



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACION TECNICA DE UN SISTEMA DE MOLIENDA EN LA CALERA MONTE ALTO BAMBAMARCA – CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Deyvi Chilon Chilon

Kevin Jhulliño Saucedo Limay

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2022

## DEDICATORIA

A mis padres pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, también por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, que me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mi padre, a mi madre y a mi hermana como también que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia a la cual amo infinitamente.

Deyvi Chilon

A mis padres el cual fueron fundamental en mis logros y todo se las debo a ellos y por inculcarme la importancia de los estudios hoy en estos años muy competitivos.

A mi esposa, por el apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos por su apoyo, palabras de orientación, motivación, y por ser ellos la inspiración y lucha constante para finalizar este proyecto.

Kevin Saucedo

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la oportunidad del conocimiento y valentía para poder culminar la carrera. así también a mi familia, amigos, y personas especiales en mi vida, a la universidad que me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, agradezco mucho por la ayuda de mis maestros, mis compañeros, y a la universidad en general por todo lo anterior en conjunto con todos los copiosos conocimientos que me ha otorgado.

Deyvi Chilon

A Dios. Por darnos el conocimiento y fuerzas para culminar esta etapa académica en la casa de estudios.

A mi familia el cual me inculcaron valores, por su orientación, comprensión, paciencia y sus valiosos consejos a lo largo de mi formación.

A nuestro asesor por la orientación y enseñada durante el proceso de elaboración de la investigación.

Kevin Saucedo

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de la caliza .....	16
Tabla 2: Inversiones para la propuesta de la planta chancadora .....	32
Tabla 3: Egresos de la planta chancadora .....	32
Tabla 4: Rentabilidad de la planta chancadora.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flujograma de producción de cal.....	19
Figura 2: Chancadora Primaria .....	29
Figura 3: Chancadora Secundaria .....	29
Figura 4: Zaranda vibratoria.....	30
Figura 5: Molinos de Martillo .....	30
Figura 6: Faja Transportadora .....	31
Figura 7: Plataforma de Chancado .....	31

## RESUMEN

La presente investigación titulada Evaluación técnica de un sistema de molienda en la calera monte alto Bambamarca – Cajamarca, 2022; nace a partir de la ausencia de un sistema de molienda en la calera. Planteándose como objetivo principal. Realizar la evaluación técnica de un sistema de molienda en la calera Monte Alto Bambamarca – Cajamarca, 2022. Para lo cual se desarrolló una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo. Finalmente, en el análisis de resultados, se evidenciaron que para un sistema de molienda determinando una inversión de S/. 1' 367, 000.00 para la propuesta de un sistema de molienda de la planta de chancado, de igual forma setiene como egresos la suma de S/. 169.800,00 asimismo un beneficio anual de la planta de chancado de S/. 1' 700, 000.00, de tal manera que la calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal, ahorro de tiempo, reducción de riesgos ocupacionales.

**Palabras clave:** evaluación técnica, sistema de molienda, producción, chancado

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El Perú es un país en vías de desarrollo, lo que ha dificultado competir con otros países que tienen un nivel tecnológico más elevado, las diferentes líneas de producción dentro del país y en especial en la provincia de Bambamarca donde las caleras son mayormente artesanales.

Debido a que Cajamarca se ha convertido en una de las zonas mineras más importantes del país esto conlleva a consumir productos fabricados en nuestra región, trayendo trabajo y desarrollo en las zonas de influencia. Lo anterior trae como consecuencia la ampliación inmediata de métodos para optimizar la producción, generando una mayor oferta y demanda.

Urday, P. (2017). en su tesis titulada “Diseño de una Planta Móvil de Trituración de Caliza para una Capacidad de 50 Tn/H”, para obtener el título de Ingeniero Mecánico de la Pontificia Universidad Católica del Perú; describe el diseño completo de una planta móvil de trituración de caliza, lo cual incluye el diseño del proceso óptimo de trituración, la selección de equipos adecuados para el trabajo, el diseño de la estructura portante de la planta móvil y el montaje de los equipos en la estructura. La planta móvil de trituración de caliza tendrá un flujo de producción de 50 Toneladas por hora y podrá ser transportada fácilmente y utilizada donde sea requerida. Se diseñó la estructura principal según la norma AISC-ASD, se determinaron las cargas actuantes sobre la estructura portante de la planta móvil considerando cargas muertas, cargas vivas, cargas accidentales, cargas de impacto, cargas de sismo y cargas del viento. Se verificó la estructura portante de la planta móvil calculando el esfuerzo normal, el esfuerzo cortante utilizando con un factor de seguridad mínimo de 1.5, y

combinándolos de acuerdo al criterio de Von Mises; además se verificó la rigidez estructural. Para el diseño se consideró la selección del perfil más económico y la utilización de perfiles americanos disponibles en el Perú. Se concluye que la planta móvil de trituración de caliza no tendrá problemas de vuelco, debido a que se evaluó la volcadura de la planta móvil de trituración de caliza para las condiciones más desfavorables: cuando se tiene un peralte máximo aceptado en las carreteras afirmadas del Perú y cuando actúa la carga de viento en contra. La planta móvil paso la evaluación.

La producción de cal en Cajamarca se lo hace mayormente en forma artesanal es por eso que se quiere la evaluación técnica para la implementación de un sistema de molienda en la calera Monte Alto, Bambamarca ya que no es un proceso muy complejo, aplicando los conocimientos adquiridos durante toda la carrera universitaria con métodos y tipos de maquinaria que pueden ser usados para producir cal de buena calidad de acuerdo al requerimiento de los diferentes clientes.

La molienda es una operación unitaria, que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. (Valero, A. 2015).

Castillo, R. (2016) en su tesis sobre “Optimización de parámetros que influyen en la sección de molienda-clasificación y flotación Zn” concluye que, Se observa que los resultados con un nivel de bolas de 34% con una potencia de 1066 Hp, se puede llegar a 36% ya que la potencia máxima del motor es de 1650 Hp, esto nos permitirá elevar la capacidad de tratamiento. Se determinó que el tamaño de alimentación de 65%-70% a malla -1/4”, es una granulometría fina para alimentar al circuito Molienda/Clasificación. Se observó que

al optimizar los parámetros mencionados nos permitirá aumentar el grado de liberación de tal manera que de 48% -m200 se pueda llegar a 55%-m200 y mejorar la calidad y recuperación.

