UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

"PROPUESTA DE MEJORA CON UNA CHANCADORA CÓNICA LT200HP PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN Y REDUCIR LOS COSTOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS EN MOQUEGUA"

PRESENTADO POR:

Bach. Jhoan Apolinario Chura

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 060

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N° 094-2025-CF-FACIA-UNAM

Fecha: 25-08-2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
PROPUESTA DE MEJORA CON UNA CHANCADORA CÓNICA LT200HP PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION Y REDUCIR LOS COSTOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS EN MOQUEGUA.

Bachiller: JHOAN APOLINARIO CHURA

Asesor Principal: MGR. JUAN ELIAS BOJAS CONDORI

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:30 horas, del 27 de AGOSTO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
DR. JORGE LUIS TOMÁS FLORES SALAS
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Msc. AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
Dr. Christ Jesus Barriga Pana
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Jhoan Apolinario Chura
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi corazón, a mi abuela. Aunque ya no está físicamente, su presencia me acompaña en cada paso que doy. Su ejemplo de vida, sus valores y sus sabias palabras —“Las cosas se hacen para bien”— han sido mi guía constante y una fuente de fortaleza en los momentos más difíciles.

A mi madre, por ser mi mayor fuente de inspiración. Por su amor incondicional, sus consejos y su apoyo constante. Gracias por enseñarme a ser fuerte, a soñar en grande y a no rendirme nunca.

Y a mi hermano, por creer siempre en mí, por su cariño sincero y por recordarme que el amor más puro se manifiesta en los pequeños gestos.

A todos ellos, les debo más de lo que las palabras pueden expresar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por concederme la fortaleza, la claridad y las oportunidades necesarias para llegar hasta este momento. Sin su guía, este camino no habría sido posible.

A mi madre, por su amor incondicional, sus sabios consejos y su apoyo firme en cada etapa de mi vida. Ella ha sido mi pilar y mi mayor motivación para seguir adelante.

A mi hermano, por su fe en mí y por estar siempre presente con su cariño sincero, incluso cuando tenía poco para ofrecer. Su apoyo ha sido verdaderamente valioso.

Agradezco a mis docentes, quienes, con su conocimiento, experiencia y ejemplo, han contribuido de manera significativa a mi formación académica y personal.

Finalmente, agradezco a mi yo del pasado, por no rendirse, por confiar en el proceso y por creer que, con esfuerzo, fe y perseverancia, también los sueños más grandes se alcanzan.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal proponer una estrategia de innovación basada en la implementación de una Chancadora Cónica LT200HP, con el fin de optimizar tanto la producción como los costos de procesamiento de material en una cantera de agregados ubicada en la región de Moquegua. Con un enfoque cuantitativo y una metodología de tipo aplicada, se realizó el análisis de granulometría y se registró la producción durante la etapa de operación, los cuales permitieron evaluar la efectividad del uso de la chancadora cónica LT200HP. La investigación evidenció que la incorporación de este equipo permitió reaprovechar hasta 30,290 m³ de material over, con un promedio mensual de 3,786 m³, lo que representó un incremento del 58% en la capacidad de producción de la cantera, pasando de 172,494 m³ anuales a 278,619 m³. Además, se logró una importante reducción del 46% en los costos energéticos por tonelada debido al menor consumo de combustible, pasando de 8 a 4 galones por hora en comparación con la chancadora de mandíbula. Esto se tradujo en un ahorro anual estimado de USD 100,270. La implementación de la chancadora cónica LT200HP mejoró la eficiencia energética, redujo los costos e incrementó significativamente la capacidad productiva y la rentabilidad de la operación.

Palabras Clave: Chancadora cónica, cantera, agregados, productividad.

ABSTRACT

The main objective of this research was to propose an innovation strategy based on the implementation of an LT200HP cone crusher, aimed at optimizing both production and material processing costs at an aggregate quarry located in the Moquegua region. Employing a quantitative approach and an applied research methodology, particle size distribution analysis was conducted, and production data were recorded during the operational phase to assess the effectiveness of the LT200HP cone crusher. The study demonstrated that the integration of this equipment enabled the recovery of up to 30,290 m³ of oversize material, with a monthly average of 3,786 m³. This resulted in a 58% increase in the quarry's production capacity, rising from 172,494 m³ per year to 278,619 m³. Additionally, a significant 46% reduction in energy costs per ton was achieved due to lower fuel consumption, decreasing from 8 to 4 gallons per hour compared to the jaw crusher. This translated into an estimated annual savings of USD 100,270. The implementation of the LT200HP cone crusher not only improved energy efficiency and reduced costs but also significantly enhanced the productive capacity and profitability of the operation.

Keywords: Cone crusher, quarry, aggregates, productivity.

Índice

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.1. Descripción y formulación del problema 1
1.1.1. Interrogante general 4
1.1.2. Interrogantes específicas 4
1.2. Objetivos 4
1.2.1. Objetivo general 4
1.2.2. Objetivos específicos 5
1.3. Justificación e importancia 5
1.3.1. Justificación teórica 5
1.3.2. Justificación práctica 6
1.3.3. Justificación metodológica 6
1.3.4. Justificación económica 6
1.3.5. Justificación ambiental 7
1.3.6. Justificación social 7
1.3.7. Importancia 8
1.4. Hipótesis 8
1.4.1. Hipótesis general 8
1.4.2. Hipótesis específicas 9
1.5. Variables 9
1.5.1. Variable independiente 9
1.5.2. Variable dependiente 10
1.5.3. Operacionalización de variables 11
II. MARCO TEÓRICO 12
2.1. Antecedentes del problema 12
2.2. Bases teóricas 37
2.2.1. Proceso de chancado o trituración 37
2.2.2. Chancadoras 40
2.2.3. Agregados 57
2.3. Definición de términos 62
III. METODOLOGÍA 65
3.1. Tipo y nivel de investigación 65

3.2. Diseño de la investigación 65
3.3. Población y muestra 66
3.3.1. Población 66
3.3.2. Muestra 66
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección 66
3.4.1. Técnicas 66
3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos 67
IV. RESULTADOS 70
4.1. Resultados del objetivo específico 1: Mejora del procesamiento de materiales con chancadora cónica LT200HP 70
4.1.1. Mejora del procesamiento de piedra de ½" para asfalto 72
4.1.2. Mejora del procesamiento de material tipo A de 1" 74
4.1.3. Mejora del procesamiento de material tipo A de 2" 75
4.1.4. Mejora de reutilización de material 77
4.1.5. Comparación de la producción tras la puesta en marcha de la chancadora cónica LT200HP 78
4.2. Resultados del objetivo específico 2: Reducción costos de producción 80
4.3. Discusión de resultados 81
V. CONCLUSIONES 84
VI. RECOMENDACIONES 85
VII. REFERENCIAS 87
VIII. ANEXOS 95
8.1. Anexo 01. Matriz de consistencia 95
8.2. Anexo 02. Especificaciones técnicas del chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™ 96

Índice de Figuras

Figura 1 Vista de la cantera de producción de agregados 2

Figura 2 Equipo chancadora de cono móvil Lokotrack LT200HP para mejora de la producción y reducción de costos de la cantera de agregados. 3

Figura 3 Mecanismos básicos del chancado 38

Figura 4 Esquema de una chancadora de mandíbula 44

Figura 5 Tipos de chancadoras de mandíbula 50

Figura 6 Esquema del funcionamiento de una chancadora cónica 50

Figura 7 Esquema de la mecánica de una chancadora de cono 52

Figura 8 Chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™ 54

Figura 9 Esquema de una chancadora giratoria 55

Figura 10 Ubicación de la cantera de agregados – Minería no metálica 66

Figura 12 Formato de análisis granulométrico 67

Figura 11 Registro de Control de Producción 69

Figura 13 Producción acumulada mensual de material para asfalto 71

Figura 14 Producción promedio diaria de base granular y material para asfalto 71

Figura 15 Chancadora cónica LT200HP en etapa de producción 72

Figura 16 Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 1/2” 73

Figura 17 Base granular promedio de material tipo A con tamaño máximo de 1” 75

Figura 18 Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 2” 77

Figura 19 Material reutilizado por mes, periodo enero a agosto del 204 78

Figura 20 Comparación de costos energéticos anuales 81

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables 11

Tabla 2 Producción de materiales periodo enero – agosto 2024..... 70

Tabla 3 Análisis granulométrico de material piedra de ½” para asfalto . 73

Tabla 4 Análisis granulométrico de piedra de 1” para asfalto 74

Tabla 5 Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 2” 76

Tabla 6 Mejora de producción de piedra chancada después de la implementación de la chancadora cónica LT200HP 79

Tabla 7 Reducción de costos de producción de piedra chancada..... 80

Tabla 8 Matriz de Consistencia..... 95

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

A nivel internacional, los avances tecnológicos, la globalización y la creciente competitividad han impulsado el desarrollo de diversos sectores industriales, como la construcción y la producción de agregados, que constituyen aproximadamente el 75% de la mezcla del concreto. Este progreso demanda que los agregados cumplan con estándares de calidad rigurosos, incluidas dimensiones uniformes y propiedades adecuadas para garantizar mezclas óptimas. En respuesta a estas exigencias, las canteras de agregados de construcción enfrentan la necesidad de incrementar su capacidad productiva o de optimizar sus procesos de minado para satisfacer una demanda que continúa creciendo sostenidamente.

En el ámbito peruano, esta situación no es ajena. La alta demanda diaria de agregados para la construcción ha propiciado la proliferación de empresas que producen materiales de forma artesanal, muchas veces sin cumplir con los estándares requeridos. Esto resulta en agregados de baja calidad, con impurezas y falta de uniformidad, afectando negativamente la resistencia y durabilidad del concreto final. Además, la escasez de fuentes naturales, como los agregados provenientes de ríos, ha derivado en una mayor dependencia de agregados artificiales, cuyo costo por metro cúbico es considerablemente superior. A esto se suma el elevado costo de capital asociado a la adquisición y mantenimiento de maquinaria especializada, un factor que limita aún más la competitividad del sector.

En el ámbito local, en Moquegua, la mayoría de las empresas industriales emplean chancadoras de piedra que enfrentan constantes problemas de mantenimiento y una

vida útil limitada. Estas máquinas, fabricadas con materiales de acero comercial que no resisten esfuerzos prolongados, sufren un desgaste prematuro en componentes críticos, lo que impacta negativamente en su desempeño.

En particular, la cantera de agregados en estudio de la Figura 1, ubicada en Moquegua, opera con un conjunto de máquinas destinadas a la producción de agregados utilizando principalmente procesos de chancado primario con chancadoras de mandíbula. Sin embargo, este proceso ha sido diseñado de manera empírica, basándose en las demandas prácticas de la operación, lo que limita su eficiencia y limita su capacidad de atender un constante crecimiento de la demanda de agregados.

Figura 1

Vista de la cantera de producción de agregados



Nota. (A) Vista de equipo línea amarilla tractor oruga para movimiento de materiales. (B) Zarandas para la clasificación de agregados. (C) Grupo electrógeno y rumas de agregados seleccionados. (D) Acceso a la cantera.

La cantera enfrenta múltiples desafíos operativos, entre ellos, paros frecuentes en el proceso de molienda, que ocurren en promedio dos o tres veces por semana. Estos contratiempos no solo afectan los tiempos de entrega pactados con los clientes, sino que también generan pérdidas económicas significativas. Además, la falta de una planificación ingenieril y la ausencia de equipos modernos dificultan la mejora de los indicadores clave: producción y costos por metro cúbico de material producido.

La situación exige una intervención estratégica que contemple la innovación en equipos de chancado, como la incorporación de una chancadora cónica LT200HP de la Figura 2. La adición de este equipo busca mejorar la capacidad de producción, garantizar la uniformidad del material procesado y reducir los costos a largo plazo. De esta forma, se busca que la cantera de agregados estudiada no solo atienda la creciente demanda, sino que también fortalezca su posición en un mercado cada vez más exigente.

Figura 2

Equipo chancadora de cono móvil Lokotrack LT200HP para mejora de la producción y reducción de costos de la cantera de agregados.



Nota. Tomado de Interempresas (2018).

1.1.1. Interrogante general

La interrogante general que orienta esta investigación surge de la necesidad de mejorar los procesos productivos y reducir los costos por metro cúbico de material producido en un entorno que demanda eficiencia y calidad en el suministro de agregados.

¿Cómo mejorar la producción y reducir costos en el procesamiento de material de mayor dimensión mediante la innovación de equipos de chancado en una cantera de agregados?

1.1.2. Interrogantes específicas

Este estudio se centra en el análisis y propuesta de estrategias para mejorar la producción y reducir los costos en el procesamiento de materiales de mayor dimensión mediante la implementación de una chancadora cónica LT200HP y para abordar la interrogante general, se plantean las siguientes interrogantes específicas:

¿Cómo mejorar la producción de agregados con una chancadora cónica en una cantera de agregados en el departamento de Moquegua en el año 2025?

¿Cómo reducir los costos a largo plazo con la innovación de equipos y planificación en la cantera de agregados en el departamento de Moquegua en el año 2025?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer una estrategia de innovación con equipos técnicos y planificación a largo plazo, para mejorar la producción y los costos de procesamiento de material en una cantera de agregados.

1.2.2. Objetivos específicos

Evaluar el uso de equipos técnicos adecuados como la chancadora cónica LT200HP para mejorar el procesamiento de material de menor tamaño.

Mejorar la planificación de costos a largo plazo con la implementación de equipos de chancado adecuados para aprovechar el material no reutilizado.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

La investigación aborda un vacío significativo de conocimiento respecto a la implementación de chancadoras cónicas en la industria minera no metálica de Moquegua. Si bien existe abundante literatura internacional sobre el tema, particularmente en Europa y Asia, la investigación sobre el tema en el contexto peruano y la región de Moquegua es limitada. Esta investigación contribuirá a la base de conocimiento local sobre la optimización de procesos de chancado, permitiendo establecer relaciones entre la implementación de tecnología avanzada y los incrementos en productividad bajo las condiciones particulares de la región.

Además, estudios previos han demostrado que la adopción de equipos avanzados, como las chancadoras cónicas, mejora la granulometría de los materiales y optimiza la productividad en comparación con las tecnologías tradicionales. Incrementar el conocimiento sobre este tema permitirá avanzar en el planeamiento minero no metálico e impulsar la productividad de los agregados, generando un impacto positivo en la industria local.

1.3.2. Justificación práctica

El estudio responde a necesidades concretas del sector de agregados en Moquegua en tanto se busca atender la creciente demanda de agregados en el mercado local mediante el aumento de la capacidad productiva. Asimismo, se optimiza la eficiencia del proceso productivo a través de la implementación de una mejor tecnología y se propone soluciones aplicadas para superar las limitaciones de la producción empírica actual. Se busca mejorar la competitividad de las canteras de agregados locales mediante la optimización de recursos y la garantía de calidad del producto final

1.3.3. Justificación metodológica

El estudio proporcionará información valiosa para otras canteras que produzcan agregados con características similares, lo que les permitirá aplicar los conocimientos obtenidos en este proyecto. Además, servirá como un referente para utilizar el método analítico en nuevos proyectos. La metodología cuasi-experimental propuesta permitirá evaluar los efectos de la implementación de equipos avanzados en un contexto controlado, realizando comparaciones de métricas antes y después de la intervención. Esto garantizará una evaluación precisa de los beneficios de la tecnología en la producción y permitirá replicar los hallazgos en situaciones similares, lo que ampliará el impacto de la investigación en el sector.

1.3.4. Justificación económica

Este proyecto tiene un impacto positivo en la economía de la región de Moquegua al fomentar el desarrollo económico mediante la mejora de la rentabilidad de las empresas del sector. La correcta utilización de los recursos disponibles permitirá reducir los costos de producción por metro cúbico de agregados, optimizando el

proceso y aumentando la eficiencia. Asimismo, la mejora en la producción de agregados contribuirá al abastecimiento de materiales para las obras civiles en Moquegua, lo que es importante para el crecimiento de la infraestructura en la región y el impulso de proyectos de desarrollo urbano.

1.3.5. Justificación ambiental

Toda actividad humana, incluida la explotación de canteras, tiene un impacto ambiental y la mejora de los procesos de explotación no solo busca incrementar la eficiencia, sino también mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente. A través de una minería más sostenible, que considere el cuidado del entorno, se podrá reducir el impacto ambiental de la extracción de agregados, promoviendo prácticas responsables que garanticen la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras.

Al mejorar la granulometría y reducir el desperdicio (material over), se disminuye la extracción de recursos naturales, lo que ayuda a preservar los ecosistemas locales. Además, la reducción de desechos y la mejora en la eficiencia del uso de combustibles fósiles en la operación de equipos contribuyen a la disminución de la huella de carbono de las canteras de agregados. De esta forma, la optimización de los procesos no solo incrementa la productividad, sino que también promueve una minería más sostenible y respetuosa con el entorno.

1.3.6. Justificación social

La producción de agregados es uno de los pilares para el desarrollo del sector inmobiliario, que está en constante expansión y genera una creciente demanda de estos materiales. Incrementar la producción y reducir los costos de los agregados

beneficiará a la población de Moquegua, mejorando el abastecimiento local y aumentando la competitividad de la industria.

1.3.7. Importancia

La investigación responde a la necesidad de optimizar la producción y reducir los costos operativos de una cantera de agregados para atender la creciente demanda de materiales para la construcción en Moquegua. Se explica cómo mejorar la producción y la eficiencia en el procesamiento de material de mayor dimensión a través de la adición de una chancadora cónica. Se analizaron los beneficios técnicos y económicos concretos de la chancadora cónica LT200HP, y se generó conocimiento que puede ser replicado en otras canteras de la región.

Los resultados obtenidos nos muestran cómo la implementación de la chancadora LT200HP incrementó la capacidad de producción en un 58% y redujo los costos energéticos en un 46%. Este avance significó una mejora en la rentabilidad de la operación y un impacto positivo en la sostenibilidad del proceso, ya que permitió reducir el consumo de combustible. También se describe cómo la chancadora permitió el reaprovechamiento de material manteniendo la calidad de los agregados bajo estándares internacionales. Los hallazgos aportan evidencia práctica de que la innovación tecnológica puede transformar de manera significativa la productividad en la industria de agregados, marcando un precedente para el planeamiento replicable en Moquegua.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La implementación de equipos técnicos avanzados, como una chancadora cónica

LT200HP, mejora la optimización en la producción y reduce los costos operativos a largo plazo en una cantera de agregados.

1.4.2. Hipótesis específicas

La implementación de una chancadora cónica LT200HP mejora la producción y mejora el aprovechamiento de material no reutilizado en la cantera de agregados.

La implementación de una chancadora cónica LT200HP reducirá los costos de producción de agregados con una planificación adecuada, lo que genera un beneficio significativo en la cantera de agregados.

1.5. Variables

Las variables de investigación son Chancadora de Cono LT200HP como variable independiente y producción de agregados como variable dependiente.

1.5.1. Variable independiente

***Chancadora de cono*.** La chancadora de cono Lokotrack LT200HP, es un equipo de chancado diseñado para procesar material de mayor dimensión. Su implementación está orientada a mejorar la producción en toneladas métricas diarias (TMD), reducir costos operativos ($/m³) y optimizar el consumo energético (kWh/ton). Además, contribuye a la producción de agregados con granulometrías que cumplen los requerimientos del mercado, incrementando la eficiencia global de la cantera.

Dimensiones

Producción (TMD). Es la cantidad de material procesado y producido por una cantera de agregados en un día, medida en toneladas métricas. Refleja la capacidad operativa y eficiencia del equipo de chancado y la cantidad de material apto para su uso o

comercialización generado diariamente

Costos ($/m³). Es el costo asociado al procesamiento de un metro cúbico de material en la cantera de agregados en dólares americanos.

1.5.2. Variable dependiente

Producción de agregados. La producción de agregados se refiere al proceso de obtención de materiales pétreos (como arena, grava, piedra triturada, entre otros) a partir del procesamiento de roca o material de cantera mediante equipos de chancado, clasificación y lavado, con el objetivo de generar productos con características físicas y granulometrías específicas requeridas para aplicaciones en construcción, infraestructura y otros usos industriales.

Dimensiones

Capacidad de procesamiento (Ton/día). Es la cantidad máxima de material que un equipo o cantera de agregados puede procesar en un período de 24 horas, medida en toneladas métricas.

Consumo de energía (Kwh/Ton) (Gal/Ton). Es la cantidad de energía eléctrica consumida por el equipo para procesar una tonelada métrica.

