



**FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

Comportamiento del proceso de cribado en la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto.

Tesis en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Autora: Anyell Islen Bedey Alvarez.

Moa /2022



**FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECHANICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

Comportamiento del proceso de cribado en la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto.

Tesis en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Autora: Anyell Islen Bedey Alvarez.

Tutores: Dr. C. Pedro Enrique Beyris Mazar
Ing. Hendrik Rainier Hernández Blanco

Moa /2022

Pensamiento

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.

Albert Einstein

Agradecimientos

A Jehová, Dios todo poderoso, por concederme el amor y protección en todo momento. Yo agradezco de todo corazón a todas las personas que hicieron posible la realización de este arduo trabajo. A mis tutores Pedro Enrique Beyris Mazar y Hendrik Rainier Hernández Blanco, 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. Y al colectivo de trabajadores de la Empresa Geominera Oriente Palmarito de Cauto y, los que me brindaron su apoyo incondicional.

A todos ellos muchas gracias.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a Dios Jehová por esta oportunidad que me ha concedido, por ayudarme y nunca desampararme, muchas gracias mi Rey. Dedicar a Reyna Virgen Alvarez Leyva y a mi hermano Abdiel Ricardo Alvarez, por su amor, por confiar y creer en mí, porque a pesar de las dificultades de la vida siempre me han sabido enseñar a salir adelante y no rendirme nunca. A mis abuelos que, aunque están en el cielo siempre van a estar orgullosos de mí, al igual que todos mis familiares, que me han enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por sus consejos, por el amor que me han dado y por su apoyo incondicional en mi vida. A mi hermana Betsy Bárbara y mis amigas que en el día a día con su presencia, respaldo y cariño me impulsan para salir adelante.

Índice

Resumen	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA DE CRIBADO DE MINERALES.	12
1.1 Estado del arte.....	12
1.2 Breve descripción geológica del yacimiento.....	13
1.3 Fundamento teórico del cribado de minerales:	14
1.4 Clase de tamaño	15
1.5 Característica de tamaño:.....	16
1.6 Formas de cribado:	16
1.7 Efectividad del cribado:.....	16
1.8 Tipos de cribas:	18
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1	23
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS	24
2.1 Diseño de Experimento.....	24
2.2 Descripción del Procedimiento Experimental.....	25
2.3 Descripción de los Principales Equipos y Medios.	26
2.3.1 Alimentador Precribador	26
2.3.2 Triturador de Mandíbula.	26
2.3.3 Criba Vibratoria CMR-19 de un paño	27
2.3.4 Criba Vibratoria CVR-1560-III pisos.	27
2.3.5 Molino Impactor.....	28
2.4 Características Principales de la Materia Prima.	30
2.5 FLUJO TECNOLÓGICO TRITURACIÓN.....	32
2.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO	33
2.7 Tipos de productos que se obtienen y su aplicación.	34
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2.....	35
CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
3.2 Estimación económica sobre los costos en la Planta de Carbonato de Calcio	47
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3.....	47
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES:	49

BIBLIOGRAFÍA 49

Resumen

Durante el proceso de cribado en la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto, Santiago de Cuba, se producen pérdidas de Carbonato de Calcio en el estéril, dejándose de obtener como producto final, por esta razón el objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento del proceso de cribado para disminuir el contenido de Carbonato de Calcio en el estéril de la Planta.

El trabajo se desarrolló a escala industrial determinando la influencia de las variables; flujo de alimentación del mineral, ángulo de inclinación y regulación de las salidas de las cribas. Se realizaron los experimentos por un diseño factorial de 2 niveles con 3 variables independientes de cada una de estas. Se conoció que trabajando con el flujo de alimentación mínimo, el ángulo de inclinación máximo y la regulación de las salidas mínimo se puede recuperar mayor Carbonato de Calcio y el producto es más fino, mientras que, con el flujo de alimentación máximo, el ángulo de inclinación mínimo y la regulación de las salidas máximo se obtiene un producto más grueso. Con el tamiz de 19mm el 12% del mineral se va junto con el estéril, pero se recupera el 88% de Carbonato de Calcio y con el tamiz de 5mm se pierde el 5% del mineral en el estéril, pero se recupera el 95%.

Summary

During the screening process at the Palmarito the Cauto Calcium Carbonate Plant, Santiago de Cuba, Calcium carbonate losses occur in the sterile, ceasing to be obtained as a final product, for this reason, the objective of this work is to analyze the behavior of the screening process to reduce the content of Calcium of the Plant.

The work was carried out on an industrial scale determining the influence of the variables; mineral feed flow, angle of inclination and regulation of the exits of the screens. The experiments were carried out using a 2 level factorial desing with 3 independent variables for each of these. It was known that whorking with the minimun feed flow, the maximum inclination angle and the minimum output regulation, more Calcium Carbonate can be recovered and the product is fine, while with the maximum feed flow, the angle of minimum inclination and the regulation of the maximum outputs a ticker product is obtained. Whit the 19mm sieve, 12% of the ore goes together with the sterile but 88% of Calcium Carbonate is recovered and with the 5mm sieve, 5% of the mineral is lost in the sterile but 95% is recovered.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos el hombre se ha visto en la necesidad de obtener materiales de la naturaleza para mejorar su forma de vida. Para este fin se usan diversos procesos que se han venido mejorando a la par de las nuevas tecnologías.

En la industria química, metalúrgica y en otras ramas de la ciencia y técnica sigue aumentando la difusión y aplicación de procedimientos basados en la preparación mecánica. El principio del funcionamiento de los métodos de preparación se basa principalmente en la reducción de tamaño y separación por tamaño.

La Planta de Beneficio de la UEB: Producciones Mineras Santiago ubicada a 1 Km del poblado de Palmarito de Cauto, perteneciente a la provincia de Santiago de Cuba, tiene como objetivo principal el procesamiento del Carbonato de Calcio procedente del yacimiento de caliza Mogote San Nicolás y su producción se destina al mercado nacional.

El Carbonato de Calcio se caracteriza por su amplia gama de utilización, destacándose entre sus mayores aplicaciones; las producciones de pienso animal, el mejoramiento de los suelos, como materiales de la construcción y muchas otras, debido a esta causa existen diferencias en las exigencias de los productos que demandan los 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.

Situación Problemática:

En la planta de procesamiento del Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto durante el trabajo continuado se ha podido determinar que en el proceso de cribado en el producto denominado estéril alta presencia de Carbonato de Calcio, conociéndose qué por cada 100 tn de mineral alimentadas al proceso, se pierden 20 tn de este componente, teniendo una pérdida de 14 000 CUP.

Problema

Pérdidas de Carbonato de Calcio en el estéril.

Objetivo general: Analizar el comportamiento del cribado del mineral de carbonato de calcio para mejorar los indicadores de este componente en el estéril de la Planta de Palmarito de Cauto.

Objetivos específicos:

- 1- Establecer la variación del flujo de alimentación en el proceso de cribado.
- 2- Analizar la influencia del ángulo de inclinación en el proceso de cribado.
- 3- Evaluar el comportamiento del producto obtenido en el proceso de cribado.

Hipótesis: Si se varía el flujo de alimentación, el ángulo de inclinación y la regulación de la salida en las cribas vibratorias, se puede conocer el comportamiento del proceso de cribado del mineral caliza en la Planta de Palmarito de Cauto para mejorar los indicadores del Carbonato de Calcio de la Planta.

Objeto de estudio:

Proceso de cribado en la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto.

CAPÍTULO 1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA DE CRIBADO DE MINERALES.

1.1 Estado del arte.

Desde hace ya mucho tiempo los procesos de trituración y cribado son utilizados con amplitud por el hombre en su actividad productiva. Se ha calculado que el 20% de la energía eléctrica producida en el mundo, se consume en el proceso de trituración y clasificación de los materiales sólidos. La clasificación de estos materiales es una actividad que precede al proceso de trituración, puesto que se ha destacado la vital importancia de obtener material clasificado de distintas granulometrías en función de la utilización a la que se vayan a destinar dichos materiales.

Trabajos investigativos anteriores se enmarcan fundamentalmente en la recuperación de las fracciones más gruesas del proceso lo que ayudaría al aprovechamiento racional e integral de los recursos naturales.

Se han desarrollado diferentes trabajos de investigación del comportamiento del cribado de minerales: Roberto Carlos Jaramillo Mora en Ecuador, en el año 2004 realizó un trabajo con el fin de conocer el principio de funcionamiento de las cribas. Ronal Del Pino Batista en el año 2015, en las colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara estudió la variación del flujo y la variación del ángulo de inclinación. Avelino Chinduamba Capingana en el año 2019 en la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas, en Santa Clara, estudió la consideración del índice de cernido y rechazo del mineral a procesar en cada tamiz.

Las clasificadoras comúnmente llamadas zarandas las encontramos en el Ministerio de Obras Públicas, y en las compañías constructoras, las mismas que son importadas de Brasil y/o Paraguay, por tanto, en este trabajo de tesis se pretende abordar sobre el comportamiento del proceso de cribado en la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto, como trabajo investigativo es el primero que se desarrolla en esta planta.

1.2 Breve descripción geológica del yacimiento

El yacimiento se encuentra ubicado dentro de los límites territoriales del municipio San Luís perteneciente a la provincia Santiago de Cuba, a 60 km al Norte de la ciudad de Santiago de Cuba, a 2 km al Sureste del poblado Palmarito de Cauto perteneciente al municipio Julio Antonio Mella, específicamente en las elevaciones del mogote San Nicolás, donde se presentan alturas de hasta 350.0 m.

Tanto el yacimiento como la planta procesadora de esta materia prima cuentan con una buena red de comunicación, conformada por terraplenes en buen estado hasta el yacimiento y carreteras pavimentadas de 1^{er} y 2^{do} orden que comunican a la planta con las ciudades de Santiago de Cuba, Palma Soriano, Moa y Holguín, además relativamente cerca transita el ferrocarril central. A través de estas vías de comunicación la materia prima puede ser transportada a otras provincias y hacia el exterior del país por medio del puerto Guillermon Moncada y el aeropuerto Antonio Maceo en la ciudad de Santiago de Cuba, también por el aeropuerto Frank País en la provincia de Holguín.

La población local es algo dispersa y se dedica fundamentalmente a las labores agrícolas, el centro poblacional más cercano es Palmarito de Cauto perteneciente al municipio Julio Antonio Mella dedicado a varias labores, los establecimientos industriales de mayor importancia en la zona son: el Complejo Agroindustrial Julio Antonio Mella y el Combinado pesquero.

La UEB Producciones Mineras Santiago pertenece a la Empresa Geominera de Oriente radicada en Santiago de Cuba que fue constituida mediante Resolución No. 110 del 2 de junio de 1996 dictada por el MINBAS; asimismo esta entidad fue creada mediante Resolución No. 141/2001 del 3 de agosto del 2001 como resultado de la antigua estructura de la Unidad Producciones Mineras Cobre, todas subordinadas a la Unión Geominera, actualmente Grupo Empresarial GEOMINSAL del Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

El yacimiento está constituido por calizas recristalizadas de color blanco crema, pertenecientes a la formación geológica Charco Redondo de edad Eoceno Medio (P²₂), las cuales presentan una estructura masiva y textura organógena-biomorfodetrítica. Su espesor varía entre 5 y 40 m, siendo mayor hacia el Suroeste

donde se localiza un corte natural de unos 30 m y revelada también durante la perforación del pozo 9 en potencia de 40 m y disminuye hacia el Noroeste de forma moderada.

Existe gran desarrollo de clasificación tanto en superficie como en profundidad, generalmente en forma de cavernas en ocasiones rellenas de material arcilloso mezclado con fragmentos de caliza y a veces vacías; así como de oquedades y bolsones de arcilla rojiza, plástica (ver foto No 1) y estas cavernas constituyen intercalaciones estériles en el depósito que provocarían afectaciones en la minería y en el proceso tecnológico de la materia prima, independientemente de su calidad en cuanto al quimismo.

