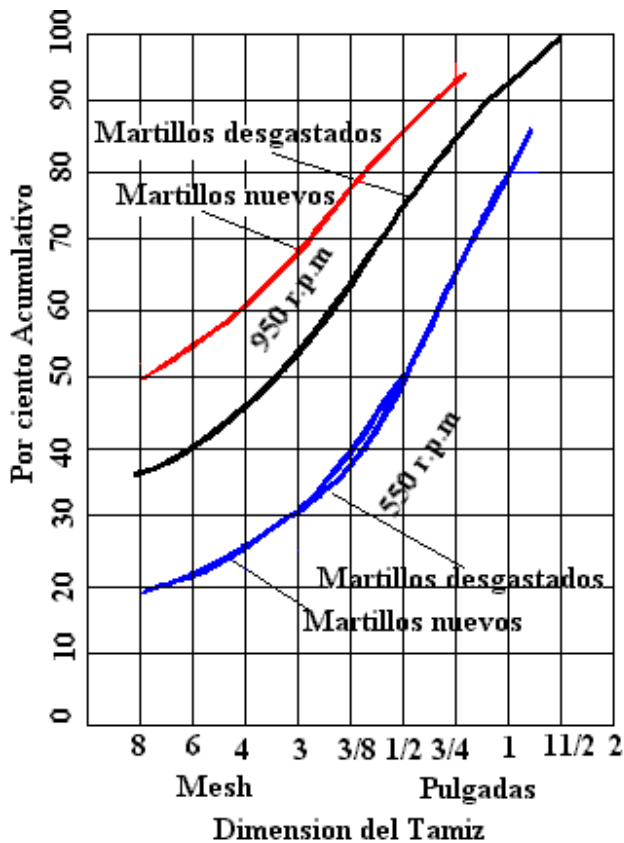


Figura 1.4. Influencia del desgaste de los martillos en la distribución de la clase de grosor a la salida de la trituradora.

En la figura no.1.4 se exponen los resultados obtenidos en la distribución de tamaño del producto debido al desgaste de los martillos, igualmente para valores distintos de velocidades, donde se observa que los martillos desgastados conducen a un incremento del grosor del producto obtenido y que este efecto resulta más notable en el régimen de mayor velocidad.

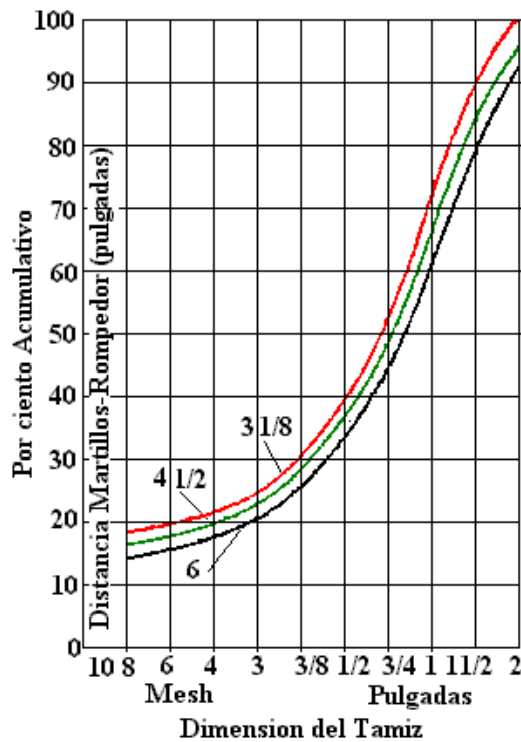


Figura 1.5 Influencia de la holgura entre el rotor y el estator sobre el producto obtenido.

En la figura no.1.5 se representa la influencia de la holgura entre el rotor y el estator sobre el producto obtenido para tres valores diferentes de esta variable independiente. Aquí resulta evidente que al disminuir la distancia entre los martillos y el rompedor el producto resulta más fino.

Los resultados de la variación de las holguras de la rejilla de salida de la trituradora aparecen en la figura no.1.6, apreciándose que la disminución de la holgura de dicha rejilla conduce a la disminución del grosor del producto.

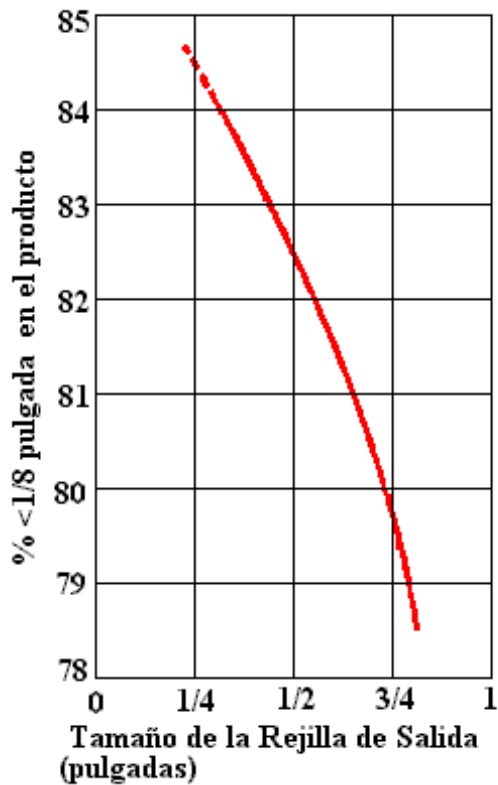


Figura 1.6 Comportamiento del tamaño de salida del material en dependencia de las dimensiones de la rejilla de salida.

Una variable de gran influencia en la distribución del producto obtenido resulta la velocidad de rotación del equipo según se puede observar en las curvas representadas en la figura no.1.7.

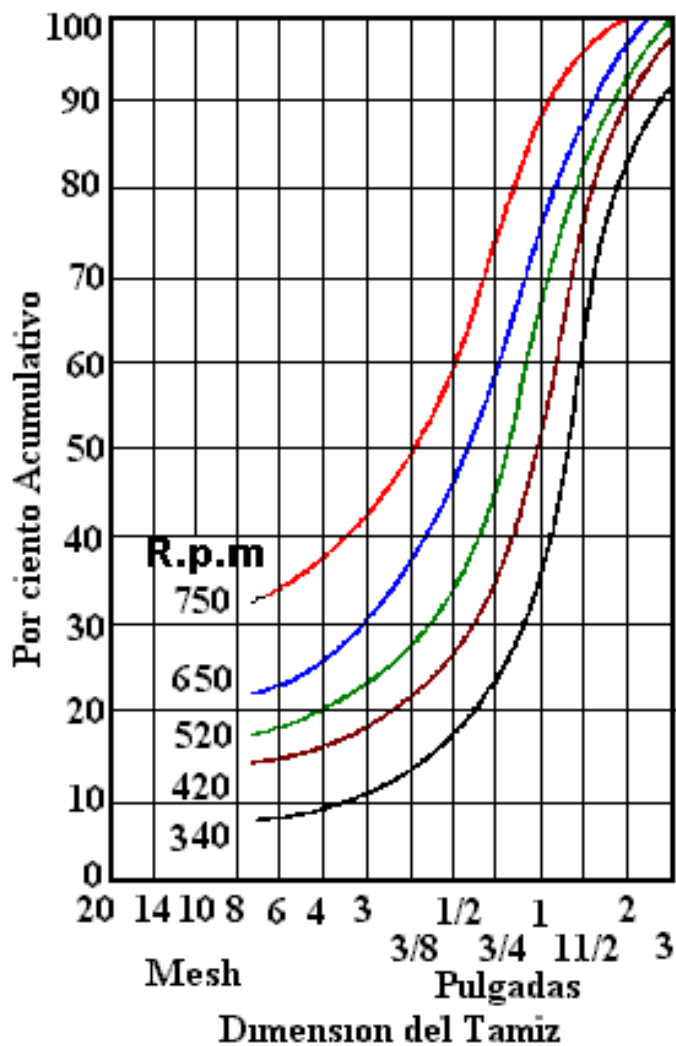


Figura 1.7. Influencia de la Velocidad de Rotación en el tamaño de Salida del Mineral.

El efecto del tamaño del mineral alimentado al equipo resulta de especial interés (ver figura no.1.8).

Esta curva demuestra que el tamaño de alimentación tiene un efecto muy pequeño en el producto < 100 mesh pero el rango de reducción límite se incrementa con el

incremento del tamaño alimentado desde aproximadamente 2 para la alimentación más fina experimentada, hasta 3 para el mayor tamaño alimentado.

El rango de 50 % de tamaño (50 % retenido) es aparentemente más dependiente sobre las partículas más finas en la alimentación; para las condiciones del experimento esta fue 5 para $1/8$ in en los tamaños menores, desde 6-8 para $3/8$ in y salta a 19 para $1 1/2$ in en menor tamaño, tan lejos como 50 % puntos de medición el tamaño de un producto.

La conclusión parece ser que este tipo de molino es más eficiente para en la trituración de las clases mayores que $1 1/2$ in que en las mas finas ($1/8$ - $3/8$ ”).

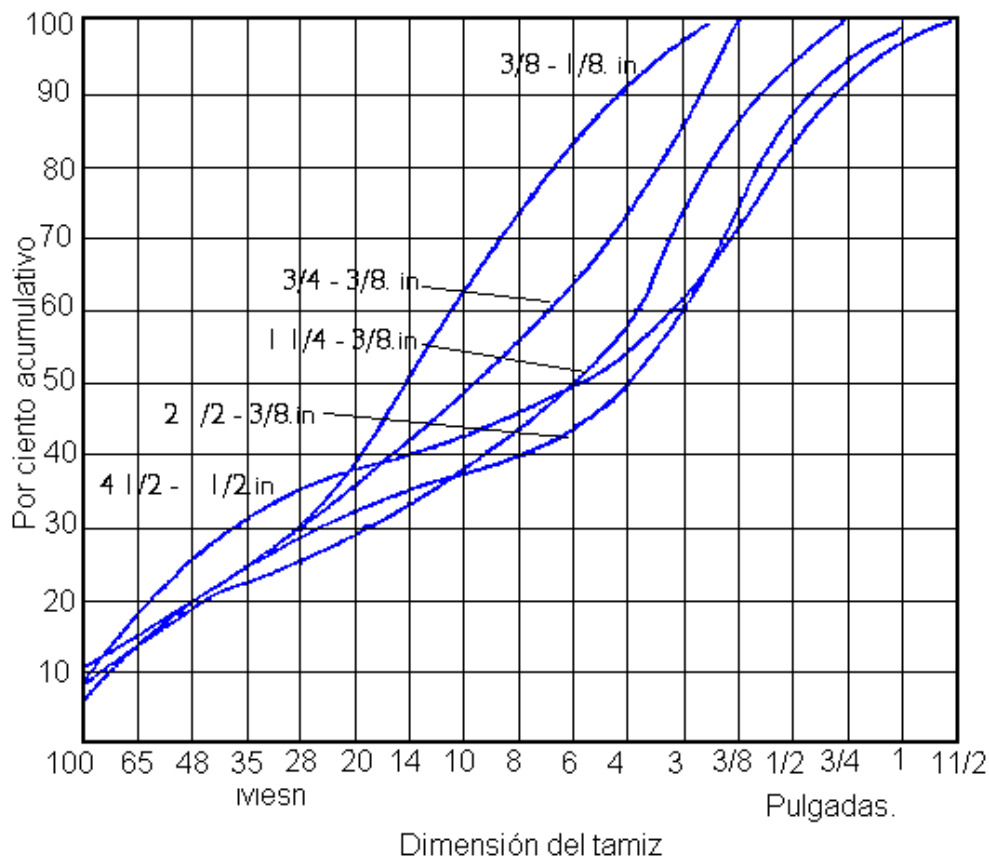


Figura 1.8. Influencia del tamaño del material alimentado a la trituradora en el tamaño del producto obtenido.

El consumo de potencia: depende del trabajo realizado y las revoluciones del equipo. El trabajo realizado depende de las características del mineral de entrada, del tamaño del producto, la velocidad y la productividad. (Taggart 1950).

En la figura no.1.9 se muestran características de dependencia entre la velocidad, la productividad y la potencia consumida por el motor.