1.5.3. Operacionalización de variables

La Tabla 1 presenta la operalización de las variables de estudio.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento de medición
Variable dependiente: Producción de agregados	La producción de agregados es el proceso de extracción, trituración y clasificación de materiales rocosos (como grava, arena o piedra) para obtener productos de diferentes granulometrías, utilizados en la construcción de infraestructuras civiles, viales y edificaciones.	Producción	Toneladas de agregados producidas	TMD	- Registro de producción
		Costos	Dólares por metro cúbico producido de agregado	$/m^3	- Análisis de costos
Variable independiente: Chancadora cónica	Una chancadora cónica es un equipo mecánico utilizado en procesos de chancado en la industria minera, de construcción y de producción de agregados. Su diseño está basado en la compresión del material entre un cono móvil y una superficie fija, lo que permite reducir el tamaño de rocas y minerales de manera uniforme y eficiente.	Capacidad de procesamiento	Toneladas métricas diarias	TMD	- Registro de producción
		Consumo energético	Combustible utilizado	gal.	- Análisis de costos

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Antecedentes internacionales

Fladvad y Onnela (2020) llevaron a cabo un estudio en Noruega con el objetivo de analizar cómo los parámetros operativos de una chancadora de mandíbulas influyen en la calidad de los agregados primarios producidos. Este trabajo exploró los efectos de factores como la granulometría de alimentación, la velocidad de la chancadora, el nivel de alimentación y la configuración de la abertura de la trituradora sobre la operación y los productos obtenidos. Para ello, utilizaron una chancadora de mandíbulas Nordberg C80 en pruebas de trituración a gran escala, complementadas con análisis de laboratorio para determinar la distribución de tamaño de partículas. La metodología incluyó variaciones en tres configuraciones de abertura (40 mm, 70 mm y 100 mm), dos velocidades de operación (355 rpm y 284 rpm) y dos niveles de alimentación (alto y bajo). En cada ensayo se trituraron entre 1500 y 2500 kg de roca, realizándose al menos tres repeticiones por configuración. Durante las pruebas, se monitorizó el consumo energético de la chancadora y se recolectaron muestras de salida para analizar la distribución granulométrica mediante tamizado manual y mecánico, siguiendo estándares establecidos. Adicionalmente, se tomaron fotografías de la alimentación antes del proceso para evaluar su estado inicial.

Entre los resultados principales, se encontró que la forma de las partículas es el parámetro de calidad más afectado por las variaciones en el proceso de trituración. Se observó que la configuración de la chancadora influye

significativamente en el tamaño máximo de las partículas producidas, lo que implica que las comparaciones deben considerar el ajuste de la abertura (CSS). Además, la reducción de la velocidad de la chancadora aumenta el consumo específico de energía entre un 50 % y un 150 %, afectando negativamente la gradación del producto. Otro hallazgo relevante fue que la alimentación de material de menor tamaño impacta desfavorablemente la forma de las partículas, mientras que la reducción del nivel de alimentación genera productos menos graduados y con mayor índice de lajosidad en fracciones más pequeñas.

Okechukwu et al. (2017) llevaron a cabo un estudio en Nigeria con el objetivo de revisar los desafíos de diseño y operación asociados con chancadoras de mandíbula, proponiendo formas de mejorar su rendimiento. Se revisaron patentes y publicaciones técnicas relacionadas con estas maquinarias, así como el análisis de teorías de conminución, que abarcan la reducción del tamaño de materiales. La metodología incluyó el examen detallado de factores críticos de diseño y operación, abarcando componentes como las características del material a triturar, el ángulo de mordida, las placas de mandíbula, el árbol excéntrico, la placa de palanca, los rodamientos y la estructura de la chancadora.

Los resultados mostraron que los principales desafíos se derivan de la naturaleza del material a triturar, el ángulo de mordida y el diseño de los componentes. La resistencia y dureza de la roca están directamente relacionadas con la energía requerida para la conminución, de modo que las partículas más resistentes y duras demandan más tiempo y energía para romperse. El ángulo de mordida debe mantenerse entre 17° y 27°, ya

que desviaciones fuera de este rango conducen a resultados no deseados y poco económicos. El desgaste de las placas de mandíbula es más pronunciado en la placa fija, especialmente hacia la descarga del material chancado. Para mitigar este desgaste, se han propuesto mandíbulas reversibles y técnicas como el revestimiento duro. Las mandíbulas reforzadas presentan una alta relación resistencia-peso y pueden requerir menos energía. Además, un diseño estructurado en forma de panal para el pitman mejora la rigidez horizontal, reduce el consumo energético del volante y realiza la tarea de trituración con menos golpes y movimientos. Finalmente, se concluyó que los modelos existentes de cálculo de potencia para la trituración no son integrales, ya que omiten parámetros relevantes como la tenacidad a la fractura, la resistencia a la compresión, el índice de trabajo y las dimensiones de la mandíbula. Por ello, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo completo de potencia que permita la simulación y optimización de las chancadoras de mandíbula, tanto en laboratorio como en aplicaciones industriales.

Köken (2020) investigó las variaciones en el Coeficiente de Reducción de Dimensiones que se producen en una chancadora de cono para diferentes litologías de roca. Este trabajo se llevó a cabo en Turquía y empleó como instrumento una trituradora de cono a escala de laboratorio. La metodología incluyó la caracterización de las propiedades mineralógicas, físico-mecánicas y de agregados de 17 tipos de roca. Para evaluar la triturabilidad, se realizaron pruebas utilizando agregados de roca con un tamaño de partícula entre 11,2 y 16 mm. Antes y después de las pruebas, se determinaron las distribuciones granulométricas iniciales y finales

mediante análisis por tamizado. Los resultados mostraron que el DRC en la trituradora de cono puede cuantificarse utilizando variables como la Tasa de Reducción Específica y el porcentaje de finos generados (P10). Estas variables dependen de propiedades como la resistencia a la tracción, la pérdida de abrasión y la dureza superficial de las rocas. Además, las características texturales y mineralógicas influyen en el DRC según el tipo de roca. Se encontró una correlación entre el consumo de energía relativo en la trituración (Tc) y propiedades como BTS, LAA y SH.

Korman et al. (2015) llevaron a cabo un estudio en Croacia con el objetivo de determinar el impacto de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas en el consumo de electricidad de una chancadora de mandíbula durante el proceso de trituración. Para ello, emplearon como instrumentos una chancadora de mandíbula y pruebas de laboratorio, la metodología incluyó la medición directa de la potencia del motor de la chancadora mientras se trituraban muestras de roca, evaluando propiedades como densidad aparente, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, dureza y tenacidad a la fractura. Inicialmente, se trituraron muestras individuales y, posteriormente, varias muestras simultáneamente para analizar la dependencia del consumo de energía respecto a las propiedades de las rocas. Mediante análisis estadístico, identificaron que la resistencia a la compresión tiene la mayor influencia en el consumo energético.

Los hallazgos indicaron que la energía específica de trituración se determina con base en la diferencia entre la energía consumida durante la trituración de las muestras y la energía consumida por la chancadora en

reposo. Se concluyó que la cantidad de material triturado no afecta significativamente la energía específica de trituración, y que el consumo de energía depende principalmente de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas. Además, se observó que las rocas ígneas demandan más energía que las calizas, mientras que el menor consumo se da con dolomitas. La resistencia a la compresión es el factor que más influye en la energía específica, seguido por la resistencia a la fractura y la resistencia a la tracción. La densidad aparente tuvo un impacto menor, y la dureza apenas incidió en los resultados. Se desarrolló un modelo de regresión múltiple para evaluar la influencia simultánea de estas propiedades, obteniendo una mínima desviación al considerar todas las propiedades investigadas, y una desviación ligeramente mayor al considerar solo la resistencia a la compresión, la tenacidad a la fractura y la dureza.

Cleary et al. (2017) realizaron un estudio en Australia con el objetivo de analizar el desempeño de una chancadora de cono frente a cambios en las propiedades del material y las condiciones operativas. Utilizando el Método de Elementos Discretos (DEM, por sus siglas en inglés) con simulaciones de partículas no redondas e incorporando la ruptura de estas, los investigadores buscaron comprender el comportamiento de fragmentación y el rendimiento operativo de una chancadora de cono a escala industrial.

Los resultados demostraron una fuerte variación en el comportamiento de la fragmentación a lo largo de la región de compresión, atribuible a las diferencias en los perfiles de la cóncava y el manto, que crean cinco zonas con anchos decrecientes y grados variados de convergencia entre las superficies. Esto afecta la capacidad de cargar y romper partículas, y define

si las fuerzas generadas se distribuyen a través de cadenas de estrés de múltiples partículas o mediante la carga directa sobre las superficies del revestimiento. Las velocidades de flujo de las partículas varían considerablemente: cerca de 1.5 m/s en regiones de expansión entre manto y cóncava, y casi nulas durante la fase de compresión.

En el estudio internacional realizado por Duarte et al. (2021) en Suiza, se propuso calibrar y validar un modelo de chancadora de cono utilizando datos industriales. Para ello, se empleó el modelo de chancadora de cono Serra Leste y se definieron dos variantes del problema de calibración: (i) la estrategia de calibración con matriz de fractura completa y (ii) la estrategia de calibración con matriz de fractura condensada. La metodología consistió en aplicar estas estrategias de calibración a conjuntos de datos obtenidos de minas industriales, evitando la necesidad de pruebas adicionales en laboratorio. Las pruebas de calibración y validación realizadas con datos recolectados de dos minas distintas demostraron que la estrategia de calibración propuesta es eficaz para abordar la sensibilidad del modelo frente a cambios en la apertura cerrada del lado.

Mykhailenko (2024) se propuso desarrollar modelos matemáticos que describieran los modos de operación en estado estacionario de una chancadora de cono. El objetivo principal de la investigación fue crear modelos matemáticos que pudieran ser utilizados en el desarrollo de sistemas de control para unidades tecnológicas, permitiendo determinar el margen para aumentar la eficiencia energética, así como el punto de operación y los límites de cambio de los principales parámetros tecnológicos. Este estudio se llevó a cabo en Ucrania, utilizando una

chancadora de cono con un ancho de manto de 2200 mm como instrumento principal para la recolección de datos experimentales.

La metodología consistió en el uso de polinomios de segundo orden y modelos de regresión para establecer las dependencias entre los parámetros más significativos en una chancadora de cono típica. Los resultados obtenidos fueron una propuesta de descripción matemática que permite analizar los modos de operación en estado estacionario de la chancadora de cono. Estas dependencias de regresión multidimensional proporcionan una base para el desarrollo de sistemas de control de chancadoras de cono, con el fin de identificar el margen de mejora para la eficiencia energética y optimizar el punto de operación y los límites de los parámetros del proceso.

Liu et al. (2018) realizaron un estudio con el objetivo de proporcionar un modelo de consumo de energía y explicar cómo las condiciones operativas y los parámetros estructurales de la cámara de chancado afectan dicho consumo. Este estudio fue llevado a cabo en Beijing, China, y se utilizó una chancadora de cono PYGB1821. La metodología empleada consistió en ajustar y analizar diversas variables operativas, tales como la velocidad, el ángulo excéntrico, el ángulo de nip y el CSS. Los resultados obtenidos revelaron que la velocidad, el ángulo excéntrico y el CSS tienen una influencia significativa en el consumo de energía. Por ejemplo, se observó que la energía consumida a una velocidad de 240 rpm fue 39.25 kW·h más alta que a 300 rpm, y que a 380 rpm el consumo de energía fue solo el 90.13% del de 240 rpm. Además, la relación entre el consumo de energía y la velocidad también estuvo influenciada por el ángulo excéntrico,

mostrando una correlación positiva: al aumentar este ángulo de 1.3° a 2° (un incremento del 53.84%), se produjo un aumento del 18.68% en el consumo de energía, mientras que un incremento adicional del 53.84% resultó en un aumento del 27.87%. Por otro lado, cuando el CSS era de 38 mm, el consumo de energía se reducía al 87.68% del consumo observado a 13 mm.

Wu et al. (2021) realizaron una investigación internacional con el objetivo de analizar el impacto de parámetros estructurales clave, tales como el ángulo inferior del manto, la longitud de la zona paralela y el ángulo excéntrico, en la productividad y calidad del producto de la chancadora de cono, buscando optimizar la cámara de chancado para mejorar el rendimiento de la chancadora. Este estudio se realizó en Taiyuan, China, utilizando la chancadora de cono C900 y se estableció un modelo matemático para la optimización dual de la productividad y la calidad del producto de la chancadora de cono. Los resultados del estudio demostraron que, al considerar la cantidad de mineral levantado en la capa de bloqueo, el modelo matemático revisado de productividad de la chancadora pudo caracterizar de manera más precisa la productividad real. Se encontró que el ángulo inferior del manto y la longitud de la zona paralela se encuentran dentro de los rangos de 50°–60° y 140 mm–190 mm, respectivamente. La productividad mostró una correlación positiva con el ángulo inferior del manto y una correlación negativa con la longitud de la zona paralela. Sin embargo, la dependencia de la calidad del producto con respecto al ángulo y la longitud fue exactamente la opuesta. Por último, se observó que el ángulo excéntrico se encuentra dentro del rango de 1.4°–2°, y su

disminución tuvo un efecto negativo tanto en la productividad como en la calidad del producto.

Bernal (2023) llevó a cabo un estudio con el objetivo de modelar el proceso de conminución en una chancadora cónica de una cantera de producción de agregados pétreos. Este estudio se realizó en Colombia en una cantera de agregados pétreos, con la finalidad de optimizar la operación de la chancadora cónica. Para ello, se empleó una red neuronal artificial con una topología "Feedforward", lo que permitió simular el comportamiento de la chancadora. Los resultados obtenidos indicaron que la configuración óptima fue una red neuronal con 70 y 40 neuronas en las capas ocultas, logrando un error cuadrático medio de 6.24, una dispersión del error de 35.05 y un ajuste lineal por mínimos cuadrados de 0.99. El modelo logró un parámetro de ajuste R de 0.999, lo que permitió concluir que es capaz de predecir de manera precisa la distribución de tamaño de las partículas a la salida de la chancadora cónica, contribuyendo a la optimización del proceso de beneficio de los agregados pétreos.

Quist y Evertsson (2016) realizaron un estudio cuyo objetivo fue desarrollar la implementación de chancadoras cónicas para comprender los procesos internos y la producción. La investigación tuvo lugar en Göteborg, Suecia, empleando como instrumento principal una chancadora cónica Svedala H6000. La metodología combinó simulaciones mediante el Método de Elementos Discretos (DEM) con experimentos a escala industrial. Se demostró que la capacidad de procesamiento, el consumo de energía, la presión y la distribución del tamaño de partículas del producto pueden estimarse utilizando DEM. Sin embargo, se identificó la necesidad de

continuar trabajando en la mejora de la precisión de las predicciones.

La investigación de Acosta (2018) abordó la determinación de los costos de producción de agregados y su relación con la fijación de precios de venta en la empresa Tecni Hormigón, ubicada en Ecuador. El objetivo principal del trabajo fue identificar cómo los costos de producción inciden en los precios de venta, con el propósito de mejorar los niveles de rentabilidad de la empresa. Se utilizó una guía de observación como instrumento principal y la metodología adoptada fue de enfoque cuantitativo y explicativo. Se implementó el sistema de costos basado en actividades (ABC), que permitió un análisis profundo del proceso de producción. La rentabilidad sobre el patrimonio de la empresa, según los cálculos realizados, alcanzó un elevado 215%, mientras que la rentabilidad económica ascendió al 49.26%. Sin embargo, se evidenció una discrepancia en la percepción de las prácticas relacionadas con la estimación de costos: solo el 17% de los encuestados afirmó que Tecni Hormigón establece los precios de venta mediante metodologías adecuadas basadas en costos de producción y niveles de rentabilidad, mientras que el 83% señaló que no se emplean estas metodologías.

El estudio realizado por Par (2010) tuvo como objetivo localizar las fallas de producción en la chancadora de impacto con eje horizontal (HSI) KPI 5260 para proponer soluciones que mejoren la eficiencia del sistema de trituración en el área de fabricación de agregados. Este análisis se llevó a cabo en Guatemala, utilizando como instrumento principal la chancadora de tipo impacto con eje horizontal HSI KPI 5260. La metodología empleada incluyó el análisis de los problemas operativos, específicamente los

relacionados con el desgaste prematuro de la chancadora, debido a una alimentación deficiente y a la salida inadecuada del material.

El principal inconveniente que afectaba el rendimiento de la chancadora era el desgaste prematuro, causado por una alimentación y salida de material incorrectas. Al rediseñar estos aspectos, se predijo un incremento en la producción de la chancadora, acompañado de una disminución en el consumo energético por tonelada obtenida, lo que resultaría en una máquina más eficiente y productiva. Además, el índice de funcionamiento del trabajo, basado en el principio de Bond, se utilizó para medir la eficiencia del consumo energético por tonelada triturada, y a través de la medición del rendimiento de la chancadora, se determinó que la eficiencia operativa era de un 29.07% en promedio, con un máximo de 43.99%, lo que implicaba que más de la mitad de la energía utilizada se estaba desperdiciando.

Pardo et al. (2023) realizaron un estudio con el objetivo de optimizar el sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción en el yacimiento minero "Zamora Bombuscaro", identificado con el código 500681, ubicado en la parroquia Zamora, cantón Zamora, provincia Zamora Chinchipe, Ecuador. Utilizando un método descriptivo, los autores llevaron a cabo un exhaustivo levantamiento de información relacionado con los parámetros técnicos del sistema de explotación vigente, incluyendo datos geológicos y topográficos, así como un análisis detallado de la situación actual del área minera. El estudio incluyó la recopilación y análisis de información clave para proponer mejoras en los procesos y actividades de explotación. Los resultados indicaron una significativa optimización del sistema, lo que permitió reducir el costo de producción en $55,10 diarios y

aumentar la producción en 66,68 m³ diarios. Esto se tradujo en mayores ingresos y un incremento en el capital de la concesión minera. La implementación de los cambios propuestos mejoró la eficiencia y rentabilidad del sistema de explotación y aseguró una mejor sostenibilidad operativa para el yacimiento.

García (2015) evaluó y analizó la adquisición de un mayor número de equipos para aumentar significativamente la capacidad de producción de la cantera. El estudio se desarrolló en México y se sustentó en un análisis financiero que permitió proyectar las implicaciones económicas del incremento en la maquinaria y en la producción. Se identificó que la trituración se ejecutaba únicamente con una chancadora móvil adaptada a fija, cuya capacidad real era de 265 toneladas por hora. Para lograr el objetivo planteado, se propuso la inclusión de una nueva chancadora de impacto con una capacidad nominal de 1,100 toneladas por hora, alcanzando una eficiencia del 80%, lo que equivaldría a una producción de 900 toneladas por hora. En términos de resultados, se evaluó un precio de venta teórico de USD 4.08 por tonelada producida, lo que permitió proyectar un incremento notable en las utilidades. Con una inversión inicial estimada de USD 168,000, las ganancias podrían elevarse de USD 2,336,407 a USD 7,962,293 evidenciando que el diseño propuesto representaría un beneficio económico significativo. El diseño planteado no solo incrementa la capacidad de producción de la cantera, sino que también representa una propuesta financieramente viable y rentable.

Antecedentes nacionales

El realizado por Chavez (2019) tuvo como objetivo la instalación de una

chancadora cónica Short Head con el fin de mejorar el análisis granulométrico del producto obtenido en el proceso de chancado en una empresa minera, ubicada en Pasco. El estudio se centró en la implementación de la chancadora Short Head en la planta concentradora de la Sociedad Minera El Brocal, donde se utilizó este equipo como instrumento principal para mejorar la eficiencia de la clasificación del material procesado. La metodología aplicada fue de tipo tecnológica, con un enfoque descriptivo y cuasi experimental. Se determinó que, para aumentar la capacidad de la chancadora, era necesario asegurar una adecuada distribución de tamaños del material, en particular, controlando el contenido de finos, que reduce la eficiencia de la trituración. Por ello, se propuso tamizar los materiales antes de ser alimentados a la chancadora, ajustando los parámetros de eficacia fija a 0.89 en las zarandas. La instalación de la nueva chancadora Short Head mejoró significativamente la eficiencia del proceso de chancado, optimizando el tamaño de los productos finales y contribuyendo al rendimiento de la planta.

Cancino (2022) realizó un estudio en el distrito de Carabayllo, Lima, con el objetivo de analizar las fallas en una chancadora cónica marca Truemax modelo PYB-900 para determinar las causas raíces y proponer soluciones que mejoren la rentabilidad en una cantera de agregados del sector construcción. Para ello, se emplearon instrumentos como el método 5P, el árbol lógico y el diagrama Ishikawa, mientras que la metodología incluyó una serie de pasos estructurados: la recopilación y organización de datos en una base de datos, la definición de los sistemas a analizar y la utilización del Análisis de los Modos y Efectos de Falla (FMEA) para identificar fallas.

Posteriormente, se aplicó el diagrama de Pareto para jerarquizar las fallas según su impacto económico, se identificaron las causas raíces mediante el método del árbol lógico, y se propusieron soluciones óptimas para erradicar las fallas críticas.