(Rios, O. et al. 2017). en su tesis sobre “Características del sistema de molienda en el proceso de producción” El proceso de trituración primaria, tiene la capacidad para un óptimo funcionamiento ya que la capacidad recomendada para este tipo de trituradoras es de 5-20 Ton/h y según información suministrada por la empresa, la trituradora de mandíbulas a plena carga, tarda un tiempo de 1 hora en la trituración de 12 Ton, que es el equivalente de un viaje de una volqueta. Esta producción se ve afectada debido a que no se puede estar alimentando constantemente la trituradora ya que el molino de martillos no soporta toda la carga proveniente de la misma, lo que ocasione que se deba parar la alimentación aproximadamente cada 5 min, por un rango de aproximadamente 2 min, hasta que el molino de martillos descargue.

(Osorio, A. et al. 2017). en su tesis sobre “Evaluación de la influencia de la velocidad de giro del molino, el tiempo de residencia y la carga de los medios de molienda” La producción de material fino menor a 45 micras, está fuertemente influenciada por factores como la velocidad de giro del molino y el tiempo de residencia. No sucede lo mismo con la carga de cuerpos moledores, para la cual la cantidad de material producido por debajo de la malla 325 no varía significativamente con cambios en la carga, quizá debido a que el rango evaluado para este parámetro fue muy estrecho. Asimismo, el área superficial se incrementa al aumentar tanto la velocidad como el tiempo y la carga. Sin embargo, la mayor incidencia la tiene el factor velocidad.

Echavaudis, E. & Pérez, C.(2017). en su tesis sobre “Determinación del tamaño de

partícula óptima en molienda para la concentración por flotación de sulfuro de plomo a partir de un mineral polimetálico” concluye que, Se puede observar que los resultados de las pruebas experimentales de análisis granulométrico señalan que existe un tamaño óptimo de partícula de mineral de sulfuro de plomo que se libera en mayor proporción en tiempos de molienda comprendidos entre 4 y 16 minutos, cuyo valor se da en la malla -100. Durante el paso del tiempo de 7, 10, 13 y 16 este valor va en aumento. Como se observa en los resultados obtenidos, se determinó que la granulometría más adecuada para la recuperación óptima de plomo del mineral polimetálico es de 67,60% de mineral acumulado pasante Ac tal como se ve en la figura 27, donde la malla de referencia es de -100. y el tiempo adecuado de molienda es de 16 minutos, cuyos datos deben tenerse en cuenta al momento de diseñar los equipos industriales de producción continua del plomo a partir de la galena.

Zumaran, D. (2017). en la “Evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de minerales mediante diseños experimentales” concluye que se, Se puede observar que el aumento del tiempo de molienda y la disminución del índice de trabajo de Bond del mineral incremento el % pasante malla 16 y % pasante a malla 200. Se puede observar que el aumento de la proporción de bolas pequeñas en la distribución del tamaño de bola incrementó el % pasante malla 200. Se puede observar que el aumento del tiempo de molienda y de la proporción de bolas grandes en la distribución de tamaño de bola incremento la razón de reducción de tamaño. Se aprecia que los minerales con índice de trabajo de Bond más altos y las partículas más gruesas requieren alto impacto y bolas grandes.

El proceso de elaboración de la cal fue en sus inicios bastante simple ya que solo era

cuestión de encontrar y quemar las rocas adecuadas, con el paso del tiempo este proceso ha venido tecnificando en todo el mundo ya que la cal es un material muy versátil por sus usos tanto en la construcción como en la industria. Hoy en día la obtención de la cal realmente interesante, todo comienza cuando se encuentra una cantera de roca caliza ( $\text{CaO}_3$ ) se extrae, se tritura, se calcina para obtener ( $\text{CaO}$ ) cal viva, y en algunos casos se hidrata para obtener cal hidratada ( $\text{CaOH}$ ) o cal apagada (Vera, S. 2016).

En Perú, la caliza actualmente es el producto minero no metálico de mayor volumen de producción con más 7 252 293 TM, registrado en el año 2015, y representando un 53.49% del total de producción minera no metálica. Seguido por el hormigón con un 13% (Carrillo, R. 2016).

Dada la gran cantidad de minas de piedra caliza almacenadas en los suelos de Perú, estas representan una oportunidad para las comunidades de ingresar en el mercado ya sea como explotadores y distribuidores de esta materia prima o a su vez como productores de cal y sus derivados, significando esto al mismo tiempo un ingreso económico y mejoramiento del nivel de vida para estas comunidades (Avalos Bravo, 2015).

El Ministerio de Energía y Minas indica que la minería no metálica, el año 2017 Perú produjo en total 47,8 millones de toneladas de mineral no metálico, registrando un incremento del 0,8 % respecto al año 2016. Siendo los principales minerales no metálicos extraídos son la caliza y la dolomita, 22 representando el 40,6% del total, con 19,4 millones de toneladas. Es importante destacar que las principales regiones de extracción son Junín, Lima y Cajamarca, siendo que esta última desplazó a Arequipa como la tercera Región con mayor producción de dichos minerales. (Ministerio de Energía y Minas, Anuario Minero, 2017).

## Molienda:

Es la operación de reducción de tamaño para liberar las partículas valiosas de la ganga utilizando medios moledores como barras o bolas de acero. Generalmente el mineral se alimenta a 20 mm. o menos para ser reducido en una o dos etapas hasta mallas 48 o menores, según sea el caso de cada mineral, de tal forma que los minerales valiosos ya liberados pueden ser clasificados eficientemente y luego pasen a la etapa posterior de tratamiento. La molienda generalmente es una de las etapas que consume la mayor parte de energía en las concentradoras y además consume las barras o bolas de aceros especiales y los forros de acero del molino, por lo que el costo operativo de la molienda es una de las variables más altas en el procesamiento de minerales. Teniendo en cuenta lo anterior, es sumamente importante que los molinos realicen su operación de molienda en forma efectiva, es decir, que solo deben moler las partículas que necesiten ser molidas, por lo tanto, la eficiencia de la clasificación toma especial importancia para que los materiales finos no regresen al molino y no se produzca una sobre molienda e incrementen la carga circulante con un alto consumo de energía innecesariamente. (Cruz, 2016).

## Molienda convencional.

En un proceso convencional sobre la molienda de los minerales se podría tener en consideración ciertos criterios entre ellos se tiene. En Portal Minero, (2006), el factor principal para el uso de los métodos convencionales de chancado-molienda (chancadores primarios, secundarios, terciarios, cuaternarios, molinos de barras, molinos de bolas) reside en el menor gasto de energía respecto a las operaciones no convencionales (molienda autógena, molienda semiautógena). Esto debido a que las operaciones de trituración resultan de mayor eficiencia en aplicación de energía en relación a su

aplicación en molienda, que posee componentes que generan pérdidas de energía por acción de los medios moledores y los revestimientos. (p. 126).