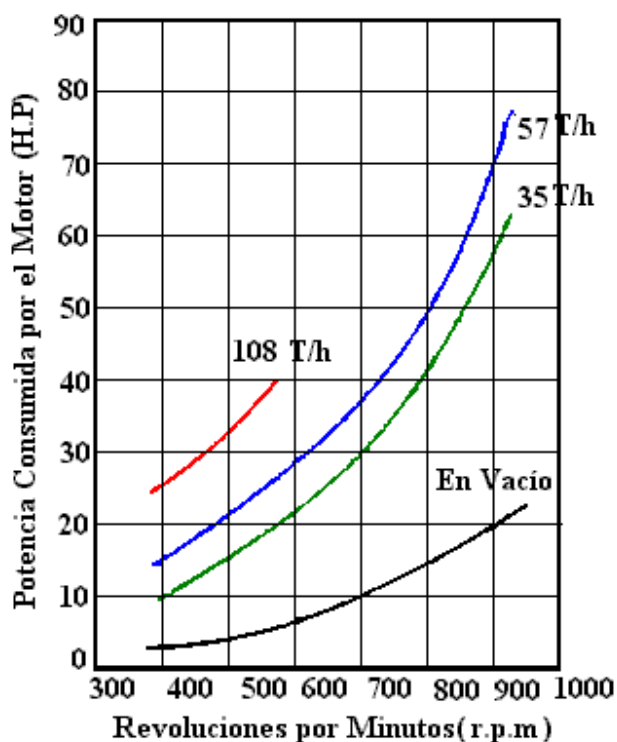


Figura 1.9 Dependencias entre la velocidad, la productividad y la potencia consumida por el motor de la trituradora.

Otras investigaciones de Taggart (1950) demuestran que la mayor dureza del material en algunos experimentos no necesariamente implica un incremento de la potencia necesaria, para la trituración de ellos en el mismo equipo tal es el caso de dos tipos de



carbón bituminoso uno de elevada dureza y otro de baja dureza como se muestra en la tabla no.1.

Tabla1.1Diferencias en el comportamiento de minerales de carbón con diferentes durezas.

Parámetros	Mineral Carbón de alta dureza	Carbón blando
Productividad (T/horas)	168	140
Dimensiones del producto Triturado (Pulgadas)	66 % < 1/8	82 % < 1/8
Consumo específico de Energía HP/Tons.	1,56	3,3

Nota: El grado de humedad en ambos casos fue 3,9 %.

La probable explicación de la reducción de la capacidad del triturador durante el trabajo con carbón blando está en la dificultad de clasificación, probablemente debido al lanzamiento y rompimiento en la parrilla; el incremento del consumo de potencia en tal circunstancia es causado por la resistencia del material en la rejilla lo cual puede ser causa de la mayor fineza relativa de este producto.

La solución a este problema pudiera ser el uso de una mayor distancia del círculo que describen los martillos durante la rotación del equipo a los revestimientos internos del triturador, cuando se procesan materiales blandos.

Además en los trabajos de Taggart /50/ se exponen la influencia de otras variables en el proceso de las trituradoras de martillos como son:

- La humedad: La humedad en el producto alimentado provoca la disminución de la productividad y el incremento del consumo de potencia a partir de un rango crítico, en el cual el material se compacta.



- En los carbones bituminosos la humedad crítica está entre un 6 a un 10 % a partir de la cual se puede reducir la productividad de un 30 a un 50 % e incrementándose el consumo de potencia en rango similar.
- La estabilidad de alimentación: Esta debe ser lo más regular posible ya que la carga en el motor y los restantes elementos pueden sufrir fallos prematuros debido a las variaciones en la carga. Además la productividad y la distribución de tamaño del producto pueden sufrir grandes variaciones en el tiempo.
- Caída libre del material alimentado: La altura de caída debe ser tal que los impactos de los fragmentos del material por los martillos sean golpes centrales de lo contrario, si los fragmentos no penetran hasta cierta profundidad en el círculo que describen los martillos durante su movimiento disminuirá la productividad y se incrementará el desgaste en estos elementos ya que los golpes se efectuarán en forma resbaladiza.

1.4.1 Análisis de los trabajos realizados sobre la trituración del mineral de San Andrés.

Las principales investigaciones del proceso de trituración de la Planta de Zeolita de San Andrés se encuentran en los reportes de Hechavarría y Coello (2003), y los trabajos de diploma dirigidos por ellos; de Ballar (2006) y Guevara (2007).

Hechavarría y Coello (2003) realizan la experimentación a escala industrial del proceso de trituración por impacto del mineral de San Andrés tomando como principales variables de operación; la velocidad de impacto, el flujo de alimentación de mineral y la cantidad de martillos instalados en la trituradora, determinando su influencia en el comportamiento de la distribución de tamaño del producto y en la energía consumida por la trituradora. En este trabajo la característica de grosor del producto se evalúa a partir de 3 intervalos de tamaño (de 3 – 8, de 1 – 3 y de 0 – 1 mm), aquí la regulación de la salida del producto en la trituradora resulta constante.

Ballar (2006) realiza una evaluación del comportamiento de las distribuciones de tamaño del mineral de alimentación y del producto en todas las etapas de trituración de



la Planta de San Andrés, realizando diferentes evaluaciones del comportamiento de trituración de estas, no obstante este trabajo se lleva a cabo para condiciones fijas de operación en la trituración por impacto.

En el trabajo de Guevara (2006) se realiza un amplio estudio del comportamiento de trituración por impacto del mineral de San Andrés a escala de laboratorio, dirigido a la modelación del proceso a escala industrial, donde se corroboran las principales regularidades reportadas por Nikolov (2002 y 2004).

Por otra parte se conoce que para la trituración por impactos; Nikolov (2002 y 2004) obtiene sus modelos de predicción del comportamiento del tamaño del producto, a partir de las variables; flujo de alimentación de mineral y velocidad de impacto y que Vogel y Peukert (2005) modelan procesos similares partiendo de las variables; velocidad de impacto y regulación de la salida de la trituradora.

Si además se tiene en cuenta que en Hechavarría y Coello (2003) y en Guevara (2007) se plantea que el efecto de la variable cantidad de martillos en el comportamiento del tamaño del producto resulta menos significativo que las variables productividad y velocidad.

El análisis de Taggart (1950) también indica que las variables; productividad, velocidad y regulación de la salida de la trituradora resultan de gran influencia en el comportamiento de la distribución del tamaño del producto.

Por tanto se puede concluir que resulta de gran importancia realizar un análisis experimental del comportamiento de trituración del mineral de San Andrés a partir de las variables: productividad, velocidad y regulación de la salida de la trituradora.



1.5 Conclusiones del Capítulo:

1 Aunque existen diferentes métodos de ensayos del comportamiento de trituración de los minerales y diferentes modelos para la simulación analítica de estos procesos, la experimentación a escala industrial, a pesar de ser más laboriosa y costosa, también resulta de una gran importancia.

2 La experimentación a escala industrial de los procesos de trituración de minerales contribuyen a la validación de modelos establecidos y puede aportar conocimientos para la obtención de nuevos modelos de procesos similares.

3 Según el análisis del estado actual del tema las variables; flujo de alimentación a la trituradora, velocidad y regulación de la salida del producto presentan una gran influencia en los procesos de trituración por impacto y por tanto deben ser estudiadas de forma sistémica.



CAPITULO 2 MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS

En el presente capítulo se describen las características principales de los equipos, instrumentos y medios utilizados en el trabajo, así como los aspectos principales de los métodos utilizados y del mineral objeto de trabajo.

2.1 Diseño de Experimento.

Para desarrollar la investigación se utilizó un diseño factorial completo con tres variables independientes; el flujo de alimentación de mineral a la trituradora (Q en t/h), la velocidad del rotor de la trituradora (V en r.p.m) y la regulación de la salida del producto en la trituradora (R en mm), utilizándose 2 niveles ó valores diferentes de cada variable.

La variable independiente en este experimento es la distribución de tamaño del producto obtenido en cada experimento, realizándose 3 réplicas de cada uno de ellos para garantizar una adecuada reproductividad de los mismos. De esta forma el diseño experimental se puede representar según la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Diseño experimental utilizado para la determinación de la influencia de las variables de operación seleccionadas en el comportamiento de trituración por impacto del mineral.

No de Experimentos	Variables independientes					
	R	V	Q	R	V	Q
1	+1	-1	-1	10	1100	4
2	+1	-1	+1	10	1100	10
3	+1	+1	-1	10	1500	4
4	+1	+1	+1	10	1500	10
5	-1	-1	-1	5	1100	4
6	-1	-1	+1	5	1100	10
7	-1	+1	-1	5	1500	4
8	-1	+1	+1	5	1500	10



2.2 Descripción del Procedimiento Experimental.

La experimentación se llevó a cabo en la instalación industrial determinando el flujo de alimentación del mineral mediante el método de cálculo por pesaje de metros de banda y utilizando la ecuación (2.1) Matushev et al (1985) y regulando la posición de la válvula de descarga de la tolva de alimentación a la trituradora de martillos para garantizar los 2 niveles de esta variable en 5 y 10 t/h.

$$Q = 3,6.q.V_{cint} \quad (2.1)$$

Donde:

Q: cantidad de mineral alimentado al triturador (t/h).

q: masa de mineral en un metro de longitud de la cinta (kg)

V_{cint} : velocidad de la cinta (m/s)

La determinación de V_{cint} se realizó mediante el cronometraje del tiempo de recorrido de la cinta en una distancia conocida (m).

La velocidad del rotor de la trituradora fue regulada mediante la utilización de 2 juegos de poleas del electromotor mediante las cuales se logró una velocidad de 1100 rpm y otra de 1500.

Para la variación de la regulación de la salida del mineral de la trituradora se utilizaron 2 juegos de rejillas; uno de 10 mm y otro de 5mm.

Para la determinación de las diferentes respuestas del sistema experimental se utilizó como variable independiente la distribución de tamaño del mineral de salida o producto de la trituradora para lo cual este se caracterizó mediante el método de análisis de tamices utilizando una serie de estos.



El mineral de alimentación a la trituradora también fue caracterizado mediante análisis de tamices con el objetivo de observar que su distribución se mantenga aproximadamente constante durante los experimentos por lo cual se tomaron y caracterizaron 3 muestras del mismo.

Durante la caracterización de las muestras mediante análisis de tamices se tomó una cantidad de muestra superior a la masa mínima recomendada por Andreiev (1987), ecuación 2.2

$$Q_{\min} = 0.02.d^2 + 0.5d \quad (2.2).$$

Donde:

d: tamaño máximo del mineral (mm)

Q min: masa mínima de mineral (kg).

Para la toma de las muestras se utilizó el procedimiento de cuarteo basados en los métodos de cono y anillo. Para el pesaje de las diferentes muestras y fracciones de tamaño se utilizaron básculas y balanzas debidamente certificada.

2.3 Descripción de los Principales Equipos y Medios.

Trituradora de Martillos.

Tipo Lipman.

Dimensiones del rotor: Ancho 450 mm. Diámetro: 500 mm.

Velocidad: 1100/ 1500 rpm.

Productividad máxima 15 ton/h.

Tamaño máximo del mineral de alimentación: 25 mm.

Regulación del tamaño máximo de salida del mineral: 10/5 mm.

Martillos: Tipo estribos.

Accionamiento por electromotor de 55 kW y transmisión por poleas y correas en V



Además durante el pesaje de las muestras y fracciones se utilizó una báscula y una balanza de laboratorio, ambas debidamente verificadas y certificadas.

2.4 Características Principales de la Materia Prima.

El mineral utilizado fue rocas zeolitizadas del yacimiento de San Andrés, cuyas características principales fueron obtenidas por Rizo et al (1989). Las mismas se pueden apreciar a través de las tablas 2.2 y 2.3

Tabla 2.2 Principales características físicas del mineral del Yacimiento de San Andrés.

Parámetros	Valores
Humedad natural promedio	11,72%
Peso volumétrico húmedo	1,97 t/m ³
Peso volumétrico seco	1,73 t/m ³
Valor medio de la relación de vacío	0,35
Valor medio de la saturación	76,04%
Peso específico	2,53 g/cm ³
Absorción	2,1%
Resistencia media a la compresión natural	157,36 kg/cm ²
Resistencia media a la compresión saturada	180 kg/cm ²



Tabla 2.3 Composición química promedio del mineral del Yacimiento de San Andrés por tipos tecnológicos.

Composición Química	Tipos tecnológicos contenido en (%)		
	Tipos I	Tipos II	Tipos III
SiO ₂	65.3	63.7	42.4
Al ₂ O ₃	11.5	12.0	10.4
Fe ₂ O ₃	1.7	2.3	2.6
FeO	0.7	0.9	0.9
CaO	3.0	3.9	13.0
MgO	1.1	1.4	1.5
Na ₂ O	2.5	2.1	1.6
K ₂ O	1.2	1.2	1.0
SO ₃	0.1	0.1	0.1
PPI	10.6	10.3	14.9

CAPITULO 3 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

En la tabla 3.1 se puede observar el resultado del análisis de tamices realizado para la caracterización del mineral de alimentación a la trituradora utilizado durante los experimentos.