El análisis identificó nueve tipos de fallas, entre las que destacan la rotura de forros, desgaste en la bocina cilíndrica, rajaduras en el cabezal cónico, grietas en el cojinete semiesférico, y roturas en el diente de piñón cónico, entre otros. De estas se identificaron cuatro fallas críticas que representaron el 80% de los costos anuales, ascendiendo a un total de 90,055.25 USD. La investigación avanzó con la identificación de las causas raíces físicas, humanas y latentes de estas fallas críticas, destacando como principal problema la falta de un programa de inspección para el anillo de sellado. La propuesta de solución se centró en establecer un programa de inspección periódica del anillo de sellado. Se realizó un análisis económico de dos alternativas de proveedores: Falmetal S.A.C., con un ROI del 95%, y Delta Industrial S.A., con un ROI del 151%, siendo esta última la opción más rentable. La implementación de esta solución permitió recuperar la inversión en ocho meses, con un costo inicial de 9,135.92 USD, y un mantenimiento programado cada tres meses.

La investigación de Guerrero (2019) tuvo como objetivo principal diseñar una chancadora con capacidad de 10 toneladas por hora, con la finalidad de incrementar la producción de una cantera de agregados. El estudio se realizó en la localidad de Pucará, perteneciente a la provincia de Jaén y se buscó determinar la capacidad de trituración requerida y diseñar los componentes primarios necesarios para seleccionar los elementos

secundarios del proceso de trituración y fraccionamiento. Se utilizaron encuestas y análisis documentarios y la metodología empleada fue un diseño de investigación no experimental, donde se identificaron como variable independiente el diseño de la chancadora de 10 ton/h, y como variable dependiente la producción de agregados.

Entre los resultados obtenidos, se evidenció que la empresa Jubrisa E.I.R.L enfrenta dificultades para satisfacer la demanda actual debido a la insuficiencia de su sistema de trituración, el cual resulta ineficiente y genera la necesidad de trabajar horas extra, impactando negativamente en los costos operativos. Como solución, se diseñó una chancadora capaz de cumplir con la capacidad de molienda requerida. Este diseño se fundamentó en una proyección futura basada en datos históricos de ventas proporcionados por la empresa y fue validado mediante cálculos realizados con un software especializado. La chancadora propuesta puede triturar 10 toneladas por hora mediante un sistema de impacto, donde las paletas giratorias lanzan el material hacia planchas fijas, logrando fraccionarlo al tamaño especificado por el operario. El diseño incluyó un motor de 26.3 hp, adecuado para cumplir con los requerimientos de potencia.

Mendoza (2020) realizó un estudio en el departamento de Cajamarca con el objetivo de determinar los parámetros de trabajo de las mandíbulas de una chancadora tipo quijada de 80x90 cm de marca JAQUES, analizar los niveles de desgaste de estas mandíbulas estableciendo su relación con la producción, y evaluar cómo dicho desgaste afecta el proceso de trituración de minerales en la Minera Yanacocha S.R.L. El diseño del estudio fue de tipo experimental aplicativo, utilizando como muestra la chancadora Jaques

Jaw Crusher. A partir del análisis, se determinó que los parámetros operativos comprenden 22 horas diarias de funcionamiento continuo durante 33 días, alcanzando un total de 726 horas de operación y una capacidad de trituración diaria de 695 TMH, lo que equivale a 22,935 TMH por mes. Sin embargo, se identificaron niveles de desgaste significativos: un 75% para las mandíbulas fijas y un 65% para las móviles en un período de 28 días, afectando directamente la altura inicial de las mandíbulas.

El desgaste tuvo un impacto directo en el cumplimiento de las metas de trituración. Por ejemplo, en junio de 2019, de una programación de 20,000 TMH, solo se logró triturar 14,700 TMH, lo que representa un déficit del 26.5%. En los meses subsiguientes, el déficit de trituración fluctuó entre 25.75% y 28.5%, indicando una afectación consistente en el rendimiento. Las pruebas de laboratorio revelaron que este desgaste está relacionado con variaciones en la composición química de las mandíbulas. La mandíbula de chancadora Chilca presentó una mayor dureza (475 HB) gracias a un mayor porcentaje de carbono y su tratamiento térmico (temple y revenido), en contraste con la mandíbula FUNVESA, cuya dureza fue de 405 HB.

Ramos (2020) realizó un estudio en Juliaca con el objetivo principal de diseñar y construir una chancadora que permitiera obtener una granulometría de 2 a 5 mm. La metodología de investigación fue tecnológica, con un enfoque exploratorio, utilizando el método Pugh, que propone un desarrollo secuencial e interrelacionado de las fases del diseño. El estudio se desarrolló en varias etapas, comenzando con la definición de la tarea, donde se planificó el diseño de la máquina y se clarificó la

necesidad de crear un producto que cubriera los requerimientos del cliente. Posteriormente, se pasó a la etapa de diseño conceptual, en la cual se evaluaron diversas alternativas para la solución de diseño, eligiendo la más adecuada de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas, así como los materiales más adecuados.

Se determinó el uso de acero para las estructuras principales, así como acero antiabrasión para las cuchillas, y rodamientos de alta capacidad de carga. Además, se desarrollaron los procedimientos de manufactura para cada componente, que incluyeron maquinado, soldadura y tratamientos térmicos. El tiempo estimado para la construcción de la máquina fue de 186 horas. Asimismo, se elaboró un manual detallado de montaje, operación y mantenimiento, para el correcto uso y conservación de la máquina en el futuro.

Gamonal (2017) llevó a cabo un estudio cuyo objetivo fue diseñar una máquina chancadora de piedra de 40 tn/h para la producción de agregado de construcción en el distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, en el departamento de Lambayeque. La investigación se centró en desarrollar una solución técnica que permitiera a la empresa mejorar su capacidad de producción de agregados para la construcción mediante una chancadora de piedra eficiente y conforme a los estándares industriales. Para ello, se utilizaron instrumentos como entrevistas y encuestas, con el fin de obtener datos relevantes sobre las necesidades de la empresa y los requisitos técnicos para el diseño de la máquina. La metodología aplicada en el estudio se desglosa en dos partes principales: primero, se realizó el dimensionamiento y cálculo de la estructura de la máquina, considerando

las hipótesis de esfuerzo necesarias y los coeficientes de seguridad establecidos por la normatividad. En segundo lugar, se llevó a cabo el diseño y selección de los accesorios estándar que permitirían el funcionamiento eficiente del equipo. El proceso de diseño incluyó la selección adecuada de materiales, conforme a las normas internacionales ISO y ASTM, así como la realización de cálculos precisos para cada componente de la chancadora de piedra.

Los resultados obtenidos permitieron el diseño exitoso de la máquina chancadora de piedra de 40 tn/h, se logró seleccionar los materiales adecuados y estandarizados para su construcción, y se realizaron todos los cálculos necesarios en cada uno de los elementos de la máquina. Además, se elaboró un presupuesto detallado para la construcción de la chancadora y se presentó un resumen económico al final del proyecto. Finalmente, se generaron los planos correspondientes para cada uno de los componentes del diseño.

La investigación de Támara (2021) propuso configurar el circuito de chancado mediante un proceso de análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes, con el objetivo de incrementar la producción en la planta. Este trabajo se realizó en el distrito de Vista Alegre, en la provincia de Nasca, departamento de Ica, donde se ubica la Planta de Beneficio El Inka. La investigación empleó un enfoque metodológico tecnológico con nivel aplicado y en cuanto a los instrumentos utilizados, se llevó a cabo un análisis técnico y estadístico para validar la hipótesis de la investigación. La metodología consistió en evaluar el sistema de chancado existente y luego realizar los ajustes necesarios para lograr una

configuración que permitiera un incremento en la capacidad de tratamiento de mineral.

Con la nueva configuración del circuito, la planta pasó de un tratamiento de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) a 960 TMSD, logrando un incremento del 100% en la producción. Un factor clave para este éxito fue el cambio de forros short head a una chancadora cónica METSO modelo HP-200, la cual mostró una mayor eficiencia de clasificación (90%) frente a las chancadoras convencionales, que operaban con una eficiencia de solo 60%. Este cambio permitió optimizar el tonelaje por hora y obtener un mejor producto final y se demostró que mediante la correcta configuración del circuito de chancado, es posible lograr un incremento significativo en la producción.

Chavez (2019) llevó a cabo un estudio cuyo objetivo principal fue mejorar el proceso de producción de la Planta Chancadora de Piedra para incrementar la utilidad de la empresa. Este estudio se realizó en una planta ubicada en el departamento de Lambayeque, dedicada a la trituración y comercialización de piedra para la obtención de agregados de construcción. La metodología utilizada incluyó un diagnóstico general de la planta chancadora y la aplicación de un análisis de criticidad con el fin de identificar los equipos críticos dentro de la operación. Para ello, se emplearon herramientas como la codificación de componentes, el árbol de fallas y el análisis de modos y efectos de falla (AMEF), lo que permitió la elaboración de una propuesta de plan de mantenimiento preventivo.

Los resultados mostraron que se producían 131 fallas al año, lo que equivalía a 679 horas de parada debido a la falta de mantenimiento

preventivo. Los indicadores de mantenimiento reflejaron una confiabilidad promedio de 22 horas hasta el fallo, 5 horas fuera de servicio y una disponibilidad global del 81%. Además, se estimó una utilidad no percibida de 846,073.039 soles, lo que representaba el 50.7% de la utilidad total de la planta. Tras la implementación de la propuesta, se incrementó la utilidad no percibida en 188,779.054 soles, se redujeron las horas de parada en 224,7 horas, y los indicadores de fiabilidad mejoraron considerablemente, con un MTTF de 59 horas hasta el fallo, un MTTR de 4.3 horas fuera de servicio, y una disponibilidad global del 87%.

Chalán y Monteza (2019) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de diseñar una estructura de costos para la producción de agregados en una cantera no metálica, específicamente en la cantera La Tuna Blanca ubicada en Santa Cruz, Cajamarca. La investigación se centró en analizar la producción de agregados no metálicos en esta zona y la forma en que se podía optimizar la estructura de costos de la operación. El estudio se realizó utilizando instrumentos como la libreta de apuntes, guía de entrevista y cuestionarios. La metodología empleada fue de carácter transversal, descriptiva y no experimental, donde se tomaron como muestra las canteras no metálicas de la región. Se observó que el costo de producción de los materiales procesados en la cantera, sin incluir el IGV ni el margen de utilidad, fue de 20.51 S/m^3 para la piedra chanchada 1/2 y de 24.61 S/m^3 para la piedra chancada 3/4, lo cual resultó ser positivo para la empresa. Sin embargo, en el caso del cofitillo, los costos de producción fueron elevados, alcanzando los 61.52 y 41.01 S/m^3. El estudio también reveló que el payback o periodo de recuperación de la inversión para la operación fue

de 4.005 años.

El estudio realizado por Córdova (2023) tuvo como objetivo reducir las fallas y tiempos muertos al incrementar la disponibilidad de los equipos e instalaciones, para mejorar la utilización y el desempeño de la chancadora de cono MP1250 de la serie MP de Nordberg en la Sociedad Minera Cerro Verde, ubicada en Arequipa. La metodología utilizada se basó en un análisis detallado de las paradas de la chancadora secundaria, cuyo costo por hora de inactividad es de aproximadamente 50,000 dólares. Se evaluaron diversos factores que afectan el mantenimiento de los componentes clave de la chancadora, como los mantos de *head* y *bowl*, cuya ratio de mantenimiento se presenta cada mes. Además, se analizó la frecuencia de desgaste de las *feed plates,* que presentan una vida útil de alrededor de seis corridas, y *liners MFL*, que tienen una duración aproximada de cuatro corridas.

Los resultados obtenidos mostraron que la optimización de los tiempos de mantenimiento y la mejora en la frecuencia de cambio de los componentes contribuyeron significativamente a la reducción de los costos operativos y de inactividad del equipo. A partir de estos hallazgos, se concluyó que la implementación de un plan de mantenimiento más eficiente, que considere tanto la frecuencia de mantenimiento como las condiciones de operación, tiene el potencial de aumentar la disponibilidad operativa de la chancadora de cono y, por ende, mejorar el desempeño global de la planta minera. De esta manera, la investigación aportó valiosas ideas para la mejora continua de los procesos de mantenimiento en la industria minera.

Hernández y Sánchez (2021) realizaron un estudio para optimizar los

procesos de mejora para la explotación de agregados. El estudio se llevó a cabo en el distrito de San Marcos, Cajamarca, Perú y se emplearon ficha de cubicación de reservas, ficha de producción de agregados correspondiente al año 2021 y una ficha de comparación de parámetros. La metodología utilizada fue de investigación aplicada, con un diseño no experimental de nivel explicativo. El estudio reveló que el área total calculada mediante el método de perfiles es de 552 m², con un espesor promedio de la excavación de 20 m. El volumen aproximado de material extraído fue de 11,040 m³. El diseño de la cantera se fundamentó en parámetros como la altura del banco de explotación de 8.9 m, el ángulo de talud del banco de 82º, una berma de seguridad de 1.25 m y un ancho de la vía de 9.065 m. Además, se consideró el espacio necesario para la maniobra de la excavadora, que es de 3.88 m, y el ancho mínimo de trabajo requerido, que es de 19.20 m. El estudio geomecánico determinó que el ángulo de fricción promedio es de 38º, la cohesión varía entre 0.1 y 0.15 KPa, y el factor de seguridad se encuentra entre 1.42 y 1.54.

Pingus (2020) llevó a cabo un estudio en la ciudad de Chiclayo con el objetivo de determinar el costo de producción de agregados y analizar su efecto en la rentabilidad de la empresa Negociaciones Amazonas EIRL. Para lograr este objetivo, se emplearon instrumentos como cuestionarios y guías documentales, y se desarrolló una metodología de tipo cuantitativa, descriptiva-propositiva, con un diseño no experimental de corte transversal. La investigación se basó en una muestra probabilística de 22 trabajadores de la empresa, utilizando la encuesta y la guía de análisis como herramientas principales para la recolección de información.

Los resultados obtenidos a través de la propuesta de un sistema de costeo acumulado por procesos evidenciaron ratios de rentabilidad significativos. Para el producto hormigón fino, el ratio de rentabilidad sobre el precio de venta fue del 31%, lo que implica que por cada sol de venta, 0.69 céntimos corresponden a costos acumulados relacionados con la adquisición, producción y almacenamiento. En el caso de la arena de río, este ratio alcanzó el 51%, reflejando que 0.49 céntimos son costos acumulados. Asimismo, la rentabilidad sobre el precio de venta de la piedra chancada de ½" y de ¾" fue del 47%, con costos acumulados de 0.53 céntimos por cada sol de venta. Por último, la gravilla mostró un ratio de rentabilidad del 29%, indicando que 0.71 céntimos están destinados a cubrir los costos mencionados.

Peñaloza (2020) llevó a cabo un estudio en Ecuador con el objetivo de analizar los costos de producción en las fases de operación de una cantera, utilizando datos reales que reflejaran la actividad de la empresa. La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo, utilizando información cercana a la realidad del mercado, apoyada en la revisión de artículos científicos y la observación directa. El estudio identificó que la mejor manera de evaluar los costos de producción en las fases de operación de una cantera es implementando un sistema de costos por actividad. Se calculó el costo hora por metro cúbico y, finalmente, el costo total de producción de los productos, que ascendió a $6,68 por metro cúbico. Se fijaron precios de venta para los distintos productos, elaborando un estado de resultados que evidenció un margen de utilidad del 16,16% respecto a las ventas, considerando los gastos administrativos y de ventas.

Para validar la rentabilidad del negocio, se realizó una consulta con un banco local, que reportó una tasa activa para créditos productivos del 11,23% y una tasa pasiva para inversiones del 5%, generando un porcentaje total de 16,23%. Este valor mostró un equilibrio con el margen de utilidad obtenido, sugiriendo que este margen puede mejorarse en el tiempo mediante la reducción de costos.

Antecedentes locales

La investigación de Nina (2022) en el departamento de Moquegua, se propuso diseñar y analizar una estructura de costos fijos y variables en la producción de material agregado en la cantera no metálica. El objetivo principal fue establecer el costo de producción por metro cúbico de distintos productos: piedra chancada 1/2” y 3/4”, gravilla 3/8”, arena gruesa y piedra filtro, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos y a la rentabilidad de la operación. Se realizó una recopilación de datos, clasificando los costos en costos fijos que incluyeron elementos independientes de la producción, tales como las remuneraciones al personal, el derecho de vigencia de la concesión minera, los costos administrativos (que abarcan servicios básicos), herramientas y la depreciación de inmuebles, maquinaria y equipo. Por otro lado, los costos variables comprendieron insumos como petróleo, gasolina, aceite y grasa, equipo de protección personal, y mantenimiento de maquinaria.

Los resultados mostraron un diseño detallado de la estructura de costos que permitió identificar todos los gastos involucrados en la producción de los agregados comercializados, lo que permitió a la empresa optimizar el control de costos, logrando maximizar la producción en los diferentes

productos. Se determinaron costos específicos de producción por metro cúbico: piedra chancada 1/2” y 3/4” por 9.00 S/m³, gravilla 3/8” por 11.03 S/m³, arena gruesa por 10.03 S/m³, y piedra filtro por 63.02 S/m³. Se identificó que el costo de producción de la piedra filtro supera su precio de venta, sugiriendo la necesidad de reducir su producción o incrementar su precio de venta. En contraste, los demás productos presentan costos de producción inferiores a sus precios de venta, lo que los hace rentables y permite compensar las pérdidas asociadas a la piedra filtro.

Salmón (2023) buscó reducir los costos de producción de agregado en la explotación de la Cantera Río Asana, ubicada en el distrito de Torata, en la región Moquegua. El autor utilizó como instrumentos principales la ficha de observación, mediante la cual se registraron los resultados de la inspección visual del cálculo de los costos, así como fotografías que complementaron el análisis. El estudio adoptó una metodología de tipo aplicada, con un diseño no experimental, lo que permitió realizar una evaluación descriptiva de los costos asociados a los tres procesos involucrados en la obtención de agregado en dicha cantera.

En el primer proceso los costos fijos fueron de S/ 95,441.23 y los costos variables de S/ 107,258.98; en el segundo proceso, los costos fijos ascendieron a S/ 114,378.93, mientras que los costos variables fueron de S/ 114,053.14; finalmente, en el tercer proceso, los costos fijos fueron de S/ 120,372.30, y los costos variables llegaron a S/ 47,841.58 mensuales. A partir de estos datos, se identificó que el tercer proceso presentaba sobrecostos, especialmente en lo relacionado al mantenimiento de maquinaria, lo que resultó en un flujo de caja negativo de S/ 153,956.35.

Se mejoró la eficiencia de las actividades en dicho proceso, lo que permitió alcanzar un flujo de caja general positivo de S/ 11,079,720.00. Además, mientras que la estimación inicial de la vida útil de la cantera era de 3.42 años, con las mejoras implementadas se redujo el periodo de recuperación del flujo de caja a 2.14 años.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Proceso de chancado o trituración

El proceso de chancado o trituración es una etapa principal dentro del tratamiento de minerales o producción de agregados de construcción, cuyo objetivo principal es la reducción mecánica del tamaño de las partículas provenientes de su fuente de extracción, o también llamado chancado. El chancado se efectúa mediante cuatro métodos mecánicos fundamentales (Ortiz y Flores, 2012, pp. 4-5):

Aplastamiento

Consiste en comprimir el material entre dos superficies rígidas, generando fracturas al superar su resistencia (Figura 3, a).

Penetración

Involucra la acción de una herramienta o superficie que ejerce presión en puntos específicos del material, logrando su fragmentación (Figura 3, b).

Frotación

Se produce al ejercer fuerzas tangenciales o de cizalla, desgastando las partículas al deslizarse unas contra otras o contra una superficie dura (Figura 3, c).

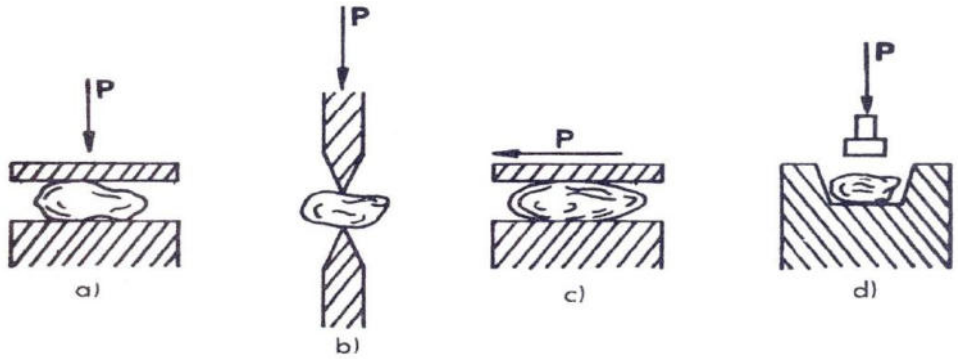
Impacto

Fragmenta el material al someterlo a fuerzas de golpe generadas por movimientos rápidos y bruscos (Figura 3, d).