Foto No.1



Por debajo de las calizas yacen discordantemente rocas vulcanógenas sedimentarias pertenecientes a la formación Sabaneta de edad Paleoceno Inferior – Eoceno Medio (P_1^1 - P_2^2), constituyendo el basamento del depósito, representadas por tobas de color verde, algo alteradas y areniscas tobáceas polimícticas color parduzco. Este contacto se localiza muy cercano al borde Oeste del yacimiento, influyendo en la poca potencia de material útil en la línea de los pozos P-1, P-20 y P-3.

1.3 Fundamento teórico del cribado de minerales:

El cribado de minerales es un proceso mediante el cual se clasifican y separan por tamaños los materiales sólidos, sean estos en grano, pulvilentos o en suspensión. Es un procedimiento de separación de minerales por clases de grosor mediante el tamizado de los mismos en una o varias cribas. Los granos (trozos) de mineral, cuyo

tamaño es superior a los orificios de la criba, después del cribado quedan en la criba, mientras que los granos de menor tamaño caen por los orificios. El mineral que ingresa en la criba se llama inicial, el que queda en ella, producto sobre la rejilla (superior) y el que cae por los orificios de la criba, producto bajo la rejilla (inferior). Cribado o tamizado, se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual es generalmente una malla o una placa perforada, esto provoca que las partículas más pequeñas y que el tamaño de las aberturas (del medio de cribado) pasen a través de ellas como finos y que las partículas más grandes sean acarreadas como residuos.

La criba es un medio que contiene la apertura para el paso del material del subtamaño. La superficie debe ser suficientemente fuerte para soportar el peso del material que se está cribando y sin embargo suficientemente flexible para ceder las fuerzas vibratorias que se apliquen.

Módulo de la escala de clasificación:

Relación constante que existe entre los orificios superiores y orificios inferiores. La superficie de cribado puede ser de alambre, barrote y planchas perforadas. La efectividad de este es la extracción de clase que pasa por la criba en el producto cernido. Las máquinas y dispositivos para cribar se llaman cribas. Cualquier criba tiene una o varias superficies de trabajo (de cribado), establecidas en una o varias cajas que realizan movimientos de vaivén o de sacudida. Las operaciones de cribado se utilizan ampliamente en empresas de enriquecimiento y briquetado, en seleccionadoras, en la industria de materiales de construcción, en la industria química, abrasiva y en muchas otras ramas industriales. La escala de cribado es una operación absoluta de orificios mayores a orificios menores.

1.4 Clase de tamaño

Es el material que pasa por una criba con orificios L_1 y el que queda en una criba con orificios L_2 , siendo $L_2 < L_1$ (-19+5 mm, -5+2.38 mm y -2.38+0 mm). Es la clasificación de las partículas según la granulometría que posee un mineral o material determinado que se puedan realizar por los métodos de cribado a escala industrial y el tamizado a escala de laboratorio.

1.5 Característica de tamaño:

Es la representación gráfica de la composición granulométrica de un material árido o en estado mullido. Se trazan en un sistema de coordenadas: individuales, conforme a las salidas de clases por separado y sumaria (cumulativas), conforme a las salidas sumarias de clases.

1.6 Formas de cribado:

- Individual: Se utiliza para la obtención de productos finales con granulometría establecida, enviados de inmediato a los consumidores. A la selección se someten carbones, minerales de hierro, materiales de piedra, de construcción, viales, abrasivos, etc.
- Preparatorio: Proceso que se lleva a cabo antes de las operaciones de beneficio de minerales. Se realiza en empresas de enriquecimiento con el fin de separar por clases el material elaborado, que a continuación pasa a las operaciones de enriquecimiento. Este cribado es necesario con frecuencia antes de las operaciones de gravitación, separación electromagnética y en otros casos.
- Auxiliar: Trabaja fundamentalmente con las operaciones de beneficio de minerales. Se practica en relación con las operaciones de trituración, para separar por grosores el producto acabado antes de triturarlo y para controlar el grosor del producto triturado. La primera forma de trituración se denomina con frecuencia trituración previa y la segunda trituración de control o comprobación.

1.7 Efectividad del cribado:

La efectividad del cribado depende de numerosos factores, entre los que se encuentran las condiciones de trabajo, como amplitud y frecuencia de las oscilaciones de la criba, estratificación de las partículas, probabilidad del paso del material a través de los orificios del tamiz, su humedad, pero también depende en gran medida de las características granulométricas del mismo. Los granos pueden clasificarse según su facilidad de cribado en fáciles, difíciles y entorpecedores, así mientras menos sea el contenido del granos difíciles y entorpecedores en el proceso, tanto más fácil es el cribado y tanto más alta en otras condiciones iguales su efectividad. Los granos cuyos diámetros son menores que tres cuartos de

diámetro de los agujeros del tamiz, pasan fácilmente entre los espacios de los granos gruesos del material sobre el tamiz y según logran la superficie de este caen rápidamente por los agujeros. Estos granos se denominan por su cribado “fáciles”. Los granos más gruesos de tres cuartos de los agujeros del tamiz pasan con dificultad entre los espacios de los granos gruesos, esta dificultad crece progresivamente a medida que se aproxima el diámetro de los granos de los agujeros del tamiz. Estos granos se denominan “difíciles”. Mientras que los granos próximos en diámetro a la magnitud de los agujeros del tamiz, pero más grandes en menos de uno y medias veces, se denominan “entorpecedores”.

Factores del cribado:

- Humedad: Este factor es de suma importancia en las operaciones de cribado, pues los materiales completamente secos o completamente húmedos son relativamente fáciles de cribar. Pero con un porcentaje de humedad superficial en torno al 1%, el cribado se hace de forma dificultosa. Por lo tanto, bajos porcentajes de humedad, conlleva una reducción en la capacidad del cribado y por supuesto, en su eficacia.
- Forma de los agujeros de las superficies cribantes.
- Inclinación de las superficies cribantes.
- Movimiento de la criba: Este va a aumentar la probabilidad de que las partículas con un tamaño inferior a la dimensión de malle pasen. Este movimiento lo que pretende es presentar el mayor número de veces la abertura a las partículas aumentado de esta forma la eficacia de cribado. Hay que seleccionar de forma adecuada la amplitud y la frecuencia de vibración. A medida que el tamaño de abertura aumenta la frecuencia de vibración debe disminuir y la amplitud debe aumentar.
- Espesor de la capa de material: El espesor óptico influye de esta manera; se favorece el fenómeno de estratificación de las partículas (cribas vibratorias); disminución de los rebotes sobre los hilos; aprovechamiento de la superficie de cribado; aumento de la capacidad de cribado.

Características de la superficie de cribado.

- **Parrillas de barras:** Están formadas por barras, perfiles y railes dispuestos de forma paralela y con la separación adecuada a la clasificación que se persigue. La sección de las barras se va estrechando hacia el final de las cribas, con lo que se tiene una divergencia entre las mismas al fin de obtener elevadas eficiencias. Se fabrican de acero, para trabajos duros y de alta abrasividad, se emplean de acero al manganeso o aleados con cromo.
- **Chapas perforadas:** Se emplean en aquellas situaciones donde la superficie de cribado debe ser capaz de resistir tamaños de materiales importantes, dando una mayor vida de servicios que con el uso de mallas metálicas. Las perforaciones efectuadas en las chapas pueden ser de diferentes formas y tamaños (redondas, cuadradas, rectangulares con esquinas redondas o cuadradas, hexagonales, etc.) Las perforaciones se disponen de formas paralelas o inclinadas con respecto a la dirección del flujo de material. Las chapas se construyen de acero o de material antidesgaste con espesores que van desde los 6 hasta los 20 mm.
- **Mallas metálicas:** Las mallas metálicas o telas metálicas están formadas por un conjunto de alambres tejidos de forma que las aberturas que proporcionan son cuadradas o rectangulares. El tejido es variado y debe evitar las deformaciones de las mallas bajo la acción de las vibraciones y los impactos de los granos del material.

1.8 Tipos de cribas:

- **Cribas fijas de barrotes:** Representan en sí rejillas armadas por barras de emparrillados ajustadas bajo un ángulo con respecto al horizonte. El material cargado en el extremo superior de la rejilla se desplaza por ella bajo la acción de la fuerza de gravedad. Con esto, el menudo pasa por las rendijas de la rejilla y la clase gruesa se reúne en el extremo inferior. Estas cribas se emplean para el cribado grueso. La dimensión de las rendijas entre las barras del emparrillado no es menor de 50 mm y en raros casos puede ser de 25 a 30mm. El ángulo de inclinación de la rejilla depende de las propiedades físicas del material a tamizar. Según datos prácticos, el ángulo de inclinación es de 40° a 45° para los minerales; de 30° a 35° para el carbón. En el tratamiento de materiales húmedos el ángulo de inclinación de la criba se aumenta en 5 – 10. En estas cribas es imposible el tratamiento de

minerales arcillosos húmedos debido al recubrimiento de las rendijas. Las dimensiones de las cribas de barrotes se determinan por el grosor de los trozos más grandes de material teniendo en cuenta las condiciones constructivas de la instalación de la criba. Para evitar el atascamiento de los pedazos de material entre las paredes laterales, el ancho de la criba se toma mayor que el triple de la dimensión del pedazo mayor. Si los trozos gruesos en el material inicial son pocos, entonces se permite un ancho mínimo de la criba aproximadamente en 100 mm mayor del doble de la dimensión del pedazo máximo. El largo de la rejilla de la criba se hace no menor del doble de su ancho. El rendimiento de las cribas de barrotes es grande, ya que el material se mueve por la criba como por un canal conductor inclinado.

- Cribas de discos: Se componen de varios ejes paralelos, montado en un bastidor inclinado y que giran en el sentido del movimiento del material. En los ejes se montan o se moldean junto con ellos discos o triángulos “esféricos”. Los ejes con los discos forman una superficie cernidora, cuya forma y dimensiones está determinada por la distancia entre los ejes y la forma de los discos. Los números de ejes para las diferentes construcciones de las cribas varía de 5 a 13, y para el cribado del material fino es mayor. Las dimensiones de los agujeros son desde 5 hasta 175mm. El bastidor se instala en un ángulo de 12° a 15° . La excentricidad de los discos y su posición diferente en el eje contribuyen al mullido del material y a su desplazamiento por la criba. El rendimiento de las cribas de disco se toma según el material inicial, estas cribas se emplean para el cribado previo del carbón y las antracitas con el fin de la separación del producto más fino de 50 a 150mm. En las plantas modernas de enriquecimiento de hulla no se instalan cribas de discos, a ellas las reemplazan por cribas cilíndricas. Las cribas de discos no son aptas para los minerales arcillosos sus ejes se embadurnan rápidamente y los agujeros se tapan.
- Cribas de tambor: En dependencia de la forma de éste pueden ser cilíndricas o cónicas. La superficie lateral del tambor está constituida por una lámina de acero perforada o una malla, sirve de superficie cernidora de la criba. El material inicial se carga por la parte alta del tambor y, a causa de la rotación y de la inclinación, avanza

a lo largo del eje de éste. El material fino pasa por los agujeros, el material grueso se extrae del tambor en el extremo inferior. Las cribas de tambor también se fabrican para el tamizado del material en varias clases. Con esto se arma el tamiz en el tambor a lo largo de algunas secciones con agujeros, creciente en dimensión en la dirección del extremo de descarga; o se arma de superficies concéntricas, es decir, las interiores con agujeros más grandes, y las exteriores con más pequeños. También se emplean construcciones combinadas, en las cuales, en el tambor, que se compone de varias secciones de tamices con agujeros crecientes en dimensiones, se instalan todavía una o más rendijas de malla fina concéntricamente. En la criba de tambor el material se arrastra bajo la acción de la fuerza de roce al interior de la superficie de tambor rotatorio y luego se desliza hacia abajo. A causa de la inclinación del eje del tambor el deslizamiento del material tiene lugar bajo cierto ángulo con respecto a su plano de rotación. Por eso el material se desplaza un poco hacia abajo a lo largo del eje de tambor. Luego el ciclo se repite y el material se mueve por una línea zigzagueante. Las desventajas principales de estas cribas son su voluminosidad, el rendimiento específico pequeño y una efectividad baja, principalmente durante el cribado de material fino. La protección del tambor la constituye una funda de defensa contra el polvo. Todas las partes giratorias de la criba están cubiertas por protecciones metálicas.