Molino de bolas: En el circuito de molienda por medio de bolas tiene sus propias condiciones de trabajo 10 como condiciones de operaciones tanto desde el punto de vista de diseño, operación por lo que se puede describir.

En Portal Minero (2006), describen que, los molinos de bolas sus paredes están forradas con corazas hechas en aleaciones de acero cromo-manganeso, cuyo volumen interno está ocupado en un 30% - 42% de su capacidad por un collar de billas de acero desde 1,0 hasta 4,0 pulgadas de diámetro, las cuales son los elementos moledores. Los molinos de bolas están diseñados para triturar el mineral de hasta ¼ pulgada y llevarlo a un tamaño de partícula entre 20 a 75 micrones. Para conseguir una eficiencia óptima los molinos de bolas deben trabajar en circuito cerrado con recirculación del sobre tamaño obtenido. (p. 127)

Molino de Barras:

Tal como los molinos de bola también tienen sus particularidades como de diseño como de operación que esto lo hace diferente a cada uno por lo que es necesario su descripción. En Portal Minero (2006), describe que los molinos de barras son cilindros que contienen en su interior barras de acero normalmente de 3.5 pulgadas de diámetro, que son los elementos de molienda. Las barras trituran el mineral que ingresa al molino en forma similar a como las bolas trituran el mineral en un molino de bolas. Para impedir que las barras se enreden con la carga, la razón de la longitud/diámetro se conserva entre 1.4 a

1.6. Los molinos de barras admiten la alimentación de mineral con un tamaño hasta cerca de 50 milímetros o 2 pulgadas y entregan un producto en el rango de tamaño de 3300 a 300 micrones (-6 M a -48 M). La operación de molienda se produce por el choque

longitudinal barra con barra al girar y golpear entre sí con el giro del molino. (p.126).

Mecanismo de molienda:

La molienda se genera mediante el giro de los molinos, que gira sobre las chumaceras colocado fijamente. En Cáceres (2007) la revolución del molino entorno a de su eje horizontal es lo que permite a éste, transmitir la energía necesaria para poner en movimiento las partículas. La transmisión que se lleva a cabo mediante la interacción entre la estabilidad interna de la carga y de la fricción carga-cilindro. La fricción determina la cantidad de energía que puede ser transmitida a la carga. Se definen los siguientes tipos de movimientos de la carga cuando la velocidad aumenta, suponiendo que no hay deslizamiento cilindro - carga. (p. 30)

Tiempo de molienda:

En la molienda se debe de tener en cuenta una serie de factores que intervienen en la liberación del mineral una de ellos es el tiempo, por ello, Romero, Flores, & Arévalo (2009) define que, el tiempo de molienda lo determina el grado de liberación y el consumo energético para reducir las partículas. El grado de liberación tiene relación directa con el consumo energético y el tiempo que permanece la mena en el interior del molino. El tiempo de molienda tiene relación con el flujo de agua que ingresa por la alimentación del molino. La variable de operación principal para lograr la finura en la molienda es el número de ciclos que la mena para poder ser reducido a una determinada malla. (pp. 21-26).

(Ospina, A. et al. 2018). en su tesis sobre “Diseño de un sistema de control centralizado para un circuito de molienda en húmedo en la industria cementera” En base a los resultados obtenidos en simulación se aprecia que se logra mantener el circuito de molienda en un valor estable de operación, tanto para la distribución de tamaño de partícula en el rebalse como para la humedad; con estos resultados se puede predecir que

la capacidad del molino puede aumentar significativamente del valor actual de operación que es solo de 6.5 ton/h a su máxima capacidad de diseño que está en 12 ton/h.

La roca caliza

Es una roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonatos de calcio, carbonatos de magnesio e impurezas. El carbonato más abundante en la roca caliza es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que se halla en diferentes formas como calcita, aragonita que es una variación de la calcita (Montaluisa & Tipan, 2015)

Composición Química.

La caliza es una roca que tiene un origen químico y orgánico. La caliza químicamente pura, consiste en un 100% en calcita y/o aragonito, compuesta principalmente por carbonato de Calcio  $\text{CaCO}_3$  (56,2% CaO, 43,8%  $\text{CO}_2$ ). La mayoría de calizas usadas en la industria tienen un contenido de  $\text{CaCO}_3$  de 70 -80% y muchas de más del 90%. Cantidades grandes de caliza se aplican como roca natural (áridos, sillares) y para la fabricación de cemento y cal viva. (Valdivieso y Ramírez 2017).

*Tabla 1: Composición química de la caliza*

Componentes	%
$\text{CaCO}_3$	97,8
$\text{MgCO}_2$	1,25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,095
$\text{SiO}_2$	0,56
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,23
Ni	<0,002
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	<0,001
SrO	0,03
MnO	<0,01

*Fuente 1: Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú. Geología Económica 2018*

## Etapas de Producción de la Cal

Los procesos para la obtención de la cal están descritos brevemente a continuación:

### Extracción:

Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, monitoreo, tumbe y rezagado, carga y acarreo de la roca caliza extraída hacia la planta de trituración (Huertas, R. 2018).

### Trituración:

En la etapa de trituración la roca caliza es fragmentada de forma manual utilizando combos, en trozos de distintos tamaños principalmente grandes y pequeños, esta operación se realiza aproximadamente durante cuatro días. Es fragmentada de esta forma con la finalidad de garantizar la calcinación total de la materia prima (Arenasa, G. 2016).

### Calcinación:

La etapa de calcinación es la etapa más importante para obtener la cal viva, luego de ser fragmentada, la roca caliza es introducida en un horno donde el  $\text{CaCO}_3$  se descompone por la acción del calor a una temperatura de cocción o calcinación en promedio de  $980^\circ\text{C}$ , dando como resultado anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$  que es un gas que se desprende junto con los otros gases del combustible, quedando como producto el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) o cal viva, esta etapa dura en promedio 50 horas (Ajhuacho, 2016)

### Enfriamiento:

La etapa de enfriamiento se realiza luego de la calcinación; la cal viva se enfría en el

mismo horno por un tiempo de 2 a 3 días, pues al cocer a temperaturas tan altas es imposible retirarlo inmediatamente (Muñoz, M. 2014).