En la práctica, estas acciones suelen combinarse para maximizar la eficiencia, dependiendo de las características del material y de la máquina empleada.

Figura 3

Mecanismos básicos del chancado



Nota. (a) Aplastamiento, (b) Penetración, (c) Frotación, (d) Impacto. Tomado de Ortiz y Flores (2012, p.5)

El chancado es importante debido que la reducción del tamaño de las partículas cumple varias funciones claves en los procesos industriales como facilitar el transporte de materiales, preparar las partículas para operaciones físicas como mezclado, dosificación, aglomeración o disolución y aumentar la velocidad de las reacciones químicas, ya que una mayor superficie específica del material favorece la interacción con reactivos (Cancino, 2022, p. 29).

2.2.1.1. Chancado primario

En esta primera etapa, se procesan grandes bloques de material,

generalmente del orden de varias decenas de pulgadas, reduciendo su tamaño a fragmentos que oscilan entre las 6 y 8 pulgadas (Fonseca et al., 2017).

Las chancadoras utilizadas aquí deben ser robustas y estar diseñadas para soportar grandes esfuerzos debido al tamaño y dureza del material. Entre los equipos más comunes destacan las chancadoras de Mandíbulas que funcionan mediante el movimiento alternativo de una placa móvil contra otra fija, generando compresión y fractura del material. Son ideales para materiales duros y abrasivos. Por otro lado, están las chancadoras Giratorias las cuales tienen un diseño cónico con un eje central que gira dentro de una carcasa fija. Son especialmente eficientes en el manejo de grandes volúmenes y materiales de alta dureza. En ambos casos, la boca de alimentación permite la entrada de bloques de gran tamaño, mientras que la garganta puede ajustarse según las necesidades del proceso (Cancino, 2022, p. 32).

2.2.1.2. Chancado secundario

El chancado secundario se encarga de procesar el material previamente reducido en la etapa primaria. Aquí, el tamaño del producto final varía entre 2 y 3 pulgadas. Los equipos utilizados en esta etapa deben ser versátiles y eficientes pues se centran en mejorar la granulometría del material, logrando una reducción más uniforme. Los tipos de chancadoras más utilizados en esta fase son las chancadoras giratorias secundarias que comparten principios de operación con las giratorias primarias, pero están diseñadas para manejar partículas más pequeñas y trabajar con mayor precisión. Así también están las chancadoras cónicas que trabajan

mediante un cono interno que gira excéntricamente dentro de un anillo externo, triturando el material mediante compresión (Fladvad y Onnela, 2020, p. 151).

2.2.1.3. Chancado terciario

Por lo general, es la última etapa del chancado y el objetivo es reducir el material a tamaños más finos, normalmente entre 1/2 y 1/8 de pulgada, adecuados para procesos posteriores como molienda o clasificación. Esta etapa demanda una mayor precisión y produce partículas de granulometría muy uniforme. Entre los equipos más comunes se encuentran las chancadoras cónicas adaptadas a la reducción de tamaños más pequeños y con configuraciones que permiten un control preciso del producto final. Así también se tienen las chancadoras de rodillos que comprimen el material entre dos rodillos giratorios, generando partículas de tamaño consistente. Son ideales para materiales menos abrasivos y requieren una operación más cuidadosa para evitar el desgaste excesivo de los rodillos (Guerrero, 2019, p. 24).

2.2.2. Chancadoras

Las chancadoras o trituradoras son equipos esenciales en la industria minera y de construcción, diseñados para reducir el tamaño de las rocas y minerales, facilitando su manipulación y procesamiento posterior. Existen diversas variedades de chancadoras, muchas de ellas desarrolladas a partir de modelos clásicos, pero adaptadas o mejoradas para optimizar su rendimiento frente a materiales específicos. Estas modificaciones pueden incluir ajustes en su diseño, capacidad de trituración o eficiencia energética, dependiendo de las necesidades del proceso (Hernandez y Sanchez, 2021,

p. 19).

Entre los tipos principales de chancadoras se encuentran las chancadoras de mandíbulas o quijadas, que son ampliamente utilizadas para el chancado primario debido a su robustez y capacidad para manejar materiales de gran tamaño. Estas máquinas funcionan mediante placas que comprimen el material, rompiéndolo por impacto y presión. Su diseño simple y durabilidad las hace ideales para condiciones de trabajo intensas (Pingus, 2020, p. 57).

Las chancadoras giratorias son también usadas en el chancado primario, especialmente en operaciones de alto tonelaje. Estas chancadoras poseen un diseño que permite un flujo continuo de material, lo que las hace eficientes para manejar grandes volúmenes. Su estructura incluye un eje principal que rota en un movimiento cónico, triturando el material con gran efectividad (Par, 2010, p.22).

Los equipos de chancado cónicos, derivados del diseño de las chancadoras giratorias, son más comunes en el chancado secundario y terciario. Gracias a su capacidad para producir tamaños de partículas más uniformes y su diseño compacto, son ideales para aplicaciones donde se busca un producto final con características específicas para un proyecto (Quist y Evertson, 2016, p.95).

Por último, las chancadoras de rodillos, compuestas por dos cilindros giratorios, son empleadas principalmente en el chancado fino o terciario. Estos equipos son particularmente efectivos para materiales de dureza media y son valorados por su bajo consumo de energía y capacidad para

producir partículas de forma y tamaño uniforme, aunque su uso es más limitado en comparación con los otros tipos (Pingus, 2020, p. 43).

La selección del tipo de chancadora adecuado depende de factores como la dureza del material, el tamaño de la roca de alimentación, el producto deseado y las características de la operación. Además, estas chancadoras pueden emplearse en diferentes etapas del proceso de chancado como primario, secundario o terciario dependiendo de las exigencias de producción y las condiciones específicas del yacimiento o planta de procesamiento. Por ello, se debe conocer las particularidades y ventajas de cada tipo para optimizar los resultados de trituración en cualquier proyecto (Tamara, 2021, p. 27).

2.2.2.1. Accionamiento y potencia necesaria de una chancadora.

El cálculo de la potencia necesaria para el accionamiento de una chancadora se basa en la ecuación de Bond, que considera parámetros fundamentales del material y el equipo. Esta ecuación evalúa la energía específica requerida para triturar el material desde un tamaño inicial D 80 hasta un tamaño final d80, donde estos valores representan el tamaño de malla por el que pasa el 80% del material en las condiciones iniciales y finales, respectivamente. La ecuación de Bond es (Pástor, 2022, p.21):

$$WB = 10 \cdot W_i\left(\frac{1}{d80} - \frac{1}{D80}\right) \quad \text{.....(1)}$$

Aquí, W_i representa el índice de trabajo del material, un valor específico que indica la dureza y resistencia a la trituración del mineral. Una vez calculada la energía específica (WB), se determina la potencia requerida (P) mediante la relación:

$$P(kW) = WB\left(\frac{kWh}{t}\right) * T\left(\frac{t}{h}\right) * Fs \quad \text{.....(2)}$$

En esta fórmula, T es la capacidad de procesamiento del equipo (en toneladas por hora) y F_s es el coeficiente de seguridad que considera variaciones en la carga y condiciones de operación. Los valores del factor de seguridad (F_s) varían según el tipo de chancadora utilizada, en el caso de chancadoras de mandíbulas el factor de seguridad será Fs=2. Para chancadoras giratorias y de percusión el F_s =1.6, para chancadoras cónicas y de rodillos el F_s a considerar será 1.3. Este coeficiente incrementa la potencia calculada teóricamente para garantizar un funcionamiento adecuado y prevenir sobrecargas debido a irregularidades en el proceso (Pástor, 2022, p.22).

2.2.2.2. Chancadora de mandíbula

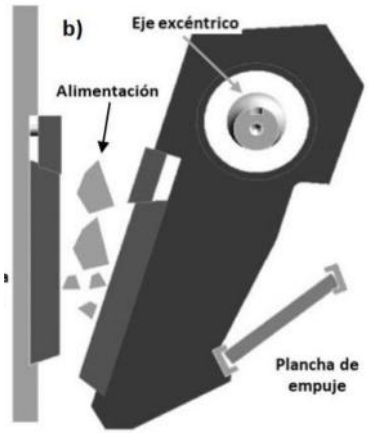
La trituradora de mandíbula, también conocida como chancadora de mandíbula, es un equipo ampliamente utilizado dentro del proceso de chancado primario en la industria minera y de la construcción. En esencia, la chancadora de mandíbula se caracteriza por su relativa simplicidad mecánica con una construcción robusta y eficiente para el chancado primario de materiales. Si bien es uno de los múltiples tipos de chancadoras diseñadas para la reducción de tamaño de materiales sólidos, se destaca entre alternativas como las chancadoras de impacto, molinos de martillos y chancadoras de cono, debido a su capacidad para manejar materiales de gran tamaño y abrasivos con notable eficiencia y durabilidad (Okechukwu et al., 2017, p.815).

Este equipo es ampliamente utilizado en una diversidad de aplicaciones,

desde la minería y la excavación hasta la producción de agregados y el reciclaje de materiales de construcción. Su diseño permite procesar grandes volúmenes de roca y otros materiales como pavimento asfáltico recuperado y concreto reforzado, en el caso de la reutilización de materiales. La Figura 4 muestra esquema de las partes principales del funcionamiento de una chancadora de mandíbula (Cancino, 2021, p. 4).

Figura 4

Esquema de una chancadora de mandíbula



Nota. Tomado de Navarro (2020, p.33)

2.2.2.3. Principales características

Entre las principales características que hacen de las chancadoras de mandíbulas equipos versátiles y confiables se encuentran las siguientes (Korman et al., 2015):

- Amplias aberturas de recepción, que permiten el procesamiento de materiales de gran tamaño (ideales para chancado primario).
- Menores costos operativos debido a la reversibilidad de las muelas o blindajes, lo que prolonga su vida útil.
- Capacidad para manejar materiales pegajosos o sucios sin que estos afecten significativamente el rendimiento.

- Diseño que facilita el mantenimiento y reduce tiempos de inactividad.

2.2.2.4. Funcionamiento

El principio básico de funcionamiento se basa en el impacto continuo que se genera entre una mandíbula fija y otra móvil. Estas mandíbulas forman una cámara de trituración, espacio en el cual el material a procesar es comprimido y fragmentado en dimensiones menores, hasta alcanzar un tamaño apto para las etapas posteriores del proceso. Su diseño básicamente consta de dos placas de mandíbula, una fija y otra móvil, dispuestas para formar una cámara en forma de "V". La mandíbula móvil se desplaza hacia la fija en un movimiento repetitivo, lo que genera la presión necesaria para fracturar los materiales. Esta acción reduce gradualmente el tamaño del material a medida que desciende por la cámara, hasta alcanzar las dimensiones preestablecidas por el operador (Fladvad y Onnela, 2020).

2.2.2.5. Partes de una chancadora de mandíbula

El diseño de las chancadoras de mandíbulas incluye diversas partes entre las cuales se tiene los componentes principales como el pivote, el volante, el excéntrico, la biela, las riostras trasera y delantera, la garganta, y las mandíbulas fija y móvil. La boca de alimentación es también un elemento importante, ya que permite el ingreso del material al equipo y determina la fluidez con la que el material chancado es descargado. Dos parámetros técnicos definen esta apertura: OSS (Open Side Setting), que corresponde a la posición de máxima abertura, y CSS (Closed Side Setting), que es la mínima abertura. La diferencia entre ambos se conoce como tiro o excéntrica, y este ajuste tiene un impacto directo en la granulometría del

producto final (Pástor, 2022, p.22).

Bastidor

Es el soporte principal del equipo, concebido como un cajón rectangular robusto, construido generalmente en acero laminado. Puede fabricarse en un solo bloque o en varias secciones que operan como una unidad, asegurando rigidez y estabilidad (Mendoza, 2020).

Mandíbula móvil y mandíbula fija

La mandíbula móvil se fabrica en acero de alta calidad, está anclada al bastidor mediante un eje que funciona como balancín. Gira sobre rodillos y soporta los esfuerzos generados por la fragmentación del material. Por su parte la mandíbula fija se dispone en un ángulo con respecto a la vertical o en una posición totalmente vertical para facilitar la descarga del material chancado. Las placas de mandíbula son generalmente corrugadas, pero también están disponibles en versiones lisas, están diseñadas para resistir el desgaste y ofrecer un rendimiento consistente incluso bajo condiciones de trabajo exigentes. Este tipo de chancadora asegura una trituración eficiente y uniforme, con una buena tasa de productividad y mínimo tiempo de inactividad debido al mantenimiento (Támara, 2021).

Cámara de compresión o trituración

Es el espacio entre las mandíbulas, cuya oscilación define la capacidad de producción horaria. Protegida por placas de desgaste laterales, esta cámara minimiza daños al bastidor principal. El diseño puede optimizarse modificando el ángulo de las mandíbulas, curvándolas o ajustando la velocidad de los volantes para evitar bloqueos (Pástor, 2022).

Placas de articulación

Transmiten el movimiento del volante hacia las mandíbulas, transformándolo en un movimiento de vaivén. Además, permiten ajustar el reglaje y actúan como elementos de seguridad al liberar esfuerzos excesivos (Pástor, 2022).

Varilla de recuperación

Su función es mantener la mandíbula móvil en contacto con las placas de articulación, proporcionando estabilidad mediante la transmisión de la fuerza del resorte (Támara, 2021).

Eje excéntrico

Este componente gira sobre cojinetes de rodillos y convierte el movimiento rotacional en un desplazamiento lineal que impulsa la biela, asegurando el movimiento oscilante de la mandíbula móvil (Támara, 2021).

Volantes

El sistema incluye dos volantes: uno con bandas trapezoidales para transmitir el movimiento y la potencia del motor, y otro liso que actúa como volante de inercia. Ambos equilibran el sistema mecánico, almacenan energía en el retroceso y la liberan durante el empuje (Mendoza, 2020; Támara, 2021).

Boca de alimentación y parámetros técnicos (OSS y CSS)

La boca de alimentación determina el ingreso del material y la fluidez de su descarga. Sus dimensiones están definidas por el OSS (posición de máxima abertura) y el CSS (mínima abertura), cuya diferencia se conoce

como "tiro" o excéntrica. Este ajuste es el que regula la obtención de la granulometría deseada (Támara, 2021).

2.2.2.6. Desafíos en el uso de una chancadora de mandíbula

Los principales desafíos que enfrenta la chancadora de mandíbulas de un solo efecto surgen de la naturaleza del material a triturar, el ángulo de mordida y el diseño de sus componentes. La resistencia y dureza de una roca están directamente relacionadas con la energía de conminución; por lo tanto, una partícula de roca más resistente y dura requerirá mayor tiempo y energía para romperse bajo la influencia de una chancadora de mandíbulas (Okechukwu et al., 2017, p.820).

El ángulo de mordida debe mantenerse entre 17° y 27°, ya que desviaciones de este rango conducen a resultados no deseados y económicamente ineficientes. La configuración diametral del eje excéntrico en el aumento del desplazamiento, en consecuencia, el aumento del rendimiento de la chancadora se puede lograr incrementando el lóbulo excéntrico en lugar de aumentar el ancho de la mandíbula (Korman et al., 2015).

Asimismo, el desgaste en las placas de la mandíbula es mayor en la mandíbula fija y aumenta a medida que el material triturado se acerca a la descarga. Para mitigar este desgaste, se pueden utilizar mandíbulas reversibles, lo que reduce la frecuencia de reparaciones o reemplazos. Otra alternativa es la técnica de endurecimiento por recubrimiento para manejar la variación en el desgaste. Las mandíbulas reforzadas ofrecen una alta relación resistencia-peso y pueden requerir menos energía.

La fuerza de trituración proviene de la acción de la placa de palanca y la

inercia del volante, cuyo peso está contrabalanceado por la polea. El uso de cojinetes con casquillos reduce el tiempo medio de reparación y aumenta la disponibilidad del equipo, ya que no es necesario desmontar la polea y el volante al reparar o reemplazar los cojinetes. Esto no solo mejora la satisfacción del cliente y la productividad, sino que también reduce los costos de mantenimiento (Okechukwu et al., 2017, p.821).

2.2.2.7. Tipos de chancadora de mandíbula

Las chancadoras de mandíbulas han evolucionado para responder a las necesidades específicas de cada operación, y se clasifican según la posición del pivote que sostiene la mandíbula móvil. Esta posición define tres tipos principales (Mendoza, 2020, p.20):

Tipo Blake. Caracterizada por un pivote ubicado en la parte superior. Es la más utilizada debido a su robustez y a las mejoras tecnológicas que ha recibido a lo largo del tiempo.

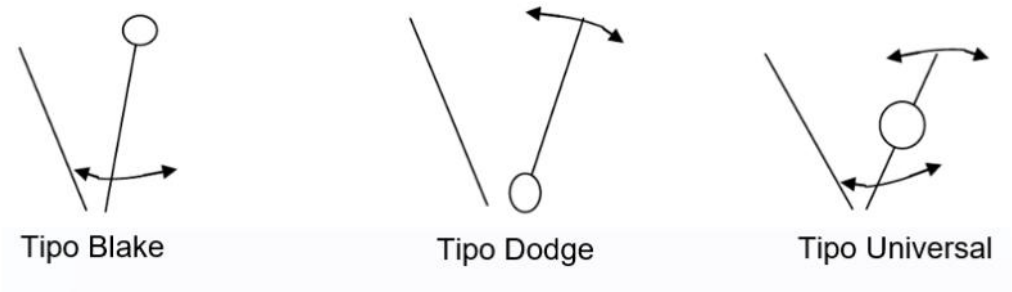
Tipo Dodge. Con el pivote en la parte inferior, lo que permite una descarga más uniforme del material procesado.

Tipo universal. Donde el pivote se encuentra en la parte media, combinando características de los dos tipos anteriores.

En la Figura 5 se grafica el diferente funcionamiento de las chancadoras de mandíbula.

Figura 5

Tipos de chancadoras de mandíbula



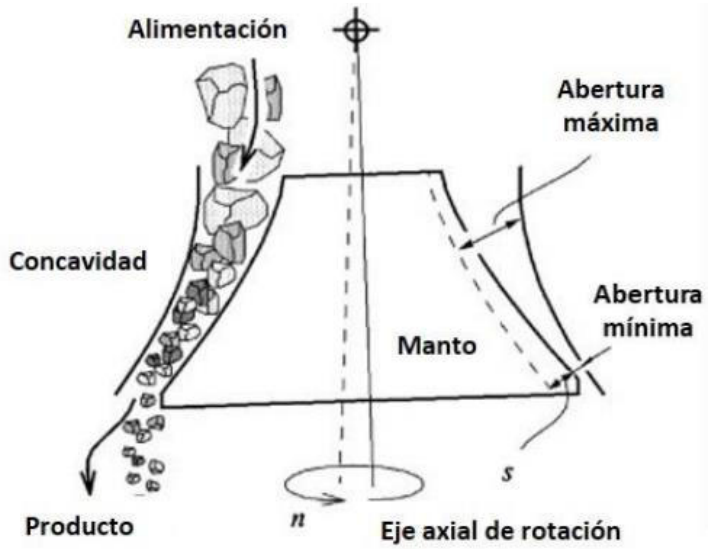
Nota. Adaptado de Okechukwu et al. (2017)

2.2.2.8. Chancadora cónica

Estas máquinas, derivadas de las chancadoras giratorias, presentan diferencias importantes en su estructura y disposición de componentes, lo que las hace particularmente eficientes en el chancado secundario. El principio de funcionamiento de una chancadora cónica se basa en la interacción entre un eje y un cono giratorio de acuerdo con la Figura 6.

Figura 6

Esquema del funcionamiento de una chancadora cónica



Nota. Tomado de Navarro (2020, p.33)

Este conjunto está diseñado para triturar materiales al atraparlos entre el cono y una superficie fija o cóncava. A diferencia de las chancadoras giratorias, donde el conjunto de eje y cono está suspendido desde un punto superior conocido como spider, en las chancadoras cónicas, este conjunto está soportado en un descanso en la parte inferior del equipo. Este diseño mejora la estabilidad del mecanismo y permite ajustes más precisos en la operación. Otro aspecto distintivo es la abertura de alimentación, que varía en función del diseño y uso específico en el proceso, esto debido a que son versátiles, adaptándose tanto a procesos de chancado secundario como terciario (Bernal, 2023, p.5).