- Cribas planas de vaivén: Tiene una o dos cajas de forma rectangular alargada con tamices sujetos a ellas. Las cajas se instalan sobre apoyos o se cuelgan en suspensiones del bastidor de la criba o de la armadura sustentadora y realizan movimientos de avances y retrocesos circulares o compuestos (vaivén). A causa del movimiento de vaivén o de la acción conjunta de las oscilaciones y de la inclinación de la criba, el material cargado en la cabecera de la caja, se desplaza por el tamiz hacia el extremo de descarga. Con esto él se extratifica y la clase fina pasa a través de los agujeros del tamiz. Según el carácter de las oscilaciones las cribas planas se dividen en cribas con oscilaciones longitudinales y circulares, y de movimiento compuesto. El carácter del movimiento del material por la criba de vaivén se determina por la frecuencia de rotación del árbol del excéntrico y por la excentricidad, generalmente, estas cribas trabajan en un régimen con

desprendimiento de material. La desventaja es el desequilibrio de la misma, cuando la caja de la criba, que tiene una masa grande, se mece, surgen fuerzas de la inercia, que se transmiten a través de los elementos del mecanismo propulsor a la estructura sustentadora. La influencia de la humedad en el proceso es que, si el mineral es húmedo por las características de formar arcilla, el mineral y el agua en varias ocasiones hace poco eficiente el proceso de cribado debido a que la arcilla tuyen las rejillas de la criba. Si el material es seco, el mineral y el agua hace eficiente el proceso de cribado debido a que por la presión del agua permite que pase más fácil el mineral por la rejilla. Esta criba se utiliza para minerales de granulometría de 5 a 10mm.

- Cribas semivibratorias (giratorias): Tienen una caja con uno, dos e incluso tres tamices. La caja realiza un movimiento circular de radio pequeño en el plano vertical, transmitido a él desde un árbol excéntrico de rotación rápida. Con esto el tamiz de la criba se queda paralelo a sí mismo en el transcurso de la rotación del árbol. La diversidad de formas de construcción de las cribas giratorias se explica parcialmente por el empleo de amortiguadores de diferentes tipos y diseños, además de los resortes se emplean muelles, enlaces de goma, etc. En lo fundamental las cribas giratorias encuentran empleo para el cribado de material de pedazos grandes (de hasta 400 mm) en rejillas con agujeros de hasta 150 – 200 mm, pero también pueden ser utilizadas para el cribado de material de grosores medio y fino. El mérito de estas cribas consiste en que ellas tienen amplitud constante de las oscilaciones de la caja, independientemente de la carga de material en la criba, y pueden ser empleadas en condiciones muy pesadas de trabajo.

Las que se encuentran en la Planta.

- Cribas vibratorias con vibrador autobalanceado (horizontal): Tienen una caja con uno o más tamices instalados sobre apoyos elásticos o suspendidos por medio de amortiguadores a una estructura sustentadora. En la caja se monta el vibrador de autobalanceado, que genera las oscilaciones de ella, el vibrador se compone de dos contrapesos que giran en árboles paralelos en sentidos opuestos y con un número igual de revoluciones. La fuerza centrífuga de la inercia de los contrapesos se transmite a los árboles y a través de los cojinetes y el cuerpo a la caja de la criba.

El sentido de las oscilaciones del vibrador permite su utilización en las cribas con caja horizontal. Las oscilaciones dirigidas de la caja provocan el movimiento del material en el tamiz con desprendimiento y aseguran su sacudimiento energético.

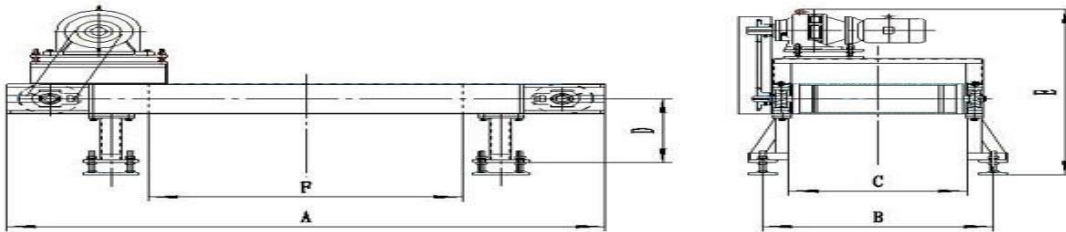


Figura # 1: Criba horizontal de un piso.

- Cribas vibratorias con vibraciones circulares de la caja (inclinada): Es el tipo de criba que más se utiliza, tiene dos y cuatro rodamientos, de alta velocidad y alta frecuencia. Hoy en día, la inmensa mayoría de las instalaciones tienen dos o tres plataformas, aunque también hay variedades disponibles con una sola plataforma o con cuatro. Esta criba se ajusta con facilidad para mejorar el rendimiento y la eficiencia general. Los cambios de inclinación, velocidad, recorrido y dirección de rotación permiten adaptar la criba a la aplicación en cuestión. El movimiento vibratorio de esta criba es circular, la vibración levanta el material y ayuda a la estratificación, mientras la combinación de vibración y ángulo de inclinación proporciona la velocidad de desplazamiento del material sobre la plataforma. Se utilizan durante todo el procesamiento del material para separarlo y clasificarlo por tamaño antes y después de las etapas de trituración. En la etapa primaria, grandes cribas separadoras extraen el material fino antes de que la alimentación llegue al triturador primario, lo que ayuda a proteger las piezas del triturador sujetas a desgastes contra la piedra o arena abrasivas en el material ya clasificado por tamaño. Después de esta etapa se utilizan cribas con dos o tres plataformas y aberturas de distintos tamaños para separar el material en diferentes categorías por tamaño. Por lo general, este tipo de criba se efectúa en seco, la caja de la criba

vibra por acción de los ejes con contrapesos o excitadores, que también hacen vibrar el lecho de material.

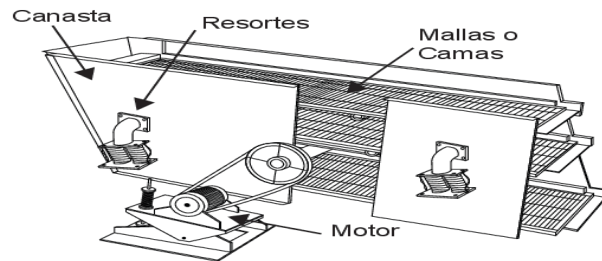


Figura # 2: Criba vibratoria inclinada de 3 pisos.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

En la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto no se ha realizado ningún trabajo en que se haya estudiado el comportamiento del proceso de cribado.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS 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 2 niveles (mínimo y máximo) utilizándose 3 variables independientes; el flujo de alimentación (Q en t/h), ángulo de inclinación ($^{\circ}$) y las salidas del producto en el cribado (R en mm).

La variable dependiente 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 la clasificación del mineral en las cribas vibratorias.

No de Experimentos	Variables independientes					
	Q	$^{\circ}$	R	Q	$^{\circ}$	R
1	+1	-1	-1	60	0	5
2	+1	-1	+1	60	0	19
3	+1	+1	-1	60	20	5
4	+1	+1	+1	60	20	19
5	-1	-1	-1	30	0	5
6	-1	-1	+1	30	0	19
7	-1	+1	-1	30	20	5
8	-1	+1	+1	30	20	19

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), mediante el potenciómetro variador de frecuencia regulando el mismo a 30 y 60 hz permitiendo la variación del flujo de alimentación garantizando los 2 niveles de esta variable en 30 y 60 t/h.

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

Donde:

Q: cantidad de mineral alimentado a la criba vibratoria (t/h).

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

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

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

Los ángulos de inclinación se lograron a través de las 2 cribas vibratorias existentes en la planta, una horizontal con 0° y la otra inclinada con 20°. Para la variación de la regulación de la salida del mineral de las cribas se utilizaron 2 juegos de rejillas; uno de 19 mm y otro de 5mm. Para la determinación de las diferentes respuestas del sistema experimental se utilizó como variable dependiente la distribución de tamaño del mineral de salida o producto de las cribas vibratorias para lo cual este se caracterizó mediante el método de análisis de tamices utilizando una serie de estos. Los minerales de alimentación a las cribas también fueron caracterizados 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 2 muestras a la entrada de cada criba.

El tipo de muestreo que se utilizó fue por corte, éstas muestras se tomaron en la Planta, en el flujo tecnológico cada una hora y se trabajó con el resultado promedio de todas ellas. Para la preparación de las muestras se utilizó el procedimiento de cuarteo basados en el método del cono y del 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.

2.3.1 Alimentador Precribador

Este equipo transporta el mineral hacia el triturador de mandíbula y a la vez clasifica el material útil de estéril a través de las barras separadas por una distancia de 40mm. Posee una productividad de 60 Tn/h, las revoluciones por minuto (rpm) es de 1700 y una frecuencia de 60 Hz.

Elementos	UM	Rango
Marca: Rover ALIPREC APC 840	-	-
Rendimiento	t/h	60
Superficie de trabajo	m ²	3.2
No. de Escalones	-	2
Abertura de los diámetro parrillas	mm	40
Largo	mm	2620
Ancho	mm	1740
Peso	Kg	4900
Motor	KW	15
Tensión	V	220/440
Rotación	rpm	1700
Frecuencia	Hz	60

2.3.2 Triturador de Mandíbula.

Es el encargado de reducir el tamaño del mineral desde 300mm hasta 70 mm que son las dimensiones de las aberturas de entrada y salida del triturador posee una productividad de 60 T/h.

Elementos	UM	Rango
Marca: CMD-26B	-	-
Capacidad de alimentación	T/h	60
Abertura de entrada	mm	300
Abertura de salida	mm	70
Dimensiones Máximas del Material a Cargar	mm	300
Ancho	mm	400
Largo	mm	900
Dimensiones del Producto terminado	mm	70
Resistencia a la Rotura de Compresión del Material de Partida	Kgf/cm2	300
Dimensiones exteriores		
Largo	mm	11000
Ancho	mm	3000
Velocidad de la Banda del Transporte	Km/h	20
Motor	KW	55
Tensión	V	380-440
Rotación	rpm	980-1155
Frecuencia	ciclos	60
Capacidad del Triturador	t/h	60-105

2.3.3 Criba Vibratoria CMR-19 de un paño

Clasifica y recupera el mineral útil que viene en el estéril a través de un paño de 19mm. Posee una productividad de 30-60 T/h.

Elementos	UM	Rango
Cantidad de Paños	u	1
Dimensiones Máximas de los Orificios del Paño	mm	19
Motor	KW	13
Capacidad	t/h	40

2.3.4 Criba Vibratoria CVR-1560-III pisos.

Clasifica el mineral procedente de la banda transportadora TB 1 con el objetivo de obtener cuatro productos (carbonato de calcio de – 70+19mm, – 19+5mm, – 5 +2.38mm y – 2.38+0mm) a través de sus tres paños (19mm, 5mm y 2.38mm) depositando el producto obtenido en las bandas transportadora TB 2, TB 3, TB 4 y TB 5 respectivamente. Tiene una productividad de 60-30 T/h, rpm de 1700 y frecuencia igual a 60 Hz.