#### Molienda:

En esta etapa la cal viva es introducida a una máquina de molienda para reducir los trozos cocidos de cal a un tamaño mínimo y uniforme. Esta etapa se hace de forma continua hasta terminar de moler toda la cal viva obtenida con una duración promedio para cada carga de 10 min (Muñoz, M. 2014).

#### Hidratación:

La etapa de hidratado se realiza con la finalidad de obtener cal apagada o hidratada y se realiza de la siguiente manera: Se colocan los terrones de cal viva en una máquina mezcladora, primero se introduce la cal viva molida e inmediatamente se agrega agua y ambas son mezcladas mecánicamente por un tiempo aproximado de 15 min. Esta operación es continua y se realiza hasta terminar con toda la cal viva sacada del horno (Sinaliusa, M. 2016).

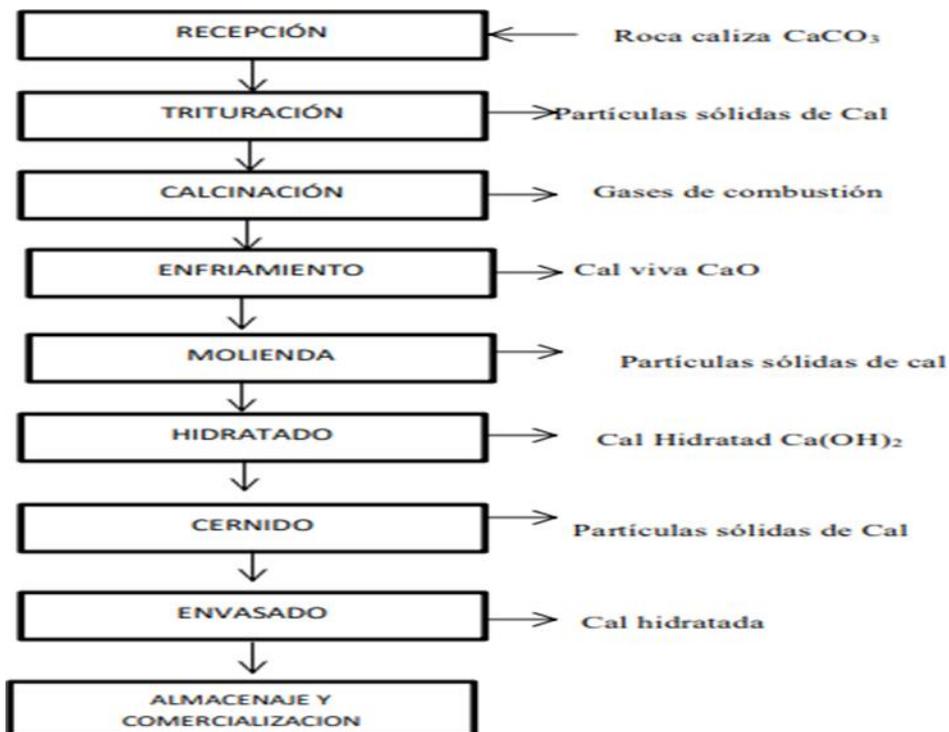
#### Cernido:

Una vez hidratada la cal pasa al proceso de cernido o tamizado, realizado de forma manual cargando la cal con palas a la cernidora, con el fin de obtener un tamaño uniforme y fino que será el producto final de la cal hidratada, esta operación es continua hasta terminar con toda la cal hidratada (Ospina, A. 2017).

#### Envasado:

El envasado es la etapa final del proceso, se realiza anualmente de la siguiente manera: el operario llena con cal hidratada las bolsas, luego las pesa y las cierra, almacenándolas hasta el momento de su comercialización (Zavaleta, T. 2017)

Figura 1: Flujograma de producción de cal



Fuente 2: Zavaleta, T. 2017

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la evaluación técnica del sistema de molienda en la calera Monte Alto - Bambamarca - Cajamarca, 2022?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la técnica de un sistema de molienda en la calera Monte Alto Bambamarca – Cajamarca, 2022.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Proponer un sistema de molienda para la calera monte alto Bambamarca
- ✓ Calcular el costo de sistema de molienda en la calera monte alto Bambamarca
- ✓ Analizar los beneficios del sistema de molienda en la calera monte alto

## 1.4. Hipótesis

#### **1.4.1. Hipótesis general**

Mediante la evaluación técnica se logrará determinar el sistema de molienda en la calera Monte Alto Bambamarca – Cajamarca, 2022.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según (Vargas, 2009) la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación.

Para (Escamilla, 2012), la presente investigación desde un enfoque cuantitativo adopta un diseño experimental el que se establece cuando el investigador propone determinar el posible efecto de una causa. Los experimentos manipulan las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables denominadas dependientes.

Según Tamayo (2019) La investigación descriptiva busca únicamente describir situaciones o acontecimientos; básicamente no está interesado en comprobar explicaciones, ni en probar determinadas hipótesis, ni en hacer predicciones. El tipo de investigación del presente proyecto es descriptiva, la cual busca analizar características y rasgos importantes para la evaluación técnica de un sistema de molienda en la calera Monte alto Bambamarca - Cajamarca, 2022.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### **Población**

La población involucrada en la presente investigación está formada por las caleras formales dentro de la provincia de Cajamarca y Bambamarca

## Muestra

La muestra para el presente trabajo de investigación será el sistema de molienda.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### 2.3.1. Técnicas

**Observación:** Esta técnica se usó para evaluación técnica para la implementación de un sistema de molienda.

**Análisis documental:** Se recopiló información concerniente al tema, con fundamento teórico práctico en relación a trabajos anteriores para realizar evaluación técnica del sistema de molienda.

**Estudio de campo:** Se efectuó la evaluación técnica del sistema de molienda:

- ✓ Condiciones que influyen en el proceso de molienda.
- ✓ Medición de parámetros de control (velocidad, longitud)

#### 2.3.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para la técnica de análisis de datos fueron:

- ✓ Ficha de toma datos potencia requerida W
- ✓ Ficha de toma de datos material a procesar en tm /h

### 2.4. Procedimiento

Este trabajo de investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo.

#### 2.4.1. Etapa de pre campo

Inicialmente se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas universidades, lo cual nos permita tener referencia con respecto al tema evaluación técnica para la

implementación de un sistema de molienda en la calera monte altoBambamarca - Cajamarca, 2021.

#### **2.4.2. Etapa de Campo**

Se realizó la toma de datos de campo como son las condiciones que influyen en el proceso de molienda y sus parámetros como son la velocidad, longitud y capacidad con respecto al molino también se tomaran los datos en campo como son la potencia del molino y tm/h que procesara dicho equipo.