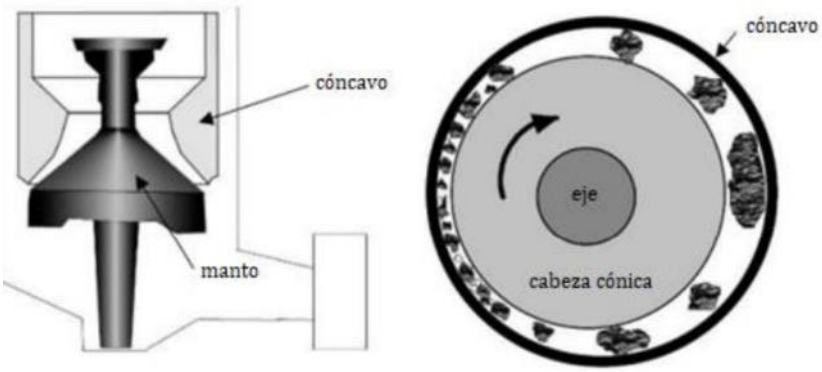
En el mercado industrial, destacan los modelos de fabricantes reconocidos como Metso (series GP, HP y MP), Sandvik (series CS y CH derivadas de la Hydrocone de Allis Chalmers), FLSmidth (modelos Raptor®), Pegson, Terrex y Kawasaki. Entre ellos, los modelos de Metso y Sandvik son los más referenciados en investigaciones académicas (Yamashita et al., 2021, p.2).

2.2.2.9. Funcionamiento de las chancadoras cónicas

El funcionamiento de estas chancadoras implica un movimiento excéntrico del cono giratorio, que aplica presión sobre el material alimentado como se aprecia en la Figura 7. Este mecanismo fragmenta las rocas mediante compresión, lo que genera productos finales con tamaños uniformes y consistentes. La eficiencia de este proceso, junto con la durabilidad de su diseño, hace que las chancadoras cónicas sean una de las maquinarias más utilizadas en plantas de procesamiento que manejan altos volúmenes de material (Cancino, 2022, p. 5).

Figura 7

Esquema de las partes y mecánica de una chancadora de cono



Nota. Tomado de Bernal (2023. p. 6)

El manto cónico, recubierto por un revestimiento protector denominado liner, está diseñado para resistir el desgaste provocado por el contacto continuo con las rocas. La distancia mínima entre el manto y la concavidad, conocida como Closed Side Setting (CSS), es ajustable y determina el tamaño del producto triturado. Por otro lado, la distancia máxima, llamada Open Side Setting (OSS), define el movimiento total del manto, conocido como stroke o desplazamiento excéntrico. El control del CSS puede realizarse en línea en muchos modelos comerciales, lo que permite adaptarse rápidamente a las condiciones del proceso. Sin embargo, el ajuste de la velocidad excéntrica, aunque posible mediante variadores de frecuencia, no es una práctica común en la industria debido a los altos costos asociados (Yamashita et al., 2021, p.3).

La eficiencia de una chancadora de cono depende en gran medida del desgaste del *liner*. Cuando este revestimiento alcanza niveles de desgaste críticos, debe ser reemplazado como parte de la rutina de mantenimiento. Además, variables como la relación de compresión (definida como el

cociente entre el *stroke* y el espesor de la cama de material), las propiedades del material de alimentación y el diseño del equipo influyen en su rendimiento (Bernal, 2023. pp. 5-6).

2.2.2.10. Chancadora cónica Lokotrack LT200HP

El equipo Lokotrack LT200HP de la Figura 8 es una planta móvil de chancado diseñada para aplicaciones de trituración secundaria y terciaria en procesos de múltiples etapas, como la producción de balasto ferroviario, asfalto y fracciones de concreto. Pesa 32 toneladas y está basado en la reconocida chancadora de cono Nordberg HP200 de alta capacidad, fiabilidad y bajos costos operativos debido al reducido desgaste de sus piezas. La Chancadora Nordberg HP200 con una abertura de alimentación de 185 mm (7.28") se acciona mediante una transmisión directa por correa desde la caja de engranajes, lo que permite un ahorro de combustible de hasta un 15% en comparación con sistemas hidráulicos. Funciona con un motor CAT de 310 kW (415 hp) y el sistema de control Metso IC integrado en el equipo permite una alimentación constante y uniforme al triturador, ofreciendo controles automáticos para el proceso de trituración, un inicio de operaciones con un solo botón y diagnósticos avanzados de fallas, lo que optimiza la experiencia de uso y reduce tiempos de inactividad. El modelo LT200HPS, además, puede equiparse con cribas desmontables de una o dos plataformas, lo que lo convierte en una solución eficiente para aplicaciones de trituración y cribado que demandan alta capacidad, productos finales de forma precisa, dimensiones compactas para su transporte y una elevada calidad en el producto terminado (Metso, 2024, p.28).

Figura 8

Chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™



Nota. Tomado de Metso (2024). En el Anexo 2 se adjuntan las especificaciones técnicas de acuerdo con el fabricante.

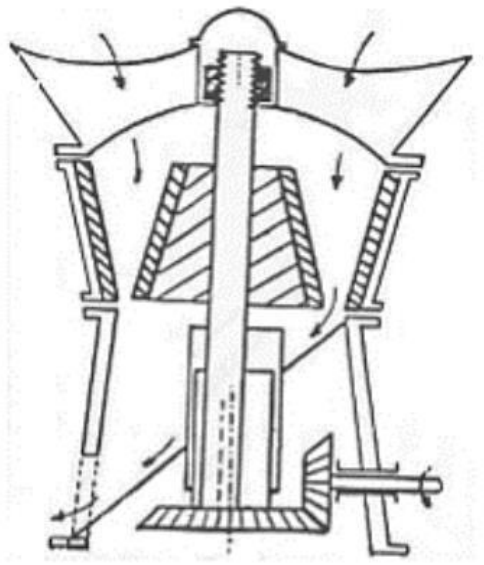
2.2.2.11. Chancadora giratoria

Su estructura básica se compone de un eje central unido a un cono triturador, dispuesto dentro de un cuerpo cónico fijo. Este conjunto de eje y cono giratorio se encuentra suspendido en el interior del cuerpo externo cónico, sostenido por un soporte superior conocido como "spider". La suspensión permite un movimiento giratorio que constituye el principio operativo de esta maquinaria (Sangüeza, 2024, p.66).

El material para triturar ingresa por la parte superior de la chancadora (Figura 9), cayendo por gravedad hacia la cámara de trituración, un espacio delimitado por el cono giratorio y las paredes internas del cuerpo cóncavo. En esta cámara, las partículas de material son sometidas a intensas fuerzas de compresión y fricción, generadas por el movimiento continuo del cono giratorio contra las superficies del cóncavo. Este proceso descompone el material en fragmentos de menor tamaño, que se van evacuando por la parte inferior del equipo (Salmón, 2017, p.19).

Figura 9

Esquema de una chancadora giratoria



Nota. Tomado de Pástor (2017, p.31)

Una de las características distintivas de las chancadoras giratorias es su versatilidad en cuanto a dimensiones, lo que les permite adaptarse a diferentes aplicaciones según las necesidades del proceso. En función de su tamaño y diseño, pueden ser empleadas tanto para el chancado primario, que implica la reducción inicial de material bruto de gran tamaño, como para el chancado secundario, donde se busca un producto más fino y uniforme.

2.2.2.12. Chancadora de rodillos

Las chancadoras de rodillos representan un diseño tradicional en los procesos de reducción de tamaño de materiales, aunque su aplicación ha disminuido con el tiempo debido a la preferencia por tecnologías más avanzadas como las chancadoras cónicas. Estas ofrecían una solución práctica en su tiempo para ciertos escenarios específicos, pero su limitada capacidad para manejar materiales heterogéneos y asegurar una

granulometría uniforme marcó el fin de su predominio en favor de tecnologías más avanzadas y versátiles en la industria del procesamiento de minerales y producción de agregados (Ramos y Vega, 2015, p.22).

Su principio de funcionamiento se basa en la compresión ejercida entre dos rodillos que giran en direcciones opuestas, permitiendo la fractura controlada del material alimentado. Este tipo de chancadora se utilizaba principalmente en etapas terciarias de chancado, donde la reducción adicional del tamaño del material es importante para el procesamiento final (Sangüeza, 2024, p.57).

El mecanismo de operación de estas chancadoras consistía en un sistema que incluía un rodillo fijo y otro montado sobre un dispositivo de resortes. Este diseño permitía que el rodillo móvil se desplazara ligeramente ante la presencia de partículas especialmente resistentes, ajustándose automáticamente para evitar bloqueos o daños en los componentes. Este mecanismo flexible resultaba ventajoso para manejar alimentaciones heterogéneas y prevenir un desgaste prematuro de los rodillos, además de optimizar el consumo energético y minimizar problemas operativos. Sin embargo, las chancadoras de rodillos enfrentaban ciertas limitaciones inherentes a su diseño. En situaciones donde el material alimentado contenía partículas difíciles de fragmentar, el sistema de resortes permitía la apertura de los rodillos para dejar pasar estos fragmentos. Si bien esto reducía el desgaste y prevenía problemas como el atrapamiento de material, también limitaba la eficacia del proceso al permitir que partículas de mayor tamaño escaparan sin ser adecuadamente trituradas. Este compromiso entre flexibilidad y control de tamaño de producto contribuyó a

su paulatino reemplazo por alternativas tecnológicas más consistentes y eficientes (Ramos y Vega, 2015, p.22).

2.2.3. Agregados

Los agregados son componentes principales en la construcción, derivados de la trituración, ya sea natural o artificial, de diversas piedras. Este término se refiere al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o manufacturado, cuyas dimensiones están definidas dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.011. En su forma más común, los agregados se presentan como una mezcla de arena y piedra de granulometría variable y su relevancia radica en que constituyen aproximadamente el 75% del volumen de una unidad cúbica de concreto, siendo la fase discontinua de este material compuesto (Fonseca et al., p.20).

Los agregados aportan la base inerte y sólida del concreto compuesto por aglomerantes como cemento o cal, que en combinación con agua actúa como Componente cohesivo.

En cuanto a su composición, los agregados están formados por partículas minerales de diversos tipos de roca, como arenisca, granito, basalto o cuarzo, así como combinaciones de estos. Su granulometría es variable, abarcando desde partículas diminutas, apenas visibles, hasta fragmentos de piedra de mayor tamaño. Esta diversidad de tamaños y materiales permite a los agregados adaptarse a las diferentes necesidades de resistencia, durabilidad y textura requeridas en los proyectos de construcción (Acosta, 2018, p.14).

2.2.3.1. Clasificación de los agregados

Los agregados se clasifican de diversas maneras, atendiendo a sus características físicas, su origen y su comportamiento en las mezclas. Una de las clasificaciones más comunes divide a los agregados en dos grandes grupos: finos y gruesos, según el tamaño de sus partículas (Fonseca et al., 2017, p.21).

Otra clasificación importante de los agregados tiene en cuenta su naturaleza. Los agregados naturales son los que se extraen directamente de la naturaleza, como la arena, la grava o de los ríos. Por otro lado, los agregados artificiales son aquellos obtenidos mediante procesos industriales, como la escoria de altos hornos o la piedra triturada con equipos, que ofrecen características específicas que pueden ser más útiles dependiendo de la aplicación (Fonseca et al., 2017, p.22).

La clasificación de los agregados también se puede hacer según su densidad. Los agregados de peso específico normal tienen valores que varían entre 2.50 y 2.75, lo que indica su comportamiento estándar en términos de peso y volumen. Por su parte, los agregados ligeros tienen un peso específico inferior a 2.5, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere reducir el peso de la estructura, como en la construcción de edificios de varios pisos. Finalmente, los agregados pesados, con un peso específico superior a 2.75, son ideales para aplicaciones que requieren alta densidad, como en la fabricación de concreto para contrarrestar radiaciones o para la construcción de infraestructuras pesadas (Acosta, 2018, p.15).

Otra clasificación de los agregados se basa en su forma y textura

superficial, lo que influye directamente en su comportamiento al ser mezclados con otros materiales. Los agregados pueden presentar diversas formas geométricas, desde las más irregulares hasta las completamente redondeadas. Los agregados angulares tienen bordes y caras poco desgastados, lo que les da una forma más puntiaguda y facilita su interconexión en la mezcla, pero también aumenta la necesidad de agua para lograr una mezcla homogénea. Los subangulares, por su parte, presentan algo de desgaste en las caras y los bordes, mientras que los subredondeados muestran un desgaste considerable. Los agregados redondeados tienen bordes casi eliminados por la erosión o el transporte, lo que les otorga una mayor fluidez en la mezcla. Finalmente, los muy redondeados carecen casi por completo de caras y bordes, lo que les da una apariencia más suave y los hace menos adecuados para situaciones donde se requiere una alta adherencia entre los componentes de la mezcla.

Esta diversidad en la clasificación de los agregados permite seleccionar los agregados según las necesidades específicas de cada proyecto de construcción, de acuerdo a sus requerimientos de resistencia, durabilidad y eficiencia del material final (García, 2015, p.22).

2.2.3.2. Agregado fino

El agregado fino se define como aquel material que pasa por el tamiz de 3/8“ y queda retenido en la malla N° 200. Este material, cuyo ejemplo más común es la arena, es un producto derivado de la desintegración natural o manufacturada de las rocas. Estos presentan tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm, siendo utilizados ampliamente en la construcción debido a sus características físicas (Peñaloza, 2020, p.14).

Una de las propiedades más importantes de los agregados finos es su módulo de finura, un índice que permite evaluar su nivel de granulometría. Este valor, que es inversamente proporcional a la finura del material, se calcula siguiendo las normas ASTM C125. El procedimiento implica sumar los porcentajes acumulados en peso de las partículas retenidas en una serie especificada de mallas y dividir el resultado entre 100. Un módulo de finura elevado indica un material más grueso, mientras que valores menores sugieren una mayor finura en sentido estricto (Nina, 2022, p. 24).

El módulo de finura no solo es un indicador de las características granulométricas del agregado fino, sino que también se utiliza para determinar las proporciones adecuadas de agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. Este balance es esencial para lograr las propiedades deseadas del concreto, ya que la cantidad de partículas que pasan por las mallas de 0.30 mm (No. 50) y 1.15 mm (No. 100) influye significativamente en la funcionalidad y la textura superficial del material resultante (Copaja y Florez, 2021, pp. 19-20).

2.2.3.3. Agregado grueso

El agregado grueso es otro de los principales materiales en la construcción, caracterizado por estar compuesto de partículas que quedan retenidas en el tamiz N°4, derivadas del chancado de rocas. Este material se clasifica principalmente en dos tipos: piedra chancada, obtenida por procesos mecánicos, y grava, que se encuentra en forma natural. La correcta selección y clasificación del agregado grueso no solo influye en la calidad y durabilidad del concreto, sino que también impacta significativamente en la economía y eficiencia de las construcciones. Por ello, su elección debe

realizarse atendiendo tanto a las características del proyecto como a los estándares técnicos establecidos (Hernández y Sánchez, 2021, p.9).

La granulometría del agregado grueso abarca tamaños de partículas que pueden alcanzar hasta los 152 mm, aunque los tamaños más comúnmente empleados en la construcción oscilan entre 19 mm y 25 mm. La elección del tamaño máximo del agregado grueso responde a razones económicas, ya que las partículas más pequeñas suelen requerir mayor cantidad de agua y cemento para alcanzar un revenimiento de aproximadamente 7.5 cm, lo que incrementa los costos de producción del concreto (Copaja y Florez, 2021, pp. 19-20).

El concepto de "tamaño máximo nominal" se utiliza en la selección de agregados y se define como el menor tamaño de la malla por la cual debe pasar la mayor parte del material. Por ejemplo, en un agregado de número de tamaño 67, el tamaño máximo es de 25 mm, mientras que su tamaño máximo nominal es de 19 mm. En este caso, entre el 90% y el 100% del material debe atravesar la malla de 19 mm, y la totalidad de las partículas debe pasar por la malla de 25 mm. Además, las normas estipulan que el tamaño máximo de las partículas no debe exceder ciertos límites, como un quinto de la dimensión más pequeña del elemento de concreto o tres cuartos del espacio libre entre barras de refuerzo (Acosta, 2018, p.16).

2.2.3.4. Agregados y concreto

El concreto se forma a partir de la combinación de cemento, agua y agregados, siendo estos últimos los componentes con mayor proporción en la mezcla. Los agregados, lejos de ser elementos inertes, desempeñan una función importante debido a las propiedades que aportan al material

resultante. Su influencia se extiende tanto al estado plástico del concreto como al endurecido, afectando características clave como la trabajabilidad, consistencia, durabilidad, resistencia, propiedades elásticas, térmicas, cambios volumétricos y peso unitario (García, 2015, p.23).

En su estado plástico, los agregados contribuyen a mejorar la trabajabilidad y reducir el contenido de pasta de cemento y agua necesario por unidad cúbica, actuando como un esqueleto o relleno estructural. Esto no solo optimiza la mezcla, sino que también reduce los costos y mejora la eficiencia en la aplicación del concreto. Una vez endurecido, los agregados confieren al concreto una masa resistente a fuerzas mecánicas, desgaste y condiciones adversas del entorno. Así también, minimizan los cambios volumétricos que ocurren debido al fraguado, endurecimiento, ciclos de humedecimiento y secado, o fluctuaciones térmicas. Esta estabilidad contribuye a la durabilidad del concreto y a su capacidad para mantener la integridad estructural en el tiempo (Peñaloza, 2020, p. 25).

2.3. Definición de términos

Agregados

Los agregados son materiales inorgánicos, naturales o artificiales, utilizados como componente principal en la fabricación de concretos y morteros, donde se combinan con aglomerantes como el cemento o la cal y agua. Se dividen en dos tipos: finos, como arenas naturales o manufacturadas con partículas de hasta 10 mm, y gruesos, con partículas mayores que se retienen en mallas No. 16, alcanzando tamaños de hasta 152 mm. Representan alrededor del 75% del volumen del concreto y constituyen su fase discontinua (Fonseca et al., 2017, p.20).

Chancadora

Una chancadora es una máquina diseñada para triturar o desintegrar materiales y minerales, adaptándose a diferentes necesidades según el tipo de chancado requerido. A lo largo del tiempo, estas máquinas han evolucionado en su construcción y diseño, permitiendo una especialización que optimiza su funcionamiento para diversas aplicaciones en la reducción de tamaño de materiales (Ortiz y Flores, 2012, p.6).

Chancado

El chancado es el proceso de desintegración del material extraído de la cantera en diferentes etapas mediante el uso de diversas máquinas diseñadas para reducir progresivamente su tamaño. Este proceso comienza con el chancado primario, en el que el material bruto es tratado por primera vez en una chancadora. Si el material resultante requiere una mayor reducción, se envía a una segunda máquina, constituyendo el chancado secundario. En caso de necesitarse una disminución adicional en el tamaño, se realiza el chancado terciario. Cada etapa está diseñada para adecuar el material a los requerimientos específicos de las fases subsecuentes del proceso industrial (Pastor, 2022, p.14).

Chancadora de Mandíbula

Una chancadora de mandíbula es un equipo de trituración utilizado en la etapa primaria de reducción de tamaño de materiales minerales o rocosos. Su principio de funcionamiento se basa en la compresión discontinua del material, que es atrapado entre dos placas o mandíbulas: una fija y otra móvil. Al moverse la mandíbula móvil hacia la fija, el material se fragmenta

en partículas más pequeñas (Okechukwu et al, 2017, p. 815).

Chancado Primario

El chancado primario es el proceso inicial dentro de la cadena de reducción de tamaño de materiales provenientes directamente de la explotación minera. Este procedimiento tiene como objetivo disminuir el tamaño del material bruto, facilitando su posterior tratamiento en etapas subsecuentes del procesamiento mineral. Los equipos empleados en esta etapa se caracterizan por su durabilidad y capacidad para manejar grandes dimensiones de entrada y su característica para separar o rechazar elementos no deseados. En la operación, se utilizan predominantemente fuerzas de compresión e impacto, lo que genera un desgaste significativo en las partes críticas (Pastor, 2022, p.16).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es aplicada porque busca resolver problemas prácticos específicos utilizando conocimientos científicos o técnicos. Este estudio busca mejorar la producción y reducir costos en el procesamiento de material, lo que tiene una utilidad directa y práctica en la producción de agregados en Moquegua.

La investigación es cuantitativa porque se enfoca en recopilar y analizar datos numéricos para estudiar patrones y relaciones entre variables. Utiliza métricas objetivas como la producción en toneladas métricas diarias (TMD) y la granulometría en pulgadas para medir los efectos de la implementación de nuevos equipos de chancado.

3.2. Diseño de la investigación

La presente investigación tiene un diseño cuasi-experimental. Un estudio cuasi-experimental implica la manipulación de una variable independiente, pero carece de una asignación aleatoria de los sujetos o unidades de análisis a los grupos experimentales y de control. La investigación manipula la variable independiente (equipos de chancado) para observar su efecto en la variable dependiente (producción y costos), estudiando una cantera de agregados en Moquegua.