Tabla 3.1 Resultados del análisis de tamices del mineral de alimentación utilizado durante la experimentación en la trituradora de martillos a escala industrial. (Contenido en gramos).

No de muestras	Tamaño de los Tamices (mm)										
	Masa retenida (gramos)										
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0	Total
No 1	4770	1590	5288	4839	3940	3214	415	1521	1659	2765	30000
No 2	5484	1754	4113	4237	4362	3098	623	1460	1691	3178	30000
No 3	5406	1178	3945	4125	4048	1973	2050	1588	2050	3638	30000
Promedio	5220	1507	4449	4400	4117	2762	1029	1523	1800	3194	30000

Los resultados de la caracterización del tamaño del mineral de alimentación en forma individual y acumulativa por el retenido se muestran en las tablas 3.2 y 3.3 respectivamente.

Tabla 3.2 Composición Granulométrica individual según el retenido (en por ciento) para el mineral de alimentación.

No de muestras	Tamaño de los Tamices (mm)										
	Contenido en (%)										
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0	Total
No 1	15,9	5,3	17,6	16,1	13,1	10,7	1,4	5,1	5,5	9,2	100
No 2	18,3	5,8	13,7	14,1	14,5	10,3	2,1	4,9	5,6	10,6	100
No 3	18,0	3,9	13,2	13,7	13,5	6,6	6,8	5,3	6,8	12,1	100
Promedio	17,4	5,0	14,8	14,7	13,7	9,2	3,4	5,1	6,0	10,6	100

Tabla 3.3 Distribución acumulativa según el retenido (en por ciento) del mineral de alimentación.

No de muestras	Tamaño de los Tamices (mm)									
	Contenido en (%)									
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0
No 1	15,9	21,2	38,8	55,0	68,1	78,8	80,2	85,3	90,8	100
No 2	18,3	24,1	37,8	52,0	66,5	76,8	78,9	83,8	89,4	100
No 3	18,0	21,9	35,1	48,8	62,3	68,9	75,7	81,0	87,9	100
Promedio	17,4	22,4	37,3	51,9	65,6	74,8	78,3	83,4	89,4	100

Tabla 3.4 Distribución acumulativa según el cernido (en por ciento) del mineral de alimentación.

No de muestras	Tamaño de los Tamices (mm)									
	Contenido en (%)									
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0
No 1	84,1	78,8	61,2	45,0	31,9	21,2	19,8	14,7	9,2	0
No 2	81,7	75,9	62,2	48,0	33,5	23,2	21,1	16,2	10,6	0
No 3	82,0	78,1	64,9	51,2	37,7	31,1	24,3	19,0	12,1	0
Promedio	82,6	77,6	62,7	48,1	34,4	25,2	21,7	16,6	10,6	0

La distribución de tamaño del mineral de alimentación se representa en el gráfico de la figura 3.1.

Las características de los productos obtenidos durante la experimentación a escala industrial según el procedimiento descrito en el capítulo 2 se muestran en las tablas 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8

Las masas correspondientes al mineral retenido en cada uno de los tamices de ensayos utilizados durante la caracterización del producto obtenido en cada experimento se muestran en la tabla 3.5.



En la tabla 3.6 se detalla la distribución individual del tamaño del producto obtenido durante cada experimento según el retenido en por ciento según los tamaños de tamices utilizados, la cual se obtiene a partir de la tabla 3.5.

Las distribuciones de tamaño acumulativas, según el retenido (%), obtenidas a partir de los datos de la tabla 3.6 se muestran en la tabla 3.7.

Las distribuciones de tamaño acumulativas, según el cernido (%), obtenidas a partir de los datos de la tabla 3.7 se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.5 Valores del producto retenido en las serie de tamices (gramos) del mineral de salida o producto obtenidos durante la experimentación en la trituradora de martillos.

No de Experim	Tamaño de los Tamices (mm)										
	Masa retenida (gramos)										
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0	Total
1,1	0	0	0	0	379	2473	1424	4549	10050	11125	30000
1,2	0	0	0	0	180	2682	1146	5640	9306	11046	30000
1,3	0	0	0	0	684	3078	462	5168	9944	10664	30000
Promedio 1	0	0	0	0	414	2744	1011	5119	9767	10945	30000
2,1	0	0	0	0	1384	3619	1369	5857	7069	10702	30000
2,2	0	0	0	0	672	4452	1841	5423	7277	10335	30000
2,3	0	0	0	0	337	4219	1608	4890	7644	11302	30000
Promedio 2	0	0	0	0	798	4097	1606	5390	7330	10780	30000
3,1	0	0	0	0	418	2942	1216	4220	7810	13394	30000
3,2	0	0	0	0	545	3255	950	4427	8016	12807	30000
3,3	0	0	0	0	479	2950	1036	4722	8311	12502	30000
Promedio 3	0	0	0	0	481	3049	1067	4456	8046	12901	30000
4,1	0	0	0	0	527	1533	897	4177	9270	13596	30000
4,2	0	0	0	0	54	2174	792	3873	8917	14190	30000
4,3	0	0	0	0	349	2025	1092	3724	8770	14040	30000
Promedio 4	0	0	0	0	310	1911	927	3925	8986	13942	30000
5,1	0	0	0	0	20	49	395	2865	9088	17583	30000
5,2	0	0	0	0	30	59	434	3056	10056	16365	30000
5,3	0	0	0	0	30	60	415	3056	10054	16385	30000
Promedio 5	0	0	0	0	27	56	415	2992	9733	16778	30000
6,1	0	0	0	0	24	59	389	2856	8497	18175	30000
6,2	0	0	0	0	36	48	368	2675	9037	17836	30000
6,3	0	0	0	0	25	59	354	2929	8976	17657	30000
Promedio 6	0	0	0	0	28	55	370	2820	8837	17889	30000
7,1	0	0	0	0	0	19	126	1357	7367	21131	30000
7,2	0	0	0	0	0	20	137	1430	7843	20570	30000
7,3	0	0	0	0	0	24	137	1450	7838	20551	30000
Promedio 7	0	0	0	0	0	21	133	1412	7683	20751	30000
8,1	0	0	0	0	11	34	310	2175	8010	19460	30000
8,2	0	0	0	0	10	24	236	1880	7787	20063	30000
8,3	0	0	0	0	12	26	273	2227	8182	19280	30000
Promedio 8	0	0	0	0	11	28	273	2094	7993	19601	30000

Tabla 3.6 Distribución individual según el retenido (en por ciento) del mineral de salida o producto obtenidos durante la experimentación en la trituradora de martillos.

No de Experim	Tamaño de los Tamices (mm)										
	Contenido en (%)										
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0	Total
1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	8,2	4,7	15,2	33,5	37,1	100,0
1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	8,9	3,8	18,8	31,0	36,8	100,0
1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	10,3	1,5	17,2	33,1	35,5	100,0
Promedio 1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	9,1	3,4	17,1	32,6	36,5	100,0
2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	12,1	4,6	19,5	23,6	35,7	100,0
2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	14,8	6,1	18,1	24,3	34,5	100,0
2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	14,1	5,4	16,3	25,5	37,7	100,0
Promedio 2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	13,7	5,4	18,0	24,4	35,9	100,0
3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	9,8	4,1	14,1	26,0	44,6	100,0
3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	10,9	3,2	14,8	26,7	42,7	100,0
3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	9,8	3,5	15,7	27,7	41,7	100,0
Promedio 3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	10,2	3,6	14,9	26,8	43,0	100,0
4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	5,1	3,0	13,9	30,9	45,3	100,0
4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	7,2	2,6	12,9	29,7	47,3	100,0
4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	6,8	3,6	12,4	29,2	46,8	100,0
Promedio 4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,4	3,1	13,1	30,0	46,5	100,0
5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,3	9,6	30,3	58,6	100,0
5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,4	10,2	33,5	54,6	100,0
5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,4	10,2	33,5	54,6	100,0
Promedio 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,4	10,0	32,4	55,9	100,0
6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,3	9,5	28,3	60,6	100,0
6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	8,9	30,1	59,5	100,0
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	9,8	29,9	58,9	100,0
Promedio 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	9,4	29,5	59,6	100,0
7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	4,5	24,6	70,4	100,0
7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	4,8	26,1	68,6	100,0
7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	4,8	26,1	68,5	100,0
Promedio 7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	4,7	25,6	69,2	100,0
8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	7,3	26,7	64,9	100,0
8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	6,3	26,0	66,9	100,0
8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	7,4	27,3	64,3	100,0
Promedio 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	7,0	26,6	65,3	100,0

Tabla 3.7 Distribución acumulativa según el retenido (en por ciento) del mineral de salida o producto obtenidos durante la experimentación en la trituradora de martillos.

No de Experim	Tamaño de los Tamices (mm)									
	Contenido en (%)									
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0
1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	9,5	14,3	29,4	62,9	100,0
1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	9,5	13,4	32,2	63,2	100,0
1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	12,5	14,1	31,3	64,4	100,0
Promedio 1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	10,5	13,9	31,0	63,5	100,0
2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	16,7	21,2	40,8	64,3	100,0
2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	17,1	23,2	41,3	65,6	100,0
2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	15,2	20,5	36,8	62,3	100,0
Promedio 2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	16,3	21,7	39,6	64,1	100,0
3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	11,2	15,3	29,3	55,4	100,0
3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	12,7	15,8	30,6	57,3	100,0
3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	11,4	14,9	30,6	58,3	100,0
Promedio 3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	11,8	15,3	30,2	57,0	100,0
4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	6,9	9,9	23,8	54,7	100,0
4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	7,4	10,1	23,0	52,7	100,0
4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	7,9	11,6	24,0	53,2	100,0
Promedio 4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,4	10,5	23,6	53,5	100,0
5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,5	11,1	41,4	100,0
5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,7	11,9	45,5	100,0
5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,7	11,9	45,4	100,0
Promedio 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,7	11,6	44,1	100,0
6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,6	11,1	39,4	100,0
6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	10,4	40,5	100,0
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	11,2	41,1	100,0
Promedio 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	10,9	40,4	100,0
7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	5,0	29,6	100,0
7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	5,3	31,4	100,0
7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	5,4	31,5	100,0
Promedio 7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	5,3	30,9	100,0
8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	8,4	35,1	100,0
8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	7,2	33,1	100,0
8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	8,5	35,7	100,0
Promedio 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	8,0	34,6	100,0

Tabla 3.8 Distribución acumulativa según el cernido (en por ciento) del mineral de salida o producto obtenidos durante la experimentación en la trituradora de martillos.