Elementos	UM	Rango
Marca: Rover CVR-1560-II pisos	-	-
Rendimiento	t/h	60
Superficie de cribado	m ²	9
Dimensiones de la luz los Tamices	mm	19, 5, 2.38
No. de pisos	-	3
Dimensiones exteriores		
Largo	mm	7300
Ancho	mm	2320
Motor	KW	18.5
Tensión	V	220/440
Rotación	rpm	1700
Frecuencia	Hz	60

2.3.5 Molino Impactor.

Reduce el tamaño del mineral con fracción $-70+19$ mm hasta una granulometría mayor del 95 % en un tamiz de 20mm. Recibe el mineral de la banda transportadora TB 5 y el producto obtenido lo deposita en la banda transportadora TB 6. Tiene una productividad de 60 Tn/h, rpm de 1800 y frecuencia igual a 60 Hz.

Elementos	UM	Rango
Marca: Rover MLR-5	-	-
Rendimiento	t/h	60
Dimensiones Máximas del Material de Entrada	mm	70-150
Dimensiones del Producto terminado	mm	0-19
Cantidad de barrones	U	4
Resistencia a la Rotura de Compresión del Material de Partida	Kgf/cm ²	300
Largo	mm	2620
Ancho	mm	1740
Peso	Kg	12000
Motor	KW	132
Tensión	V	440
Rotación	rpm	1800
Frecuencia	Hz	60

Control de los parámetros tecnológicos.

Los principales parámetros a controlar son los siguientes:

- Flujo de alimentación
- Flujo de salida de los productos
- Granulometría
- Humedad

Los mismos se controlan a través de las especificaciones de calidad establecida en el gráfico de control analítico.

El Flujo de alimentación en el área de trituración se obtiene mediante lo pasado a proceso entre las horas trabajadas y en el área de molienda a través de los metros bandas al igual que los flujos de salida se obtiene por metro banda, la granulometría se obtiene a través de un análisis de tamices y la humedad por diferencia de masa después del secado de la muestra en una estufa.

2.4 Características Principales de la Materia Prima.

Carbonato de Calcio

La materia prima principal para la obtención de este producto es la roca caliza, proveniente de la cantera Mogote San Nicolás ubicada a 6 Km de la unidad. El yacimiento debe tener una pureza de al menos 95% de carbonato de calcio y un contenido máximo de 0.2% de hierro y aluminio. Para poder ser procesada en la planta debe tener una humedad $\leq 4\%$.

Composición Química

Composición química	Muestras superficiales	Muestras tecnológicas	Ensayo del Rajón en cantera
CaCO ₃98%	SiO ₂< 0.1%	SiO ₂ < 0.16%	Absorción...3.38%
MgCO ₃ <0.5%	CaO.....54.55%	CaO 53.92%	Resistencia....22.9MPa
SiO ₂ <0.5%	MgO.....<0.5%	Mg...<0.5%	
CaO..... 55.30%	Al ₂ O ₃<0.5%	Al ₂ O ₃ ..<0.5%	
MgO..... <0.5%	Fe ₂ O ₃<0.2%	Fe ₂ O ₃<0.3	
Al ₂ O ₃<0.5%			
Fe ₂ O ₃ <0.3%			
H ₂ O..... <0.5%			
PPI..... <0.43%			

Resultados obtenidos en el laboratorio Elio Trincado

Posibilidades de uso de la materia prima:

En dependencia de su granulometría y proceso tecnológico

- Como aditivo en la fabricación de pinturas, del papel, en la fabricación de plásticos, pastas dentales, jabones y pienso animal.
- En la Industria Química.
- En los procesos de neutralización en las industrias del níquel.
- En la construcción como áridos de construcción.
- En la fabricación de Cal Viva e Hidratada.
- Otros.

Procesamiento del Carbonato de Calcio.

El proceso de producción del Carbonato de Calcio comienza con el pesado del material que se alimenta a la Planta, en la báscula para camiones a la entrada de la

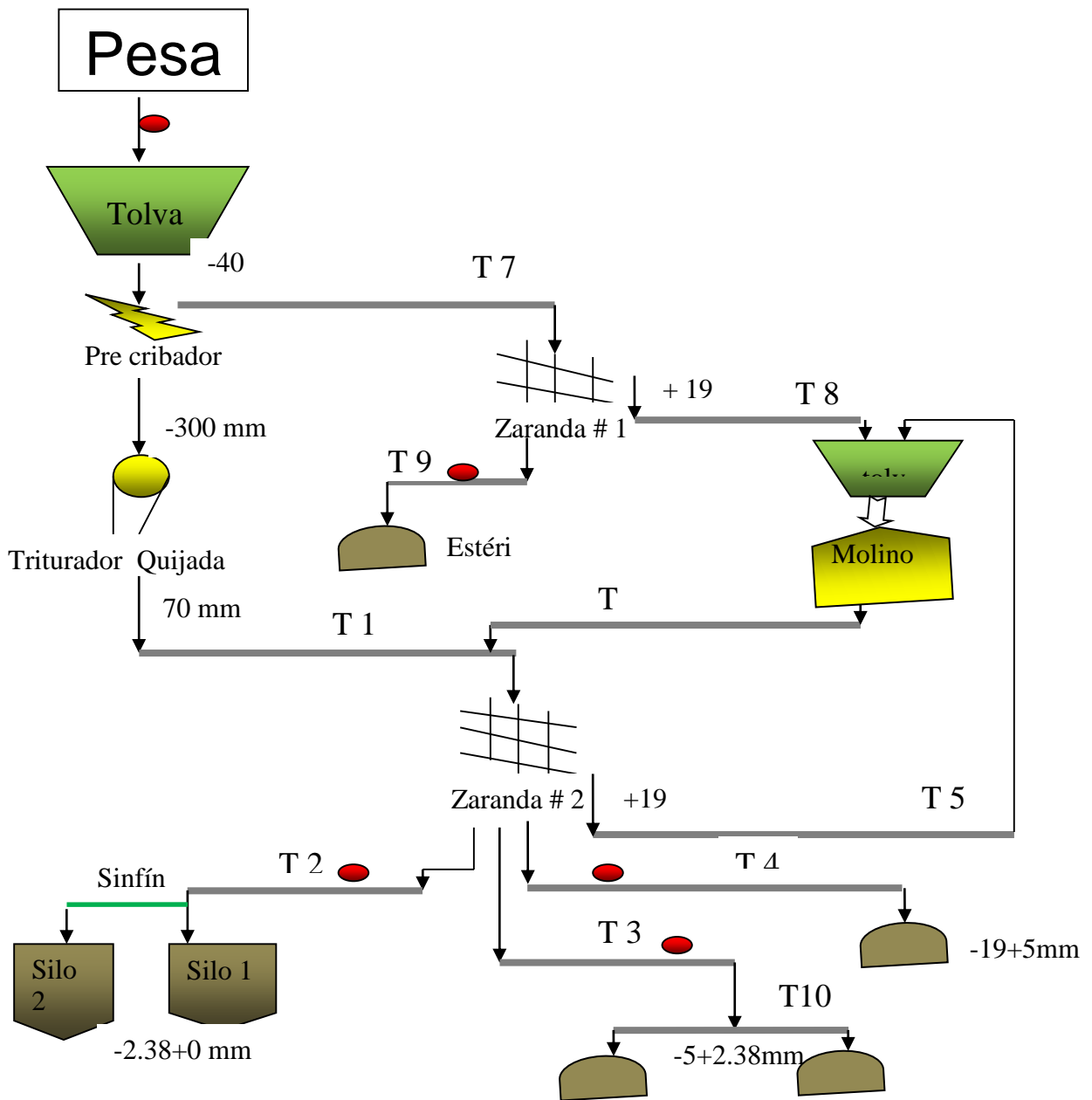
fábrica, para posteriormente proceder a la etapa de trituración, llevándolo a diferentes fracciones según las exigencias de los clientes (fracciones de $-19+5\text{mm}$, $-5+2.38\text{mm}$, $-2.38+0\text{mm}$). Estos se depositan en los almacenes de producto triturado con sus diferentes granulometrías para que una parte pase a su posterior venta y la otra continúe su proceso tecnológico según sea necesario.

Posteriormente una parte del Carbonato de la fracción previamente determinada pasa para el área de molienda. Este material es pesado en la báscula para camiones y se alimenta a una tolva auxiliar con ayuda del cargador. Luego es alimentado constantemente mediante una pesa dosificadora al transportador de bandas No. 4 el cual es el encargado de la transportación al interior del molino de bolas, entrando con una humedad $\leq 4\%$.

Esta operación se realiza constantemente optando por dos variantes:

1. Esperar que se llene la tolva intermedia de 20 toneladas de capacidad con el producto molido. La operación de la descarga se realiza mediante una ensacadora criolla llenando los sacos, se pesan, se cosen y se estiban. Luego el producto ya puede ser vendido.
2. Proseguir el flujo mediante sinfines y elevadores de cangilones hasta los silos de almacenaje, estos tienen capacidades de 200 y 210 toneladas haciendo el proceso continuo para grandes producciones, luego este es trasladado con ayuda del cargador o camiones de volteo hasta el área de envase y se procede a su envasado, pesado, cosido y estibado. Luego el producto ya puede ser vendido.

2.5 FLUJO TECNOLÓGICO TRITURACIÓN.



Leyenda

Puntos de muestreo. ●

Transportadores de banda —

Figura 3. FLUJO TECNOLÓGICO TRITURACIÓN

2.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO

El proceso tecnológico de la planta comienza con el pesaje de la materia prima en camiones Daewoo con capacidad de 20 Tn, provenientes de la cantera mogote San Nicolás, una vez pesado en la báscula de 0-60 Tn es depositado en el área de almacenamiento (patio) para su posterior procesamiento.

El proceso tecnológico está dividido en dos etapas: Trituración y Molienda.

Etapas de Trituración: La alimentación a la planta se realiza mediante el camión Kp3 con capacidad de 15 Tn o con el cargador frontal con capacidad de 3,5 Tn, previamente pesado en la pesa de 60 Tn, el tamaño máximo de la partícula es de 300 mm. El mineral (CaCO_3) es depositado en la tolva receptora con capacidad de 15 Tn la cual se encuentra encima del alimentador precribador de dos pisos con abertura de 40 mm, separando el mineral en dos clases de tamaño (-300+40 mm y -40+0 mm) con el objetivo de separar el material útil del estéril. El material con tamaño -40 mm pasa a la banda transportadora TB 7 la que alimenta a la zaranda vibratoria #1 con un paño de 19 mm con el objetivo de recuperar el material útil que se escapa con el estéril con clase de tamaño -40+19 mm. Este mineral pasa a la banda transportadora TB 8 descargando el mineral en la tolva receptora del molino de impacto con capacidad de 40 Tn. El mineral con clase de tamaño -300+40 mm es descargado mediante el precribador al triturador de mandíbula con capacidad de 50 a 80 Tn/h encargado de fragmentar el mineral hasta un tamaño máximo de 70 mm, el producto obtenido pasa a la banda transportadora TB 1 la cual deposita el mineral en la zaranda vibratoria #2 de tres pisos (paño de 19, 5 y 2,38 mm), la cual se encarga de clasificar el mineral obteniendo cuatro fracciones -70+19 mm, -19+5 mm, -5+2,38 mm y -2.38+0mm. El producto -2.38+0mm se deposita en la banda transportadora TB 2 y de esta al silo de almacenaje # 1 que en la entrada está provisto de un baipás el cual permite el paso del producto para el silo #1 y para el sinfin que transporta este producto para el silo #2 listo para su venta. El producto -5+2,38mm se deposita en la banda transportadora TB 3 la cual traslada el mineral hasta la banda transportadora TB 10 (reversible) la que deposita el mineral en las naves de almacenamiento, una vez que se llene una nave se invierte el sentido del

transportador para que se llene la otra. El producto -19+5 mm se deposita en la banda transportadora TB 4 la cual deposita el material en el patio (pila de almacenaje). El producto -70+19 mm se deposita en la banda transportadora TB 5 la que transporta el mineral hasta la tolva receptora del molino de impacto, esta banda al inicio, encima de ella, se encuentra un electroimán con el objetivo de capturar todos los objetos metálicos que pasen a través de ella impidiendo que estos caigan en el interior del molino de impacto. El mineral es alimentado al molino a través de los vibradores magnéticos que están ubicado en la salida de descarga de la tolva. El molino cuenta con una productividad de 60 a 80 Tn/h, el mismo tiene el objetivo de moler el mineral procedente de TB 8 y TB 5, el producto obtenido es descargado en la banda transportadora TB 6 la cual lleva el mineral hasta la banda transportadora TB 1 formando un circuito cerrado.

La planta de trituración poseerá una productividad de 50t/h en las siguientes proporciones:

0 – 2.38 mm 30%

2.38 – 5 mm 15%

5 – 19 mm 25%

Carbonato Estéril 30%

2.7 Tipos de productos que se obtienen y su aplicación.

Carbonato de calcio 1C

Materia prima: mineral caliza

Usos: Como pienso animal en la industria de camarones, en las producciones de lodos de perforación para la extracción de petróleo, en la producción de pintura, en la elaboración de abate y masillas, en la elaboración de pastas dentales y jabones.

Carbonato de calcio - 2.38+5mm

Materia prima: mineral caliza

Usos: Como materia prima en la industria de la construcción como lozas, bloques.

Carbonato de calcio - 5+19mm

Materia prima: mineral caliza

Usos: Se utiliza en las producciones de materiales de la construcción, como en la fundición de zapatas, columnas y placas.

Carbonato de calcio N° 5

Materia prima: mineral caliza

Usos: se utiliza fundamentalmente en la formulación de piensos animal tanto avícola como porcino, también con fines constructivos en la preparación de morteros de construcción.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

- Los experimentos se realizaron a escala industrial, utilizando un diseño de experimentos factorial completo de 2 niveles (mínimo y máximo) con 3 variables (flujo de alimentación, ángulo de inclinación y regulación de las salidas).
- En la regulación de las salidas se cambió la superficie del cribado de 19mm a 5mm por la especificación del cliente.

CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS 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 las cribas utilizado durante los experimentos 1 para la criba horizontal y el experimento 2 para la criba inclinada.

Tabla 3.1 Caracterización del mineral de alimentación Masa Retenida (Kg)

Alimentación	40	19	5	2.36	0	Total
Horizontal Exp. 1	7.9	3.2	2.2	0.6	0.6	15
Inclinada Exp, 2	11.2	2.5	1.2	0.25	0.21	15

Tabla 3.2 Distribución individual Contenido en %

Alimentación	40	19	5	2.36	0	Total
Horizontal Exp. 1	54.5	22.1	15.2	4.1	4.1	100.0
Inclinada Exp, 2	72.9	16.3	7.8	1.6	1.4	100.0

Tabla 3.3 Distribución acumulativa por retenido Contenido en %

Alimentación	40	19	5	2.36	0
Horizontal Exp. 1	54.5	76.6	91.7	95.9	100.0
Inclinada Exp, 2	72.9	89.2	97.0	98.6	100.0

Tabla 3.4 Distribución acumulativa por cernido Contenido en %

Alimentación	40	19	5	2.36	0
Horizontal Exp. 1	100.0	23.4	8.3	4.1	0.0
Inclinada Exp, 2	100.0	10.8	3.0	1.4	0.0

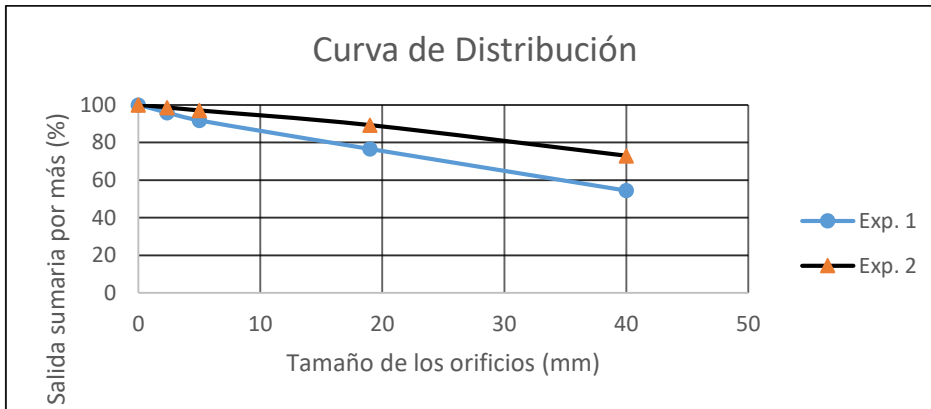


Figura 5 Curva de distribución granulométrica del mineral alimentado a las cribas.

Como se observa en el análisis granulométrico, la salida de la clase +40 mm representa el 72,9 % de todo el material, lo que evidencia también una distribución de las partículas más gruesa en todo el espectro granulométrico.

Como se observa en el análisis granulométrico, la salida de la clase -40+19 mm representa el 54.5 % de todo el material, lo que evidencia también una distribución de las partículas más gruesa en todo el espectro granulométrico.

Tabla 3.5 Valores del producto retenido en las serie de tamices (Kg) del mineral de salida o productos obtenidos durante la experimentación en las cribas vibratorias. .

No de Experim	19	8	5	2.36	0	Total
Experimento 1	0.00	1.50	2.00	3.50	3.00	10.00
Experimento 2	0.00	2.50	2.50	3.00	2.00	10.00
Experimento 3	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	10.00
Experimento 4	0.00	2.00	2.50	3.50	2.00	10.00
Experimento 5	0.00	0.50	1.50	3.50	4.50	10.00
Experimento 6	0.00	1.00	2.50	2.50	4.00	10.00
Experimento 7	0.00	0.50	0.50	4.00	5.00	10.00
Experimento 8	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	10.00

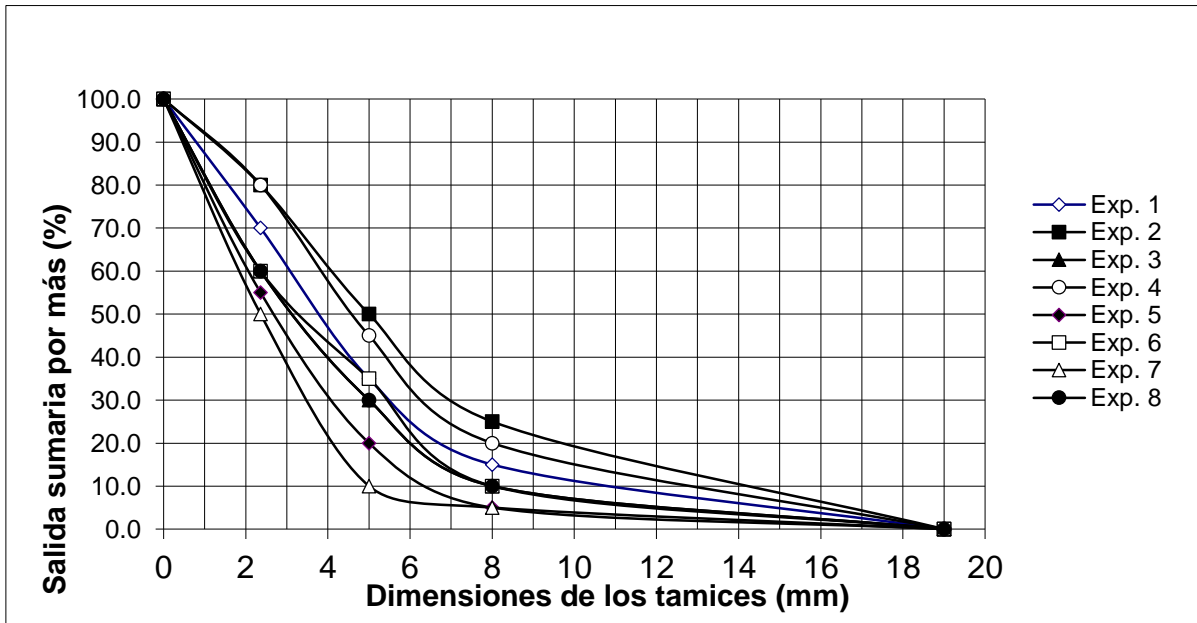
Tabla 3.6 Distribución individual según el retenido (en por ciento) del mineral de salida o productos obtenidos durante la experimentación en las cribas vibratorias.

No de Experimentos	19	8	5	2.36	0	Total
Experimento 1	0.0	15.0	20.0	35.0	30.0	100.0
Experimento 2	0.0	25.0	25.0	30.0	20.0	100.0
Experimento 3	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	100.0
Experimento 4	0.0	20.0	25.0	35.0	20.0	100.0
Experimento 5	0.0	5.0	15.0	35.0	45.0	100.0
Experimento 6	0.0	10.0	25.0	25.0	40.0	100.0
Experimento 7	0.0	5.0	5.0	40.0	50.0	100.0
Experimento 8	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	100.0

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

No de Experimentos	19	8	5	2.36	0
Experimento 1	0.0	15.0	35.0	70.0	100.0
Experimento 2	0.0	25.0	50.0	80.0	100.0
Experimento 3	0.0	10.0	30.0	60.0	100.0
Experimento 4	0.0	20.0	45.0	80.0	100.0
Experimento 5	0.0	5.0	20.0	55.0	100.0
Experimento 6	0.0	10.0	35.0	60.0	100.0
Experimento 7	0.0	5.0	10.0	50.0	100.0
Experimento 8	0.0	10.0	30.0	60.0	100.0

Figura 6 Características de grosor acumulativas por el retenido del producto obtenido durante los experimentos.



En la figura 6 se observa el conjunto de curvas obtenidas de la distribución del tamaño del producto obtenido en las cribas vibratorias para cada experimento, apreciándose que el producto más fino se obtiene en los experimentos 7 donde el ángulo es máximo, la regulación de la salida es mínima y el flujo de alimentación es mínimo utilizada en los experimentos y el producto más grueso se obtiene en los experimentos 2 donde el ángulo es mínimo, la regulación de la salida es máximo y el flujo de alimentación es máximo.

Regulación de la salida

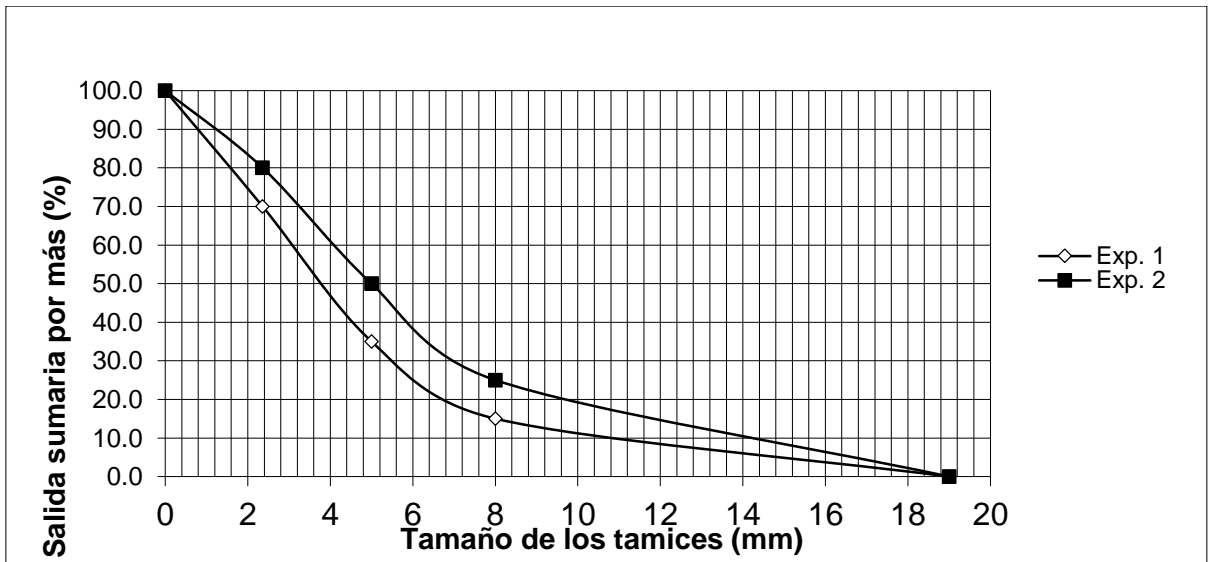


Figura 7 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 1 y 2.

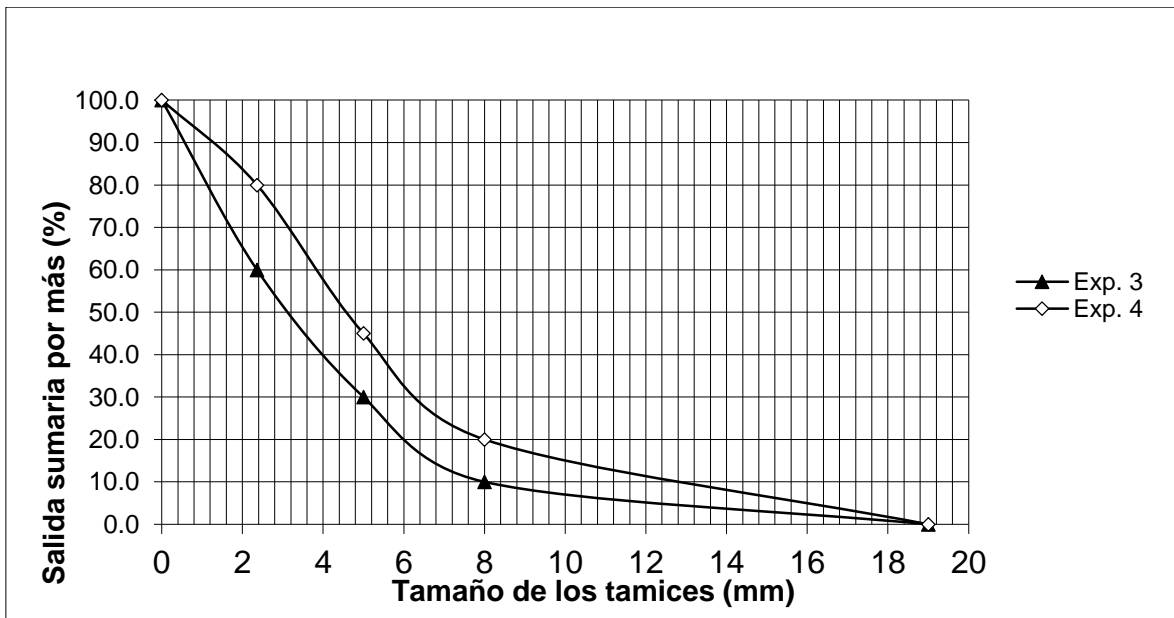


Figura 8 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 3 y 4.

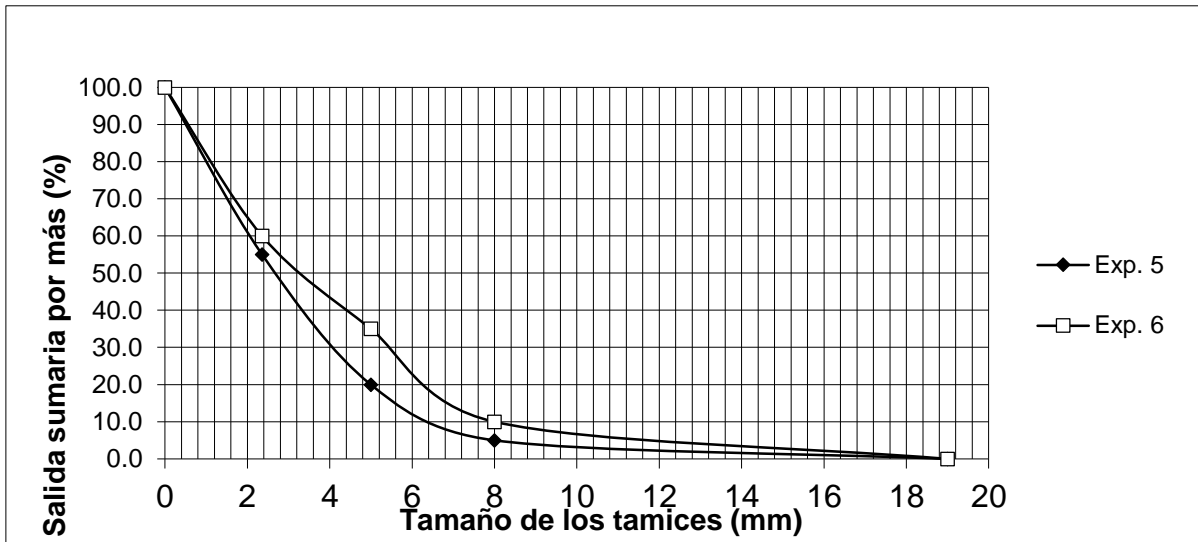


Figura 9 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 5 y 6.

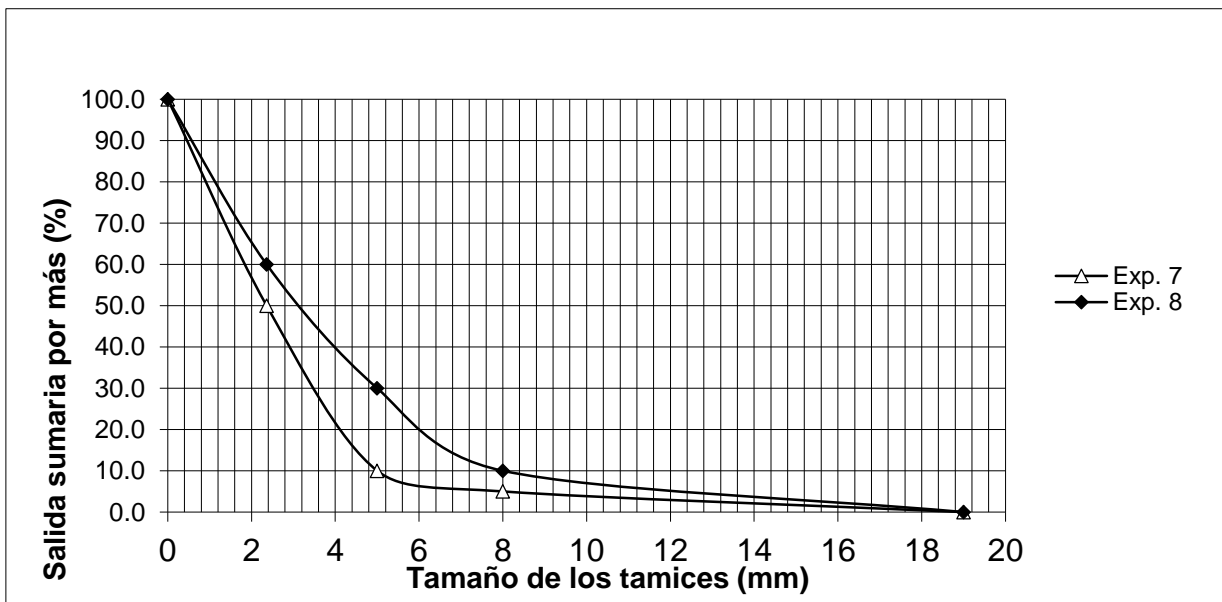


Figura 10 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 7 y 8.

En las figuras 7, 8, 9 y 10 se puede apreciar la influencia de la regulación de la salida en la distribución de tamaño del producto obtenido en las cribas. En cada una de estas figuras se presentan 2 curvas que representan los resultados obtenidos para

cada uno de los 2 niveles de esta variable, se puede observar que mientras menor es la regulación de salida se obtiene un producto más fino.

La mayor diferencia entre las curvas, donde se evalúa la regulación de la salida, se observa en la figura 7.

Ángulo de inclinación

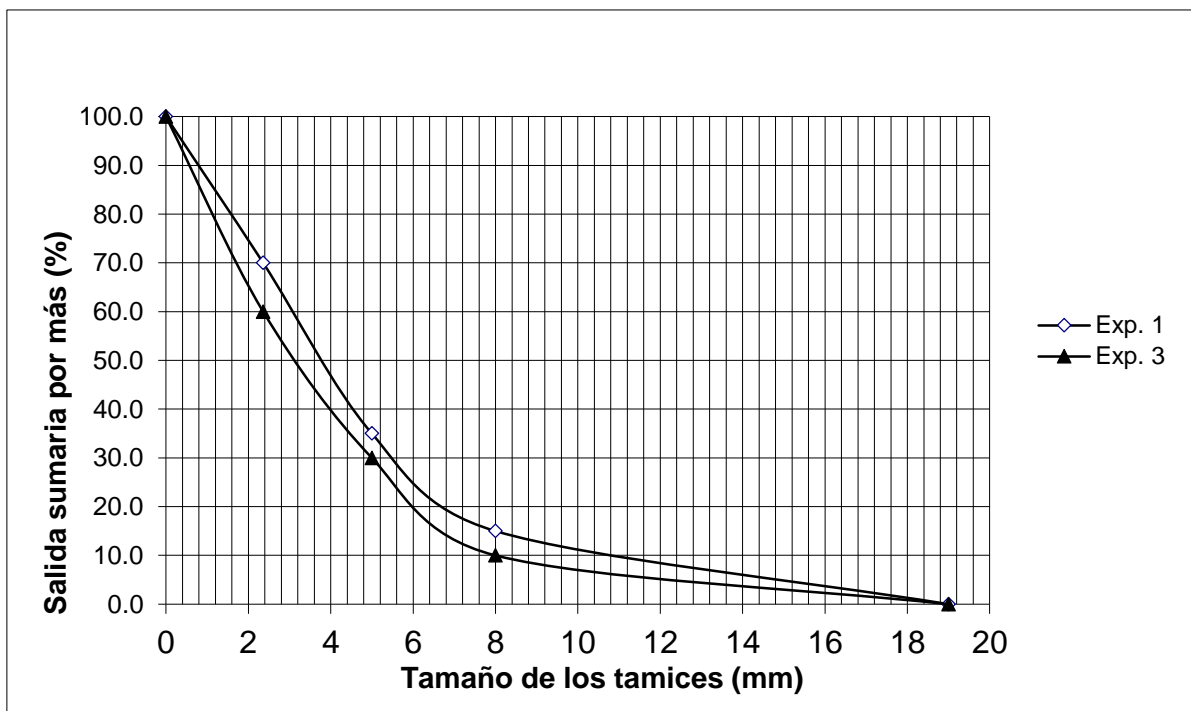


Figura 11 Característica de grosor del producto comparación entre los experimentos 1 y 3.