#### **2.4.3. Etapa de pos campo**

Luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda de los programas Microsoft Word y Microsoft Excel, así mismo se elaboraron cuadros y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos en campo y posterior presentación y defensa de la investigación.

#### **2.4.4. Aspectos éticos.**

- ✓ La presente investigación titulada: Evaluación técnica para la implementación de un sistema de molienda en la calera monte alto Bambamarca - Cajamarca, 2021.
- ✓ En esta investigación las citas se realizaron de acuerdo con el manual de APA.

#### **Aspectos éticos en base a:**

##### **Social:**

Tendremos en cuenta la participación de la población en la toma de decisiones.

Con el objetivo de enriquecer el patrimonio cultural de las comunidades, los

valores colectivos, individuales y especialmente sociales.

**Medio Ambiente:**

Mediante el desarrollo de la investigación se evitará conflictos sociales entre pobladores y lugar donde se desarrollan las operaciones de la calera monte alto.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Proponer un sistema de molienda para la calera monte alto Bambamarca

Se determinó y propuso los puntos para el trazo del eje de la planta de chancado, al costado de la explotación de la cantera el cual servirá para la ubicación de las diferentes plataformas de la planta:

- Plataforma cancha de alimentación a tolva de gruesos
- Plataforma de chancado en circuito cerrado y tamizado o clasificación de finos
- Plataforma de conos de producción y despacho de productos

#### **Estimado del Nivel de Inversión**

El nivel de inversión del proyecto pasa por las siguientes etapas:

- Ubicación del eje de la planta para el cálculo de la cantidad de materiales en metros cúbicos, para el movimiento de tierras.
- Diseño del Diagrama de Flujo y plano de arreglo de equipos a escala para la planta de chancado.

#### **Cotización de las partidas para la planta de chancado:**

- Movimiento de tierras
- Obras civiles
- Fabricación de equipos
- Montaje de equipos
- Fuente de energía, Centro de Control de Motores, y redes eléctricas.
- Puesta en marcha de la planta.

En ese sentido se han determinado los costos de todas las partidas involucradas para la planta de chancado, que es como sigue:

## **Movimiento De Tierras**

Planta de chancado: De acuerdo al perfil topográfico del eje de la planta de chancado, se requiere hacer los cortes para las plataformas correspondientes en una cantidad de 3,770M<sup>3</sup> de material de cerro constituido por aglomerados. Los cortes son para las plataformasde:

- Plataforma de stock de piedra caliza de tamaño entre 8” y 10”, para ser alimentada a la tolva de gruesos con parrilla de luz de 10” que permite el paso de tamaños no mayores a 10”.
- Plataforma de equipos de chancado (chancadoras de quijadas) para piedra caliza, zaranda vibratoria y fajas transportadoras. La chancadora de quijada proveerá tamaños entre 4” y 5” cuando se requiera por un espacio de 8 horas para cargarse a los hornos de calcinación.

## **Planta de Calcinación**

La planta de calcinación, se requiere perfilar horizontalmente las plataformas de carga de los hornos y despacho de agregados, así como la plataforma de descarga de la producción de óxido de calcio.

- Plataforma de carga para hornos verticales y stock de agregados de diferente granulometría ( $\frac{3}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ”,  $\frac{3}{8}$ ”,  $\frac{1}{8}$ ”) para ser despachados a través de volquetes.
- Plataforma de descarga de los hornos, molienda, ensacado y despacho de óxido de calcio: cal viva y cal apagada.

## **Obras Civiles**

Las principales obras civiles son las siguientes:

- Tolva de gruesos de 50 toneladas de capacidad

- Cimentaciones de chancadoras de quijadas en concreto 210
- Cimentaciones de pedestales para fajas transportadoras
- Cimentaciones de zaranda vibratoria de 4 pisos
- Muros de contención y plataformas

### **Fabricación de Equipos:**

Los equipos metal mecánicos que se fabricarán para la planta de chancado de piedra caliza, son los siguientes:

- Chute de descarga de la tolva de gruesos
- Grizzly o parrilla estacionaria de 2' x 5' con luz de 2"
- Chancadora de quijada 12" x 24" a adquirirse de fundiciones especializadas
- Chancadora de quijada 8" x 12" existente en poder del propietario y que se usará como chancadora secundaria (se recomienda chancadora cónica de 2'). Zaranda vibratoria 5' x 10' de 4 pisos con mallas de 3/4", 1/2", 3/8", - 1/8".
- Faja transportadora N° 1 de 18" x 13 metros que alimenta a la zaranda vibratoria.
- Faja transportadora N° 2 de 18" x 11.5 metros de retorno de gruesos que descarga en la chancadora secundaria de 8" x 12".
- Faja transportadora N° 3 de 18" x 15 metros que descarga agregados de - 3/4" + 1/2" en el cono correspondiente.
- Faja transportadora N° 4 de 18" x 8 metros que descarga agregados de - 1/2" + 3/8" en el cono correspondiente.
- Faja transportadora N° 5 de 18" x 8 metros que descarga agregados de - 3/8" + 1/8" en el cono correspondiente.
- Molino de martillos de 12" x 24" con una capacidad de 30 TM/día para pulverizar oxido de calcio extraído de los hornos de calcinación.

Los mencionados equipos se fabricarán en Lima donde se entregarán para ser transportados a la ciudad de Cajamarca, luego a la calera.

### **Montaje de Equipos**

El montaje se realizará una vez estén los equipos en la calera y se terminen las obras civiles correspondientes.

### **Construcción de Sub estación Eléctrica, Centro de Control de Motores e Instalación de Redes Eléctricas**

Se observa la ubicación de la sub estación eléctrica, caseta adecuada donde se ubicará el transformador de 200 Kva en un área de 20 M<sup>2</sup>, y el centro de control de motores el cual se construirá de material noble en un área de 20 m<sup>2</sup> de acuerdo a los planos de diseño.

### **Puesta en Marcha de la Planta**

La puesta en marcha de la planta se ha programado realizarse a fines del montaje, y en plazos que permitan realizar los ajustes correspondientes, que por lo general se considera una semana para dejar los equipos operando adecuadamente.

### **Equipos para la Planta de Chancado**

*Figura 2: Chancadora Primaria*



*Fuente 3: google (imagen referencial)*

*Figura 3: Chancadora Secundaria*



*Fuente 4: google (imagen referencial)*

*Figura 4: Zaranda vibratoria*



*Fuente 5: google (imagen referencial)*

*Figura 5: Molinos de Martillo*



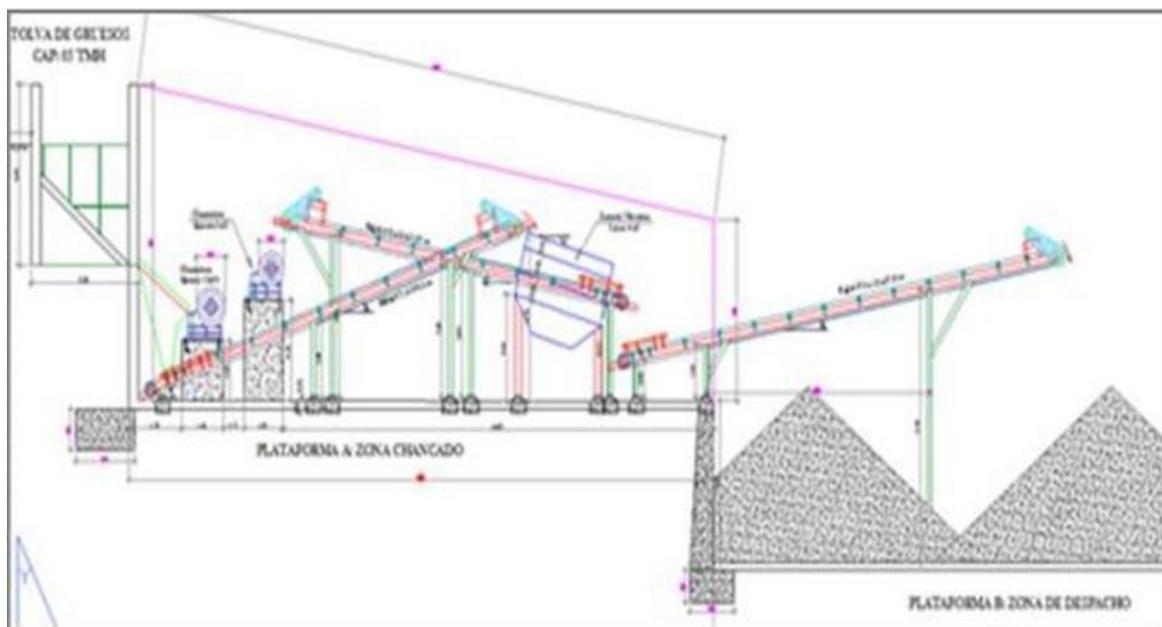
*Fuente 6: google (imagen referencial)*

Figura 6: Faja Transportadora



Fuente 7: google (imagen referencial)

Figura 7: Plataforma de Chancado



Fuente 8: elaboracion propia

### 3.2. Calcular el costo de sistema de molienda en la calera monte alto Bambamarca

*Tabla 2: Inversiones para la propuesta de la planta chancadora*

<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
Tolva Grizzly 20 cubos	245. 000.00
Alimentador Vibratorio GZD 1300*4900	154. 000.00
Trituradora de mandíbula PEW860	332. 000.00
Cinta Transportadora	109. 000.00
Trituradora de cono PFW 1318III	185. 000.00
Zaranda Vibratoria 1800X5400 Tres mallas	190. 000.00
Instalación de la planta chancadora	152. 000.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 1' 367, 000.00</b>

*Fuente 9: elaboración propia*

*Tabla 3: Egresos de la planta chancadora*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo Total</b>	<b>Costo Anual</b>
Personal obrero	3	1, 800.00	5, 400.00	64, 800.00
Consumo de energía eléctrica	-	2, 500.00	2, 500.00	30, 000.00
Mantenimiento	1	4, 000.00	4, 000.00	75, 000.00
<b>TOTAL EN SOLES</b>				<b>S/. 169, 800.00</b>

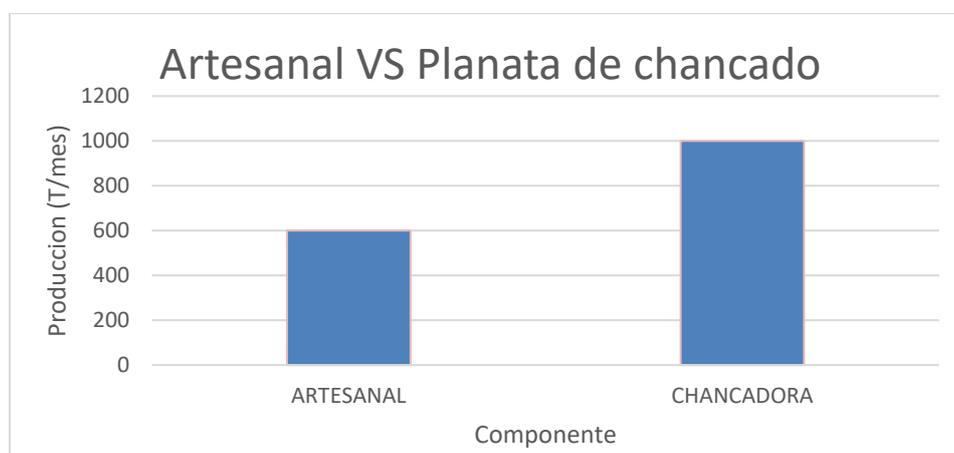
*Fuente 10: elaboración propia*

Tabla 4: Rentabilidad de la planta chancadora

Comparaciones			
Chancado artesanal		Planta Chancadora	
Producción	Beneficio mensual	Producción	Beneficio mensual
600 toneladas mensuales	102 000.00 soles	1000 toneladas mensuales	170, 000 soles
<b>Beneficio anual de planta chancadora</b>			<b>S/. 1' 700, 000.00</b>

Fuente 11: elaboración propia

Grafica 1: comparación chancado artesanal vs planta chancadora a proponer.



Fuente 12: elaboración propia

La calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal.

Por imprevistos dentro de la producción se considera una reducción de 300 000 soles anuales.

### 3.3. Analizar los beneficios del sistema de molienda en la calera monte alto

Mediante el sistema de molienda se mejora el proceso actual de molienda obteniendo un

producto de buena calidad, así también alta proporción de trituración, gran capacidad de producción, buena forma de productos finales, con estructura simple, funciona confiable, mantenimiento conveniente y bajo costo de operación. Por ende, los beneficios que se plantea es el Ahorro de tiempo: Actualmente el chancado se realiza con herramientas artesanales, se estima que implementando la planta chancadora se aumentará en 167% la producción de roca chancada.

Reducción de riesgos ocupacionales: El chancado artesanal lo realizan trabajadores que constantemente están expuestos a inhalación de polvos tanto de carbón como de roca caliza, a cansancio y a otros accidentes provocados por las herramientas.

La planta chancadora nos dará medidas uniformes y esto no se logra con el chancado artesanal que se está realizando. Por tanto, beneficiará también a que la roca sea calcinada completamente.

La calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal.

El beneficio de la implementación nos ayuda a obtener finura del producto molido, tanto en la capacidad de la línea como en el desempeño del proceso aguas abajo (generalmente la flotación), menos del 10% de las concentradoras de minerales usa actualmente medición de tamaño de partículas en las aplicaciones de control automático del tamaño de partículas del producto final.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Según la propuesta de implementación, la Planta de chancado: De acuerdo al perfil topográfico del eje de la planta, se requiere hacer los cortes para las plataformas correspondientes en una cantidad de 3,770 M3 de material de cerro constituido por aglomerados. Los cortes son para las plataformas de:

- Plataforma de stock de piedra caliza de tamaño entre 8” y 10”, para ser alimentada a la tolva de gruesos con parrilla de luz de 10” que permite el paso de tamaños no mayores a 10”.
- Plataforma de equipos de chancado (chancadoras de quijadas) para piedra caliza, zaranda vibratoria y fajas transportadoras. La chancadora de quijada proveerá tamaños entre 4” y 5” cuando se requiera por un espacio de 8 horas para cargarse a los hornos de calcinación.

La planta de calcinación, se requiere perfilar horizontalmente las plataformas de carga de los hornos y despacho de agregados, así como la plataforma de descarga de la producción de óxido de calcio.

- Plataforma de carga para hornos verticales y stock de agregados de diferente granulometría ( $\frac{3}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ”,  $\frac{3}{8}$ ”,  $\frac{1}{8}$ ”) para ser despachados a través de volquetes.
- Plataforma de descarga de los hornos, molienda, ensacado y despacho de óxido de calcio: cal viva y cal apagada.

Construcción de Sub estación Eléctrica, Centro de Control de Motores e Instalación de Redes Eléctricas. Se observa la ubicación de la sub estación eléctrica, caseta adecuada donde se ubicará el transformador de 200 Kva en un área de 20 M2, y el centro de control

de motores el cual se construirá de material noble en un área de 20 m<sup>2</sup> de acuerdo a los planos de diseño.

Por otro lado, Urday P. (2017), afirma que el diseño completo de una planta móvil de trituración de caliza, lo cual incluye el diseño del proceso óptimo de trituración, la selección de equipos adecuados para el trabajo, el diseño de la estructura portante de la planta móvil y el montaje de los equipos en la estructura. La planta móvil de trituración de caliza tendrá un flujo de producción de 50 Toneladas por hora y podrá ser transportada fácilmente y utilizada donde sea requerida.

(Ajhuacho, 2016). Nos describe las etapas y procesos para la obtención de la cal, están descritos brevemente a continuación: trituración es el proceso de desmonte del área a trabajar, trituración la roca caliza es fragmentada de forma manual, calcinación es la etapa más importante para obtener la cal viva, enfriamiento la cal viva se enfría en el mismo horno por un tiempo de 2 a 3 días, Molienda la cal viva es introducida a una máquina de molienda para reducir los trozos cocidos de cal a un tamaño mínimo y uniforme. Hidratado se realiza con la finalidad de obtener cal apagada, Cernido o tamizado, realizado de forma manual cargando la cal con palas a la cernidora, El envasado es la etapa final del proceso. Asimismo. (Cruz, 2016). Indica que la Molienda Es la operación de reducción de tamaño para liberar las partículas valiosas de la ganga utilizando medios moledores como barras o bolas de acero. Generalmente el mineral se alimenta a 20 mm. o menos para ser reducido en una o dos etapas hasta mallas 48 o menores, según sea el caso de cada mineral, de tal forma que los minerales valiosos ya liberados pueden ser clasificados eficientemente y luego pasen a la etapa posterior de tratamiento. La molienda generalmente es una de las etapas que consume la mayor parte de energía en las concentradoras y además consume las barras o bolas de aceros

especiales y los forros de acero del molino, por lo que el costo operativo de la molienda es una de las variables más altas en el procesamiento de minerales. Teniendo en cuenta lo anterior, es sumamente importante que los molinos realicen su operación de molienda en forma efectiva, es decir, que solo deben moler las partículas que necesiten ser molidas, por lo tanto, la eficiencia de la clasificación toma especial importancia para que los materiales finos no regresen al molino y no se produzca una sobre molienda se incremente la carga circulante con un alto consumo de energía innecesariamente. También, En Portal Minero, (2006), dice que el factor principal para el uso de los métodos convencionales de chancado-molienda (chancadores primarios, secundarios, terciarios, cuaternarios, molinos de barras, molinos de bolas) reside en el menor gasto de energía respecto a las operaciones no convencionales (molienda autógena, molienda semiautógena). Esto debido a que las operaciones de trituración resultan de mayor eficiencia en aplicación de energía en relación a su aplicación en molienda, que posee componentes que generan pérdidas de energía por acción de los medios moledores y los revestimientos. (p. 126).

### **Evaluación económica financiera de la implementación planta chancadora**

La calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal.

Según lo calculado, el costo de implantación del sistema de molienda en la calera monte alto es de: S/ 1' 367, 000.00 en equipos de implementación y con S/. 169, 800.00 anuales de egresos entre trabajos, mantenimientos y energía. Con una rentabilidad S/ 1' 700, 000.00, considerando una producción de 1000Tn Mensuales.

Asimismo, Castillo (2016) en su tesis sobre “Optimización de parámetros que influyen

en la sección de molienda-clasificación y flotación Zn” indica que los resultados con un nivel de bolas de 34% con una potencia de 1066 Hp, se puede llegar a 36% ya que la potencia máxima del motor es de 1650 Hp, esto nos permitirá elevar la capacidad de producción y rentabilidad.

Del mismo modo, (Bravo, 2015) indica que la gran cantidad de minas de piedra caliza almacenadas en los suelos de Perú, estas representan una oportunidad para las comunidades de ingresar en el como productores de cal y sus derivados, significando esto al mismo tiempo un ingreso económico y mejoramiento del nivel de vida para estas comunidades.

### **Beneficios de la implementación del sistema de molienda (planta chancadora)**

Mediante el sistema de molienda se mejora el proceso actual de molienda obteniendo un producto de buena calidad, así también alta proporción de trituración, gran capacidad de producción, buena forma de productos finales, con estructura simple, funciona confiable, mantenimiento conveniente y bajo costo de operación. Por ende, los veneficios que se plantea es el Ahorro de tiempo: Actualmente el chancado se realiza con herramientas artesanales, se estima que implementando la planta chancadora se aumentará en 200% la producción de roca chancada.

Reducción de riesgos ocupacionales: El chancado artesanal lo realizan trabajadores que constantemente están expuestos a inhalación de polvos tanto de carbón como de roca caliza, a cansancio y a otros accidentes provocados por las herramientas.

La planta chancadora nos dará medidas uniformes y esto no se logra con el chancado artesanal que se está realizando. Por tanto, beneficiará también a que la roca sea calcinada completamente.

La calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal.

El beneficio de la implementación nos ayuda a obtener finura del producto molido, tanto en la capacidad de la línea como en el desempeño del proceso aguas abajo (generalmente la flotación), menos del 10% de las concentradoras de minerales usa actualmente medición de tamaño de partículas en las aplicaciones de control automático del tamaño de partículas del producto final. Por tanto, (Ministerio de Energía y Minas, Anuario Minero, 2017). confirma que las principales regiones de extracción son Junín, Lima y Cajamarca, siendo que esta última desplazó a Arequipa como la tercera Región con mayor producción de dichos minerales. Sin embargo, para (Escamilla, 2012), la presente investigación desde un enfoque cuantitativo adopta un diseño experimental el que se establece cuando el investigador propone determinar el posible efecto de una causa. Los experimentos manipulan las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables denominadas dependientes.

## 4.2 Conclusiones

Se elaboró la propuesta de implementación del sistema de molienda, así como la plataforma cancha de alimentación a tolva de gruesos, plataforma de chancado en circuito cerrado y tamizado o clasificación de finos, plataforma de conos de producción y despacho de productos y finalmente la propuesta de fabricación de equipos.

Se determinando una inversión de S/. 1' 367, 000.00 para la propuesta de implementación de la planta de chancado, de igual forma se tiene como egresos la suma de S/. 169.800,00 asimismo un beneficio anual de la planta de chancado de S/. 1' 700, 000.00, de tal manera se concluye que la calera monte alto con la planta chancadora o sistema de molienda aumentará la producción en 67% toneladas más que el chancado artesanal.

Se concluye que los beneficios de la implementación del sistema de molienda son el ahorro de tiempo ya que actualmente el chancado se realiza con herramientas artesanales, se estima que implementando la planta chancadora se aumentará en 167% la producción de roca chancada, también la reducción de riesgos ocupacionales ya que el chancado artesanal lo realizan trabajadores que constantemente están expuestos a inhalación de polvos tanto de carbón como de roca caliza, a cansancio y a otros accidentes provocados por las herramientas finalmente la planta chancadora nos dará medidas uniformes y esto no se logra con el chancado artesanal que se está realizando. Por tanto, beneficiará también a que la roca sea calcinada completamente.

## REFERENCIAS

- Acevedo H. & Guerra R. (2015). *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de caliza en la Región Metropolitana*. Universidad De Chile
- Arenasa, G (2016). *Estudio de factibilidad técnica - económica para implementar unaplanta de producción de cal en la concesión minera Arvaa 100 – la Encañada-Cajamarca*. Universidad Privada del Norte Cajamarca.
- Bardales, A. (2019). *Propuesta de mejora en la producción de cal viva para reducir costos operativos en la empresa Phuyu Yuraq II – Cajamarca*. Universidad Privada del Norte Cajamarca.
- Castillo, R. (2016). *Optimización de parámetros que influyen en la sección de molienda, clasificación y flotacion de Zn*. Universidad Nacional de ingeniería.
- Celis, D (2018). *Influencia del tipo de calizas de la calera bendición de dios e.i.r.l en la calidad del óxido de calcio, Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cruz Álvarez, H. (2006). *Estudio de factibilidad de la explotación de la cantera Caimital en el municipio de Turbaco, Bolívar*. Universidad de La Salle, Colombia.
- Echavaudis, E. & Pérez, C.(2017). *Determinación del tamaño de partícula optima en molienda para la concentración por flotación de sulfuro de plomo a partir de un mineral polimetálico*. Universidad nacional del centro del Perú.
- Farfán, R (2017). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de moliendade carbón mineral*. Universidad peruana de ciencia aplicadas.
- Gómez, L (2018). *Diseño de un sistema para el proceso de molienda de carbón mineral para ser usado como combustible industrial*. Universidad Nacional del Centrode Perú.
- Huertas, R (2018). *Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo para reducir riesgos laborales en calera koremarka Bambamarca*. Universidad peruana de ciencia aplicadas.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (1991). *Manual de Evaluación Técnico Económica de Proyectos Mineros de Inversión*. Madrid. Secretaria General de la Energía y Recursos Minerales.
- Muñoz, M. (2014). *Diseño de distribución en planta de una empresa textil*. (Tesis de pregrado).

Universidad Nacional Mayor De San Marcos, UNMSM, Lima, Perú.

- Sinaliusa, M (2016). *Estudio de Factibilidad para la Creación de una Planta de Producción de Cal Viva e Hidratada en la Parroquia San Juan*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Zumaran, D. (2017). *Evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de mineral, mediante diseños experimentales*. Universidad nacional de san Agustín de Arequipa.
- Urday, P. (2017). *Diseño de una planta móvil de trituración de caliza*. Universidad católica del Perú. Lima.
- Valero Domingo A. (2015). *Estudio de factibilidad Técnico-económico financiero para la instalación de una fábrica de bolsas plásticas*. Escuela de post grado. Universidad Católica Andrés Bello, UCAB, Caracas, Venezuela.
- Vera, S (2016). *Estudio y análisis del sistema scada wincc de siemens en el proceso de calcinación en los hornos verticales de maerz*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Zavaleta, T (2017). *Evaluación física, química- mineralógica de las calizas de la Sierra*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ospina A (2017). *Diseño de un sistema de control centralizado para un circuito de molienda en húmedo en la industria cementera colombiana*. Universidad Autónoma del Caribe Colombia
- Osorio, A. et al. (2017). *Molienda de clinker de cemento: evaluación de la influencia de la velocidad de giro del molino, el tiempo de residencia y la carga de los medios de molienda*. Dyna, Universidad Nacional de Colombia
- Rios, O. et al. (2017). *en su tesis sobre “Características del sistema de molienda en el proceso de producción”* Universidad Tecnológica de Pereira Colombia