No de Experim	Tamaño de los Tamices (mm)									
	Contenido en (%)									
	20	17	12	9	6	4	3	2	1	0
1,1	100,0	100,0	100,0	100,0	98,7	90,5	85,7	70,6	37,1	0,0
1,2	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	90,5	86,6	67,8	36,8	0,0
1,3	100,0	100,0	100,0	100,0	97,7	87,5	85,9	68,7	35,5	0,0
Promedio 1	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	89,5	86,1	69,0	36,5	0,0
2,1	100,0	100,0	100,0	100,0	95,4	83,3	78,8	59,2	35,7	0,0
2,2	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	82,9	76,8	58,7	34,5	0,0
2,3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	84,8	79,5	63,2	37,7	0,0
Promedio 2	100,0	100,0	100,0	100,0	97,3	83,7	78,3	60,4	35,9	0,0
3,1	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	88,8	84,7	70,7	44,6	0,0
3,2	100,0	100,0	100,0	100,0	98,2	87,3	84,2	69,4	42,7	0,0
3,3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	88,6	85,1	69,4	41,7	0,0
Promedio 3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	88,2	84,7	69,8	43,0	0,0
4,1	100,0	100,0	100,0	100,0	98,2	93,1	90,1	76,2	45,3	0,0
4,2	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	92,6	89,9	77,0	47,3	0,0
4,3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,8	92,1	88,4	76,0	46,8	0,0
Promedio 4	100,0	100,0	100,0	100,0	99,0	92,6	89,5	76,4	46,5	0,0
5,1	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,8	98,5	88,9	58,6	0,0
5,2	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,3	88,1	54,6	0,0
5,3	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,3	88,1	54,6	0,0
Promedio 5	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,3	88,4	55,9	0,0
6,1	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,4	88,9	60,6	0,0
6,2	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,5	89,6	59,5	0,0
6,3	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,5	88,8	58,9	0,0
Promedio 6	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	98,5	89,1	59,6	0,0
7,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,5	95,0	70,4	0,0
7,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,5	94,7	68,6	0,0
7,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,5	94,6	68,5	0,0
Promedio 7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,5	94,8	69,2	0,0
8,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	98,8	91,6	64,9	0,0
8,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,1	92,8	66,9	0,0
8,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,0	91,5	64,3	0,0
Promedio 8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,0	92,0	65,3	0,0

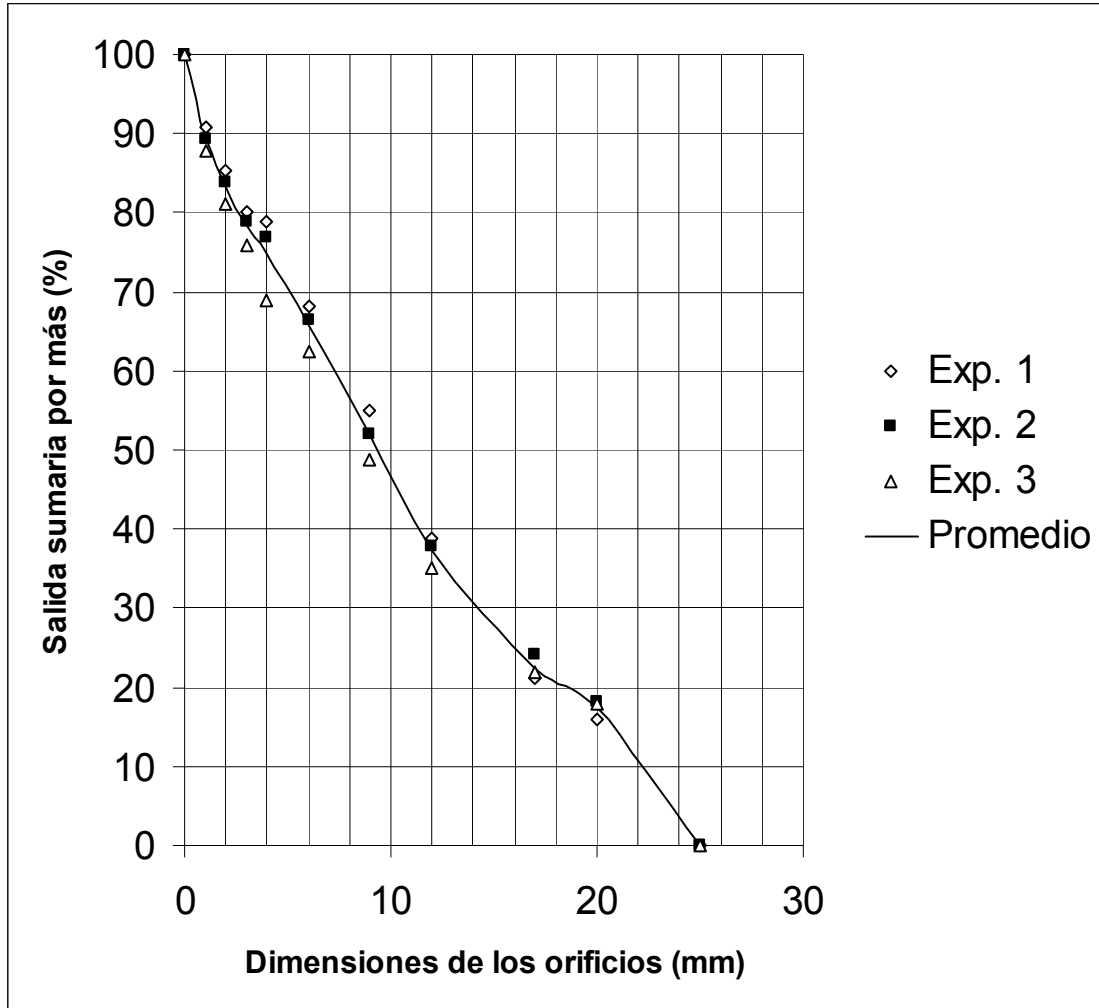


Figura 3.1 Característica de grosor acumulativa por el retenido del mineral de alimentación

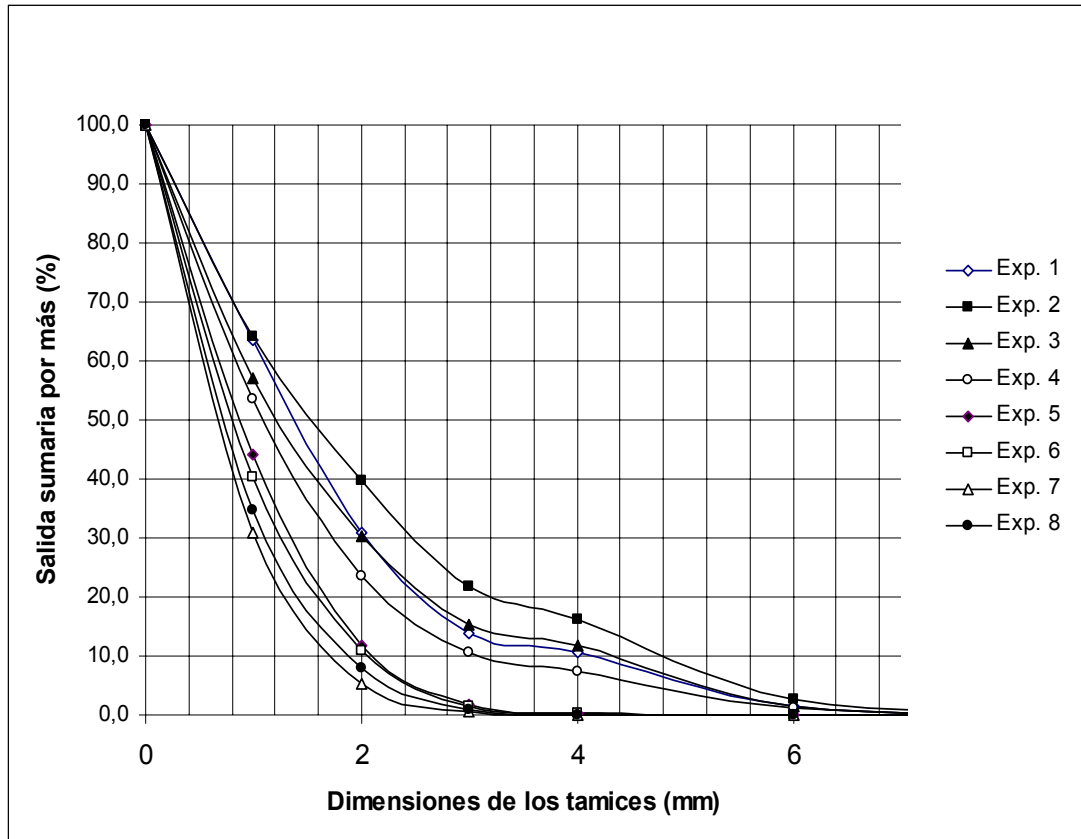


Figura 3.2. Características de grosor acumulativas por el retenido del producto obtenido durante los experimentos.

En la figura 3.2 se observa el conjunto de curvas obtenido con los valores de las medias de la distribución del tamaño del producto obtenido en la trituradora para cada experimento, apreciándose que el producto más grueso se obtiene en el experimento número 2 con la combinación de Q máxima, velocidad mínima y con la mayor regulación de la salida de la trituradora.

El producto más fino se obtiene en los experimentos 7 donde la velocidad es máxima, la regulación de la salida es mínima y la productividad es la mínima utilizada en los experimentos.

Estos elementos en general confirman los reportes de Taggart (1950). El comportamiento de la influencia de la variable productividad en la distribución de tamaño del producto está en acuerdo con los reportes de Nikolov (2002 y 2004), así como con los reportes de Coello y Hechavarría (2003) y Guevara et al (2007).

En cuanto a la influencia de la velocidad en el grosor del producto obtenido se confirman los reportes de Nikolov (2002 y 2004), Coello y Hechavarría (2003), Vogel y Peukert (2003 y 2005), Guevara et al (2007) y Otros.

El comportamiento del producto en función de la regulación de la salida del mineral en la trituradora sigue la misma regularidad reportada por Vogel y Peukert (2005)

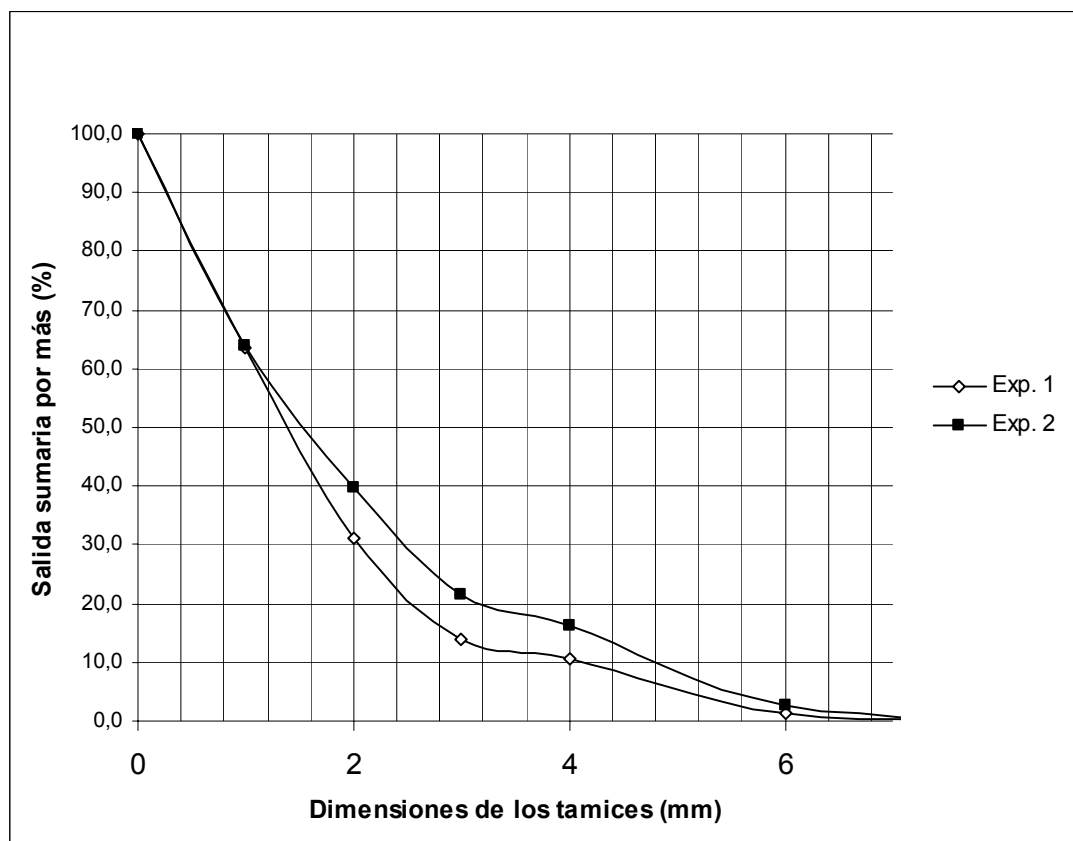


Figura 3.3. Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 1 y 2.