El nivel descriptivo busca observar y detallar las características o comportamiento de las variables de estudio sin determinar relaciones de causa-efecto profundas. La presente investigación analiza cómo nuevos equipos mejoran producción y reducen costos, detallando cambios en variables dependientes sin abordar causas profundas.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

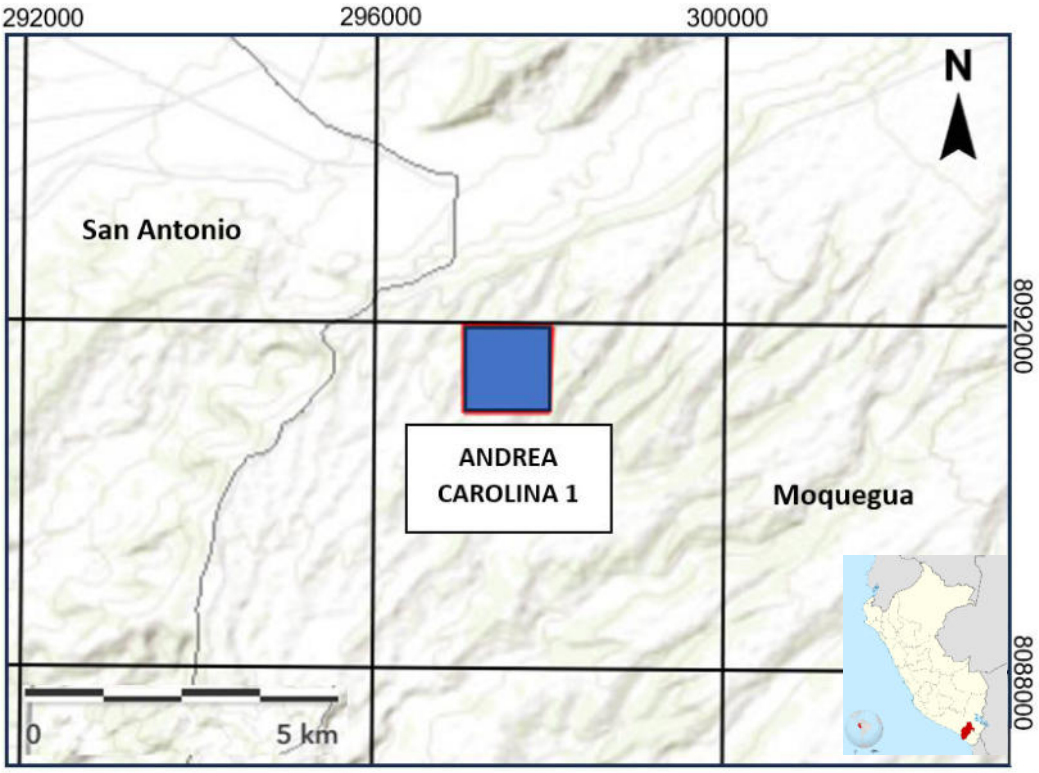
Canteras de producción de agregados artificiales mediante chancado primario de la región de Moquegua.

3.3.2. Muestra

La muestra está conformada por la cantera de agregados de la empresa Transportes Zuñiga S.R.L. ubicada en la región de Moquegua. La Figura 10 señala la ubicación de la cantera en la concesión Andrea Carolina 1.

Figura 10

Ubicación de la cantera de agregados – Minería no metálica



Nota. Ubicación de concesión no metálica Andrea Carolina 1 en UTM.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección

3.4.1. Técnicas

Para el desarrollo de la investigación orientada a proponer estrategias de innovación para mejorar la producción y reducir costos en el procesamiento

de material en una cantera de agregados, se han utilizarán dos técnicas principales de recolección de datos: la observación directa y el análisis documental.

3.4.1.1. Observación directa

La observación directa se aplicará en el estudio del rendimiento operativo de los equipos de chancado y se registrarán los datos de producción diaria y las características del material procesado de dos meses. Esto permitirá analizar el desempeño de los equipos, especialmente de la chancadora cónica LT200HP, y verificar su contribución a la mejora de la producción en términos de toneladas métricas secas (TMD) y granulometría.

3.4.1.2. Análisis documental

El análisis documental se centrará en la recopilación y evaluación de los registros internos operativos y financieros de la cantera de agregados. A partir de esto se desglosarán los costos de producción, considerando factores como insumos, equipos, transporte y mano de obra. La información recopilada mediante este análisis servirá para calcular el costo por metro cúbico de material producido, evaluando cómo la implementación de equipos avanzados puede optimizar los costos a largo plazo.

3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos

3.4.2.1. Formato de análisis de granulometría

Se utilizará el Formato de análisis de Granulometría de la Figura 11 para hacer un desglose de las características granulométricas del material agregado considerando los materiales, los equipos involucrados, el transporte y la mano de obra.

Figura 11

Formato de análisis granulométrico

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINOS

Obra: Construcción del Pavimento a nivel de Carpeta Asfáltica,

(ASTM C-136/C136M - 14, ASTM C-117 - 17)

Descripción:	Material Piedra de 1/2" , produccion del dia Cantera Andrea Carolina I		Registro: Produccion del Dia M-3
No. De Contrato:	Clasificación de inspección		Hecho por:
Contratista: TRANSPORTES ZUÑIGA SRL	Contratista [X] Arcadis [ ]		Turno: Dia
	SMI [ ] Otro [ ]		Hora de ensayo: 4:00 PM
Material: Prueba PIEDRA DE 1/2" PARA ASFALTO	Punto de muestreo: Cantera Gabi I		Fecha de muestreo: 16-11-24
DATOS DE LA MUESTRA			Fecha de ensayo : 16-11-24
Muestra de produccion Diaria	TAMAÑO MAXIMO : 1/2"		
	Peso inicial seco : 9211.0 g		
	Fracción : g		

TAMIZ	Abertura (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Grad. 4a PREFILTR	
10"	254.000						
9"	228.600						
8"	203.200						
7"	177.800						
6"	152.400						
5"	127.000						
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700				100.00	100	100
3/8"	9.500	1245.0	13.5	13.5	86.48	80	95
1/4"	6.300						
Nº 4	4.750	6524.0	70.8	84.4	15.65	12	22
Nº 8	2.360	1267.0	13.8	98.1	1.89	1	6
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	42.0	0.5	98.6	1.43	0	3
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	12.0	0.1	98.7	1.30		
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300	9.0	0.1	98.8	1.20		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	18.0	0.2	99.0	1.00		
Nº 200	0.075	39.0	0.4	99.4	0.58	0	2
< Nº 200	FONDO	55.0	0.6	100.0			

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

Contenido de Humedad (%) :
Límite Líquido (LL) :
Límite Plástico (LP) :
Índice Plástico (IP) :
Clasificación (SUCS) :
Clasificación (AASHTO) :
Índice de Grupo :
Descripción (AASHTO) :
Módulo de Fineza :
Materia Orgánica :
Turba :

% Grava: 84.35 % Arena: 15.07 % Finos: 0.58

D10= - D30 = - D60 = -

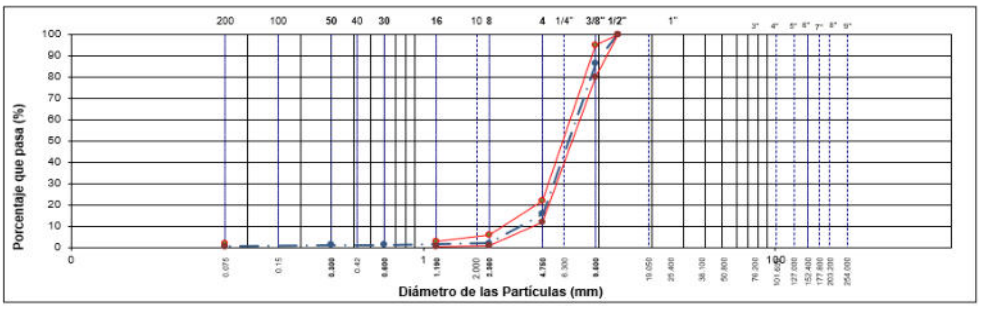
Cu= - Cc= -

Fracción Pasa No 200: 0.58

P.U.S - P.U.C -

OBSERVACIONES :

CURVA GRANULOMETRICA



Nota. Elaboración propia en base a los formatos de la empresa.

3.4.2.2. Registro de control de producción

Para calcular la producción TMD, así como la productividad de las máquinas chancadores se utilizará el Registro de Control de Producción-Agregados de la empresa de la Figura 12. El cual servirá para calcular la

cantidad de material producido en metros cúbicos por equipo, por día y de acuerdo con las características del material resultante.

Figura 12

Registro de Control de Producción

ANDRÉ CAROLINA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
PRODUCCIÓN/FECHA	15-ENE	16-ENE	17-ENE	18-ENE	19-ENE	20-ENE	21-ENE
PLANTA Nº 01							
BASE GRANULAR SIN CHANCADO (m³)	240	240	150		200	120	300
PIEDRA CHANCADA (m³)	60			200	40	180	
MATERIAL PUESTO ACOPIO QUELLAVECO APROBADO (m³)							
PIEDRA PARA ASFALTO (m³)							
ARENA PARA ASFALTO (m³)							

Nota. Elaboración propia en base los formatos de la empresa.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados del objetivo específico 1: Mejora del procesamiento de materiales con chancadora cónica LT200HP

Para medir los resultados de la implementación de materiales con la chancadora cónica LT200HP se tomaron en cuenta los datos de producción Enero a agosto del 2024, debido a que durante este periodo se atendió un contrato de abastecimiento de 80 000 m³ de material para un proyecto de infraestructura (material para asfalto). Los datos de producción se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Producción de materiales periodo enero – agosto 2024

	Producción acumulada		Producción promedio diaria	
Mes	Base Granular (m^3)	Piedra Chancada (m^3)	Base Granular (m^3)	Piedra Chancada (m^3)
Enero	3,140	770	185	128
Febrero	13,009	5830	520	343
Marzo	9,550	4810	682	481
Abril	6,640	4320	511	309
Mayo	1,140	0	380	0
Junio	5,460	4880	496	375
Julio	6,340	4300	576	391
Agosto	6,880	5380	430	299
Total	52,159	30,290		

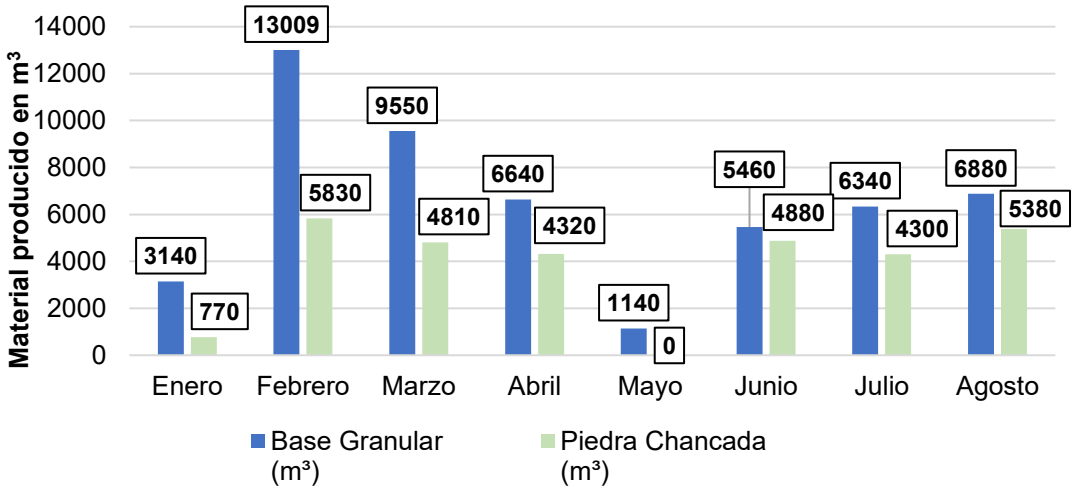
Nota. Año 2024, la base granular son materiales extraídos directamente de la cantera mientras que la piedra chancada el conjunto de materiales procesados a través del chancado primario y secundario.

De la Tabla 2, y Figura 13, se debe mencionar que durante el mes de enero se presentaron menores cifras de producción en tanto representa el inicio de producción del contrato de 80 000 m^3, el cual empezó en la última semana de enero. Por otro lado, en el mes de mayo la producción disminuyó en tanto hubo una parada no programada de equipos. En consecuencia, los datos de estos meses se considerarán como datos

atípicos para el análisis de resultados.

Figura 13

Producción acumulada mensual de material para asfalto

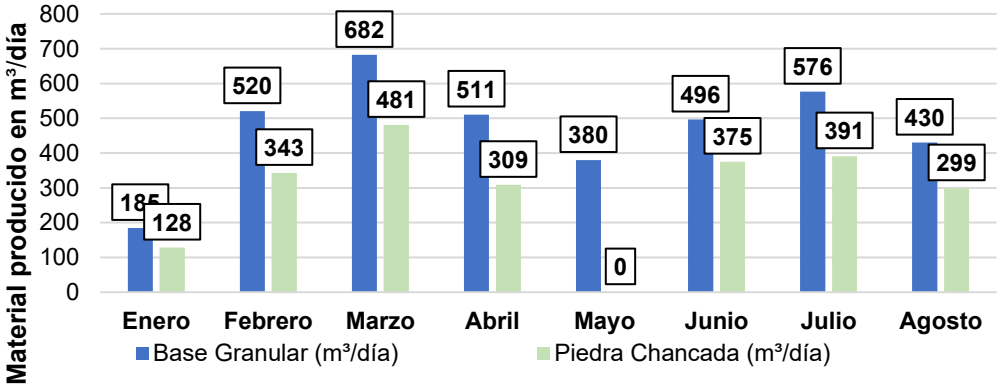


Nota. Base granular representa materiales extraídos directamente de la cantera mientras que la piedra chancada el conjunto de materiales procesados a través del chancado primario y secundario.

La Figura 14 representa la producción promedio diaria (m³/día) por mes de base granular y de piedra chancada en el periodo enero a agosto del año 2024.

Figura 14

Producción promedio de base granular y piedra chancada



Nota. Base granular representa materiales extraídos directamente de la cantera mientras que la piedra chancada el conjunto de materiales procesados a través del chancado primario y secundario.

Figura 15

Chancadora cónica LT200HP en etapa de producción



Nota. Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados de producción de material de piedra de ½”, 1” y 2”, que son los materiales producidos de enero a agosto del 2024, con la chancadora primaria de mandíbula y la adición por mejora tecnológica de la Chancadora Cónica LT200HP.

4.1.1. Mejora del procesamiento de material piedra de ½” para asfalto

El material procesado con la Chancadora Cónica LT200HP cumplió con los parámetros producción de material de piedra de ½ “para asfalto, con lo que se demuestra su efectividad, de acuerdo con la Tabla 3 y Figura 16. Se detalla la distribución del tamaño de partículas a través de diferentes tamices, desde la abertura más grande (12.7 mm) hasta el fondo. El mayor porcentaje del material se retiene en el tamiz Nº 4 (4.75 mm), con un 70.8% del total, lo que indica que la mayoría del agregado se encuentra en esta fracción.

Tabla 3

Análisis granulométrico de material piedra de ½" para asfalto

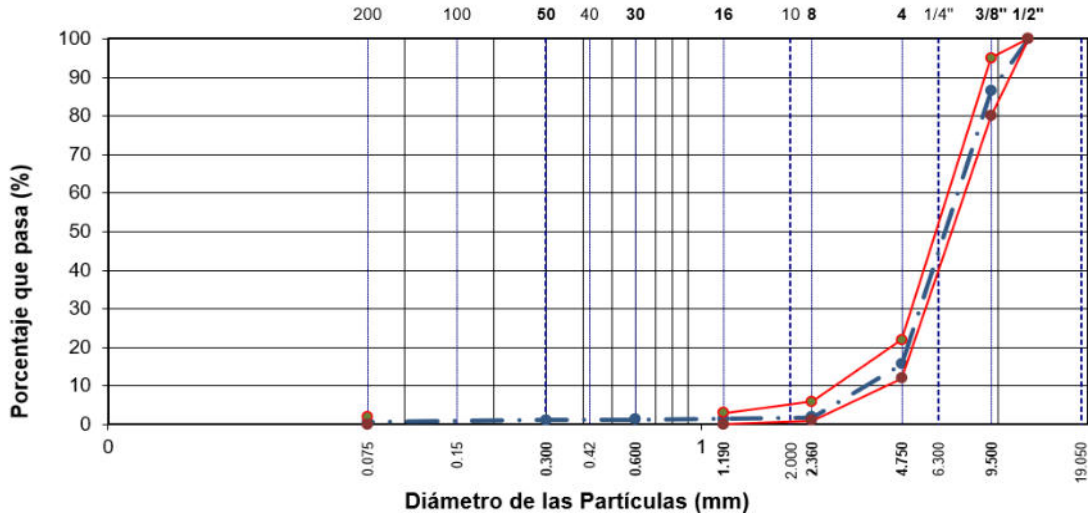
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación grad. 4a prefiltro	
1/2"	12.700				100.00	**100**	**100**
3/8"	9.500	1245.0	13.5	13.5	86.48	**80**	**95**
1/4"	6.300						
Nº 4	4.750	6524.0	70.8	84.4	15.65	**12**	**22**
Nº 8	2.360	1267.0	13.8	98.1	1.89	**1**	**6**
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	42.0	0.5	98.6	1.43	**0**	**3**
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	12.0	0.1	98.7	1.30		
Nº 40	0.425					8	20
Nº 50	0.300	9.0	0.1	98.8	1.20		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	18.0	0.2	99.0	1.00		
Nº 200	0.075	39.0	0.4	99.4	**0.58**	**0**	**2**
< Nº 200	FONDO	55.0	0.6	100.0			

Nota. Promedio de producción con datos del año 2024.

De acuerdo con la Figura 16, en general, la curva muestra que el agregado tiene una distribución centrada en fracciones medias, cumpliendo en su mayoría con los límites especificados para la gradación tipo 4a prefiltro.

Figura 16

Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 1/2"



Nota. En base a normas técnicas ASTM C-136/C136M – 14 y ASTM C-117 – 17. Promedio de producción con datos del año 2024.

4.1.2. Mejora del procesamiento de material tipo A de 1”

El material procesado con la Chancadora Cónica LT200HP cumplió con los parámetros producción de material de piedra de 1“ para asfalto, con lo que se demuestra su efectividad. La Tabla 4 muestra el análisis granulométrico del material piedra de 1” destinado para asfalto, con datos promedio de producción del año 2024. La mayor parte del material se retiene en el tamiz de ½” (12.7 mm), con un 72.2% del total, seguido por el tamiz de 3/8” (9.5 mm), que retiene un 18.0%. En conjunto, estas dos fracciones concentran casi el 90% del material. El tamiz de 3/4” (19.05 mm) retiene un 8.3%, mientras que el de 1” (25.4 mm) no retiene material, indicando que toda la muestra pasa por ese tamiz. A partir del tamiz Nº 4 (4.75 mm) hacia abajo, los porcentajes retenidos son muy bajos, casi insignificantes, lo que evidencia que el material tiene muy poca fracción fina.

Tabla 4

Análisis granulométrico de material de piedra de 1” para asfalto

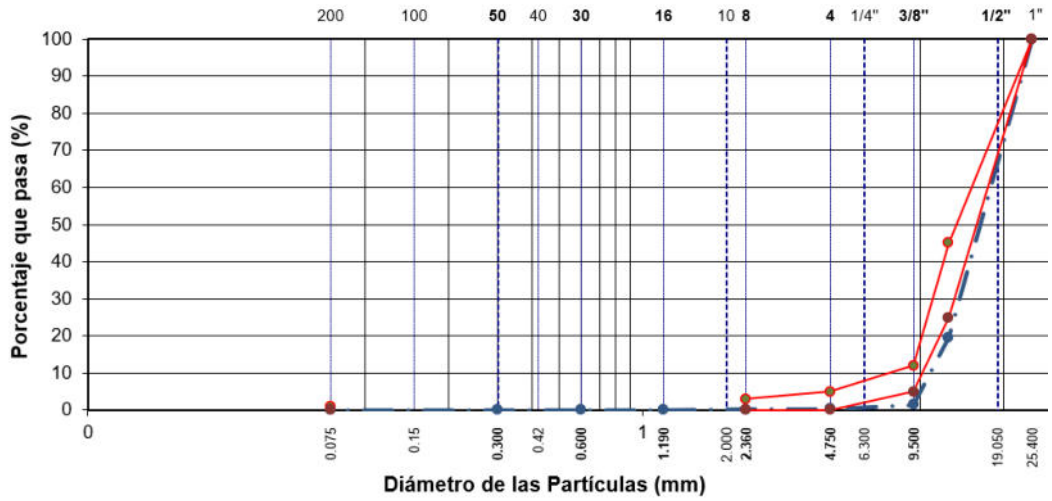
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación grad. 4a prefiltro	
1"	25.400				100.00	**100**	**100**
3/4"	19.050	800.0	8.3	8.3	91.7	**80**	**98**
1/2"	12.700	7000.0	72.2	80.5	19.5	**25**	**45**
3/8"	9.500	1745.0	18.0	98.5	1.5	**5**	**12**
1/4"	6.300						
Nº 4	4.750	115.0	1.2	99.7	0.3	**0**	**5**
Nº 8	2.360	16.5	0.2	99.8	0.2	**0**	**3**
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	4.5	0.0	99.9	0.1		
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	3.8	0.0	99.9	0.1		
Nº 40	0.425					8	20
Nº 50	0.300	2.9	0.0	99.9	0.1		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	2.0	0.0	100.0	0.0		
Nº 200	0.075	1.3	0.0	100.0	**0.0**	**0**	**1**
< nº 200	Fondo	2.0	0.0	100.0			

Nota. Promedio de producción con datos del año 2024.