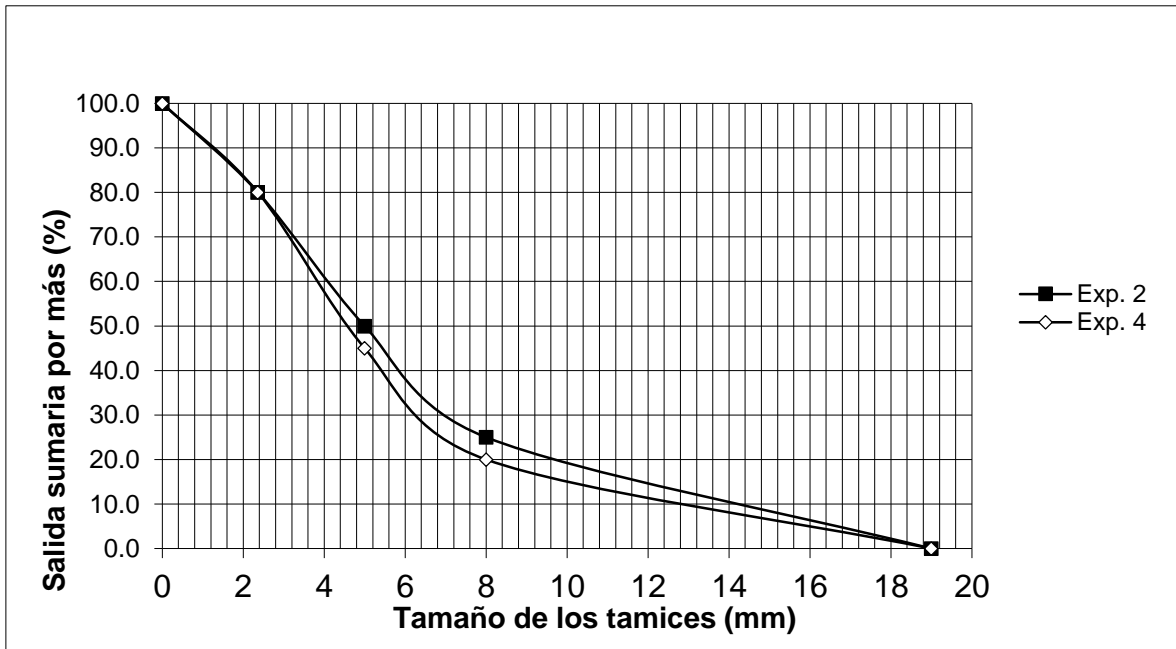


Figura 12 Característica de grosor del producto comparación entre los experimentos 2 y 4.

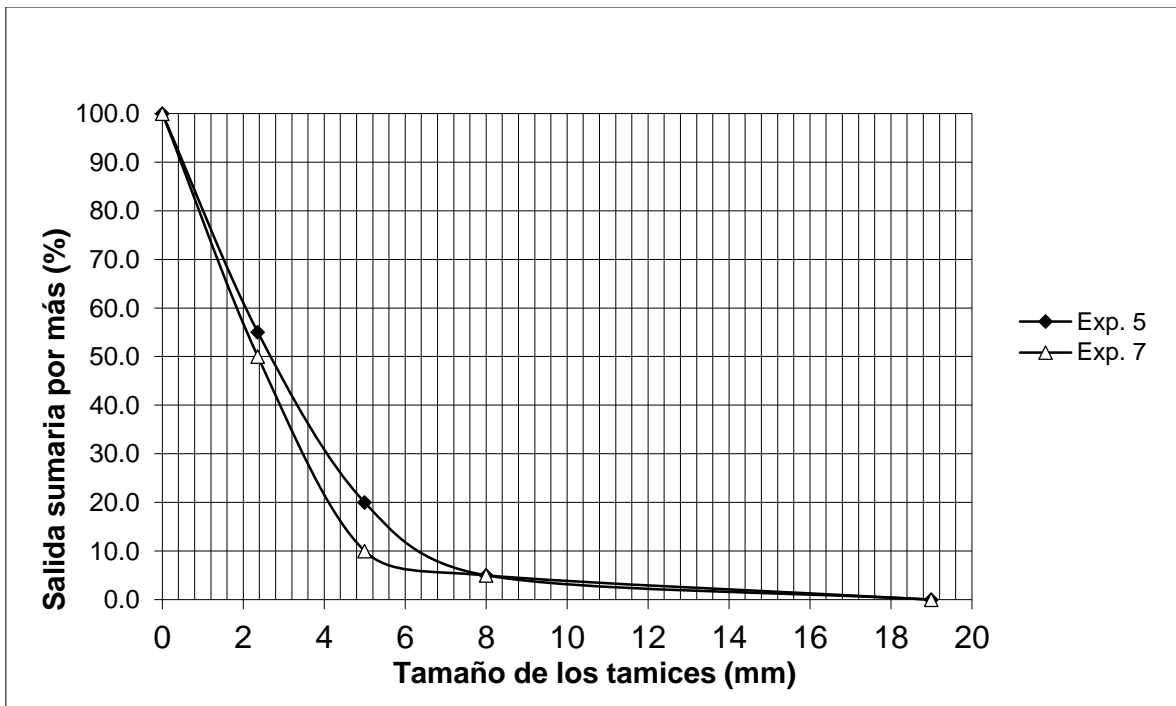


Figura: 13 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 5 y 7.

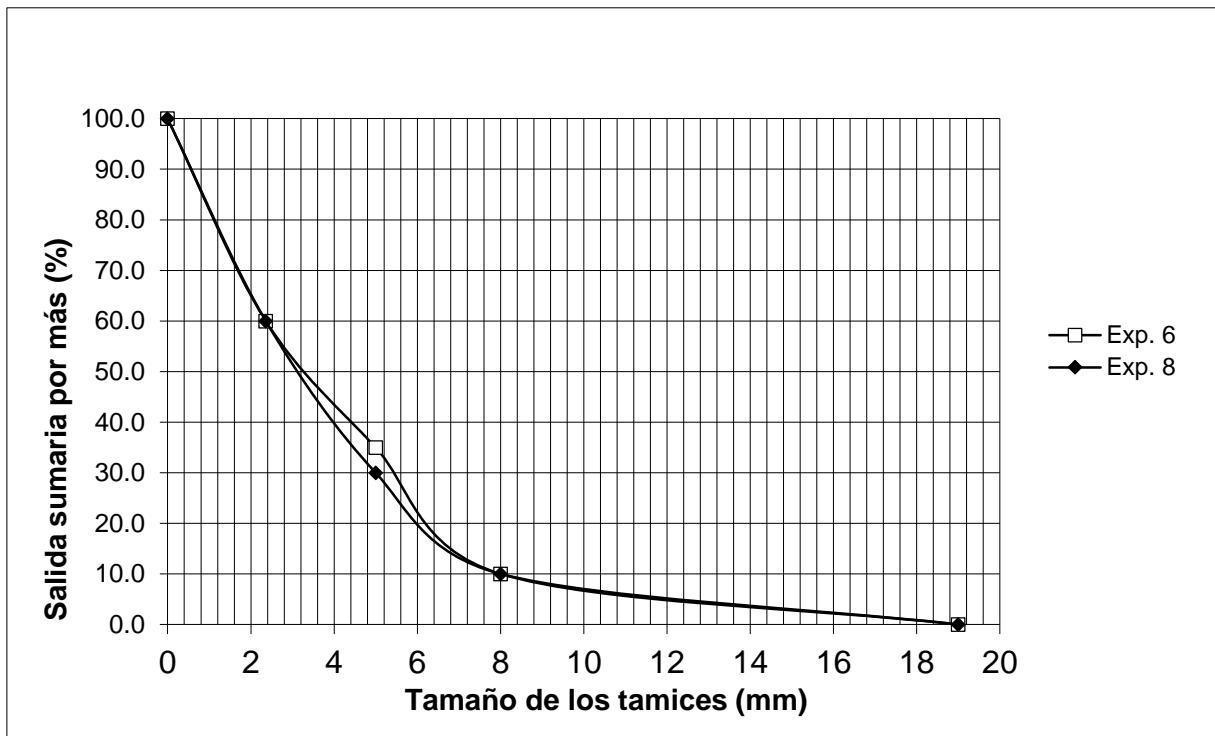


Figura 14 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 6 y 8.

En las figuras 11, 12, 13 y 14 se pueden apreciar el efecto de los ángulos de inclinación en la distribución de tamaño del producto. Pudiéndose apreciar en todos los casos que a mayor ángulo se obtiene un producto más fino, no obstante, existen experimentos donde la diferencia entre los productos es mayor como es el caso de las figuras 11 donde la regulación de la salida es mínima y la productividad es máxima. En la figura 14 se puede apreciar que la variación del ángulo de inclinación no influye de manera considerable en el resto de las variables independientes.

Flujo de alimentación

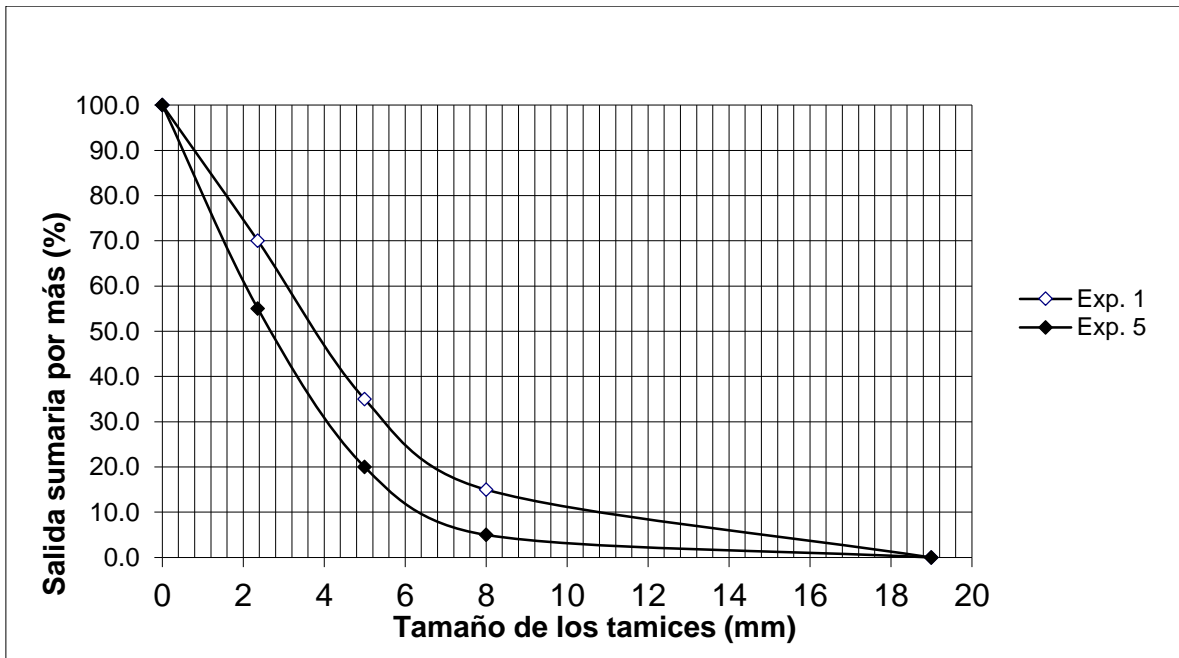


Figura 15 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 1 y 5.

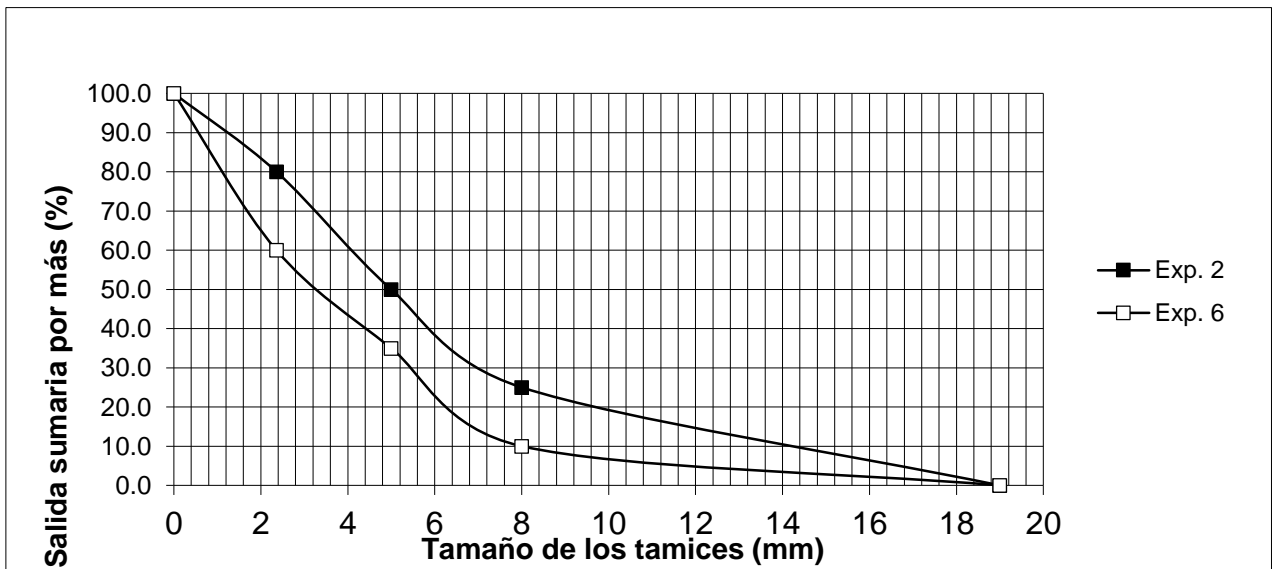


Figura 16 Característica de grosor del producto, comparación entre los experimentos 2 y 6.

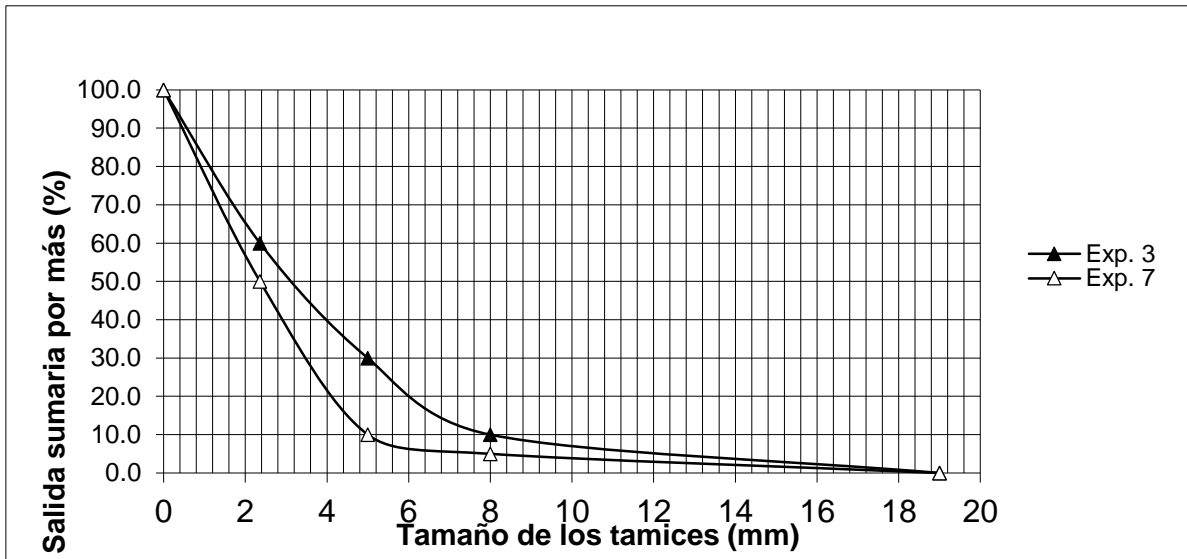


Figura 17 Característica de grosor, del producto comparación entre los experimentos 3 y 7.

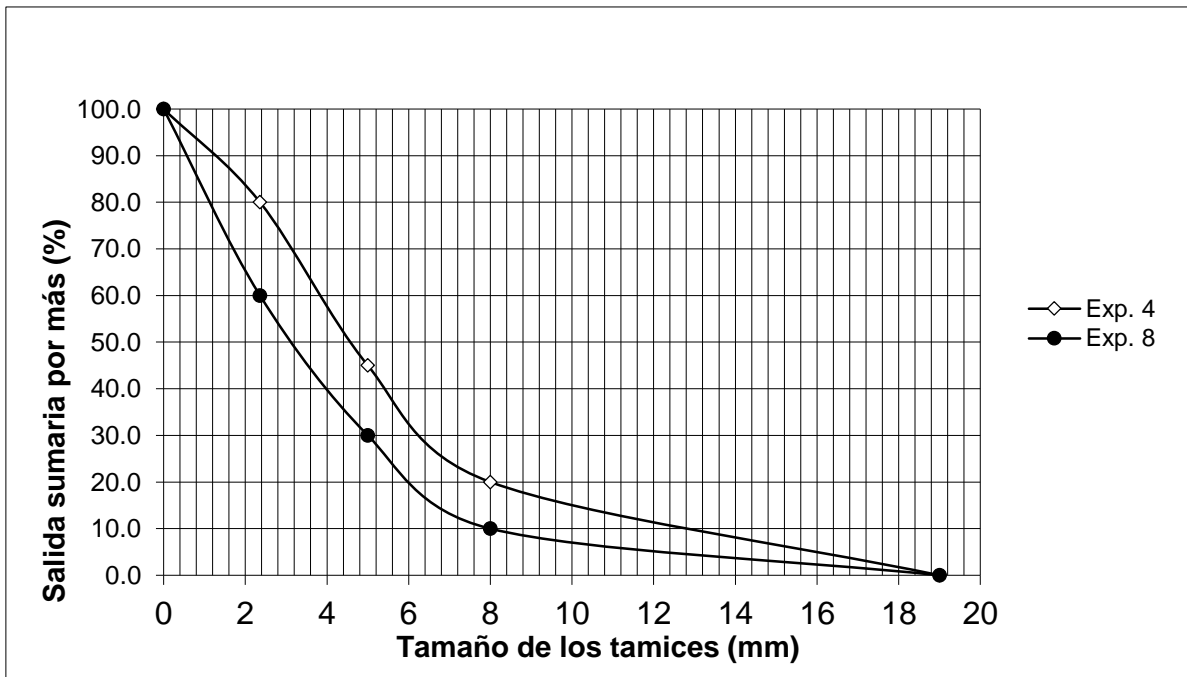


Figura 18 Característica de grosor, del producto comparación entre los experimentos 4 y 8.

En las figuras 15, 16, 17 y 18 se puede apreciar el comportamiento de la distribución de tamaño del producto en función del flujo de alimentación de las cribas, observándose que; con el flujo de alimentación menor se obtiene un producto más

fino independientemente de las combinaciones del resto de las otras variables estudiadas.

3.2 Estimación económica sobre los costos en la Planta de Carbonato de Calcio

PARÁMETROS	Criba Horizontal	Criba Inclínada
Capacidad de Alimentación	17.67 t/h	42 t/h
Capacidad Diaria	141.36 t/día	336 t/día
Valor de la Producción Obtenida		
Carbonato de Calcio -2.38+0 mm	-	700.00 MN
Carbonato de Calcio -5+2.38 mm	-	500.00 MN
Carbonato de Calcio -19+5 mm	-	650.00 MN
Carbonato de Calcio Estéril	200.00 MN	
	Molino de Bola	
Capacidad de Alimentación	1.5 t/h	
Capacidad Diaria	12.0 t/día	
Carbonato de Calcio -0.045 mm	7000.00 MN	

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

Se determinó que el producto más fino se obtiene en los experimentos 7 donde el ángulo es máximo, la regulación de la salida es mínima y la productividad es la mínima utilizada en los experimentos y el producto más grueso se obtiene en los experimentos 2 donde el ángulo es mínimo, la regulación de la salida es máximo y la productividad es máximo.

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 las salidas de las cribas, del ángulo de inclinación y del flujo de alimentación de mineral en el proceso de cribado en la Planta de Palmarito de Cauto

2 Con la realización de los experimentos se mostró una recuperación del Carbonato de Calcio que se perdía en el estéril. Se pudo determinar que el producto más fino se obtiene en los experimentos 7 donde el ángulo es máximo, la regulación de la salida es mínima y la productividad es la mínima utilizada en los experimentos y el producto más grueso se obtiene en los experimentos 2 donde el ángulo es mínimo, la regulación de la salida es máximo y la productividad es máximo las pérdidas disminuyeron y trae como consecuencia que la economía de la Empresa mejore al no irse este producto como estéril, todo este resultado es basado en las variables utilizadas para este estudio.

3 Con el tamiz de 19mm el 12% del mineral se va junto con el estéril, pero se recupera el 88% de Carbonato de Calcio y con el tamiz de 5mm se pierde el 5% del mineral en el estéril, pero se recupera el 95%.

RECOMENDACIONES:

1 Utilizar los resultados de la presente investigación para el ajuste del proceso en función de las necesidades de la producción.

2 Ampliar los estudios experimentales actuales y realizar la modelación analítica del proceso tecnológico de la Planta de Procesamiento de Carbonato de Calcio.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Andréiev, S. E., Perov, V. A. & Zverievich, V. V. 1980. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de Minerales. Editorial Mir, Moscú.
2. FOMENKO, T. G. 1980: Procesos de enriquecimiento de minerales por gravitación. Moscú. MIR. 422 p.
3. Kokoev, V., S. S. (1975). Metales no ferrosos. Moscú. No.8.
4. MITROFANOV, S. I. 1982: Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú, MIR. 440 p.
5. Cori, W. 2017. Diseño de una Criba para la Concentración de Oro. Tesis de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
6. González, R. 2015. Instalación de una Planta de Trituración y Cribado de una Cantera de Cuarzita. Tesis de Ingeniería. Universidad de León. México.
7. Avelino Chinduamba Capingana, 2019, Tesis en la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas.
8. Manual de Laboratorio, Elio Truncado. Santiago de Cuba. Composición Química del Carbonato de Calcio.
9. MATIUSHEV L G Y SUMIN V N. Moscú 1985. *Dispositivos de transporte y depósitos de las fábricas de enriquecimiento*. Vneshtorgizdat.
10. COELLO V, A. ISMM Moa 1999. *Manual de Preparación Mecánica de Minerales*.
11. 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.
12. NIKOLOV S 2002. *A Performance model for impact crusher*. Minerals Engineering 15 (2002) 715–721. 2004
13. Manuales de la Planta de Carbonato de Calcio de Palmarito de Cauto. Santiago de Cuba.
14. Manual de Mineralogía Dana-Hurlbut Ed. Reverte. S.A. 2ª. Edición.
15. Los Yacimientos de Calcita Óptica de la República Mexicana; Carl Fries, Jr. 1948 Boletín 16.

EN INTERNET

16. <http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/3/Minerales%20Industriales%20su%20Importancia%20Economica.pdf>
17. <http://201.131.19.30/Estudios/Mineria/Sistema%20Mineria/caliza/comoWEB/caracteristi..>
18. <http://www.mindat.org/min-859.html>
19. <http://www.uned.es/cristamine/fichas/calcita/calcita.htm>
20. <http://webs.ono.com/minemil/calcita.htm>
21. <http://geology.com/minerals/calcite.shtml>
22. <http://geology.com/minerals/calcite.shtml>
23. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/08/27/143247>