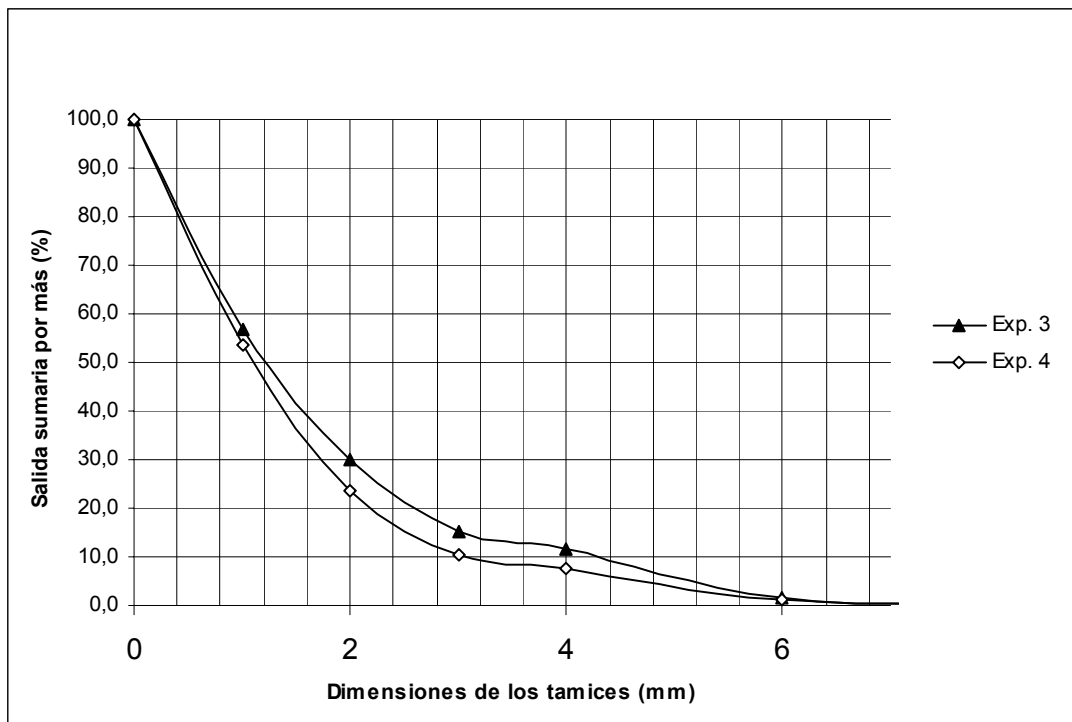


Figura 3.4 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 3 y 4.

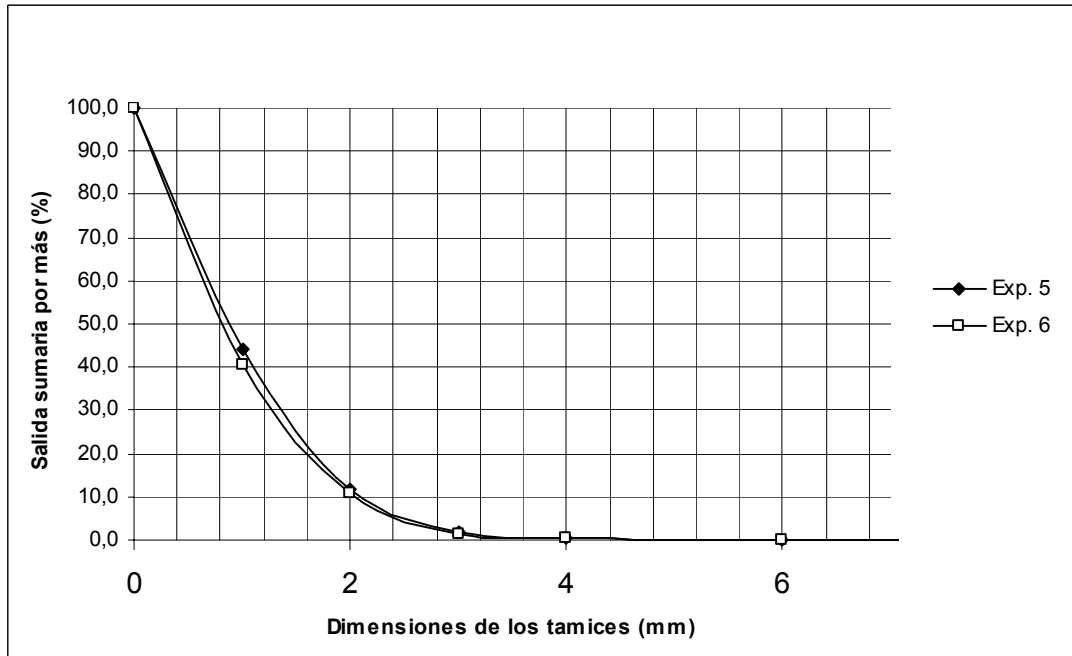


Figura 3.5 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 5 y 6.

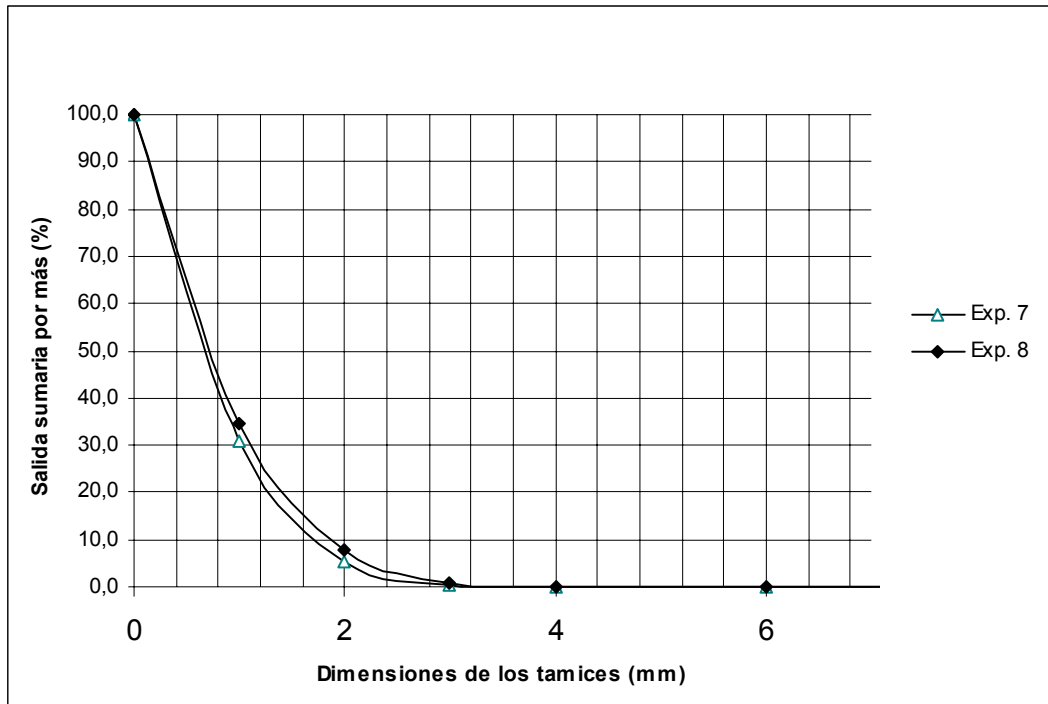


Figura 3.6 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 7 y 8.

En las figuras 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se puede apreciar la influencia de la productividad en la distribución de tamaño del producto obtenido en la trituradora. En cada una de estas figuras se presentan 2 curvas que representan los resultados obtenidos para cada uno de los 2 niveles de la variable Q, en las figuras 3.3 y 3.6 se puede observar que a menor productividad se obtiene un producto más fino, mientras que en la figura 3.5 no se observa un efecto bien definido de la variable Q en la distribución de tamaño del producto, sin embargo en la figura 3.4 se observa un efecto contrario, es decir que; a mayor productividad se obtiene un producto más fino.

La mayor diferencia entre las curvas, de diferentes productividades, se observa en la figura 3.3 y en la figura 3.4 mientras que en las restantes, las diferencias son mucho menos apreciables.

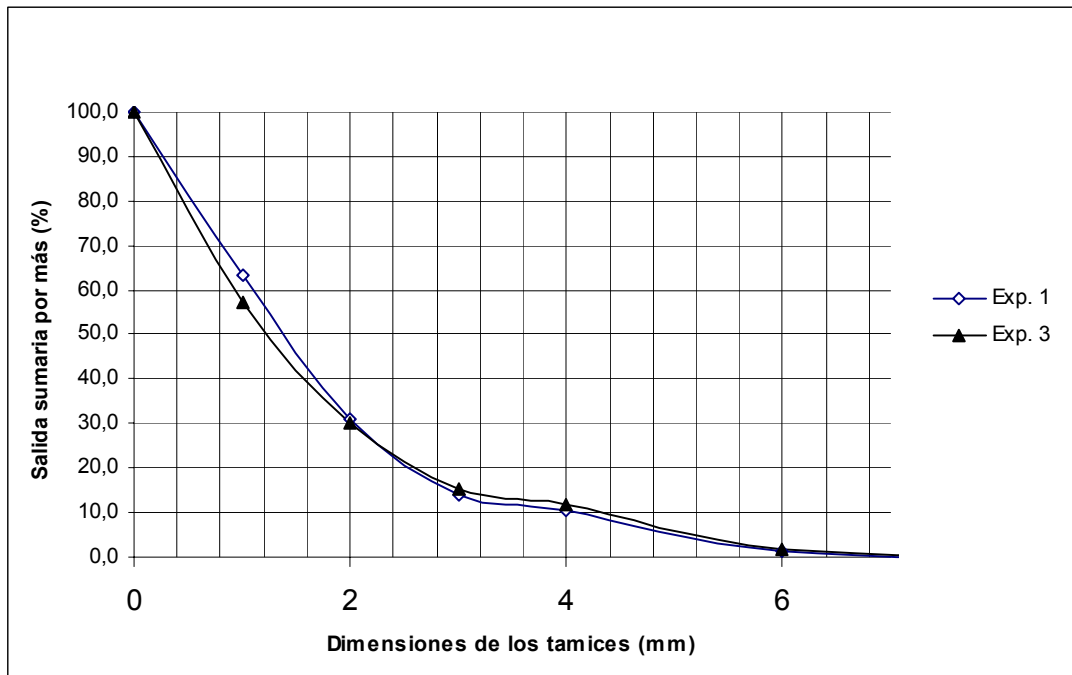


Figura 3.7 Característica de grosor del producto comparación entre los experimentos 1 y 3.

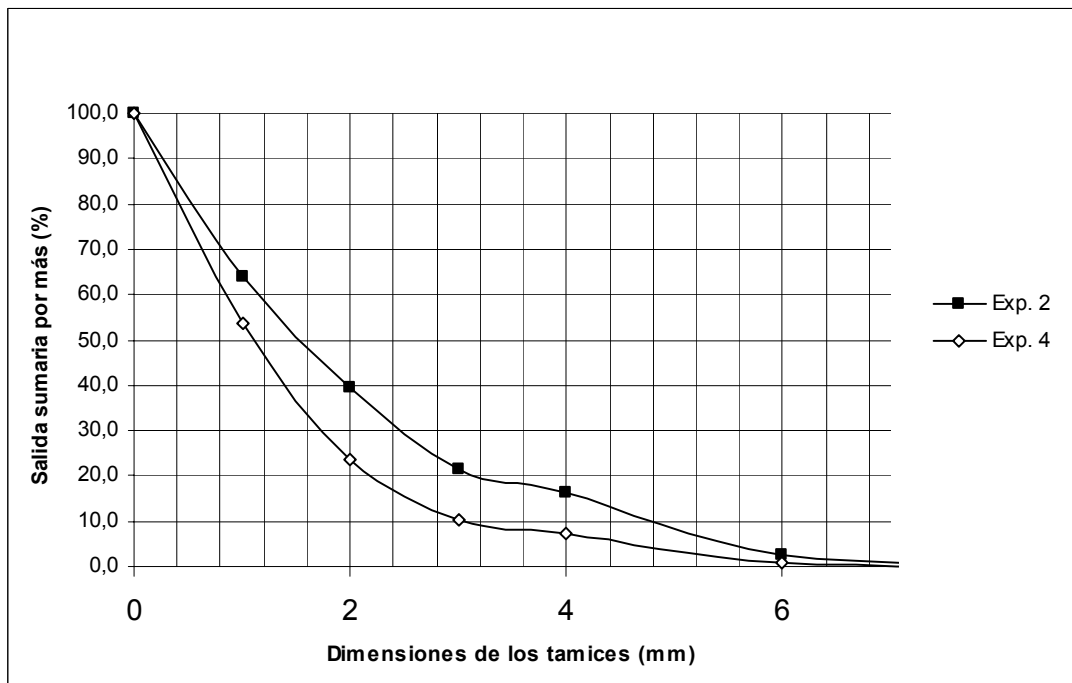


Figura 3.8 Característica de grosor del producto comparación entre los experimentos 2 y 4.

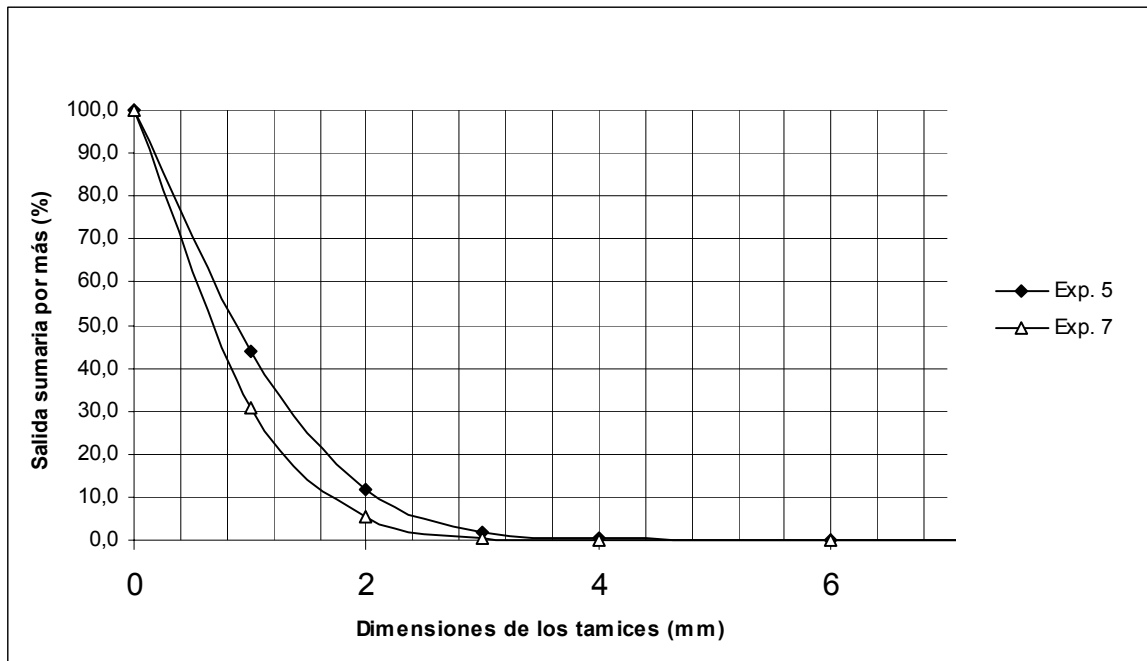


Figura 3.9 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 5 y 7.

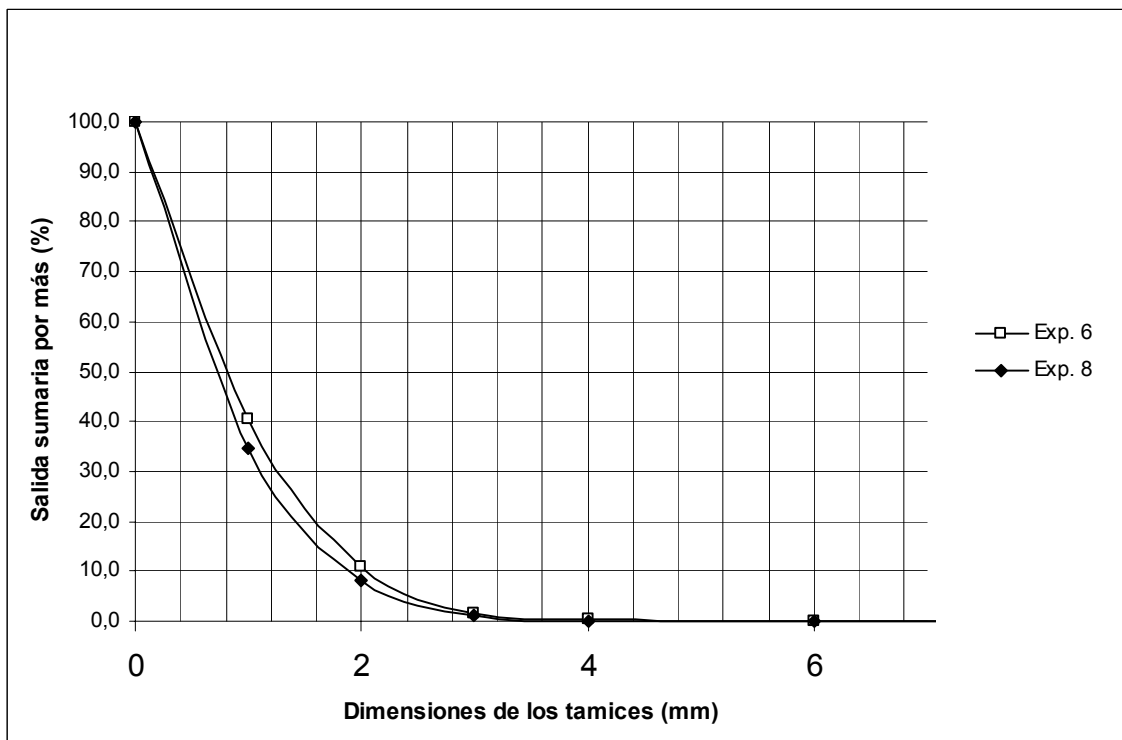


Figura 3.10 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 6 y 8.

En las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 se pueden apreciar el efecto de la velocidad en la distribución de tamaño del producto. Pudiéndose apreciar en todos los casos que a mayor velocidad se obtiene un producto más finos, no obstante existen experimentos donde la diferencia entre los productos es mayor como es el caso de las figuras 3.8 donde la regulación de la salida es máxima y la productividad es máxima y en la figura 3.9, donde la regulación de la parrilla es mínima y la productividad es mínima, lo cual indica que el efecto de esta variable no es independiente de los valores o combinaciones de valores del resto de las variables independientes estudiadas.

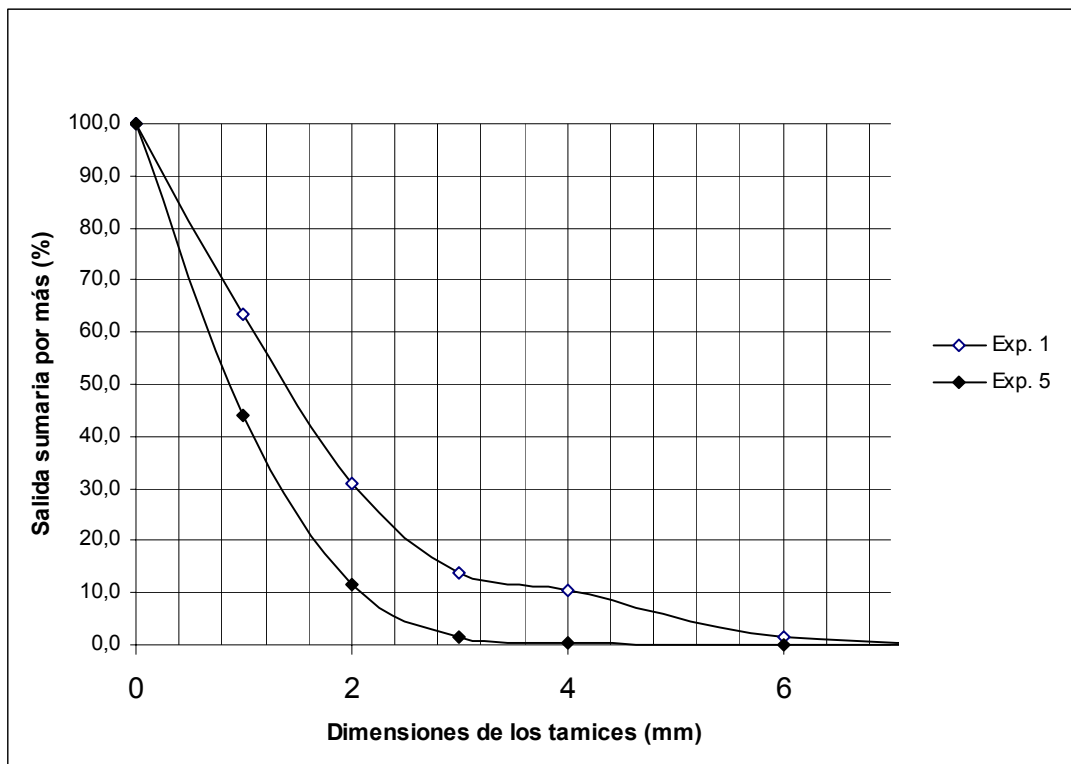


Figura 3.11 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 1 y 5.

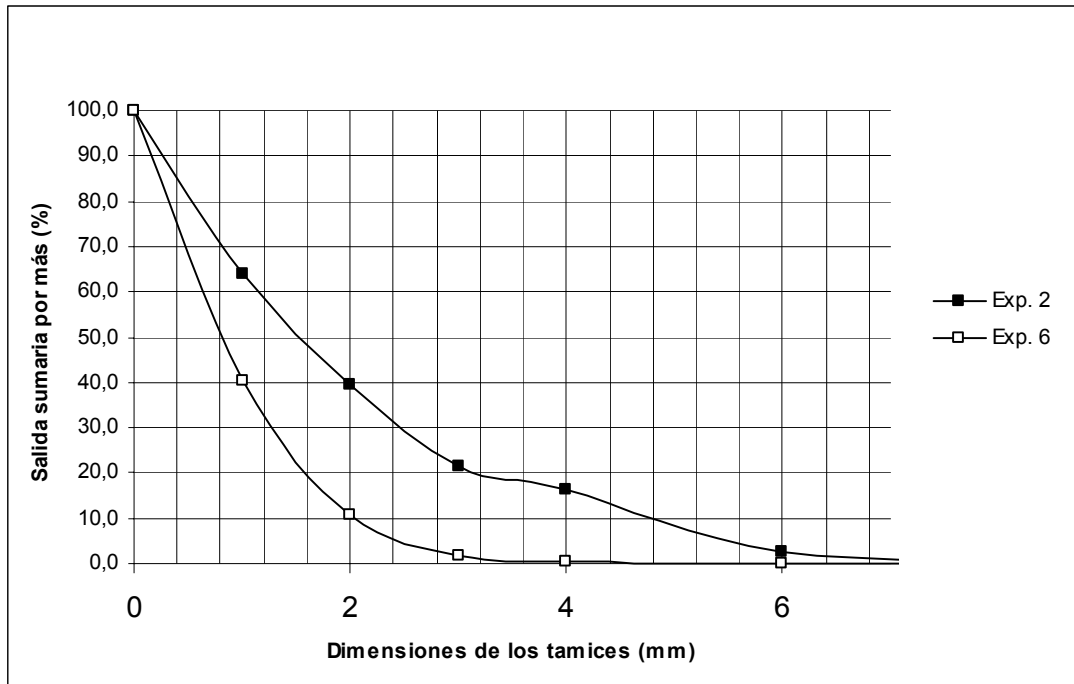


Figura 3.12 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 2 y 6.

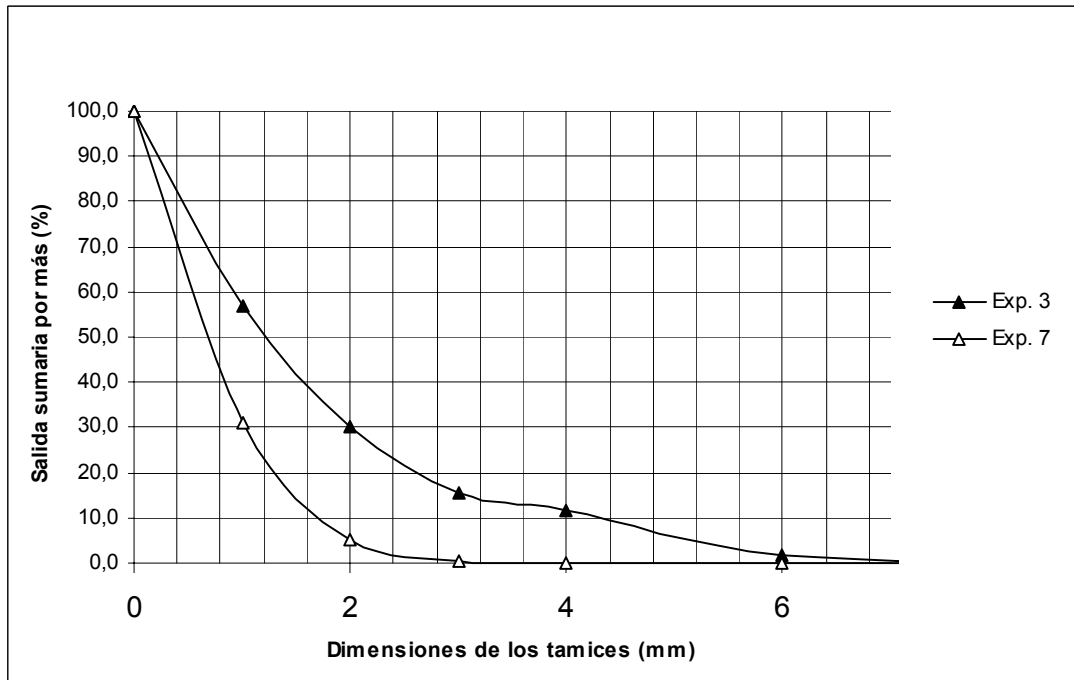


Figura 3.13 Característica de grosor, del producto comparación entre los experimentos 3 y 7.

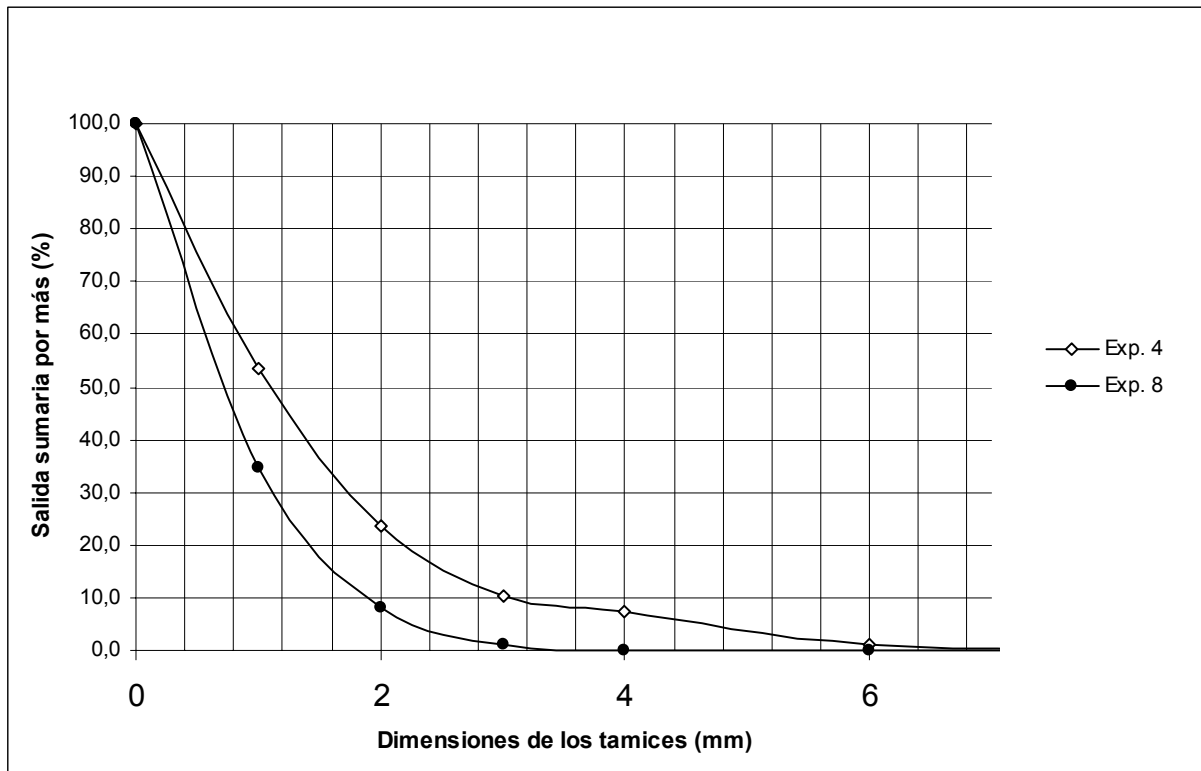


Figura 3.14 Característica de grosor, del producto comparación entre los experimentos 4 y 8.

En las figuras 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14 se puede apreciar el comportamiento de la distribución de tamaño del producto en función de la regulación de la salida de la trituradora, observándose que; en todos los casos la regulación de la salida mediante una parrilla más fina conduce a un producto más fino independientemente de las combinaciones del resto de las otras variables estudiadas.

Las diferencias del efecto de la regulación de la salida en el grosor del producto son mucho más estables que los efectos de Q y V, es decir que existen menores diferencias en el efecto causado por los niveles de R independientemente de las combinaciones de las restantes variables (Q y V)



3.1 Ajuste de Curvas de las Distribuciones del producto Obtenido Durante la Experimentación.

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software estadístico Tierra con el cual fueron obtenidas las curvas características a través del tamaño de los orificios de los tamices y la media de la salida sumaria por más de cada experimento, que describen el comportamiento del tamaño del producto durante los experimentos.

Los resultados obtenidos durante la modelación estadística se pueden encontrar en el anexo 1.

La apreciación más importante que se obtiene radica en el hecho de que todas las distribuciones de tamaño de los productos obtenidos en los diferentes experimentos se pueden representar mediante polinomios, no obstante se observa claramente que los 2 niveles de la variable regulación de la salida del producto distinguen dos grupos de características de grosor bien definidas de las cuales; las pertenecientes al mayor valor de esta variable se pueden representar mediante un polinomio de grado 3 mientras que las correspondientes al nivel inferior de la variable y a un producto más fino, se ajustan a polinomios de grado 4.

3.2 Tratamiento Estadístico de los Resultados.

Resulta conocido que para valorar el mayor o menor grosor de un producto se deben comparar las curvas de distribución en una gama de tamices lo más amplia posible como se realizó al principio del presente capítulo, No obstante para la comprobación estadística de la correlación entre las variables independientes (R, V y Q) y el comportamiento del grosor del producto se utilizaron 2 variables dependientes; el contenido menor de 2 mm (d1) y el producto menor de 3 mm (d2), cuyos resultados se pueden apreciar en las tablas 3.7 y 3.8.



Tabla 3.7 Caracterización del grosor del producto a partir de % que pasa por el tamiz 2 mm.

No de Experimentos	R	V	Q	d1
1,1	10	1100	4	70,6
1,2	10	1100	10	67,8
1,3	10	1100	4	68,7
2,1	10	1100	10	59,2
2,2	10	1100	4	58,7
2,3	10	1100	10	63,2
3,1	10	1500	4	70,7
3,2	10	1500	10	69,4
3,3	10	1500	4	69,4
4,1	10	1500	10	76,2
4,2	10	1500	4	77,0
4,3	10	1500	10	76,0
5,1	5	1100	4	88,9
5,2	5	1100	10	88,1
5,3	5	1100	4	88,1
6,1	5	1100	10	88,9
6,2	5	1100	4	89,6
6,3	5	1100	10	88,8
7,1	5	1500	4	95,0
7,2	5	1500	10	94,7
7,3	5	1500	4	94,6
8,1	5	1500	10	91,6
8,2	5	1500	4	92,8
8,3	5	1500	10	91,5

Estos datos fueron procesados utilizando el programa estadístico SPSS para Window versión 15.0 obteniéndose los resultados que se exponen en los Anexos 2.

Los principales resultados obtenidos durante el procesamiento de los datos mediante el software se pueden observar en el Anexo 2, demostrándose que:

- Existe buena correlación entre las variables independientes (R, Q y V) y ambas variables dependientes (d1 y d2).



- La variable independiente de mayor influencia en la variable dependiente para ambos casos, resulta la regulación de la salida del producto y en segundo lugar la velocidad.
- Se obtiene un modelo de regresión lineal con un coeficiente de determinación aproximado de un 90 % ó mayor.

Tabla 3.8 Caracterización del grosor del producto a partir de % que pasa por el tamiz 3 mm.

No de Experimentos	R	V	Q	d2
1,1	10	1100	4	85,7
1,2	10	1100	10	86,6
1,3	10	1100	4	85,9
2,1	10	1100	10	78,8
2,2	10	1100	4	76,8
2,3	10	1100	10	79,5
3,1	10	1500	4	84,7
3,2	10	1500	10	84,2
3,3	10	1500	4	85,1
4,1	10	1500	10	90,1
4,2	10	1500	4	89,9
4,3	10	1500	10	88,4
5,1	5	1100	4	98,5
5,2	5	1100	10	98,3
5,3	5	1100	4	98,3
6,1	5	1100	10	98,4
6,2	5	1100	4	98,5
6,3	5	1100	10	98,5
7,1	5	1500	4	99,5
7,2	5	1500	10	99,5
7,3	5	1500	4	99,5
8,1	5	1500	10	98,8
8,2	5	1500	4	99,1
8,3	5	1500	10	99,0



CONCLUSIONES

- 1 Se obtuvo, de forma experimental, a escala industrial, el comportamiento de la distribución del tamaño del producto en función de la regulación de la salida de la trituradora, de la velocidad y del flujo de alimentación de mineral, comprobándose que el mineral y el proceso objeto de trabajo siguen las mismas tendencias reportadas por otros autores como;
Taggart (1950), Nikolov (2002 y 2004), Vogel y Peukert (2005) y Otros.
- 2 Se comprobó que es posible representar las curvas de distribución del tamaño del producto mediante polinomios de orden 3 para el caso del producto obtenido con la regulación de la salida de 10 mm y mediante polinomios de orden 4 para valores de 5 mm de la misma variable.
- 3 Al realizar un análisis de varianza de los datos obtenidos se observa que existe correlación entre las variables flujo de alimentación de mineral, velocidad y regulación de la salida de la trituradora con; el grosor del producto obtenido.
- 4 Del análisis de regresión se obtiene que es posible representar el experimento mediante un modelo lineal con un grado de determinación aproximado del 90 % ó mayor, observándose que el mayor efecto en el grosor del producto lo presenta la regulación de la salida, en segundo lugar la velocidad y por último el flujo de alimentación a la trituradora.
- 5 Los resultados obtenidos permiten ajustar la trituradora en función de obtener la característica de grosor más apropiada según las exigencias del proceso en un período de tiempo dado.



RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda utilizar los resultados de la presente investigación para el ajuste del proceso en función de las necesidades de la producción.
- 2 Se recomienda ampliar los estudios experimentales actuales y realizar la modelación analítica del proceso tecnológico de la Planta de San Andrés.
- 3 Valorar las posibilidades de experimental a escala industrial con una productividad mayor con vistas a obtener mayor información sobre la influencia de esta variable en el tamaño del producto, ya que en los reportes de Nikolov (2002 y 2004) se observa una mayor influencia de esta variable en relación a los resultados del presente trabajo.



BIBLIOGRAFIA

- 1 ANDREIEV, S. E. PEROV; V. A y ZVERIEVICH V V. La Habana. 1987. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales*. Editorial Pueblo y Educación.
- 2 BALLAR, H. O. ISMM Moa 2006. *Análisis del Proceso de Trituración de la Planta de Zeolita de San Andrés*. Trabajo de diploma.
- 3 BOND, F.C. *The third theory of comminution. Transaction of the AIME* 193, 484–494. 1952.
- 4 COELLO V, A. ISMM Moa 1999. *Manual de Preparación Mecánica de Minerales*.
- 5 GUEVARA CH, J. ISMM Moa 2007. *A Discusión Experimental del modelo de Nikolov para trituradores de Martillo* Trabajo de diploma.
- 6 HECHAVARRÍA P, J R, COELLO V, A Y ROBLES P, F. Universidad Holguín. 2003. *Flexibilización tecnológica de la línea de trituración fina en la planta de zeolita de San Andrés, Holguín*. Tesis maestría.
- 7 HERBST J A Y POTAPOV A V. Vol. No. 2. Mayo 2004. *Radical innovations in mineral processing simulation. Rev Mineral processin*.
- 8 KOBACHICAWA CH, J A. Perú 2006. *Diseño de un Controlador por Lógica Difusa para una planta de trituración secundaria y terciaria*. Tesis maestría Univ Lima.
- 9 LYNCH, J. A. Madrid, 1980. *Circuitos de trituración y molienda de minerales*. Editorial Rocas y Minerales.
- 10 MARIÑO, M Y BOURSAC, E. *Proyecto tecnológico de la Planta de Zeolita*. 1989.
- 11 MATIUSHEV L G Y SUMIN V N. Moscú 1985. *Dispositivos de transporte y depósitos de las fábricas de enriquecimiento*. Vneshtorgizdat.
- 12 MITROFANOV, S. I., L. A. BARSKI; I. D. Moscú, 1982. *Samygin. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales*. Editorial MIR.
- 13 MULAR, A L Y BHAPPU, R B. España. 1980. *Diseño de plantas de proceso de minerales*. Segunda parte. Segunda edición (español). Edit. Rocas y minerales.
- 14 NIKOLOV S 2002. *A Performance model for impact crusher*. Minerals Engineering 15 (2002) 715–721. 2004



- 15 NIKOLOV S 2004. *Modelling and simulation of particle breakage in impact crushers. Int. J. Miner. Process.* 74S (2004) S219–S225. 2004.
- 16 PRASHER, C. L. Great Britain. 1987. *Crushing and Grinding Process Handbook*, John Wiley & Sons.
- 17 RIZO et al 1989 *Informe geológico yacimiento San Andrés. Santiago de Cuba.* 1989.
- 18 PEUKERT, W., VOGEL, L., 2001. Comminution of polymers—an example of product engineering. *Chemical Engineering and Technology* 24 (9), 945–950. 2001.



ANEXOS.

Anexos 1. Resultados de la modelación estadística de las curvas de distribución de tamaño del producto mediante el software *Tierra*.

Donde el tamaño de los orificios de los tamices es

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 1:

$$F2=(99,5782544997913)*(1)+(-40,12853374017)*(F1)+ (5,79632250886776)*(F1^2)+ (-0,285448657222824)*(F1^3)$$

Determinante de la matriz del sistema: 366033023,999999

Determinante normalizado del sistema: 1,03974126608596E-9

Error máximo al resolver el sistema: 1,56319401867222E-13

Variación explicada: 7772,1738710947 Grados de libertad: 3

Variación residual: 18,4804146196382 Grados de libertad: 3

Variación total: 7790,65428571429 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 3,03977093048458

Error probable de una observación: 1,67408375450653

Coefficiente de correlación, $r = 0,998813232725521$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99398939

0.97673370

-0.94921842

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 2:

$$F3=(99,2882885845848)*(1)+(-39,6739944776143)*(F1)+ (5,57081823961364)*(F1^2)+ (-0,265720994617168)*(F1^3)$$



Determinante de la matriz del sistema: 366033023,999999

Determinante normalizado del sistema: 1,03974126608596E-9

Error máximo al resolver el sistema: 5,6843418860808E-14

Variación explicada: 7868,25580893953 Grados de libertad: 3

Variación residual: 19,5327624891027 Grados de libertad: 3

Variación total: 7887,78857142857 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 3,12512099678578

Error probable de una observación: 1,72108833567677

Coefficiente de correlación, $r = 0,998761067839485$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99350547

0.97350990

-0.93906210

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 3:

$F_4 = (98,4873587275017) \cdot (1) + (-46,8570700505988) \cdot (F_1) + (7,61453812429818) \cdot (F_1^2) + (-0,40327451109988) \cdot (F_1^3)$

Determinante de la matriz del sistema: 366033023,999999

Determinante normalizado del sistema: 1,03974126608596E-9

Error máximo al resolver el sistema: 2,1316282072803E-13

Variación explicada: 7838,88069466264 Grados de libertad: 3

Variación residual: 39,0764481945761 Grados de libertad: 3

Variación total: 7877,95714285714 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 4,4202063410307

Error probable de una observación: 2,43432672931925



Coefficiente de correlación, $r = 0,997516803846369$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99072461

0.97171363

-0.94644036

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 4:

$$F5 = (98,5410153680567) \cdot (1) + (-52,1933096135079) \cdot (F1) + (9,05152933086212) \cdot (F1^2) + (-0,497157108971706) \cdot (F1^3)$$

Determinante de la matriz del sistema: 366033023,999999

Determinante normalizado del sistema: 1,03974126608596E-9

Error máximo al resolver el sistema: 1,4210854715202E-13

Variación explicada: 8055,40374723445 Grados de libertad: 3

Variación residual: 41,8162527656521 Grados de libertad: 3

Variación total: 8097,22 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 4,57254047361268

Error probable de una observación: 2,51822124059799

Coefficiente de correlación, $r = 0,997414521264431$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99198484

0.97835747

-0.96138397

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 5:



$$F6=(100,452065297436)*(1)+(-76,6616760625671)*(F1)+ (21,0601339996154)*(F1^2)+(-2,46867096666404)*(F1^3)+ (0,104140653599146)*(F1^4)$$

Determinante de la matriz del sistema: 2237406437375,87

Determinante normalizado del sistema: 2,90867113809032E-17

Error máximo al resolver el sistema: 2,41584530158434E-13

Variación explicada: 8518,60506459534 Grados de libertad: 4

Variación residual: 6,49207826207652 Grados de libertad: 2

Variación total: 8525,09714285714 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 2,54795570253419

Error probable de una observación: 1,21523097153407

Coefficiente de correlación, $r = 0,999619164767597$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99765527

0.99014287

-0.97514055

0.95436071

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 6:

$$F7=(100,114111805553)*(1)+(-81,0325342782819)*(F1)+ (23,7109549768927)*(F1^2)+(-2,94805444967164)*(F1^3)+ (0,130729642263041)*(F1^4)$$

Determinante de la matriz del sistema: 2237406437375,87

Determinante normalizado del sistema: 2,90867113809032E-17

Error máximo al resolver el sistema: 1,05160324892495E-12

Variación explicada: 8399,95043634967 Grados de libertad: 4

Variación residual: 0,478135079183236 Grados de libertad: 2

Variación total: 8400,42857142857 Grados de libertad: 6

Hendrik Rainier Hernández Blanco Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero 61



Error estándar de una estimación: 0,691473122531336

Error probable de una observación: 0,329793627749372

Coefficiente de correlación, $r = 0,999971540625657$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99984493

0.99941921

-0.99866930

0.99771934

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 7:

$$F8 = (99,6436792509053) \cdot (1) + (-95,4373605184876) \cdot (F1) + (31,9612516606693) \cdot (F1^2) + (-4,39698559075304) \cdot (F1^3) + (0,209703349948166) \cdot (F1^4)$$

Determinante de la matriz del sistema: 2237406437375,87

Determinante normalizado del sistema: 2,90867113809032E-17

Error máximo al resolver el sistema: 6,82121026329696E-13

Variación explicada: 8300,29589879559 Grados de libertad: 4

Variación residual: 5,60124406151736 Grados de libertad: 2

Variación total: 8305,89714285714 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 2,36669475461399

Error probable de una observación: 1,12877973628568

Coefficiente de correlación, $r = 0,999662758362472$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99869265

0.99627307



-0.99305140

0.98974122

Ecuaciones y otros resultados del ajuste mínimo cuadrado para el experimento 8:

$$F_9 = (99,7656445783826) \cdot (1) + (-89,3271782604467) \cdot (F_1) + (28,5041114888308) \cdot (F_1^2) + (-3,79451818747162) \cdot (F_1^3) + (0,177041415358935) \cdot (F_1^4)$$

Determinante de la matriz del sistema: 2237406437375,87

Determinante normalizado del sistema: 2,90867113809032E-17

Error máximo al resolver el sistema: 4,83169060316868E-13

Variación explicada: 8310,00034076983 Grados de libertad: 4

Variación residual: 2,2139449445307 Grados de libertad: 2

Variación total: 8312,21428571429 Grados de libertad: 6

Error estándar de una estimación: 1,48793311157817

Error probable de una observación: 0,70966006157895

Coefficiente de correlación, $r = 0,999866816933$

Coefficientes de correlación parcial:

-0.99940951

0.99814267

-0.99629403

0.99427180

Anexos 2. Resultados del análisis de regresión entre las variables independientes; regulación de la salida, velocidad y flujo de alimentación con las variables dependientes d1 y d2 que caracterizan el grosor del producto obtenido en la trituradora, utilizando el programa SPSS versión 15.0.

```
REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT d1
  /METHOD=ENTER R V Q .
```

Regresión

[Conjunto_de_datos0]

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Q, V, R ^b	.	Introducir

- a. Todas las variables solicitadas introducidas
b. Variable dependiente: d1

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,967 ^a	,934	,925	3,3522753

- a. Variables predictoras: (Constante), Q, V, R

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3203,485	3	1067,828	95,022	,000 ^a
	Residual	224,755	20	11,238		
	Total	3428,240	23			

- a. Variables predictoras: (Constante), Q, V, R
b. Variable dependiente: d1

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	79,979	,684		116,881	,000
	R	-11,071	,684	-,926	-16,179	,000
	V	3,263	,684	,273	4,768	,000
	Q	-,521	,684	-,044	-,761	,455

a. Variable dependiente: d1

```
REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT d2
/METHOD=ENTER R V Q .
```

Regresión

[Conjunto_de_datos0]

Variables introducidas/eliminadas^b

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Q, V, R ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: d2

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,945 ^a	,893	,877	2,7455267

a. Variables predictoras: (Constante), Q, V, R

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1259,335	3	419,778	55,689	,000 ^a
	Residual	150,758	20	7,538		
	Total	1410,093	23			

a. Variables predictoras: (Constante), Q, V, R

b. Variable dependiente: d2

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	91,733	,560		163,684	,000
	R	-7,092	,560	-,925	-12,654	,000
	V	1,417	,560	,185	2,528	,020
	Q	-,417	,560	-,054	-,743	,466

a. Variable dependiente: d2

GLM

```
d1 d2 BY R V Q
/METHOD = SSTYPE(3)
/INTERCEPT = INCLUDE
/CRITERIA = ALPHA(.05)
/DESIGN = R V Q R*V R*Q V*Q R*V*Q .
```

Modelo lineal general

[Conjunto_de_datos0]

Factores inter-sujetos

		N
R	-1,0000	12
	1,0000	12
V	-1,0000	12
	1,0000	12
Q	-1,0000	12
	1,0000	12

Contrastes multivariados^b

Efecto		Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Significación
Intersección	Traza de Pillai	1,000	231080,4 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,000	231080,4 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	30810,717	231080,4 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	30810,717	231080,4 ^a	2,000	15,000	,000
R	Traza de Pillai	,996	1733,629 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,004	1733,629 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	231,150	1733,629 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	231,150	1733,629 ^a	2,000	15,000	,000
V	Traza de Pillai	,935	108,231 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,065	108,231 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	14,431	108,231 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	14,431	108,231 ^a	2,000	15,000	,000
Q	Traza de Pillai	,410	5,206 ^a	2,000	15,000	,019
	Lambda de Wilks	,590	5,206 ^a	2,000	15,000	,019
	Traza de Hotelling	,694	5,206 ^a	2,000	15,000	,019
	Raíz mayor de Roy	,694	5,206 ^a	2,000	15,000	,019
R * V	Traza de Pillai	,790	28,134 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,210	28,134 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	3,751	28,134 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	3,751	28,134 ^a	2,000	15,000	,000
R * Q	Traza de Pillai	,299	3,197 ^a	2,000	15,000	,070
	Lambda de Wilks	,701	3,197 ^a	2,000	15,000	,070
	Traza de Hotelling	,426	3,197 ^a	2,000	15,000	,070
	Raíz mayor de Roy	,426	3,197 ^a	2,000	15,000	,070
V * Q	Traza de Pillai	,891	61,354 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,109	61,354 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	8,181	61,354 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	8,181	61,354 ^a	2,000	15,000	,000
R * V * Q	Traza de Pillai	,921	87,053 ^a	2,000	15,000	,000
	Lambda de Wilks	,079	87,053 ^a	2,000	15,000	,000
	Traza de Hotelling	11,607	87,053 ^a	2,000	15,000	,000
	Raíz mayor de Roy	11,607	87,053 ^a	2,000	15,000	,000

a. Estadístico exacto

b. Diseño: Intersección+R+V+Q+R * V+R * Q+V * Q+R * V * Q

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Fuente	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	d1	3408,360 ^a	7	486,909	391,878	,000
	d2	1403,507 ^b	7	200,501	487,047	,000
Intersección	d1	153520,010	1	153520,010	123557,4	,000
	d2	201960,107	1	201960,107	490591,4	,000
R	d1	2941,520	1	2941,520	2367,421	,000
	d2	1207,002	1	1207,002	2931,988	,000
V	d1	255,454	1	255,454	205,597	,000
	d2	48,167	1	48,167	117,004	,000
Q	d1	6,510	1	6,510	5,240	,036
	d2	4,167	1	4,167	10,121	,006
R * V	d1	21,470	1	21,470	17,280	,001
	d2	24,402	1	24,402	59,275	,000
R * Q	d1	,000	1	,000	,000	,986
	d2	2,282	1	2,282	5,543	,032
V * Q	d1	51,334	1	51,334	41,315	,000
	d2	52,807	1	52,807	128,275	,000
R * V * Q	d1	132,070	1	132,070	106,294	,000
	d2	64,682	1	64,682	157,121	,000
Error	d1	19,880	16	1,243		
	d2	6,587	16	,412		
Total	d1	156948,250	24			
	d2	203370,200	24			
Total corregida	d1	3428,240	23			
	d2	1410,093	23			

a. R cuadrado = ,994 (R cuadrado corregida = ,992)

b. R cuadrado = ,995 (R cuadrado corregida = ,993)