De acuerdo con la Figura 17, en general, la distribución granulométrica se concentra claramente en fracciones gruesas, cumpliendo con los límites establecidos para la gradación tipo 4a prefiltro, y siendo adecuado para mezclas asfálticas que requieren agregados de mayor tamaño.

Figura 17

Base granular promedio de material tipo A con tamaño máximo de 1”



Nota. En base a norma MTC E-204. Promedio de producción con datos del año 2024.

4.1.3. Mejora del procesamiento de material tipo A de 2”

El material procesado con la Chancadora Cónica LT200HP cumplió con los parámetros producción de material de piedra de 2“ para asfalto, con lo que se demuestra su efectividad. De acuerdo con la Tabla 5, la mayor concentración del material se encuentra entre los tamices de 1 ½” (38.1 mm) y Nº 4 (4.75 mm), con los porcentajes retenidos distribuidos progresivamente: 6.8% en 1 ½”, 11.0% en 1”, 8.6% en ¾”, 10.9% en ½”, 10.4% en 3/8” y 13.0% en Nº 4. Estos valores reflejan una curva de gradación continua, donde el 60.6% del material ya ha pasado por el tamiz Nº 4. A partir de allí, se observa una disminución más pronunciada de las

fracciones finas: 8.2% retenido en Nº 10 y 12.6% en Nº 40, mientras que los porcentajes retenidos en tamices más finos (Nº 50, Nº 60, Nº 100) son prácticamente nulos.

Tabla 5

Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 2”

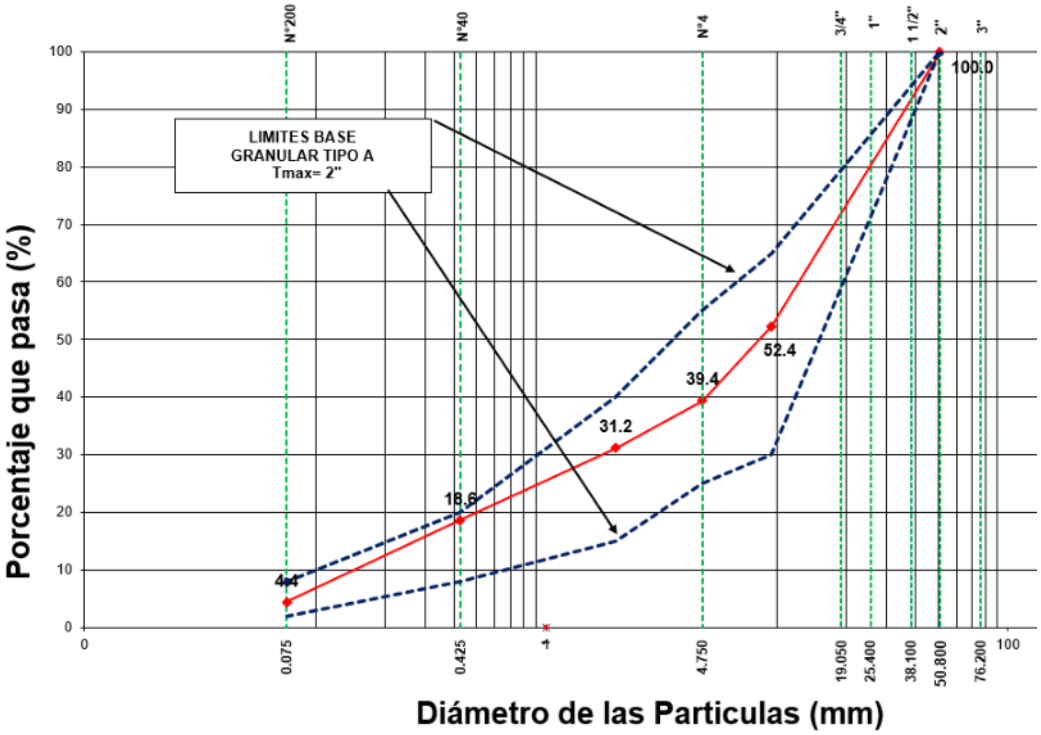
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Pasante	Gradación	
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1 1/2"	38.100	3254.0	6.8	6.8	93.2		
1"	25.400	5246.0	11.0	17.8	82.2		
3/4"	19.050	4121.0	8.6	26.4	73.6		
1/2"	12.700	5214.0	10.9	37.3	62.7		
3/8"	9.500	4956.0	10.4	47.6	52.4	30	65
Nº 4	4.750	6214.0	13.0	60.6	39.4	25	55
Nº 10	2.000	198.0	8.2	68.8	31.2	15	40
Nº 20	0.840		0.0	68.8	31.2		
Nº 40	0.425	305.0	12.6	81.4	18.6	8	20
Nº 50	0.300	0.0	0.0	81.4	18.6		
Nº 60	0.177	0.0	0.0	81.4	18.6		
Nº 100	0.150	0.0	0.0	81.4	18.6		
Nº 200	0.075	345.0	14.2	95.6	4.4	2	8
< Nº 200	FONDO	106.0	4.4	100.0	0.0		

Nota. Material clasificado como arena bien gradada con limo en sistema SUCS y como fragmento de piedra y arena clasificado como AASHTO A-1-a(1). Promedio de producción con datos del año 2024.1

La curva granulométrica de la Figura 18 muestra que se encuentra dentro de los rangos especificados para mezclas tipo A, y respalda su clasificación SUCS como SW-SM (arena bien gradada con limo) y AASHTO A-1-a(1), lo que indica que se trata de un material compuesto por fragmentos de piedra y arena, apto para obras de pavimentación. Esto demuestra que el equipo de procesamiento es eficiente y adecuado para producir agregados de calidad conforme a los requisitos técnicos.

Figura 18

Granulometría promedio de material tipo A con tamaño máximo de 2”



Nota. La línea roja denota el resultado de las pruebas de laboratorio de granulometría, las líneas punteadas azules denotan los límites máximos según norma técnica.

Por lo tanto, la implementación de la Chancadora Cónica LT200HP tuvo buenos resultados en asegurar la calidad del material de acuerdo a los requerimientos de estandarización para proyectos de infraestructura.

4.1.4. Mejora de reutilización de material

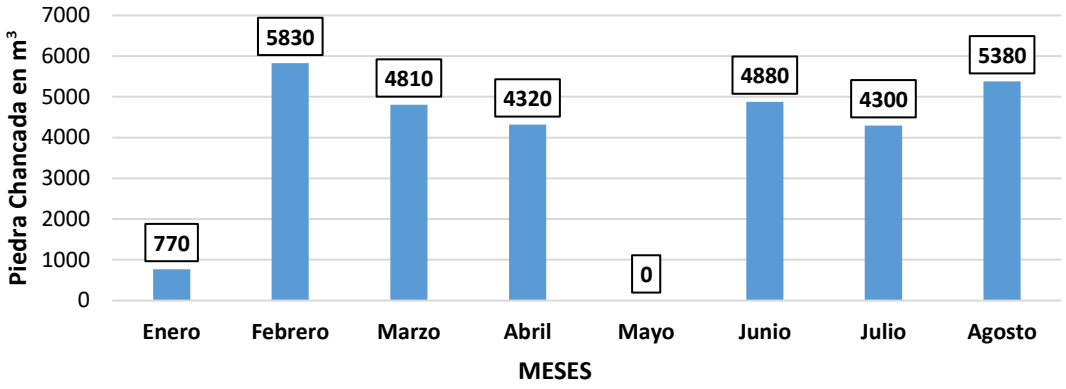
Con la introducción de la Chancadora Cónica LT200HP, se logró mejorar la reutilización del material para cumplir con contratos de material de asfalto de ½”, 1” y 2”, por un monto de 80000 m³, lo cual no hubiera sido posible con solo una chancadora primaria.

Con la introducción por mejora tecnológica de la chancadora cónica se

logró incrementar el material procesado. La Figura 19 muestra el material reutilizado.

Figura 19

Material reutilizado por mes, periodo enero a agosto del 2024



Nota. En el mes de mayo la producción fue menor por una parada de equipo no programada.

Como resultado la adición por mejora tecnológica de la Chancadora Cónica LT200HP permitió la reutilización de hasta 30 290 m³ de material. En promedio el equipo añadido permite la reutilización de 3786 m³ de material al mes. Teniendo en cuenta que el precio de venta por m³ de piedra chancada es de 40 soles en promedio, pudiendo variar por el transporte al sitio de obra, esto se traduce en un ingreso adicional anual de hasta USD 497,884 anuales gracias a la reutilización del material over y su transformación material agregado.

4.1.5. Comparación de la producción tras la puesta en marcha de la chancadora cónica LT200HP

La Tabla 6 se muestra la comparación de la producción de material de agregado entre los años 2023 y 2024 observando mejora significativa en la eficiencia operativa, producto de la implementación de la chancadora cónica LT200HP durante el 2024. Si bien los valores mensuales de

producción en algunos meses del 2024, como enero y mayo, fueron inferiores a los de 2023, el promedio mensual general aumentó de 9,887 m³ en 2023 a 10,306 m³ en 2024. Esto refleja una tendencia positiva, sobre todo considerando que la cifra de 2024 se proyecta a partir de los datos disponibles hasta agosto. En cuanto al total anual, la producción proyectada para 2024 es de 123,674 m³, lo que representa un incremento del 4.2% respecto al año anterior,

Tabla 6

Mejora de producción de piedra chancada después de la implementación de la chancadora cónica LT200HP

Mes	**Producción 2023 (m^3)**	**Producción 2024 (m^3)**
Enero	10,042	3,910
Febrero	11,744	18,839
Marzo	14,757	14,360
Abril	8,005	10,960
Mayo	9,010	1,140
Junio	10,320	10,340
Julio	8,452	10,640
Agosto	8,620	12,260
Setiembre	5,750	(sin datos)
Octubre	13,064	(sin datos)
Noviembre	9,860	(sin datos)
Diciembre	9,020	(sin datos)
Total anual	**118,644**	**123,674 (proyectado)**
Producción mensual	**9887**	**10,306**

Nota. Elaborado con los datos de producción del año 2023 cuando no estaba implementada la chancadora cónica y con los datos disponibles de enero a agosto del 2024 con la adición de la chancadora cónica.

Más allá de los volúmenes de producción, en el año 2024 gracias al equipo LT200HP se logró la reutilización de material over, logrando reaprovechar 30,290 m³ que en condiciones anteriores habrían sido desechados o

habrían requerido nueva extracción. Esto representa una mejora de eficiencia en términos de costos, sostenibilidad y aprovechamiento de recursos, ya que se logró aumentar la productividad sin necesidad de incrementar la extracción de base granular adicional de la cantera.

4.2. Resultados del objetivo específico 2: Reducción costos de producción

Para la reducción de costos de la adición de la Chancadora Cónica LT200HP se compararon los costos de chancado de acuerdo con el consumo de energía. La chancadora de mandíbula consume 8 galones de combustible por hora, mientras que la chancadora cónica consume tan solo 4 galones, es decir es 100% más eficiente en el consumo energético, de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7

Reducción de costos de producción de piedra chancada

Concepto	USD /Galón	Horas	Galón /hora	Total horas año	Costo Anual
Combustible - Grupo electrógeno Luminarias (Galón)	$5.12	10	0.64	4896	$16,043.21
Combustible - Chancadora Cónica LT200HP (Galón)	$5.12	16	4	4896	$100,270.08
Combustible - Chancadora Primaria LT200HP (Galón)	$5.12	16	8	4896	$200,540.16

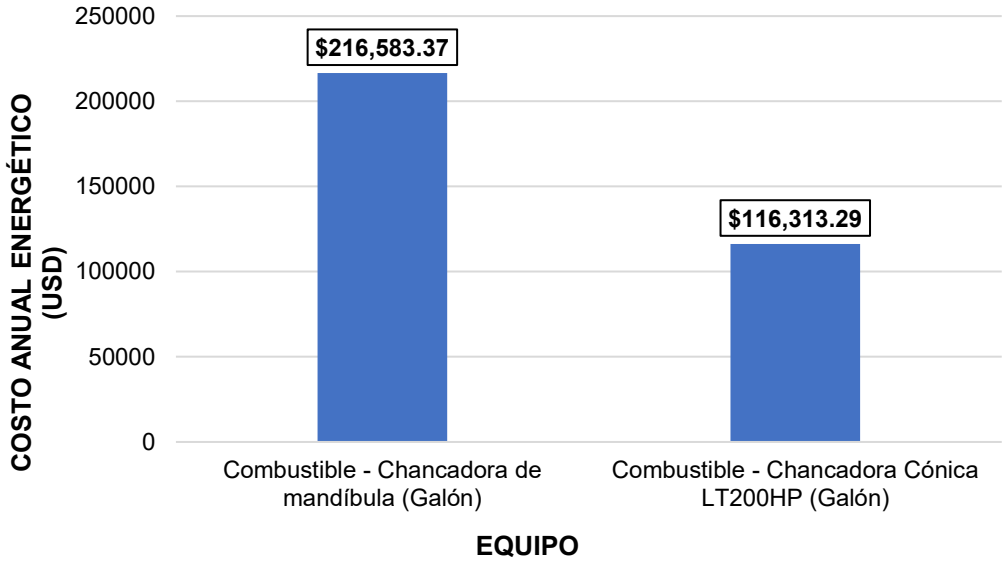
Nota. En base a una disponibilidad mecánica del 85%

La Figura 20 muestra la comparación de costos de acuerdo al consumo de combustible. El uso de la chancadora cónica representa una reducción de 46% en el uso de combustible por tonelada de material producido. Esto se

traduce en la reducción total de hasta USD 100,270 al año.

Figura 20

Comparación de costos anuales por consumo de combustible de chancadoras



Nota. En base a una disponibilidad mecánica del 85% y un funcionamiento de 16 horas al día, cada uno incluye el costo de combustible para generación eléctrica de las luminarias.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la implementación de la chancadora cónica LT200HP en la cantera de agregados en Moquegua tuvo un impacto significativo y positivo tanto en la productividad como en la eficiencia operativa y económica. La mejora del 58% en la capacidad de producción anual, logrando pasar de 172,494 m³ a 278,619 m³, coincide con lo expuesto por Pardo et al. (2023), quienes evidenciaron que una optimización del sistema de explotación permite aumentos sustanciales en los volúmenes diarios de producción. En este caso, además del incremento en volumen, se logró la recuperación de 30,290 m³ de material over, alineándose con la tendencia moderna de

reaprovechamiento y eficiencia de recursos.

La reducción del 46% en los costos energéticos, equivalente a un ahorro anual de USD 100,270, confirma la eficiencia energética de las chancadoras cónicas frente a otros tipos como las de mandíbula, hallazgo que se ve respaldado por Korman et al. (2015) y Liu et al. (2018), quienes destacan que las chancadoras de cono presentan menores requerimientos energéticos bajo condiciones operativas óptimas. El consumo de 4 gal/h frente a 8 gal/h de la chancadora de mandíbula representa una mejora del 100% en eficiencia relativa, valor coherente con los hallazgos de Wu et al. (2021), quienes determinaron relaciones directas entre los parámetros geométricos del equipo y su rendimiento energético.

Asimismo, se validó que el producto obtenido cumple con los estándares técnicos de granulometría ASTM, lo cual concuerda con las observaciones de Cleary et al. (2017) y Chavez (2019), quienes afirman que las chancadoras cónicas, especialmente cuando se optimizan sus perfiles de manto y cóncava, ofrecen mejor control sobre la forma y tamaño del agregado. Esto también se vincula con Fladvad y Onnela (2020), quienes resaltan que la configuración y velocidad del equipo impactan directamente en la forma de las partículas, un aspecto clave para el cumplimiento de normas técnicas.

En términos económicos, el ingreso adicional estimado de USD 497,884 anuales se sitúa dentro de lo esperado si se compara con estudios como el de García (2015), quien proyectó un incremento sustancial en utilidades al incorporar una chancadora de impacto con alta capacidad. Igualmente, se alinea con los hallazgos de Salmón (2023), quien demostró que mejoras

tecnológicas en canteras de Moquegua pueden traducirse en fuertes impactos económicos y una reducción significativa del periodo de recuperación de inversión.

Finalmente, es importante destacar que, si bien varios estudios como los de Okechukwu et al. (2017) y Cancino (2022) identifican limitaciones operativas y fallas recurrentes en equipos chancadores, los resultados del presente estudio respaldan estas observaciones debido a que la LT200HP estuvo inoperativa por mantenimiento en el mes de mayo, reduciendo la eficiencia anual de la cantera. Por lo que es importante tener adecuada implementación técnica y de mantenimiento para superar dichas barreras, garantizando sostenibilidad y eficiencia.

V. CONCLUSIONES

La adición tecnológica de la chancadora cónica LT200HP permitió mejorar la productividad en 58% reaprovechando material over, así como cumplir con los estándares técnicos exigidos para distintos tipos de piedra para asfalto y reducir considerablemente los costos energéticos de la operación en un 46%, logrando así una implementación efectiva y rentable.

El uso de la chancadora cónica LT200HP se mejoró la producción reaprovechándose hasta 30,290 m³ de material over, lo que representa un promedio mensual de 3,786 m³ reaprovechados y un incremento en la capacidad de producción de la cantera de 58%. Con la adición de este equipo se logró incrementar la capacidad de producción de 172,494 m³ anuales a 278,619 m³. Esta mejora representa un ingreso adicional estimado de hasta USD 497,884 anuales, considerando un precio promedio de S/40 por m³ de piedra chancada. Asimismo, la Chancadora Cónica LT200HP permitió asegurar la calidad de la producción de material agregado en tanto se demostró que el material agregado resultante se encontró dentro de los parámetros indicados a través de las normas técnicas de granulometría ATSM.

La chancadora cónica LT200HP demostró ser más eficiente energéticamente en comparación con la chancadora de mandíbula, consumiendo 4 gal/hora frente a 8 gal/hora, es decir, un 100% más eficiente en términos de consumo. Esta mejora en eficiencia se traduce en una reducción de USD 100,270 anuales en costos de producción, equivalente a una disminución del 46% en el consumo de combustible por tonelada producida de material agregado.

VI. RECOMENDACIONES

Existen algunos riesgos en la implementación de una chancadora cónica adicional LT200HP, se debe contar con una buena planificación que incluya el incremento de la capacidad de transporte y grupos electrógenos para atender un equipo adicional, con el fin de evitar tiempos improductivos. Así también se pueden generar cuellos de botella porque lo que se debe ajustar la extracción de base granular de manera proporcional a la capacidad de producción y complementar con material over. Otro riesgo es que el valor de la producción proyectada debe ser mayor a la inversión efectuada, se recomienda un leasing de 5 años en un escenario positivo y de 10 años en un escenario conservador.

Se recomienda la operación conjunta de la chancadora de mandíbula y la chancadora cónica, priorizando, en la medida de lo posible, el uso de esta última. La chancadora cónica LT200HP ha demostrado un desempeño superior en términos de eficiencia energética y productividad, con una reducción del 46% en los costos energéticos y un consumo de combustible significativamente menor.

La propuesta impactará de manera significativa en la competitividad de la región Moquegua, ya que la adición de equipos más eficientes logra incrementar la capacidad de producción y reducir costos, lo que a su vez mejora la rentabilidad de las empresas del sector de agregados. Esto permitirá atender de manera más efectiva la creciente demanda local de materiales para proyectos de construcción, infraestructura y desarrollo urbano, asegurando un abastecimiento oportuno y a precios más competitivos. En consecuencia, si las canteras de la región adoptan la

innovación tecnológica podrán posicionarse con mayor solidez frente a otras zonas productoras.

El modelo planteado es perfectamente replicable en otras canteras de Moquegua y de regiones con condiciones similares, ya que se basa en una estrategia tecnológica comprobada a través de resultados antes y después de la implementación. La incorporación de la chancadora cónica LT200HP no está limitada a geografía local, sino de la capacidad de inversión de las empresas. Además, los indicadores de mejora en productividad, eficiencia energética y reducción de costos constituyen métricas universales que pueden ser comparadas a la realidad de cada empresa.

No obstante, para mantener estos niveles de eficiencia y evitar contratiempos operativos como los ocurridos en mayo del año anterior por baja de equipos, resulta indispensable implementar un riguroso programa de mantenimiento preventivo. Dicho mantenimiento debe ser sistemático y estar enfocado en la detección temprana de fallas, el aseguramiento de condiciones óptimas de operación y la reducción de tiempos de inactividad no planificados, garantizando así la continuidad operativa, la calidad del producto y el retorno sostenido de la inversión tecnológica.

Se debe seguir priorizando la extracción de base granular, y en segundo lugar el reaprovechamiento de material over de acuerdo a la demanda. La que la implementación de este tipo de equipos permite recuperar grandes volúmenes (hasta 30,290 m^3 anuales) de materiales con requisitos específicos de granulometría, que no se pueden lograr con el zarandeo solo.

VII. REFERENCIAS

Acosta, E. (2018). *La determinación de los costos de producción de material pétreo, y los precios de venta en la empresa Tecni Hormigon*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. https://repo.uta.edu.ec/items/257b04b4-d300-409b-a04a-ad303bc316c9

ASTM International. (2025). ASTM C125-25a: *Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates*. https://store.astm.org/standards/c125

ASTM International. (2017). ASTM C117-17: *Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing*. https://store.astm.org/c0117-17.html

ASTM International. (2014). ASTM C136/C136M-14: *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.* https://store.astm.org/c0136_c0136m-14.html

Bernal, A. (2023). *Modelación de una trituradora cónica para la optimización de la operación de una planta de agregados pétreos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83714

Cancino, L. (2022). *Análisis de Fallas de una Chancadora Cónica para Mejorar la Rentabilidad en una planta de agregados*. [Tesis de pregrado, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio de

la Universidad de Ingeniería y Tecnología. https://hdl.handle.net/20.500.12815/270

Chalán, M., y Monteza, Y. (2019). *Diseño de la estructura de costos en la producción de agregados de la cantera no metálica la tuna blanca-Santa Cruz, Cajamarca 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. https://hdl.handle.net/11537/21300

Chávez, E. (2019). *Instalación de chancadora short head para mejorar el análisis granulométrico del producto del chancado en Sociedad Minera el Brocal S.A.A., Pasco-2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1889

Chavez, O. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en el proceso de producción de una planta chancadora de piedra para incrementar la utilidad*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. http://hdl.handle.net/20.500.12423/2654

Cleary, P., Sinnott, M., Morrison, R., Cummins, S., y Delaney, G. (2017). Analysis of cone crusher performance with changes in material properties and operating conditions using DEM. *Minerals Engineering*, 100, 49–70. doi:10.1016/j.mineng.2016.10.005

Copaja, M. y Florez, L. (2021). *Análisis comparativo de costos de*

explotación de canteras de río y cerro para la base granular de la carretera Jayujayu – Calacota, Ilave 2021. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.

Cordova, E. (2023). *Mantenimiento de la chancadora de cono MP1250 de la serie MP de Nordberg en Sociedad Minera Cerro Verde*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio de la Universidad Nacional San Agustín. https://hdl.handle.net/20.500.12773/16762

Duarte, R., Yamashita, A., da Silva, M., Cota, L. y Euzébio, T. (2021). Calibration and Validation of a Cone Crusher Model with Industrial Data. *Minerals*, 11, 1256. https://doi.org/10.3390/min11111256

Fladvad, M., y Onnela, T. (2020). Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. *Minerals Engineering*, 151, 106338. doi:10.1016/j.mineng.2020.106338

Fonseca, A., Martínez, J. y Alemán, L. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento para la planta trituradora de bolones CEMEX CONCRETOS-AGREGADOS*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería. http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/2585

Gamonal R. (2017). *Diseño de una máquina chancadora de piedra de 40 tn/hr, para la producción de agregado de construcción en la empresa hpm ubicada en el distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.* [Tesis de pregrado,

Universidad Señor de Sipán]. Repositorio de la Universidad Señor de Sipán. https://hdl.handle.net/20.500.12802/4950

Garcia, D. (2015). *Propuesta de un nuevo diseño para incrementar la producción de una cantera de agregados ubicada en el estado de México.* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Autónoma de México. https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES0 1000739848

Guerrero, A. (2019). *Diseño de trituradora 10 ton/h para incrementar producción de agregados en la empresa Jubrisa E.I.R.L- Pucara – Jaén*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500. 12692/38790

Hernandez, A. y Sanchez J. (2021). *Optimización de procesos para la explotación de agregados de la cantera Huayobamba, en la provincia de San Marcos, Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo https://hdl.handle.net/20.500.12692/ 93237

Interempresas (2018). *Metso lanza la renovada y más eficiente Lokotrack LT200HP.* Redacción ProfesionalesHoy. Consultado el 20 de junio de 2025 de https://www.interempresas.net/maquinaria-demolicion/Articulos/416601-Metso-lanza-la-renovada-y-mas-eficiente-Lokotrack-LT200HP.html

Köken, E. (2020). Evaluation of size reduction process for rock aggregates in cone crusher. *Bulletin of Engineering Geology and the*

Environment, 79, 4933-4946. doi:10.1007/s10064-020-01852-5

Korman, T., Bedeković, G., Kujundžić, T. y Kuhinek, D. (2015). Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of Jaw Crusher. *Physicochemical Problems of Mineral Processing,* 51, 461-475. doi:10.5277/ppmp150208.

Liu, R., Shi, B., Li, G., y Yu, H. (2018). Influence of Operating Conditions and Crushing Chamber on Energy Consumption of Cone Crusher. *Energies*, 11(5), 1102. https://doi.org/10.3390/en11051102

Mendoza, J. (2020). *Estudio del Desgaste de las Mandíbulas de Chancadora Tipo Quijada de 80x90cm para la Trituración de Minerales en Minera Yanacocha S.R.L*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/60665

Metso (2024). *Lokotrack Mobile crushing & screening plants*. [Archivo pdf]. Consultado el 20 de diciembre de 2024 de https://static.ferreyros.com.pe/fcsaprdferreyros01/2018/10/lt200hp.pdf

Metso (2025). *Chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™*. [Archivo pdf]. Consultado el 20 de marzo de 2025 de https://www.metso.com/es/portafolio/lokotrack-serie-lt/chancador-de-cono-movil-lokotrack-lt200hp/.

Mykhailenko, O. (2024). Modeling of cone crusher steady-state operation Modes. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1415(012078). doi:10.1088/1755-1315/1415/1/012078

Navarro, A., y Delgadillo, J. (marzo de 2020). *Estrategias de reducción de*

costos al cobro de la energía eléctrica consumida por la industria minera de Zacatecas, Durango, Sonora, Chihuahua y Guerrero. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. https://www.bibliotecas.uaslp.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=422744

Nina, V. (2022). *Propuesta de diseño y análisis de una estructura de costos fijos y variables en la producción de material agregado de una cantera no metálica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio de la Universidad Nacional de Moquegua. https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/376

Okechukwu, C., y Dahunsi, O., Oke, P., Oladele, I., Dauda, M. y Olaleye, B. (2017). Design and Operations Challenges of a Single Toggle Jaw Crusher: A Review. *Nigerian Journal of Technology*, 36, 814-821. doi:10.4314/njt.v36i3.22.

Ortiz, C. y Flores, J. (2012). *Diseño de trituradora de mandíbula de simple efecto (TMSE)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería. http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/1053

Par, H. (2010). *Propuesta de mejoras para el incremento de eficiencia en la trituradora de tipo impacto con eje horizontal (HSI) KPI 5260 para la fabricación de agregados.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08

_0536_MI.pdf

Pástor, C. (2022). *Optimización del proceso de conminución en la planta de beneficio PROMINE, Camilo Ponce Enríquez – Azuay*. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Repositorio de la Universidad del Azuay. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11632

Peñaloza, J. (2020). *Análisis de los Costos de Producción de una Cantera en sus Fases de Operación.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio de la Universidad Técnica de Machala. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15359

Pingus, G. (2020). *Determinación de costos de producción de materiales pétreos para mejorar la rentabilidad de la empresa Negociaciones Amazonas EIRL.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/ 47662

Quist, J., y Evertsson, C. M. (2016). Cone crusher modelling and simulation using DEM. *Minerals Engineering*, 85, 92–105. doi:10.1016/j.mineng.2015.11.004

Ramos, G. (2020). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import - Export EIRL, Juliaca 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/8537

Salmón, M. (2023). *Reducción De Los Costos De Producción De Agregado en la Explotación de la Cantera Río Asana, Torata -Moquegua,*

2021. [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman]. Repositorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman. https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3851

Sangüeza, S. (2024). *Diseño de una trituradora de mandíbulas para una capacidad de 12 (TON/H).* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio de la Universidad Mayor de San Andrés. http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/36335

Támara, E. (2021). *Optimización del circuito de chancado en la planta de beneficio el Inka.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. http://repositorio.unjfsc.edu.pe /handle /UNJFSC/ 5579

Wu, F., Ma, L., Zhao, G. y Wang, Z. (2021) Chamber Optimization for Comprehensive Improvement of Cone Crusher Productivity and Product Quality. *Mathematical Problems in Engineering*, 5516813, 13. https://doi.org/10.1155/2021/5516813

Yamashita, A., Thivierge, A., y Euzébio, T. (2021). A review of modeling and control strategies for cone crushers in the mineral processing and quarrying industries. *Minerals Engineering*, 170, 107036. doi:10.1016/j.mineng.2021.107036

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo 01. Matriz de consistencia

Tabla 8

Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Interrogante general ¿Cómo mejorar la producción y reducir costos en el procesamiento de material de mayor dimensión mediante la innovación de equipos de chancado en una cantera de agregados?	**Objetivo general** Proponer una estrategia de innovación con equipos técnicos y planificación a largo plazo, para mejorar la producción y los costos de procesamiento de material en una cantera de agregados.	**Hipótesis general** La implementación de equipos técnicos avanzados, como una chancadora cónica LT200HP, mejora la optimización en la producción y reduce los costos operativos a largo plazo, en una cantera de agregados.	**Variable Dependiente** Producción de material agregado - Producción (TMD) - Granulometría (pulg.)	**Tipo de Investigación** Aplicada, cuantitativa. **Nivel de Investigación** Descriptivo. **Diseño de Investigación** Cuasi-experimental.
Interrogantes específicas ¿Cómo incrementar la producción de agregados con una chancadora cónica en una cantera de agregados en el departamento de Moquegua en el año 2025?	**Objetivos Específicos** Evaluar el uso de equipos técnicos adecuados como la chancadora cónica LT200HP para mejorar el procesamiento de material de menor tamaño.	**Hipótesis específicas** La implementación de una chancadora cónica mejora la producción y mejora el aprovechamiento de material no reutilizado en la cantera de agregados.	**Variable Independiente** Equipos de chancado - Chancadora de mandíbula. - Chancadora Lokotrack LT200HP.	**Lugar de Estudio** Cantera de agregados en la ciudad de Moquegua **Población** Equipos de chancado de canteras de agregados de la ciudad de Moquegua. **Muestra** Equipos de chancado de una cantera de agregados en la ciudad de Moquegua.
¿Cómo reducir los costos a largo plazo con la innovación de equipos y planificación en la cantera de agregados en el departamento de Moquegua en el año 2025?	Mejorar la planificación de costos a largo plazo con la implementación de equipos de chancado adecuados para aprovechar el material no reutilizado.	La implementación de una chancadora cónica LT200HP reducirá los costos de producción de agregados con una planificación adecuada, lo que genera un beneficio significativo en la cantera de agregados.		

Nota. Elaboración propia.

8.2. Anexo 02. Especificaciones técnicas del chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™

Especificaciones técnicas del chancador de cono móvil Lokotrack® LT200HP™

MODELO	LOKOTRACK® LT200HP™
Unidad de trituración	Nordberg® HP200e™
Apertura de alimentación	200 mm (8")
Motor	CAT®, 310 kW (415 hp)
Dimensiones de transporte	
Peso	32,000 kg (70,500 lbs)
Ancho	3,000 mm (9'10")
Altura	3,400 mm (11'2")
Longitud	16,800 mm (55'1.5")

*) Los detalles técnicos proporcionados se basan en la configuración básica y no deben utilizarse para obtener permisos de transporte.

Fuente: https://www.metso.com/es/portafolio/lokotrack-serie-lt/chancador-de-cono-movil-lokotrack-lt200hp/

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : JHOAN APOLINARIO CHURA
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 70216112
Correo electrónico : JHOAN.APOLOC@GMAIL.COM
Teléfono/Celular : 918654113

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación **( )**
c) Trabajo de suficiencia profesional **( )**
d) Trabajo académico **( )**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : PROPUESTA DE MEJORA CON UNA CHANCADORA CONICA LT200HP PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION Y REDUCIR LOS COSTOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS EN MOQUEGUA .
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : **27/08/2025**

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Mgr. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00482808
c) ORCID : .....

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 70216112
NOMBRES Y APELLIDOS : JHOAN APOLINARIO CHURA

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 70216112
NOMBRES Y APELLIDOS : JHOAN APOLINARIO CHURA
FECHA : **16/09/2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, JHOAN APOLINARIO CHURA , bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de minas , de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº 70216112, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado PROPUESTA DE MEJORA CON UNA CHANCADORA CONICA LT200HP PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION Y REDUCIR LOS COSTOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS EN MOQUEGUA

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 16 de setiembre del 2025



Huella digital

JHOAN APOLINARIO CHURA
70216112

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

Informe Final J Apolinario V1.pdf

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::23228:458615262

Fecha de entrega
13 may 2025, 10:23 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
13 may 2025, 10:33 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
Informe Final J Apolinario V1.pdf

Tamaño de archivo
1.5 MB

98 Páginas

21.719 Palabras

120.354 Caracteres

12% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çakışan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Rapordan Filtrelenen

- Bibliyografya
- Alıntılanan Metin
- Atıf Yapılan Metin
- Küçük Eşleşmeler (10 sözcükten az)

Ön Sıradaki Kaynaklar

10% İnternet kaynakları
1% Yayınlar
6% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 0 Bütünlük Bayrağı

Herhangi bir şüpheli metin manipülasyonu belirlenmedi.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırabilecek her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.

Ön Sıradaki Kaynaklar

10% İnternet kaynakları
1% Yayınlar
6% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Ön Sıradaki Kaynaklar

Gönderi içinde en yüksek eşleşme sayısına sahip kaynaklar. Çakışan kaynaklar görüntülenmeyecektir.

1 İnternet
repositorio.ucv.edu.pe 1%

2 İnternet
repositorio.unjbg.edu.pe <1%

3 İnternet
www.repositorio.unam.edu.pe <1%

4 İnternet
tesis.usat.edu.pe <1%

5 İnternet
dspace.uazuay.edu.ec <1%

6 İnternet
www.virtualpro.co <1%

7 İnternet
repositorio.uss.edu.pe <1%

8 İnternet
www.coursehero.com <1%

9 İnternet
biblioteca.usac.edu.gt <1%

10 İnternet
hdl.handle.net <1%

11 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Técnica de Machala on 2020-02-11 <1%

12 İnternet
repositorio.undac.edu.pe <1%

13 İnternet
renati.sunedu.gob.pe <1%

14 İnternet
repositorio.unal.edu.co <1%

15 İnternet
repositorio.ujcm.edu.pe <1%

16 İnternet
core.ac.uk <1%

17 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-11 <1%

18 İnternet
repositorio.upn.edu.pe <1%

19 İnternet
repositorio.upt.edu.pe <1%

20 İnternet
prezi.com <1%

21 İnternet
fr.slideshare.net <1%

22 Teslim edilen çalışmalar
UTEC Universidad de Ingenieri࿒a & Tecnologi࿒a on 2020-12-24 <1%

23 Teslim edilen çalışmalar
Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2015-12-17 <1%

24 İnternet
repositorio.unprg.edu.pe <1%

25 İnternet
repositorio.uta.edu.ec <1%

26 İnternet
repositorio.continental.edu.pe <1%

27 İnternet
urural.edu.gt <1%

28 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-10-23 <1%

29 İnternet
repositorio.unsaac.edu.pe <1%

30 İnternet
repositorio.untumbes.edu.pe <1%

31 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-11-26 <1%

32 İnternet
1library.co <1%

33 Teslim edilen çalışmalar
Universidad del Sinú on 2024-11-19 <1%

34 İnternet
documents.mx <1%

35 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Católica San Pablo on 2023-12-21 <1%

36 İnternet
alicia.concytec.gob.pe <1%

37 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-01-29 <1%

38 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Cesar Vallejo on 2016-03-05 <1%

39 İnternet
repositorio.unam.edu.pe <1%

40 İnternet
www.researchgate.net <1%

41 Teslim edilen çalışmalar
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-04-22 <1%

42 İnternet
cybertesis.unmsm.edu.pe <1%

43 İnternet
www.noticiadesalud.com <1%

44 Teslim edilen çalışmalar
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-11-20 <1%

45 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina del Cusco on 2017-05-05 <1%

46 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Católica de Santa María on 2022-10-12 <1%

47 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2022-05-27 <1%

48 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Tecnologica del Peru on 2019-01-19 <1%

49 Yayın
WALSH PERU S.A. "EIA del Proyecto Ampliación de la Concentradora Toquepala y ... <1%

50 İnternet
repositorio.unc.edu.pe <1%

51 İnternet
repositorio.upeu.edu.pe <1%

52 Teslim edilen çalışmalar
uncedu on 2023-11-23 <1%

53 İnternet
www.seidor.com <1%

54 İnternet
www.slideshare.net <1%

55 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina del Cusco on 2025-02-26 <1%

56 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Nacional de Moquegua on 2024-12-13 <1%

57 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2018-03-16 <1%

58 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Ricardo Palma on 2019-10-24 <1%

59 İnternet
repositorio.udec.cl <1%

60 İnternet
repositorio.uns.edu.pe <1%

61 İnternet
repositorio.urp.edu.pe <1%

62 İnternet
repositorio.utec.edu.pe <1%

63 İnternet
repository.usta.edu.co <1%

64 İnternet
tesis.unsm.edu.pe <1%

65 Teslim edilen çalışmalar
uni on 2023-09-19 <1%

66 İnternet
www.uninotas.net <1%

67 Teslim edilen çalışmalar
Faculdade Novos Horizontes on 2006-04-20 <1%

68 Teslim edilen çalışmalar
Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2011-05-26 <1%

69 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-09-04 <1%

70 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Católica San Pablo on 2022-06-27 <1%

71 Teslim edilen çalışmalar
Universidad Jose Carlos Mariategui on 2024-03-28 <1%

72 Teslim edilen çalışmalar
Universidad de Huanuco on 2022-10-21 <1%

73 İnternet
apirepositorio.unh.edu.pe <1%

74 İnternet
doku.pub <1%

75 İnternet
ilustrados.com <1%

76 İnternet
patagonia.com.ar <1%

77 İnternet
pdfcookie.com <1%

78 İnternet
repositorio.cientifica.edu.pe <1%

79 İnternet
repositorio.uap.edu.pe <1%

80 İnternet
repositorio.uia.ac.cr:8080 <1%

81 İnternet
repositorio.uladech.edu.pe <1%

82 İnternet

repositorio.unfv.edu.pe <1%

83 İnternet

www.cenidet.edu.mx <1%

84 İnternet

www.ecb.europa.eu <1%

85 İnternet

www.poptel.org.uk <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 756-2025-CU

Moquegua, 20 de octubre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 4124-2025-R de fecha 13 de octubre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° D0436-2025-UNAM-R-SG de fecha 10 de octubre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° D0140-2025-SEGE-GT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 39-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 15 de octubre de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley N° 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° D0140-2025-SEGE-GT, de fecha 09 de octubre de 2025, e Informe N° D0436-2025-UNAM-R-SG de fecha 10 de octubre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas del Bachiller: APOLINARIO CHURA JHOAN de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apto para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 15 de octubre de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 39-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 15 de octubre de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de tesis al Bachiller: APOLINARIO CHURA JHOAN, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 756-2025-CU

Moquegua, 20 de octubre de 2025

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN al Bachiller

- **APOLINARIO CHURA JHOAN**

TESIS : "PROPUESTA DE MEJORA CON UNA CHANCADORA CÓNICA LT200HP PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN Y REDUCIR LOS COSTOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS EN MOQUEGUA", cuyo Asesor Principal fue el Mgr. Juan Elías Rojas Condori.

El TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS.

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – SECRETARIA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUARCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACCSI
EPIM
GyT
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe