



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA AL SISTEMA DE UNA PLANTA DE TRITURACIÓN DE ROCA, PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Bach. Michael Colquehuanca Lima

Asesor:

Mg. Ing. Sonia Espinoza Farías

Lima – Perú

2018

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

La asesora y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de tesis desarrollado por el Bachiller **Michael Colquehuanca Lima**, denominada:

“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA AL SISTEMA DE UNA PLANTA DE TRITURACIÓN DE ROCA, PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS”

Ing. Sonia Isabel Espinoza Farías

ASESOR

Ing. Jorge Malpartida Gutiérrez

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Roger Ucañan Leyton

JURADO

Ing. Jhonatan Abal Mejia

JURADO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia, quienes han sido tolerantes conmigo durante todo el tiempo que he dedicado a la consecución de los conocimientos en mi formación universitaria, dedico a ellos que han sentido mi ausencia cuando era necesario compartir momentos importantes de familia. Dedico también a mi madre quien al saber en la etapa que me encuentro, ha reflejado su inmensa alegría por el logro alcanzado, con toda razón porque fue ella quien inició esto con sus primeros consejos de perseverancia y dedicación, y siempre predicado con el ejemplo cuando solo era un niño. También dedico a mis hermanos quienes han estado siempre pendientes de mi avance educativo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a nuestro Dios todo poderoso por darme tanta fortaleza para seguir manteniéndome de pie ante tanta adversidad que he encontrado en el camino, porque nunca me desamparó cuando he necesitado de sus bendiciones. Agradezco a la Universidad Privada Del Norte y a su plana docente por haberme brindado la oportunidad de aprender y enriquecer mi conocimiento. Mi especial agradecimiento al Ingeniero Guillermo Santos Gervacio por su apoyo incondicional que siempre me ha brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes	14
1.2. Realidad Problemática	15
1.3. Formulación del Problema	17
1.3.1. <i>Problema General</i>	17
1.3.2. <i>Problema Específico</i>	18
1.3.2.1. <i>Problema específico 01</i>	18
1.3.2.2. <i>Problema específico 02</i>	18
1.3.2.3. <i>Problema específico 03</i>	18
1.3.2.4. <i>Problema específico 04</i>	18
1.4. Justificación	18
1.4.1. <i>Justificación Teórica</i>	20
1.4.2. <i>Justificación Práctica</i>	21
1.4.3. <i>Justificación Cuantitativa</i>	21
1.4.4. <i>Justificación Académica</i>	21
1.5. Objetivo	22
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	22
1.5.2. <i>Objetivo Específicos</i>	22
1.5.2.1. <i>Objetivo específico 1</i>	22
1.5.2.2. <i>Objetivo específico 2</i>	22
1.5.2.3. <i>Objetivo específico 3</i>	22
1.5.2.4. <i>Objetivo específico 4</i>	22
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	23

2.1.	Antecedentes de la investigación	23
2.2.	Herramientas aplicables a la ingeniería	25
2.2.1.	<i>Teoría de las restricciones</i>	25
2.2.2.	<i>Tipos de restricciones</i>	25
2.2.3.	<i>Cuello de botella y recursos restringidos por la capacidad</i>	26
2.2.4.	<i>Filosofía de Ishikawa</i>	27
2.2.5.	<i>Principios básicos de la teoría de Ishikawa</i>	28
2.2.6.	<i>La filosofía de la calidad de Ishikawa</i>	28
2.2.7.	<i>El principio de Pareto</i>	29
2.2.8.	<i>Aplicaciones del principio de Pareto</i>	30
2.3.	Producción de agregados	30
2.3.1.	<i>¿Qué significa producir agregados?</i>	30
2.3.2.	<i>Clasificación de los agregados</i>	31
2.3.3.	<i>Proceso general de producción de agregados</i>	32
2.3.4.	<i>Exploración de una Cantera de Agregados</i>	33
2.3.5.	<i>Trituración de material proveniente de una cantera aluvial</i>	36
2.3.6.	<i>Clasificación (Cribado) de una Cantera de Agregados</i>	42
2.3.7.	<i>Control de calidad de los agregados triturados</i>	43
2.4.	Definición de términos básicos	45
	CAPÍTULO 3. DESARROLLO	47
3.1.	Desarrollo del Objetivo 1	47
3.1.1.	<i>Evaluación de las condiciones actuales del sistema productivo</i>	47
3.1.2.	<i>Evaluación del proceso de explotación de cantera</i>	48
3.1.3.	<i>Evaluación en la etapa de selección de la roca</i>	54
3.1.4.	<i>Evaluación de la etapa de trituración de la roca</i>	60
3.2.	Desarrollo del Objetivo 2	75
3.3.	Desarrollo el Objetivo 3	84
3.4.	Desarrollo el Objetivo 4	91
3.4.1.	<i>Escenarios económicos de las etapas de producción antes de la mejora</i>	91
3.4.1.1.	<i>Etapa de la extracción de la materia prima y su transporte</i>	91
3.4.1.2.	<i>Etapa de la selección de la roca</i>	92
3.4.1.3.	<i>Etapa de la trituración y cribado de los productos finales</i>	93
3.4.2.	<i>Escenario económico de la propuesta para la mejora estudiada</i>	94

3.4.2.1.	<i>Etapa de extracción de la materia prima.....</i>	95
3.4.2.2.	<i>Etapa de selección y transporte de la roca selecta</i>	95
3.4.2.3.	<i>Etapa de trituración y cribado del producto.....</i>	96
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		98
4.1.	RESULTADOS	98
4.2.	CONCLUSIONES.....	102
4.3.	RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS		104
ANEXOS.....		105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1. 1	Planta estacionaria de procesamiento de agregados	17
Figura n.º 1. 2	Planta móvil de procesamiento de agregados	20
Figura n.º 2. 1	Trituradora de mandíbula en plena carga	38
Figura n.º 2. 2	Trituradora tipo cónica en pleno trabajo quebrando la roca	39
Figura n.º 2. 3	Trituradora de impacto (HSI) NORBERG NP15	40
Figura n.º 2. 4	Chancadora de impacto de eje vertical BARMAC VSI 7150	41
Figura n.º 2. 5	Zaranda vibratoria de tres niveles	43
Figura n.º 3. 1	Mapa de procesos de la actividad productiva	48
Figura n.º 3. 2	Explotación de cantera estructurada por el proyecto	49
Figura n.º 3. 3	Proceso de explotación en una cantera de río	50
Figura n.º 3. 4	Proceso de acareo y apilamiento de material global	53
Figura n.º 3. 5	Etapas de selección de roca con zaranda vibratoria Chieftain 1700	55
Figura n.º 3. 6	Estructura de la etapa de la selección de la roca, por el proyecto	57
Figura n.º 3. 7	Flujo del transporte interno de materiales	58
Figura n.º 3. 8	Zaranda Scalper, equipo especial para separación de material grueso	59
Figura n.º 3. 9	Chancadora de impacto (HSI) EAGLE Jumbo UM 1200–25 CC	60
Figura n.º 3. 10	Flujo del proceso productivo de trituración y cribado, antes de la mejora.	62
Figura n.º 3. 11	Productos que se obtienen en la planta chancadora de impacto (HSI) ...	63
Figura n.º 3. 12	Alta rotación de elementos de desgaste	64
Figura n.º 3. 13	Diagrama causa y efecto	66
Figura n.º 3. 14	Diagrama de Pareto de las principales causas del problema	68
Figura n.º 3. 15	Capacidades de producción en cada etapa de la línea.	69
Figura n.º 3. 16	Elementos para el cálculo de disponibilidad.....	73
Figura n.º 3. 17	Determinación del Drum de la línea completa del proceso	75
Figura n.º 3. 18	Calicata con presencia de agua y rocas grandes.....	76
Figura n.º 3. 19	Acopio de piedra selecta, presencia de tamaños >5"	77
Figura n.º 3. 20	Ensayo de abrasión de los Ángeles	79
Figura n.º 3. 21	Ensayos granulométricos en campo, grava/arena	81
Figura n.º 3. 22	Propuesta de mejora para la etapa de explotación de cantera	86
Figura n.º 3. 23	Propuesta de mejora para el transporte interno y acopio	87
Figura n.º 3. 24	Propuesta de mejora para la etapa de trituración	88

Figura n.º 3. 25 Toma de datos de la producción estructurada por el proyecto	89
Figura n.º 3. 26 Elaboración de los rendimientos con la propuesta de mejora.	90
Figura n.º 3. 27 Costo de la extracción y transporte de materia prima	92
Figura n.º 3. 28 Costo de la etapa de selección de la roca	93
Figura n.º 3. 29 Elaboración del costo de la etapa de trituración	94
Figura n.º 3. 30 Propuesta de mejora para la elaboración de la etapa de extracción	95
Figura n.º 3. 31 Costo para la propuesta de mejora de la selección y transporte de la roca	96
Figura n.º 3. 32 Costo de la propuesta de mejora para la etapa de trituración	97
Figura n.º 4. 1 Cuadro comparativo de la utilización y eficiencia de antes y después	100
Figura n.º 4. 2 Propuesta de mejora, trituración primaria, secundaria, terciaria, y cribado.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 3. 1 Ponderación de las posibles causas del problema principal	67
Tabla n.º 3. 2 Cálculo de la capacidad de diseño de la planta de trituración.....	73
Tabla n.º 3. 3 Cálculo de la utilización y eficiencia de la planta de trituración	74
Tabla n.º 3. 4 Cálculo de la capacidad efectiva, real de la planta.....	74
Tabla n.º 3. 5 Especificaciones para el agregado para asfalto MTC	80
Tabla n.º 3. 6 Especificaciones técnicas para el agregado grueso MTC	81
Tabla n.º 3. 7 Especificaciones para la evaluación de los agregados finos.....	82
Tabla n.º 3. 8 Especificaciones del Filler.....	83

RESUMEN

En las últimas tres décadas la industria de la producción de agregados ha crecido vertiginosamente debido a la gran demanda que se ha experimentado, La industria de la construcción comenzó a desarrollarse y crecer poco a poco, desde el año 1990 los proyectos carreteros fueron impulsados por el gobierno de turno. Las vías de comunicación habían sido abandonadas a la suerte de tal manera que era muy notorio saber que las pistas de primer orden mostraban deterioros propios de un pavimento que es sometido a condiciones adversas como el alto tránsito, excesivo peso aplicado, la exposición a la intemperie, los cambios climáticos bruscos, etc. Asimismo, en los años 1997 hacia adelante comienza la habilitación de los proyectos mineros de los que siempre se hablaban y nunca había la firme decisión de explotar los yacimientos metálicos por motivos diversos, es entonces que empresas transnacionales llegan al país, y con el apoyo de las compañías locales se desarrollan los primeros trabajos con estándares operativos muy altos. El desarrollo de los proyectos en el sector minería y construcción han obligado a los contratistas a mejorar e implementar su maquinaria obsoleta, cambiar por otros con tecnología nueva y mecanismos un tanto complejos, tuvieron que adquirir maquinaria más versátil con tecnologías de punta, principalmente en las trituradoras y las zarandas vibratorias. Existen diversos tipos de máquinas que interviene en la producción de agregados como: chancadoras de martillos de eje horizontal, las chancadoras para finos de eje vertical, chancadoras de mandíbula, etc. De acuerdo con la necesidad que demanda el proyecto se selecciona el tipo de maquinaria que se utilizaría para obtener el producto deseado, considerando que la misma actividad de producción tiene que ser siempre beneficiosa económicamente. Es entonces que encuentro la necesidad de investigar los factores de rendimiento que interviene en dicha actividad productiva, en adelante desarrollaré los argumentos que se debería considerar para la mejora en todo el sistema que compone una planta de trituración de roca, y establecer un método práctico basado en la identificación de errores como un cuello de botella, llamado también restricción.

El presente trabajo se ha desarrollado con la finalidad de evaluar oportunidades de mejora en las diferentes etapas de producción de agregados, los mismos que se desarrolla en una planta de trituración de roca. La estructura de producción establecida no ha sido la correcta, por lo tanto, se ha realizado estudios de las ratios de producción, la calidad de la materia prima, de los productos finales, y los resultados económicos de cada actividad. Inicialmente las ratios de producción se encontraban en 17.54 m³/hora, luego del estudio al proceso, se ha determinado que la producción subiría a 36.5 m³/hora aplicando un nuevo método. Se recomienda tomar la propuesta que cambia totalmente la estructura del sistema de trituración, esta garantiza el cumplimiento de los plazos contractuales del proyecto, se mantiene las características de calidad deseada de los productos, y se ahorra tiempo y dinero.

ABSTRACT

In the last three decades the industry of the production of aggregates has grown vertiginously due to the great demand that has been experienced. The construction industry began to develop and grow little by little, since the year 1990 the highway projects were driven by the current government. The lines of communication had been left to chance in such a way that it was very noticeable to know that the first-order tracks showed deterioration of a pavement that is subject to adverse conditions such as high traffic, excessive weight applied, exposure to the weather, abrupt climate changes, etc. Likewise, in the years 1997 forward the qualification of the mining projects that were always talked about began and there was never the firm decision to exploit the metallic deposits for different reasons, it is then that transnational companies arrive to the country, and with the support of local companies develop the first jobs with very high standards of quality, safety, and work. The development of projects in the mining and construction sector have forced contractors to improve and implement their obsolete machinery, change for others with new technology and somewhat complex mechanisms, they had to acquire more versatile machinery with different technologies to those that are normally found in the middle, mainly in the crushers and vibrating shakers. There are several types of machines that intervene in the production of aggregates such as horizontal shaft hammer crushers, vertical shaft crushers, jaw crushers, etc. According to the need that the project demands, the type of machinery that would be used to obtain the desired product is selected, considering that the same production activity must always be economically beneficial. It is then that I find the need to investigate the performance factors involved in this productive activity, from now on I will develop the arguments that should be considered for the improvement in the whole system that composes a rock crushing plant, and establish a practical method based in the identification of errors as a bottleneck, also called restriction.

The present work has been developed with the purpose of evaluating opportunities for improvement in the different stages of aggregate production, the same that takes place in a rock crushing plant. The established production structure has not been the correct one, therefore, studies of the production ratios, the quality of the raw material, the final products, and the economic results of each activity have been carried out. Initially the production ratios were at 17.54 m³ / hour, after studying the process, it has been determined that the production would increase to 36.5 m³ / hour applying a new method. It is recommended to take the proposal that completely changes the structure of the crushing system, this guarantees the fulfillment of the contractual deadlines of the project, maintains the desired quality characteristics of the products, and saves time and money.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En América Latina, pocos países como Colombia, México y Brasil han venido desarrollando exitosamente el rubro de la industria de producción de agregados, las técnicas aplicadas son una réplica de las recomendaciones del uso de maquinaria de trituración y cribado hecho por los fabricantes de estas máquinas, además de las experiencias adquiridas de muchos años de actividad industrial. En nuestro país se viene desarrollando y creciendo de manera sostenida, la industria de los agregados. En el tema económico, somos uno de los pocos países en América que viene manteniéndose estable en el tiempo, esto debido al desarrollo de los sectores productivos que aportan valor a nuestra nación. Cabe señalar que el sector construcción y minería son los rubros de mayor importancia porque mueve positivamente la economía, debido a la actuación de las empresas constructoras, y el servicio que desarrollan. Estas empresas realizan fuertes inversiones de dinero en la ejecución de los proyectos y principalmente en la maquinaria pesada que se necesita para la ejecución de las obras, muchos de estos proyectos son de gran envergadura por la complejidad de nuestra geografía y por la naturaleza de la misma actividad. Un importante valor económico es invertido en los materiales que se usan para la construcción, y justamente son los agregados. Es entonces que enfocamos nuestra atención a la industrialización de los agregados pétreos a partir de los yacimientos naturales.

El desarrollo del presente trabajo trata de encontrar un método práctico para mejorar el rendimiento de la producción en una planta de agregados considerando principalmente los aspectos que son determinantes para la correcta elección de la maquinaria que conforma una planta de producción de agregados. En base a las características de la materia prima, se busca las herramientas necesarias que intervendrán en la futura estructura de producción que se va a aplicar, la planta está compuesta por varios equipos, y es en las etapas de implementación de la planta que se tiene que trabajar a detalle, como en la configuración de la maquinaria, selección de las trituradoras, armado y pruebas con carga. Nuestro objetivo es identificar los errores comunes propios de una planta de procesamiento. Es importante desarrollar una estrategia que pueda destrabar algún tipo de cuello de botella que determina el nivel de producción. Las mejoras obtenidas serán reflejadas en la calidad y cantidad del producto.

1.1. Antecedentes

La empresa donde se estudia la mejora, es una compañía dedicada a dar servicio de mantenimiento a todo tipo de vías de nuestro país, en esta ocasión se está desarrollando trabajos de producción de agregados utilizando un conjunto de equipos que conforma la planta de procesamiento de agregados, estos equipos se toma por alquiler para el tiempo que dura la campaña de producción. Los productos que se obtienen son elementos básicos para la preparación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) que se usará para la colocación de la capa superior y final del paquete estructural que conforma la carretera. Existiendo la necesidad de obtener los productos triturados para la preparación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), se necesita contar con agregados triturados como: piedra chancada del tamaño especificado, y la arena con las características necesarias. En este caso tomaremos referencias de las especificaciones técnicas para mezcla de tipo MAC-2, la misma que nos servirá de guía para elaborar un agregado con las características físicas que se pueda adaptar al diseño de mezcla, este nos dice que el tamaño máximo de las partículas trituradas es 19 mm. Con una granulometría definida para este Huso. Este tipo de agregado definido nos da las referencias para la configuración de toda la planta de trituración y cribado, ya que se hace todos los arreglos y configuraciones para lograr el producto con las características señaladas. Definiremos dos proporciones de agregado característico para la mezcla, el material grueso que viene a ser la grava (piedra chancada), y la otra parte el material fino (arena natural y/o chancada). Estos materiales deben cumplir con las EET que manda el Huso mencionado, y debe ser corroborado mediante ensayos en laboratorio, se realiza un diseño de mezcla con el líquido asfáltico del tipo establecido más un material llenante de vacíos llamado filler. Se ha elegido el pen 60/70 el cual se adecúa a las características requeridas para el futuro pavimento y en especial por la altitud donde se empleará la mezcla, para nuestro caso a una altura menor a 3000 msnm. Nosotros nos enfocaremos en buscar las oportunidades de mejora en la etapa de procesamiento del agregado, es decir que estudiaremos la explotación del material integral en cantera (materia prima), y las mejoras que se puedan aplicar en la extracción del material global para la selección de la roca, el mismo que servirá como material para el proceso siguiente. Realizaremos una verificación de la maquinaria instalada para el proceso de trituración, se realizará las configuraciones de las herramientas y el equipo pesado que compone la planta chancadora en cada una de sus etapas.

Las empresas constructoras, para el desarrollo de sus proyectos forman un equipo de profesionales quienes tienen a cargo las operaciones del mismo, la obra es autónoma en

las decisiones, a su vez es liderada por un Gerente de proyecto quien tiene el encargo de velar por el desarrollo del proyecto conforme amerita las exigencias durante el tiempo de duración. Al haber culminado la construcción de la obra, concluye también las funciones de toda la organización instalada, justamente por culminación de proyecto. El equipo de trabajo está conformado por una plana de profesionales en diferentes disciplinas trabajando en cada área que comprende la obra. Un proyecto de construcción merece la autonomía y confianza necesaria de parte de la Gerencia General quien está en constante coordinación para dar el soporte técnico que se necesite resolver.

1.2. Realidad Problemática

Hoy en día la ejecución de obras de construcción y minería demanda la producción de grandes volúmenes de agregados dado que es la materia prima esencial para la realización de estas obras, en promedio el 75% de los materiales que se usan en cada obra de construcción de las diferentes partidas presupuestales, son los agregados. Entendemos que hay varias clasificaciones de productos que se obtienen a partir de las rocas encontradas en las diferentes canteras tanto aluviales, aluvionales, y coluviales. Podemos diferenciar estos agregados en dos tipos de productos: los agregados naturales zarandeados y los agregados triturados, es en este último que nos concentraremos para la presente investigación debido a que se ha identificado ciertos vacíos de la información que normalmente se debería encontrar en los manuales del fabricante de las trituradoras u otra literatura afín a este tema, tal es así que en la práctica muchas veces nos encontramos con muchas interrogantes respecto a la factibilidad, y principalmente respecto a los ratios que se obtendría en cierta configuración de la maquinaria; esto muchas veces obliga al usuario a realizar costosas pruebas a escala real así como en laboratorios homologados, los mismos que van a simular una producción autentica y continua. Para la aceptación de un proyecto y por ende determinar si es viable o no, suele ser necesario conocer la ratio de producción del agregado que se usará en las diferentes obras, puesto que es una partida importante económicamente hablando, normalmente se toma referencias históricas de otros antiguos proyectos para la realización de un nuevo proyecto que está por darse, es ahí que se erra porque las condiciones pueden ser similares pero nunca iguales. Se habla siempre de canteras de donde se obtiene la materia prima que se va a procesar, estos yacimientos naturales difieren unos de otros sustancialmente porque se trata de materiales con estructuras naturales propias del ámbito en que se han encontrado, los factores propios de la naturaleza hacen que las características mineralógicas de la roca posean propiedades determinantes para la elección de la maquinaria

que se usará para la trituración. Las variables encontradas después de los ensayos de caracterización de los yacimientos y las mismas rocas representan mucho dinero en juego cuando se habla de volúmenes fuertes de los agregados que se va a producir, ya que de acuerdo a los resultados de control de calidad se toma referencia para la elección y configuración de la maquinaria que se tiene que contratar para el nuevo proceso. En el mercado local existen empresas dedicadas al servicio de trituración y venta de agregados por m³; asimismo se ofrecen también en calidad de alquiler, maquinaria (Chancadoras y zarandas) para el procesamiento de estos productos; es importante señalar la existencia de diferentes tipos de máquinas y a diferentes precios cuya tarifa de renta está +/- entre 130 USD/hora hasta 250 USD/hora. Parte de mi trabajo trata de identificar aquellas falencias que existe en la elección y configuración de la maquinaria que interviene en la producción de agregados y de esta manera demostrar los alcances necesarios para un correcto armado de una planta de proceso tomando en cuenta los factores que se tiene que considerar previo a la toma de decisiones; asimismo durante el proceso de producción, poder desarrollar una serie de mecanismos para una producción sustentable que incidirá directamente en los ratios operativos.

Figura n.º 1. 1 Planta estacionaria de procesamiento de agregados



Fuente: Planta procesadora CIMACO

1.3. Formulación del Problema

La empresa que realiza las actividades de producción de agregados ha hecho una inversión importante en el alquiler de maquinaria pesada para la temporada productiva que dura cinco meses aproximadamente. Haciendo una evaluación simple, se puede determinar que no se han aplicado los criterios técnicos en la elaboración del plan de trabajo; asimismo se ha caído en el error de asumir condiciones similares de un proyecto anterior a este. El problema se está dando en los bajos ratios de producción que se obtiene en la actualidad.

1.3.1. Problema General

¿De qué manera la implementación de mejoras al sistema en una planta de trituración de roca ayuda optimizar los rendimientos de la producción de agregados?

1.3.2. Problema Específico

1.3.2.1. Problema específico 01

¿De qué forma se encuentra estructurado la planta y qué métodos de producción se aplicaron para obtener los resultados actuales?

1.3.2.2. Problema específico 02

¿Cuáles son las características de calidad de la materia prima y del producto deseado, que determina la implementación de cada etapa de trituración de la roca?

1.3.2.3. Problema específico 03

¿De qué manera la implementación de mejoras en la configuración estructural de la maquinaria de producción contribuye a reducir los costos de inversión por cada m³ de agregado?

1.3.2.4. Problema específico 04

¿De qué manera se puede medir los avances económicos de la producción, toda vez que se han realizado las mejoras al proceso de producción de agregados?

1.4. Justificación

La presente investigación pretende concentrar información relevante aplicada a la fabricación de agregados aptos para ser usados en diferentes aplicaciones de edificación, estos mismos que son muy importantes para las obras desarrolladas en los sectores de construcción y minería. Cada proyecto de carretera consume desde 120,000 m³ hasta 2000,000 de m³ de agregados para la ejecución del mismo, en realidad las cifras están directamente relacionado con la magnitud de las actividades contractuales.

En nuestro país se consume varios millones de m³ de agregados anualmente, estos volúmenes están relacionado directamente con la magnitud y ejecución de nuevos proyectos dentro del ámbito nacional en el año, y por ello la importancia que tiene estos agregados como materiales

infalibles en la construcción. Estos productos merecen un tratamiento industrial toda vez que la materia prima pasa por un proceso largo hasta la obtención del producto terminado.

Al existir un campo de acción para el Ingeniero Industrial en el desarrollo de la presente actividad, es necesario trabajar sobre los factores que determinará el avance de la producción y en consecuencia desarrollar un plan de acción frente a las carencias encontradas. Las mejoras que se pueden aplicar en cada etapa, desde la obtención de la materia prima hasta la entrega del producto terminado, merece hacer un estudio de cómo se viene aplicando los procedimientos productivos, y en base a ello tomar acción y proponer cambios al sistema, o simplemente mejorar lo que ya se tiene.

Una de las acciones de mayor relevancia es por ejemplo determinar si es correcto el tipo de maquinaria que se esté usando para el tipo de roca que se va a triturar; así como también la configuración de las máquinas y en el orden correcto. Determinar qué es lo correcto, aportará valor económico a la organización ya que se trata de mejoras importantes al proceso de producción.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tiene como finalidad diseñar un modelo de mejoramiento de la productividad para las empresas dedicadas a la elaboración de agregados con el fin de proponer estrategias para mejorar sus estándares de producción y alcanzar sus metas propuestas. Se utiliza como método el diseño de una herramienta de mejoramiento para identificar aquellos pasos dentro del proceso que no están aportando ningún valor al proceso productivo.

Figura n.º 1. 2 Planta móvil de procesamiento de agregados



Fuente: Empresa constructora Ops

1.4.1. Justificación Teórica

El presente trabajo es importante porque podemos encontrar los errores en las actividades y también la oportunidad de mejorar el proceso aplicando una herramienta de mejora, como por ejemplo el método basado en la identificación de los cuellos de botella; asimismo poder identificar los errores comunes en el proceso productivo. Los métodos de la Teoría de Restricciones (TOC) es posible ser aplicado en las plantas de producción de agregados, donde se pueden determinar las diferentes restricciones internas y externas que influyen en el proceso. Es por esta razón que se debe analizar cada una de las etapas en la producción del agregado, desde la explotación de la cantera, procesamiento de la selección de materias primas, el procesamiento de trituración, la infraestructura misma de la planta, su capacidad instalada y los tipos de maquinaria adicional que se debe utilizar. De todo esto se desprenden una serie de factores, que desde el inicio empiezan a influir en el desarrollo del proceso.

1.4.2. Justificación Práctica

En la práctica, aquellos factores de carácter operativo que se irán identificando, los mismos que determinan el éxito de la producción, podrán ser manipulados y mejorados de acuerdo a la necesidad operativa, los supervisores y operarios mismos podrán tener una idea más clara sobre lo que puedan hacer en el acto para destrabar un cuello de botella, con esto el proceso podría ser mucho más manejable y se podrá trabajar en cada etapa buscando siempre la mejora continua al proceso. Referente a los cambios importantes en la estructura (reemplazo de maquinaria), se va a definir y conceptualizar cuáles son los argumentos técnicos para proponer tal importante y costosa maquinaria. El objetivo es que las personas involucradas a la actividad, tomen en cuenta el entorno de lo que se tiene en campo, y tengan la capacidad de identificar y proponer los cambios necesarios. Estos cambios se pueden dar por minúsculos problemas que finalmente pueden influir en el resultado.

1.4.3. Justificación Cuantitativa

En la presente investigación mostraremos algunos detalles de los avances y logros económicos a los que se pretende llegar, es posible obtener mejoras cuantitativas puesto que el sentido del presente trabajo tiene como fin buscar la mejor forma de que el proceso sea eficiente y a su vez esto se refleje en la disminución del costo del producto terminado, por lo tanto justifiaremos nuestra investigación cuando se consiga resultados favorables.

1.4.4. Justificación Académica

No hemos encontrado literatura similar a la presente investigación, la recopilación de datos de algunos autores son un extracto de los temas de nuestro interés para fundamentar las mejoras; asimismo la mayoría de las afirmaciones tiene un sustento teórico práctico ya que proviene de las ideas propias con base en la experiencia de más de 25 años de trabajo en el rubro, lo mismo que servirá a los futuros estudiantes y personas interesadas que puedan seguir enriqueciendo la información descrita. En nuestro país no está muy desarrollado el rubro de producción de agregados a comparación de países como Colombia, México, entre otros por señalar; sin embargo exhorto a que continúen con la investigación de este tema que dará mucho valor a la institución que la desarrolla, y en consecuencia aportará al crecimiento de la nación.

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Optimizar el rendimiento de la producción de agregados en una planta de trituración de roca, realizando mejoras en el sistema que conforma dicha planta.

1.5.2. Objetivo Específicos

1.5.2.1. Objetivo específico 1

Realizar un análisis de la estructura de la planta y los métodos de producción utilizados en la actualidad, con el fin de evaluar su eficiencia y eficacia, identificando los puntos donde se generan restricciones.

1.5.2.2. Objetivo específico 2

Realizar ensayos de la materia prima, y verificar las especificaciones técnicas del producto deseado, a fin de establecer un modelo mejorado de producción (etapas) en base a la calidad de: del material que se tiene para procesar, y los productos que se quiere obtener.

1.5.2.3. Objetivo específico 3

Proponer mejoras en la planta de acuerdo a la necesidad real, y evaluar el impacto productivo y económico que se va a conseguir por cada m³ de producto.

1.5.2.4. Objetivo específico 4

En base a la propuesta de mejora, mostrar los avances económicos que se quiere obtener, los mismos que aportarán valor a la organización.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Hernández y Vargas (2017), en su tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial, en la investigación que realizaron, “Implementación de mejora de las operaciones en el área de producción de concreto pre-mezclado, para optimizar los costos de producción en la empresa Distribuidora Norte Pacasmayo SRL”, en la Universidad Privada del Norte, en Cajamarca-Perú. Los tesisistas realizaron un estudio de factibilidad de mejoras en un proceso de operaciones en una planta de procesamiento de mezcla de concreto, donde primero identificaron una serie de problemas que ocurre en las operaciones de producción y en base a dichos problemas comenzaron a trabajar las futuras mejoras, también se realizó implementación de pequeños equipos y algunos cambios que era necesario. En este ejercicio aplicaron PDCA (Planear, Hacer, Chequear, y Actuar). La mejora fue aplicada en una planta concretera de la empresa Cementos Pacasmayo, donde también hacen mejoras al tema de calidad de los agregados estableciendo un nuevo procedimiento en la dosificación de los materiales para el mezclado, mejorando los tiempos y otros temas propios del proceso. La aplicación de las mejoras tuvo repercusión en los resultados económicos y se hace referencia mediante cuadros comparativos.

Talavera (2012), en su tesis para optar el título de Ingeniero Industrial “Estudio de pre factibilidad de una planta procesadora de agregados en el cauce del río Rímac para Lima Metropolitana y Callao”, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en Lima-Perú, plantea un estudio sobre la viabilidad de técnica económica y financiera realizando un estudio de pre factibilidad de una planta procesadora de agregados. Donde centra su atención principalmente a la factibilidad de inversión de una planta de procesamiento de agregados, describe también las etapas de que conforma todo el proceso desde la explotación de la materia prima, el procesamiento (trituration), zarandeo y manejo de los productos finales; asimismo se detalla las características de la maquinaria que se va a invertir en este nuevo proyecto, los costos de inversión y la corrida financiera aplicada durante 10 años.

Rios (2010), en su tesis para optar el título de ingeniero civil, presenta el tema “Rendimiento de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias modelo de cono”, desarrollado en la Universidad Nacional de Ingeniería, en Lima-Perú, realiza una investigación de los factores que condiciona el rendimiento de la producción de agregados en una planta de procesamiento de roca, donde hace referencia principalmente a una trituradora de tipo cono que generalmente se usa en la etapa de trituración secundaria, sobre estas máquinas existe información comercial respecto

a los rendimientos y esos ratios hacen referencia a una producción en condiciones ideales que son imposible de alcanzar. Para fines prácticos no se debe tomar referencia esos datos porque son irreales más bien los datos de rendimiento reales fueron tomados en un proyecto que se estaba desarrollando en esas fechas, existiendo una brecha enorme con respecto a las especificaciones del fabricante.

Escudero (2016), en su tesis para optar el título de Master en minería sostenible, desarrolla una investigación “Mejora del proceso productivo de áridos industrial Concreto” por la Escuela técnica superior de Ingenieros de minas y energía, en Medellín-Colombia. Ha hecho una revisión de las características de una planta de procesamiento de agregados, donde busca identificar los errores típicos en el proceso de producción y en base a lo encontrado, aplicar un plan de mejora para reducir los costos innecesarios y optimizar el rendimiento. Desarrolla también un estudio económico demostrando que es factible hacer rectificaciones en la maquinaria y la forma de procesar los materiales naturales (materia prima). Se hace referencia a la situación de la cantera de dónde sacan la materia prima, en la cual el material se ha agotado y el seguir explotando dicho estrato generaría problemas medioambientales y lo mejor sería que se potencie solamente una zona de procesamiento donde se debería armar una planta nueva que reemplazaría a las dos plantas que en ese momento estaba funcionando y generando mayor costo de inversión. En el balance económico muestra que hay un ahorro de dinero, lo que significa que hay una oportunidad de mejora en una situación como esta.

Delgado (2011), en su tesis para optar el grado de ingeniero constructor, ha desarrollado una investigación titulada “Implementación de chancadoras de impacto en la producción de gravillas para uso en concretos asfálticos de rodadura” En la Universidad Austral de Chile. En esta tesis, se demuestran las ventajas obtenidas al utilizar concretos asfálticos fabricados con agregados triturados por una chancadora primaria de mandíbulas, trituración secundaria en una chancadora de cono, y adicional a esto la propuesta de mejora es que se utilice en una etapa terciaria la trituración del material en una chancadora de impacto de eje vertical llamada VSI. Se hizo una comparación de los agregados que se manufacturaron en una chancadora primaria y secundaria contra los resultados de un material que se obtuvo de la trituración primaria, secundaria, y terciaria. Después de realizar los ensayos para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con los dos tipos de agregado, se determina que hay mejoras en las características de la mezcla asfáltica con el material que tiene el proceso adicional terciario y se manifiesta favorablemente para el tema económico.

Par (2010), en su tesis para optar el grado de Ingeniero mecánico Industrial, elaboró una investigación titulada “Propuesta de mejoras para el incremento de eficiencia de la trituradora de tipo impacto con eje horizontal (HSI) KPI 5260 para la fabricación de agregados” en la Universidad de San Carlos de Guatemala. En su tesis hace énfasis a los rendimientos de producción y las mejoras que se puede aplicar para incrementar la eficiencia en el proceso de trituración de una chancadora de impacto de eje horizontal (HSI), donde propone principalmente hacer una medición de la eficiencia y ver cuánto se está aprovechando la máquina realmente en la actualidad, en base a esa medición se puede dar las pautas y propuestas para las mejoras al sistema, así como ver los parámetros y hacer que sean de fácil acceso para la medición, establecida la medición de la eficiencia, se puede establecer cualquier modificación para el incremento en la planta. Como objetivo general determina que se debe localizar las fallas en la producción para proponer las soluciones y mejoras buscando la eficiencia en la producción; y en lo específico se debe describir el proceso general de trituración de agregados, detectar los problemas que afecta la eficiencia de trituración, proponer las mejoras al sistema, proponer formas de seguimiento para la detección de fallas, y establecer un criterio simple para la medición.

2.2. Herramientas aplicables a la ingeniería

2.2.1. Teoría de las restricciones

La teoría de restricciones fue descrita por primera vez por Eliyahu Goldratt en los años 80's. Siendo físico y empresario del software se preguntó si acaso existiría alguna relación válida entre las técnicas utilizadas en la resolución de problemas científicos y los que él había encontrado en su trabajo con empresas.

TOC es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de la causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar. Está basada en el simple hecho de que los procesos multitarea, de cualquier ámbito, solo se mueven a la velocidad del paso más lento.

2.2.2. Tipos de restricciones

Para el físico Eli Goldratt, existen dos tipos de limitaciones:

- **Limitaciones físicas.** - Son equipos o instalaciones, recursos humanos, etc.; que están evitando que el sistema cumpla con su meta de negocio. Existen dos modos de explotarla:
Agregando capacidad (contratando más personal, alquilar o comprar equipos)
Aprovechando al máximo la capacidad del sistema (gestión eficiente)
- **Limitaciones políticas.** - Son todas aquellas reglas que evitan que la empresa alcance su meta. Existe solo un modo de explotar una política: reemplazándola.

2.2.3. Cuello de botella y recursos restringidos por la capacidad

Grados (2014) define un cuello de botella como un recurso cuya capacidad es menor a su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura, es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente flaca. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial. En las observaciones de la industria se ha visto que la mayoría de las plantas tienen muy pocas operaciones con cuello de botella. Si no hay cuellos de botella, sobra capacidad y es preciso cambiar el sistema para generar un cuello de botella (como más tiempo de preparación o aminorar la capacidad).

La capacidad se define como el tiempo disponible para la producción, Aquí se excluyen mantenimiento y otros tiempos sin trabajar. Un canal despejado es todo recurso cuya capacidad es mayor que la demanda que se le impone. Por lo tanto, un canal despejado no debe trabajar de continuo, ya que produciría más de lo que se necesita. Un canal despejado incluye tiempo ocioso. (Poma .2014)

Un recurso restringido por la capacidad (capacity-constrained resource, CCR) es aquel cuya utilización está cerca de la capacidad y podría ser un cuello de botella si no se programa con cuidado. Por ejemplo, un CCR podría recibir trabajo de varias fuentes en un entorno de planta fabril. Si estas fuentes programan su ritmo de manera que se genere tiempo ocioso ocasional para el CCR que supere su capacidad sin usar, el CCR se convierte en cuello de botella cuando el volumen del trabajo llega más tarde. Esto ocurre si se cambia el tamaño de los lotes o si alguna de las operaciones anteriores no funciona por cualquier motivo y no envía suficiente trabajo al CCR.

Reglas de Goldratt para programar la producción

1. No equilibre la capacidad: equilibre el ritmo.
2. El grado de aprovechamiento de un recurso que no se atasca no está determinado por su potencial, sino por otra restricción del sistema.
3. No es lo mismo el aprovechamiento que la activación de un recurso.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para todo el sistema.
5. Una hora ahorrada en un no cuello de botella es una ilusión.
6. Los cuellos de botella gobiernan la producción y las existencias del sistema.
7. El lote de transferencia no siempre es, ni debe ser, igual al lote del proceso.
8. Un lote de proceso debe variar tanto en la ruta como en el tiempo.
9. Para fijar prioridades hay que examinar las restricciones del sistema. El tiempo de espera es un derivado de la programación. (Aguilera .2017)

Aplicación de la teoría de las restricciones de Goldratt

1. Identifique las restricciones del sistema (no es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón débil).
2. Decida cómo aprovechar las restricciones del sistema (que las restricciones sean lo más efectivas posibles)
3. Subordine todo a esa decisión (articule el resto del sistema para que apoye las restricciones, incluso si esto reduce la eficiencia de los recursos no restringidos).
4. Eleve las restricciones del sistema (si la producción todavía es inadecuada, adquiera más de este recurso para que deje de ser una restricción).
5. Si en los pasos anteriores se fracturaron las restricciones, vuelva al paso uno pero no deje que la inercia se vuelva la restricción del sistema. (Cuando se resuelva el problema de la restricción, vuelva al comienzo y empiece de nuevo. Es un proceso continuo de mejora por identificar las restricciones, fracturarlas e identificar las nuevas que surjan).

2.2.4. Filosofía de Ishikawa

El doctor Ishikawa fue la figura más importante en Japón en lo que respecta al control de la calidad. Fue el primero en utilizar el concepto de *Control de la Calidad Total*, y desarrolló las “siete herramientas” que consideró que cualquier trabajador podía utilizar. Pensó que esto diferenciaba su tesis de las otras, que dejaban la calidad en vida; recibió incluso el Premio Deming y la segunda orden del tesoro sagrado, un muy alto honor del gobierno japonés.

Ishikawa estaba interesado en cambiar la manera de pensar de la gente respecto a su trabajo. Para él, la calidad era un constante proceso que siempre podía ser llevado un paso más. Hoy es conocido como uno de los más famosos gurús de la calidad mundial. Todos quienes estamos

interesados en el tema de la calidad debemos estudiar a Ishikawa pero no solamente de manera superficial, repasando sus planteamientos, sino analizando profundamente su concepción del trabajo y sobre todo aplicándola cada quien a su propio entorno.

2.2.5. Principios básicos de la teoría de Ishikawa

Las siete herramientas de Ishikawa son:

1. Los diagramas de Pareto.
2. Los diagramas de causa-efecto (diagramas “espinas de pescado” o Ishikawa)
3. Los histogramas
4. Las hojas de control
5. Los diagramas de dispersión
6. Los flujogramas
7. Los cuadros de control

Si bien Ishikawa admitió que no todos los problemas se podían resolver con estas herramientas, consideró que era posible encontrar una solución en el 95 por ciento de los casos, y que el operario de planta podía utilizarlas eficazmente. Si bien algunas de las herramientas habían sido bien conocidas en otra época, Ishikawa las organizó específicamente para mejorar el control de la calidad. Él creó el diagrama de causa-efecto, denominado en forma descriptiva “diagrama de espina de pescado”, otras veces llamado diagrama Ishikawa para distinguirlo de un tipo diferente de diagrama de causa-efecto utilizado en programas de computación.

2.2.6. La filosofía de la calidad de Ishikawa

A medida que la industria progresa, y el grado de civilización aumenta, el control de la calidad llega a ser cada vez más importante. A continuación, expondré algunos principios básicos de la filosofía de Ishikawa con referencia a la calidad.

1. La calidad comienza y finaliza con la educación.
2. Un primer paso hacia la calidad es conocer los requerimientos del consumidor.
3. Las condiciones ideales del control de calidad se dan cuando la inspección ya no es necesaria.
4. Elimine la causa de origen y no los síntomas.
5. El control de calidad es una responsabilidad de todos los trabajadores y de todas las divisiones.

6. No confunda los medios con los objetivos
7. Priorice la calidad y fije sus perspectivas de ganancia en el largo plazo.
8. El marketing es la entrada y la salida de la calidad
9. La dirección no debe reaccionar negativamente cuando los hechos son presentados por los subordinados.
10. El noventa y nueve por ciento de los problemas de una compañía se pueden resolver utilizando las siete herramientas del control de calidad.
11. La información sin difusión es información falsa; por ejemplo, fijar un promedio sin comunicar el desvío estándar.

2.2.7. El principio de Pareto

El Principio de Pareto fue descrito por el economista y sociólogo Vilfredo Pareto, que especifica una relación desigual entre entradas y salidas. El principio establece que el 20% de la lo que entra o se invierte es responsable del 80% de los resultados obtenidos. Dicho de otra manera, el 80% de las consecuencias se derivan de 20% de las causas; esto también se conoce como la “regla de Pareto” o la “regla 80/20.”

De manera más general, el Principio de Pareto es la observación (no ley) que la mayoría de las cosas en la vida no se distribuyen de manera uniforme. Por ejemplo:

El 20% de las consecuencias derivan del 80% de las causas

El 20% de los trabajadores producen el 80% de los resultados

El 20% de los clientes a crean el 80% de los ingresos

El 20% de los errores de software causan el 80% de los fallos del software.

El 20% de los inversores se quedan con el 80% de las ganancias obtenidas en Bolsa, y esto a su vez tiene su origen en el 20% de los valores de una cartera individual, y así sucesivamente... El principio no estipula que todas las situaciones vayan a mostrar exactamente esta relación, se refiere a una distribución típica. De forma general el principio se puede interpretar como que una minoría de causas deriva en la mayoría de los resultados.

En la década de 1940, la teoría de Pareto fue formulada por el Dr. Joseph Juran, un ingeniero estadounidense ampliamente reconocido por sus aportaciones en el control de calidad. Fue el Dr. Juran quién decidió llamar a la proporción del 80/20 “El Principio de Pareto.” Según él,

aplicar el Principio de Pareto en las métricas de un negocio, nos ayudará a separar las cosas “poco vitales” de las “muy útiles”.

2.2.8. Aplicaciones del principio de Pareto

El principio de Pareto supone que cuanto más frecuentemente se produzca una acción, mayor será el impacto que tenga sobre el resultado.

Paralelamente, este principio también describe la “eficiencia de Pareto” que es un equilibrio en la distribución de los recursos de tal manera que, dentro de un sistema dado, un individuo o entidad no puede obtener un beneficio sin empeorar la situación de cualquier otra persona o entidad, y a esto se conoce como una mejora de Pareto. De acuerdo con este concepto, es deseable continuar haciendo mejoras de Pareto hasta que ya no sea posible debido a que un beneficio a un individuo empeoraría demasiado a otro u otros. Cuando no se pueden hacer mejoras adicionales de Pareto, se dice que se ha alcanzado la eficiencia de Pareto.

Otra aplicación del principio de Pareto es la regla de 96 minutos, que sostiene que los trabajadores intelectuales deben dedicarse a sus tareas más importantes durante ese período de tiempo cada día para mejorar la productividad.

2.3. Producción de agregados

2.3.1. ¿Qué significa producir agregados?

Producir agregados significa específicamente, triturar rocas grandes y clasificarlas para determinado uso. Se denominan agregados a los materiales de forma granular, natural o artificial que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente. Dichos materiales son elementos fundamentales para el sector de la construcción debido a que conforman cerca del 70% del volumen de las mezclas asfálticas como hidráulicas, y otras estructuras de pavimentos o capas estructurales en la construcción y minería (Aguilera .2017)

La producción de agregados consiste básicamente en triturar, clasificar y/o lavar piedras según su tamaño. Sin embargo, en la práctica, el proceso es mucho más complejo y no se debe subestimar su calidad, pues se deben obtener agregados homogéneos y de tamaño que cumplan con la normativa vigente para que su uso en ingeniería se optimice.

Según González (2018) El proceso de tratamiento de los agregados permite obtener productos terminados aptos para la puesta en obra. En cuanto a su principio básico, puede decirse que es sencillo, pues consiste en triturar el crudo procedente de los frentes de explotación llamados canteras, para obtener tamaños menores y clasificarlos con el fin de almacenar por separado cada granulometría con partículas limpias, duras, resistentes y durables. En algunos casos, para fabricar agregados para las mezclas de concreto y asfalto, es necesario lavar el material para mejorar sus características; por lo contrario de la fabricación triturada, los afirmados para los paquetes estructurales de pavimentos, se producen en seco y no necesita mayor tratamiento que su clasificación.

2.3.2. Clasificación de los agregados

Clasificación de los agregados por su modo de fragmentación

González (2018):

a.- Naturales

Se encuentran en yacimientos naturales o depósitos no consolidados, para aprovecharlos sólo es necesario extraerlos, y clasificados por tamaños semejantes a las especificaciones.

b.- Artificiales o manufacturados

Encontramos en macizos rocosos (coluviales), depósitos en los ríos (aluviales), para obtenerlos se emplean procedimientos extractivos de movimiento de tierra y de voladura, se trituran y clasifican; se controla su calidad con respecto a especificaciones técnicas.

c.- Industriales

Son agregados que ya han pasado por diferentes procesos de manufacturación, tal como productos de desechos, materiales calcinados, bloques de demoliciones, etc. Estos son limpiados y procesados mecánicamente.

Clasificación de los agregados por su tamaño

a.- Agregado grueso o grava

Se denomina gravas aquellos materiales que al ser tamizados pasan por la malla de 3" y son retenidos en la malla No. 4.

b.- Agregado fino o arena

Se denomina arena aquel material que pasa por la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 200.

c.- Por su Color

Esta es una clasificación muy común en los agregados, sin embargo, el color no influye en las propiedades mecánicas que afectan la calidad de una mezcla. Su uso se limita a concretos

arquitectónicos de acabado (por ejemplo, el mármol), la apariencia en el diseño del color característico en una obra, por ejemplo los pisos industriales. (Cisneros .2015).

Clasificación de los agregados por su composición mineralógica

a.- Agregados Ígneos:

Son rocas formadas por la consolidación del magma fundido. Estas se clasifican en rocas intrusivas y extrusivas, se distingue de acuerdo a su textura.

b.- Agregados Sedimentarios:

Son rocas formadas por fragmentos de rocas preexistentes que son transportados por agua, viento o hielo hasta su área de depósito, y por precipitación química de minerales por medio del agua, o por la acumulación de residuos orgánicos.

c.- Agregados Metamórficos:

Las rocas ígneas como las sedimentarias pueden estar sujetas a movimientos terrestres que las llevan hacia el interior a grandes profundidades en la corteza, donde son sujetas a la acción de altas temperaturas y presiones, este fenómeno de re cristalización da origen a las rocas metamórficas. (Santiago .2014)

Clasificación de los agregados por su masa unitaria o volumétrica

a.- Agregados Ligeros: Son aquellos agregados que producen concretos con masa unitaria menor que 1900 kg/m³, sin la presencia de elementos que generen aire.

b.- Agregados de Masa Volumétrica Normal: Aquellos que producen concretos con masa unitaria de 1 900 kg/m³ a 2 400 kg/m³ .

c.- Pesados: Son aquellos que producen concretos con una masa unitaria mayor que 2 400 kg/m³.

2.3.3. Proceso general de producción de agregados

La producción de agregados pétreos se puede dividir en varias etapas, para nuestro estudio hemos centrado nuestro interés a una típica cantera de naturaleza aluvial donde generalmente encontramos partículas con alta resistencia a la abrasión. Esta actividad tiene varias etapas, a continuación, se describe el orden del proceso:

- Exploración
- Desbroce
- Explotación
- Trituración
- Cribado
- Almacenamiento, manejo del stock pile
- Transporte hacia la planta de proceso de mezcla

El MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2017) refiere Para la correcta y adecuada funcionalidad de los diferentes procesos de producción de agregados se involucra a otras disciplinas donde intervienen Ingenieros Geológicos, Civiles, industriales, mecánicos; asimismo se cuenta con el apoyo de las subdivisiones de área que integran Los topógrafos, laboratoristas, supervisores mecánicos, supervisores de producción, etc. El objetivo con referencia a la calidad, es identificar desviaciones que pudieran estar relacionadas con la producción, tales como el factor de forma, la granulometría, la cantidad de finos presentes en los agregados, la segregación, sobre tamaños y/o contaminación con materiales orgánicos; asimismo corregir las desviaciones y proponer cambios en cada etapa de la estructura productiva, esto implica contar con un amplio conocimiento relacionado de las máquinas trituradoras y los demás periféricos que compone el conjunto de la planta de producción de agregados.

2.3.4. Exploración de una Cantera de Agregados

Para Santiago (2014): La actividad de explotación minera no metálica inicia con la prospección o exploración con el objetivo de localizar depósitos de materiales de nuestro interés. Posteriormente se definen a detalle las características más importantes a nivel geológico, lo que permiten definir el tipo de yacimiento del mineral no metálico, y mediante la litología realizar el estudio de las unidades de roca encontradas; asimismo mediante calicatas desarrollar el cálculo de la potencia que ayudarán en gran medida a definir si un depósito es económicamente explotable.

Objetivos de la exploración

- Evaluación cualitativa y cuantitativa del área a explotarse que constituye en el sector que se ha

determinado por factores que son favorables al proyecto, el alcance del trabajo implica la caracterización de las rocas y determinación de la potencialidad de los sectores probados.

- La exploración incluye la evaluación de la calidad física y alteraciones presentes en la piedra así como realizar el desbroce del área explotable para determinar los volúmenes aprovechables. Al descubrir el estrato se podrá emitir una opinión técnica si es que los materiales pueden ser utilizados directamente o deben de removerse total o parcialmente, para recuperar la mayor cantidad de reservas del material objetivo.

Especificaciones de las Muestras obtenidas en Campo

- Muestreo: se realizan calicatas a profundidades medias y se toma muestras representativas tomando en consideración que esa excavación representará un área en ese mismo sector, por lo tanto, se deberá tener mucho cuidado en el manipuleo de la muestra tomada.
- Las muestras se envían a un laboratorio homologado de instituciones certificadas (UNI, Sencico, U. Católica) para su preparación y análisis.
- La muestra resultante de la excavación de una calicata se debe cuartear con el apoyo de un técnico de laboratorio hasta alcanzar un volumen con peso de 50 kg aproximadamente, los cuales se depositarán en una bolsa de plástico identificándola con el nombre del sector de la cantera.
- Se tomará de cada bolsa la cantidad necesaria para el análisis químico y el resto de la muestra se mantendrá rotulado en la planta para su conservación como testigo. Arangurí (2013).

Consideraciones

Es importante verificar las condiciones topográficas, ubicación de linderos, verificación de la potencia, y la estructura cualitativa del estrato explotable, a fin de definir del área de extracción y en consecuencia establecer la viabilidad para la penetración de los equipos de corte y de transporte para el acarreo.

Plan de explotación de una Cantera de Agregados

El método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad del factor humano, así como del patrimonio de la organización; Asimismo, debe permitir un ritmo óptimo y viable de extracción bajo las condiciones geográficas particulares de donde se encuentre el depósito. Los planes de explotación deben ser elaborados en base a la composición estructural

(cantera de cerro o río) del estrato, prevaleciendo el concepto fundamental del cuidado de la estabilidad de los taludes de los cerros, y las contenciones naturales del río cuando se trata de materiales aluviales. De los rasgos y características del depósito mineral no metálico dependerán las condiciones que determinen el método más adecuado de explotación. Las siguientes características son de suma importancia en la selección de un método de explotación en cantera:

Según Rolando (2018):

- El tamaño y el origen (roca ígnea, sedimentaria o metamórfica) del conglomerado.
- El espesor y el tipo del desbroce superficial.
- La localización del depósito explotable y provechoso.
- Las características físicas, tamaño y resistencia al desgaste de la roca.
- La humedad del material, presencia o ausencia de aguas subterráneas y sus condiciones hidráulicas relacionadas con el drenaje.
- Factores económicos involucrados con la operación, costos comparativos de la explotación y ritmos de producción deseados.
- Factores ecológicos y ambientales tales como conservación del contorno topográfico original en el área de explotación. El desbroce localizado sobre el tajo planeado siempre deberá removerse y colocarse fuera del área antes de que el corte haya empezado. El corte debe realizarse de tal forma que siempre se lleve un orden y sea posible el transporte de material sin interrupción, por lo que siempre será necesario planear cada banco con una sección horizontal que permita el tránsito de camiones en dos direcciones. El espacio mínimo de trabajo también es necesario para actividades que realiza la excavadora en el corte y carguío. (Grados 2014)

Desbroce de una Cantera de Agregados

Esta parte del proceso de explotación trata de la remoción de cualquier tipo de material vegetal (tierra) o materia orgánica para descubrir los estratos aprovechables de material. El espesor o volumen de despalme se podrá conocer con los resultados de la limpieza que se va realizando sobre la futura cantera, también se podría hacer calicatas sobre la superficie. Para estos depósitos coluviales se debe tener mucho cuidado en remover la capa de top soil, este material se guardará para una futura remediación del área. Para el caso de materiales aluviales se debe remover la materia orgánica, como plantas vivas, troncos arbustos y basura, es más fácil de definir cuanto será el volumen que se tiene va a eliminar. . (Santiago .2014)

Explotación de una cantera de agregados

Poma (2014) *refiere* La explotación de una cantera de agregados pétreos depende en su totalidad del tipo de producto triturado que se pretende conseguir. El tipo de estrato deberá ser clasificado durante el proceso de exploración, realizando ensayos y evaluando los resultados del laboratorio de suelos. Durante el proceso de extracción, se debe seguir estudiando las características Intrínsecas del material de tipo y forma, los estratos pueden ir cambiando conforme se va avanzando con la extracción. Las técnicas de explotación a tajo abierto por corte directo permiten entre otras cosas, realizar observaciones cualitativas del fragmento generado por la excavación. Para la extracción de depósitos de material no consolidado, durante la explotación de un conglomerado aluvial por ejemplo se debe aplicar métodos de trabajo que no perjudique a la faja marginal del río y más bien el plan debe estar diseñado para mantener el cauce natural del río, las técnicas de extracción son simples y se puede tener mejor control. Los métodos de explotación de materiales consolidados derivan de principios elementales, donde se aplican otras técnicas extractivas como actividades de voladura controlada, fracturamiento de rocas mediante percutores hidráulicos, trabajos de desquinche, cortes verticales en taludes y otros. Para la ejecución de estos trabajos, existe maquinarias mueve tierras especiales. Estas facilitan las operaciones más complicadas de movimiento de tierras como: corte, excavación, carguío, peinado de taludes, generación de banquetas, conformación de terraplenes, etc. (Grados 2014)

2.3.5. Trituración de material proveniente de una cantera aluvial

Para hablar del proceso de trituración necesitamos entender sobre los tipos de máquinas que existe para esta actividad. En adelante desarrollaremos la información pertinente a este tema. Los equipos más comunes que podemos encontrar en el medio son las trituradoras de mandíbulas, las de cono, de martillos, de impacto (vertical y horizontal), y de rodillos. Estas trituradoras se pueden clasificar en dos grandes grupos: Las trituradoras por compresión y las de impacto.

a.- Trituradoras por compresión

Son aquellas máquinas que comprimen mecánicamente las rocas dentro de una cámara hasta que se fracture la roca en partículas menores. Las trituradoras de mandíbulas, cono y de rodillos operan según el principio de compresión. (Aguilera .2017)

Trituradora de mandíbula (Jaw crusher)

Las trituradoras de mandíbulas se usan principalmente en la etapa primaria. Su propósito principal es producir material que pueda ser triturado en la siguiente etapa menor. La fracturación de las rocas ocurre en la cámara de trituración, la que está compuesta de una mandíbula fija y una mandíbula móvil. Estas mandíbulas están provistas de unas placas dentadas de acero al manganeso llamadas forros. El forro fijo va instalado a la mandíbula que no tiene movimiento y es esta la que recibe la presión, el forro móvil está montado en la mandíbula que tiene el movimiento oscilante por acción de un eje excéntrico, estos forros deben reemplazarse regularmente debido al desgaste que se genera por la fricción con las piedras. Hay dos tipos básicos de trituradoras de mandíbulas, las de un solo efecto y las de doble efecto. La trituradora de un solo efecto cuenta con un eje excéntrico en la parte superior de la estructura. La rotación del eje junto con la placa basculante produce una acción lenta de vaivén con mucha energía. Una trituradora de doble efecto tiene básicamente dos ejes y dos placas basculantes. El primer eje es un eje pivotante en la parte superior de la trituradora, mientras que el otro es un eje excéntrico que acciona las dos placas articuladas. La mandíbula móvil tiene un movimiento puro de vaivén hacia la mandíbula fija.

El movimiento de oscilante que causa compresión tanto en la entrada como en la descarga de material, le da a la trituradora de simple efecto una mejor capacidad que la de las trituradoras de doble efecto de tamaño similar. La trituradora de mandíbulas es un equipo robusto y fiable, y por ello muy popular en plantas de trituración primaria. (Aguilera .2017)

Figura n.º 2. 1 Trituradora de mandíbula en plena carga



Fuente: Manual de trituradoras Sandvik

Trituradora cónica (Cone crusher)

González (2018) afirma que las trituradoras de cono también comprimen a la roca, son llamadas también giratorias, tienen un eje vertical oscilante sobre el cual realizan el giro excéntrico. Estas máquinas normalmente se usan en la etapa secundaria, sin embargo, se puede aplicar también para la etapa primaria, el tamaño de la roca a triturar es la que define la aplicación. Las piedras son trituradas en una cámara de trituración que compone un elemento exterior fijo (cóncavo) y un elemento interior móvil (cono), este último es el que va montado en el conjunto del eje excéntrico. Los dos forros son de acero al manganeso (normalmente 18%). La fragmentación del material resulta de la compresión continuada que ocurre entre estos forros alrededor de la cámara. Un efecto de trituración adicional ocurre entre las partículas comprimidas, resultando en un menor desgaste de los forros. Este efecto también es conocido como auto trituración de partículas, es decir chocan entre ellas y se comprimen. Como ya lo hemos señalado antes, las trituradoras giratorias también se usan en la primera etapa de chancado, dado que el tamaño del material define su función pueden ser usados como trituradoras primarias o secundarias. La trituradora giratoria que se usa en la etapa primaria tiene una cámara diseñada para aceptar material de alimentación de tamaño

relativamente grande en relación con el diámetro del manto. Por ello, el ángulo de la cabeza del cono es más pequeño que el de una trituradora de cono usado en la etapa secundaria. Estas trituradoras (cono secundario) se usan para trituración de tamaños intermedios y finos y/o para obtener un producto con buen formato cúbico (factor de forma), preferentemente el material de alimentación ha tenido que ser tratado en la etapa primaria. El factor determinante para el buen desempeño de una trituradora de cono secundaria es el perfil de la cámara concavidad de trituración, por eso, normalmente hay un rango de cóncavos estándar disponibles para cada trituradora (cabeza corta, fino, medio grueso, y extra grueso), de tal modo que se pueda seleccionar la concavidad adecuada para el tipo de material de alimentación.

Figura n.º 2. 2 Trituradora tipo cónica en pleno trabajo quebrando la roca



Fuente: Manual de trituradoras SANDVIK

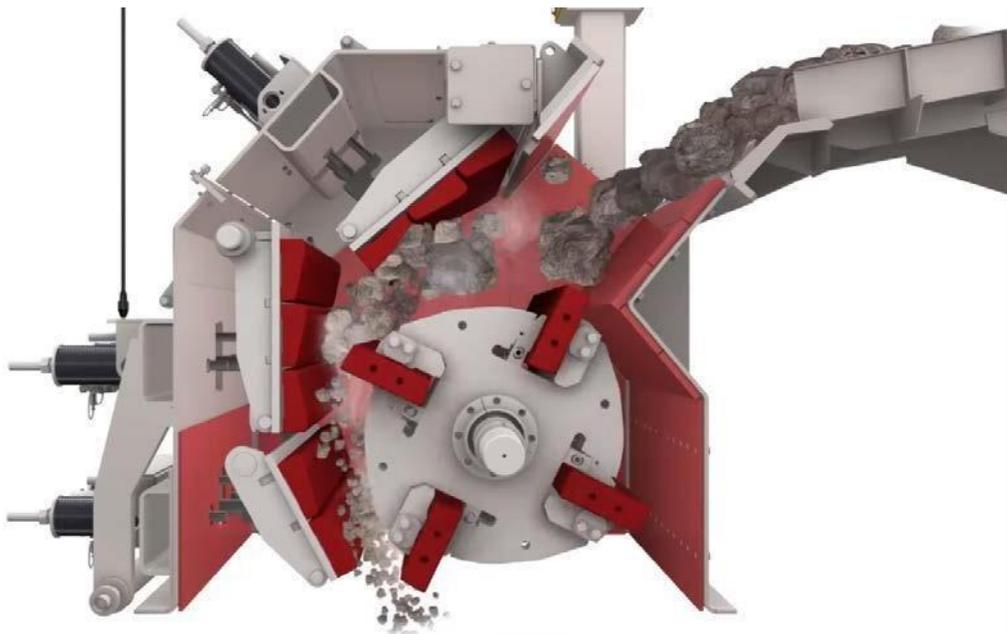
b. Trituradoras de Impacto

Para Cisneros (2015). Son aquellas máquinas que usan el principio de impactos rápidos para fracturar la roca, las trituradoras de impactos y los molinos de martillos usan el principio de golpe. Los dos tipos principales (trituradoras de impactos de eje horizontal y de eje vertical) se caracterizan por alcanzar una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto. Las trituradoras de impactos se clasifican en dos tipos:

Trituradoras de Impacto de eje Horizontal HSI (impact shaft horizontal)

El material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos/barras de tungsteno fijados al rotor. Las partículas resultantes del primer golpe son posteriormente re trituradas dentro de la cámara al ser golpeado por la siguiente barra y lanzado contra las piezas anti-desgaste que están empernadas a la pared de la carcasa, produciéndose así un producto más fino y con un formato cúbico casi perfecto. Cuando el material es de fácil quebrado y no es muy abrasivo, una trituradora de impactos de eje horizontal puede ser la mejor solución para la trituración primaria-secundaria. Los molinos de martillos son muy parecidos a los de impactos horizontales, a diferencia es que el molino de martillos tiene muchas piezas articuladas fijados al rotor, y las aberturas de descargas consisten en una rejilla a través de la cual el material tiene que pasar, contribuyendo así al proceso de reducción. Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos. La velocidad del rotor y el espaciamiento de las barras de la rejilla pueden ser variados para satisfacer las necesidades de un producto definido. Santiago (2014)

Figura n.º 2. 3 Trituradora de impacto (HSI) NORBERG NP15

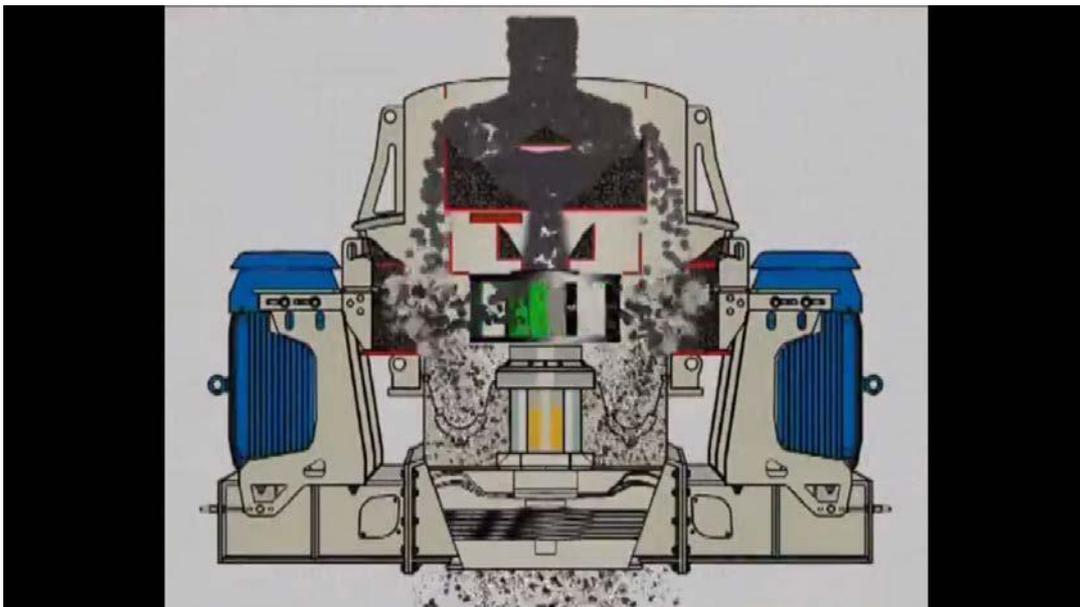


Fuente: Especificaciones técnicas de chancadoras Norberg

Trituradoras de impactos de eje vertical VSI (impact shaft vertical)

Según Arangurí (2013). El principio fundamental de las trituradoras de impactos de eje vertical es el golpe de una roca contra otra roca, las pequeñas piedras que son lanzadas a velocidad alta por acción centrífuga del rotor golpean contra otras que están cayendo por gravedad. El material se alimenta hacia el centro del rotor en movimiento y por la acción centrífuga, las pequeñas rocas son descargadas a través de las ventanas que hay en la periferia del rotor. La trituración ocurre mientras el material choca a alta velocidad contra otras rocas y también golpea a los forros metálicos de la carcasa interior, de acuerdo a la configuración (cascada o rotor). La trituración terciaria y cuaternaria generalmente se desarrolla con este tipo de impactor, su alimentación siempre es con fracciones pequeñas de roca, el tamaño de estas tiene relación directa con el tamaño del rotor. La configuración en la trituración, determinan la calidad del producto final. Las especificaciones de calidad son exactas para los productos terminados especialmente para los agregados que se aplicarán en mezclas con un diseño específico. Las exigencias comunes en la producción de agregados parten de las características naturales propias de la roca, y la calidad y la composición del agregado dependerán de la configuración de la máquina que la tritura. La industria de agregados también tiene exigencias importantes de calidad que se ajusta a las especificaciones técnicas como ASTM, ASHTO, MTC, etc. Cisneros (2015).

Figura n.º 2. 4 Chancadora de impacto de eje vertical BARMAC VSI 7150



Fuente: Manual de trituradora Barmac de METSO

2.3.6. Clasificación (Cribado) de una Cantera de Agregados

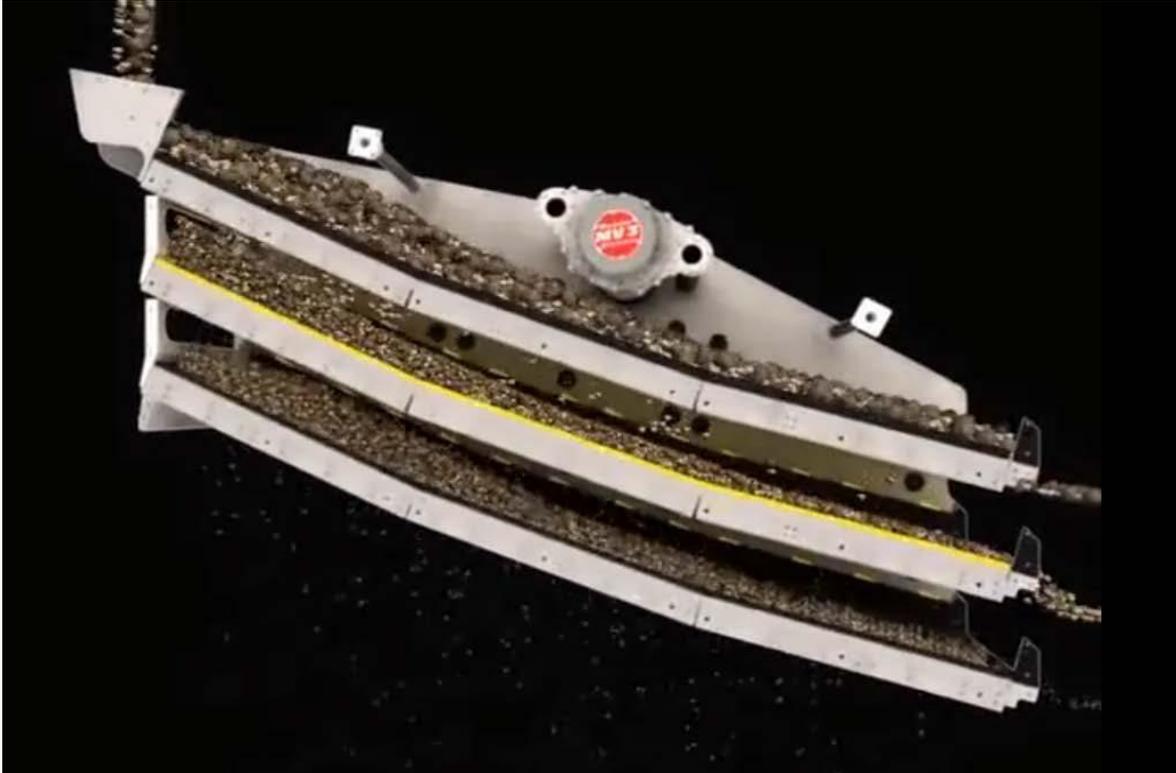
La clasificación o cribado es el último paso del proceso de producción de agregados, es donde se separan las fracciones de piedra y partículas de arena del conglomerado que genera los equipos de chancado. También se aplica para materiales naturales sin haber sido triturados. Esta selección se hace a través de mallas metálicas o poliuretano que van montadas en las cribas vibratorias. Los principios de cribado para cualquier tipo de material en de zarandas vibratorias son básicamente los mismos, los resultados dependerán mucho de las configuraciones que se hayan aplicado. (Cisneros (2015).

Una vez que el material esté sobre la superficie de la caja de cribado, se genera el fenómeno de la estratificación, en cuyo proceso por efecto del movimiento vibratorio, las partículas gruesas emergen a la parte superior de la capa de material y las partículas más pequeñas buscan su camino hacia la parte inferior de la capa a través de los espacios creados entre las partículas gruesas. Los factores que afectan la estratificación son:

1. Velocidad del flujo de material, el espesor de la capa del material, características de inclinación de la criba.
2. Características de la potencia del motor, configuración de la amplitud, dirección de rotación del elemento excéntrico, tipo de movimiento y frecuencia.
3. Humedad superficial de las partículas, un alto contenido de humedad dificulta la estratificación con poca probabilidad de separación. Grado de limpieza con referencia a la plasticidad

El sentido del proceso es que las partículas que llegan a la criba, según sean mayores o menores que las aberturas de la malla son rechazadas o pasan a través de estos huecos. La probabilidad de separación de una partícula es una función de la relación entre su tamaño (piedra/arena) y la abertura de la malla de la criba. Cuanto mayor sea la diferencia de tamaño de la cocada con respecto a la partícula, mayor será la probabilidad estas pasen, y de manera viceversa, sean retenidas. Rolando (2018)

Figura n.º 2. 5 Zaranda vibratoria de tres niveles



Fuente: Manual de zarandas METSO

2.3.7. Control de calidad de los agregados triturados

La responsabilidad del control de agregados lo asume cada integrante que tiene relación con la actividad de producción, independientemente de las responsabilidades del jefe del área de control de calidad, el encargado de la manufacturación de los productos en planta establece una estructura de trabajo que es controlable por él mismo, entonces el fin que se persigue es que se tiene que producir un agregado con las características y exigencias de calidad tomando en consideración la existencia de ciertas tolerancias que están detalladas en las EETT. Es competencia del responsable la elaboración de un plan de producción donde se vincula los procedimientos técnicos de control para la calidad.

El objetivo de la elaboración del plan de producción es “Establecer los lineamientos de trabajo para la verificación de la calidad aplicables a los Agregados Pétreos”. Para los agregados que se van a producir, en este caso agregados para MAC-2, se determinará las inspecciones

básicas más frecuentes del día a día en relación a las especificaciones y técnicas establecidas, las mismas que se describen a continuación:

- Frecuencia de ensayos básicos de un agregado para asfalto,
- Requisitos de granulometría de agregados finos.
- Requisitos de granulometría de agregados gruesos.
- Cantidades máximas de material que pasa la malla No. 200 en agregados finos.
- Control del porcentaje de chatas y alargadas.
- Control del porcentaje de caras fracturadas.
- Otros ensayos de corroboración de características propias del agregado.

Según Rolando (2018) Cada tipo de agregado es analizado y verificado por un analista de control de calidad (técnico de laboratorio) apoyándose siempre con el jefe de laboratorio, así como de los técnicos laboratoristas asignados a cada planta de producción. Los ensayos de verificación deberán comenzar por el muestreo de los materiales en la cantera, o en los acopios de la planta. El muestreo de los agregados es una actividad en donde se recolectan las muestras de los materiales, tanto de los que aún no se han procesado y los que ya se están obteniendo como productos, existen diversos tipos de muestreo, pero lo más usados son: Muestreo en la corriente de descarga de bandas (chorro), y muestreo de material almacenado en las pilas. La toma de muestra de una cantidad de material recientemente producido es tratada para su uniformización mediante batido por un cargador frontal u otro equipo similar, siendo este último el más recomendable. De esta actividad depende en gran medida una evaluación eficaz de la producción de los materiales. En caso de realizar un muestreo inadecuado, las probabilidades de que los resultados no representen al volumen producido son altas.

La muestra del material almacenado se toma de los acopios generados como una pila en forma cónica, se toman porciones de material aproximadamente iguales en diferentes puntos (muestras simples), indicando para ello de la parte más alta de la pila y descendiendo en forma de espiral hasta la base tratando de cubrir toda la pila. También se puede realizar muestreos en la corriente de descarga de la banda, o en el flujo de descarga de tolvas de almacenamiento temporal. Se obtienen tres porciones iguales al azar para formar una muestra compuesta.

La reducción de las muestras obtenidas en campo, tiene como finalidad reducir las cantidades tomadas en campo al tamaño requerido, con el fin de que se conserven tan representativas como los estratos o acopios existentes en campo. Existen dos metodologías:

reducción o cuarteo por el método manual, y reducción o cuarteo por el método mecánico, cualquiera de los dos métodos se puede aplicar, bajo cualquier condición de humedad, excepto para los siguientes casos: El cuarteo mecánico se aplica cuando el agregado fino se encuentra seco; sin embargo, el cuarteo manual se aplica cuando las muestras de agregado fino se encuentren húmedas, de lo contrario reducir por cuarteo mecánico con el agregado seco. La reducción por el método manual se aplica sobre una superficie plana, misma que deberá estar limpia para evitar la contaminación del material a estudiar, es posible emplear una lona limpia para efectuar la prueba. La prueba consiste en formar una pila cónica con el material, aplanarla hasta un octavo de su altura total, dividir en 4 porciones, tomar dos porciones opuestas entre sí y desechar los dos restantes hasta que se tenga el tamaño de muestra requerido para cada prueba. Y la reducción por el método Mecánico a diferencia del método manual, se hace uso de un cuarteador de muestras, mismo que contiene una tolva superior en donde el material deberá distribuirse uniformemente, posteriormente se abre la tolva en donde fue depositado el material para que el material caiga por gravedad en dos receptáculos con los que está provisto el equipo, uno se desecha y el otro se sigue reduciendo hasta el tamaño requerido para cada muestra.

Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es una prueba en donde se determina la distribución de partículas de diferentes tamaños por medio de tamices, del análisis granulométrico dependen diversos factores en un producto compuesto por partículas seleccionadas; entre los que se destacan, la trabajabilidad, la resistencia a la compresión, la durabilidad y otros. La prueba consiste en hacer pasar una muestra de agregado fino o grueso por diferentes mallas, en donde de acuerdo a su tamaño se irán reteniendo, al finalizar la prueba el resultado obtenido será una curva en donde se grafica el número de malla versus el porcentaje retenido, la curva deberá encontrarse entre el límite inferior y superior, estos límites están especificados en las Husos que rigen para la manufacturación de los agregados tal como la norma aplicada, y las consideraciones especiales de cada proyecto.

2.4. Definición de términos básicos

Granulometría. - Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices.

Caracterización de la roca.- Son los estudios que se realiza en un laboratorio para conocer las micro estructuras que conforma una partícula de roca, la misma que es sometida a diferentes ensayos con el fin de determinar los factores determinantes para el uso en mezclas principalmente.

Agregados.- Son aquellos materiales inertes (piedra y arena) provenientes de estratos naturales sobre la tierra, estos poseen resistencia propia que permite usarse en mezclas y rellenos estructurales, estos materiales pueden ser naturales o artificiales dependiendo su origen. Para su aplicación deben ser procesados para cumplir los requisitos de agregados.

Chancadora.- Palabra común que se usa en nuestro medio para referirse a la maquinaria que tritura roca.

Pila.- Forma que se genera al realizar el almacenamiento de material natural de cantera o el agregado que ha sido procesado.

Banda.- Cinta de caucho que compone una faja transportadora, sirve para transportar el material u objeto requerido.

Acarreo.- Se hace referencia a la actividad de transportar cantidades materiales en algún tipo de vehículo partiendo desde un punto hacia un destino para algún fin determinado.

Material global.- Material que se obtiene de las canteras, está compuesto por gravas y arenas, es el material tal cual se ha extraído del yacimiento.

Reglaje.- Son los parámetros de configuración que se establece en una máquina de procesamiento, el reglaje determina el tamaño y forma del producto terminado

Cuarteo.- Proceso por el cual se realiza una partición en cuatro partes iguales de una muestra que se ha tomado de un volumen de material (grava, arena, conglomerado, u otro)

Explotación de cantera.- Proceso por el cual se extrae material de un determinado yacimiento en una cantera, con fines de uso directo o procesamiento industrial.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO

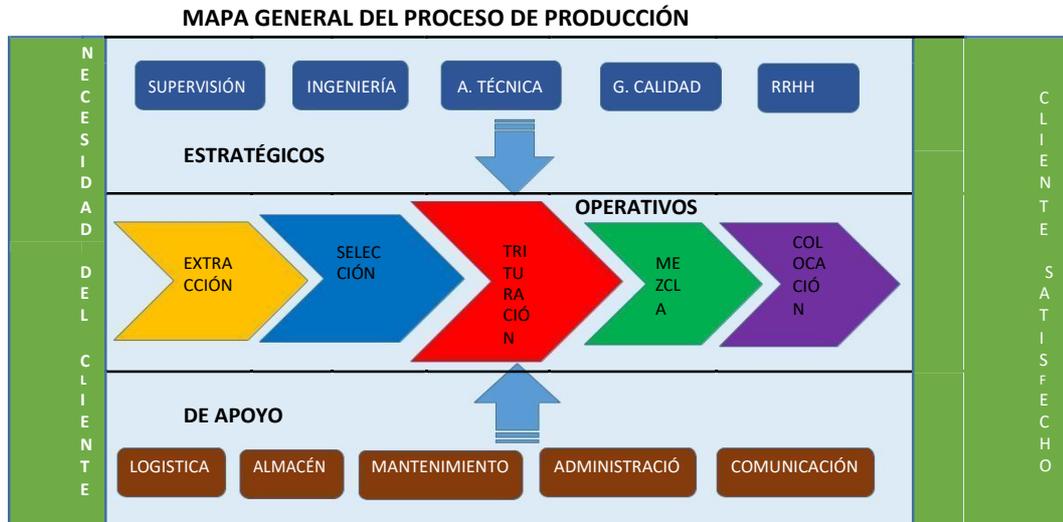
3.1. Desarrollo del Objetivo 1

3.1.1. Evaluación de las condiciones actuales del sistema productivo

La empresa operadora.- Es una organización con carácter de lucro que opera dentro de la modalidad de empresa de servicios y construcción, sus operaciones está orientado a dar servicio de mantenimiento a todo tipo de vías de comunicación terrestre de primer, segundo y tercer orden, así como caminos de penetración en el interior del país. La empresa cuenta con una vasta experiencia en el rubro de mantenimiento de carreteras y tiene a su cargo la concesión de importantes vías a nivel nacional. Para la ejecución de la obras, es de suma importancia contar con agregados procesados y por ello, existiendo la necesidad de procesar estos productos, cada vez que se da inicio a un proyecto de construcción se tiene que realizar producción de agregados de manera industrial. La temporada de producción de agregados tiene una duración que está relacionado directamente a la magnitud de las obras que se van a ejecutar, por eso depende principalmente del alcance del proyecto. Para la presente temporada que se está analizando, se ha considerado ciertos recursos que demanda la trituración de estos agregados que compone la mezcla para asfalto del tipo MAC-2.

Para la ejecución del proyecto la empresa toma por alquiler la maquinaria pesada para armar la planta de acuerdo a la configuración establecida. Algunas empresas cuentan con maquinaria propia; sin embargo, no siempre son ideales para el tipo de procesamiento que se va a realizar, y por lo tanto de todas maneras se contrata la maquinaria necesaria. La organización del proyecto tiene como fin pavimentar varios kilómetros de una carretera que está en uso. Para ello, se ha estructurado una línea de producción que inicia con la extracción de la materia prima hasta la colocación de la mezcla de asfalto en caliente (MAC). A continuación, se ha elaborado un mapa de procesos de la actividad productiva que se ha instalado en el nuevo proyecto:

Figura n.º 3. 1 Mapa de procesos de la actividad productiva



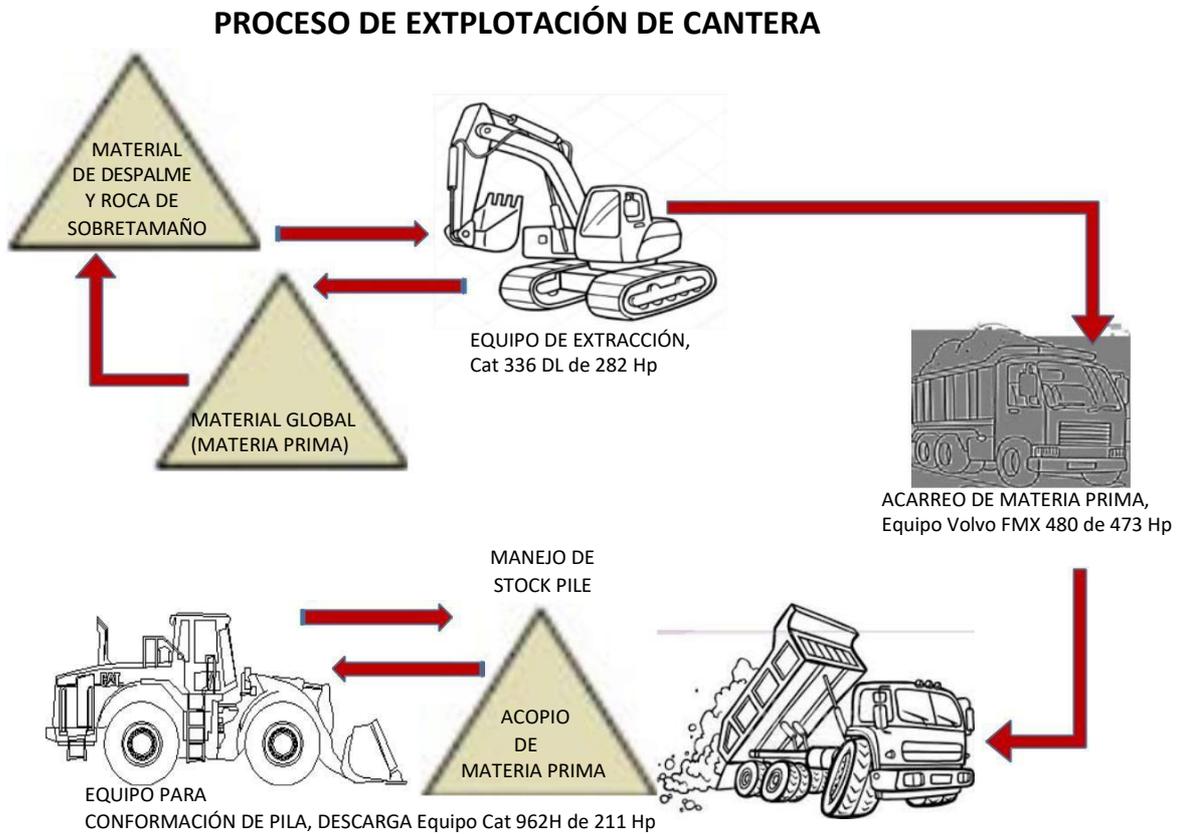
Fuente: Elaboración propia

Nuestra atención estará centrado en el proceso de producción de agregados que está dentro de la línea de producción de para la venta de m² de carpeta asfáltica colocado en pista.

3.1.2. Evaluación del proceso de explotación de cantera

La presente evaluación se realizará en las instalaciones de una planta de procesamiento de agregados ubicado en la ciudad de Nazca. El proyecto en mención tiene como finalidad asfaltar varios tramos de carretera reemplazando un pavimento envejecido por el tiempo, el uso y las condiciones adversas de la zona; por tal motivo, para la colocación de la carpeta asfáltica se necesita fabricar la mezcla asfáltica en caliente (MAC) cuyos ingredientes principales y de mayor volumen son los agregados. Nosotros nos enfocaremos como es debido al proceso de producción de lo áridos, desde la explotación de la cantera hasta la obtención de los productos terminados. La organización del proyecto ha realizado un plan de producción donde contempla la contratación de los equipos que se utilizan en las diferentes etapas de producción como: la explotación de la cantera, la selección de la roca, la trituración, y la selección de los agregados.

Figura n.º 3. 2 Explotación de cantera estructurada por el proyecto



Fuente: Elaboración propia

En nuestra primera visita a la planta hemos hecho un recorrido por todas las instalaciones en campo, y hemos venido recogida información importante en cada etapa del proceso; así como el desempeño de la maquinaria en base a la observancia y en consecuencia la toma de datos:

Figura n.º 3. 3 Proceso de explotación en una cantera de río



Fuente: Elaboración propia

- Etapa de explotación de cantera. Se ha definido como cantera un sector dentro del cauce del río Nazca, en una extensión de tres kilómetros de recorrido por un ancho neto de 45 metros en promedio y a una profundidad de 1.5 metros, lo que nos da un volumen de 202,500 m³ de material global aprovechable, el estrato es un material aluvial con depósitos de material redondeado que generan geformas típico de un río de costa. Al volumen calculado se le restará los desperdicios que se obtiene en el procesamiento de la selección de la roca. Para el desarrollo de la actividad, y en consecuencia para elegir la mejor estrategia de producción, se considera: el tipo de material de cantera, la dureza de la roca, la humedad, la plasticidad del material fino, entre otros aspectos. El procedimiento de explotación de la cantera que se ha aplicado es el correcto; sin embargo, se va a proponer una mejora al proceso desde el punto de vista del ingeniero industrial.
- La estructura aplicada en la explotación de la cantera describiremos la estructura del proceso aplicado al momento de la intervención. La cantidad y características de los equipos que lo compone son los siguientes: Se tiene una excavadora Caterpillar 336DL

de 282 hp con un balde con capacidad de 2.4 m³, la misma que se usa principalmente en el corte del material en el lecho del río, esta máquina adicionalmente realiza otras labores como el carguío del material cortado y cargado hacia los volquetes en simultaneo, la limpieza de la materia orgánica (troncos, raíces, arbustos, pastos, etc), selección y eliminación de la roca enorme que no se puede cargar, habilitación de accesos y zonas de volteo para los volquetes. Se cuenta también con cinco volquetes Volvo FMX 480, de 473 hp, y de 15 m³ de capacidad de carga que son usados para el acarreo del material global, una cisterna de agua de 5,000 galones que sirve para el riego de la vía de tránsito de los volquetes y es usada solo medio tiempo, dos luminarias para iluminación de la zona de operaciones solamente para los trabajos nocturnos, un camión de servicio de mantenimiento mecánico para las mantenciones programadas a los equipos, una cisterna de combustible para el abastecimiento de D-2 para en funcionamiento de las máquinas cuyo costo está incluido en el precio del galón de diésel presupuestado que se entrega en la obra.

- El proceso. - Se desarrolla usando todos los equipos que se han descrito anteriormente; antes de dar inicio al corte de material, la excavadora realiza las actividades de limpieza y remoción de la capa de material sobre la superficie que no es apto para el proceso y no se puede considerar como materia prima, generalmente es un material orgánico que compone plantas vivas y algunas en descomposición, así como basura que seguramente el río ha podido arrastrar en su avenida anterior. Se trata de hacer una limpieza del estrato que se va a cortar dejando descubierto un material global libre de contaminantes. La siguiente actividad que se ha realizado es la conformación de accesos, zonas de volteo, y plazoletas de paso, con el fin de habilitar las vías por donde se tiene que desplazar los camiones para realizar los ciclos de transporte del material, lo que se va a extraer de determinado sector. En este caso particular estamos hablando de un río en el que no se ve presencia de agua superficial, lo que permite trabajar con mejor comodidad en todo el ancho, sin embargo, a profundidades mayores a cinco metros se puede ver que el material contiene humedad alta y en consecuencia presencia de agua. El hecho de tener la superficie libre de agua no significa que el material no contenga humedad, existe humedad en un promedio de 5% lo que obliga a realizar la extracción del material para transportarlo a una cancha de acopio donde va perdiendo parte de este porcentaje y pueda ser más manejable para el proceso de selección.

Toda vez que se ha habilitado las condiciones para desarrollar la actividad principal, cada jornada de trabajo se comienza desarrollando los protocolos de seguridad y medio ambiente. Una vez firmado todos los documentos, los equipos y la persona se desplaza a sus puestos de trabajo, la excavadora se posiciona sobre el material con una diferencia de altura respecto al volquete de 1.60 M aproximadamente para facilitar el carguío y sea más eficiente. La excavadora realiza el corte del material escogiendo las rocas de sobre tamaño que no son aptos para el proceso (el tamaño lo determina la capacidad de la trituradora) y al mismo tiempo carga la tolva del camión (se está trabajando con cajones de 15 m³) completando la carga al ras del mismo en 2 minutos con 50 segundos, con un registro de la media que llega a 6 minutos entre el final de carguío y comienzo del siguiente carro, este tiempo de transición se toma para el trabajo desde que se retira de la rampa el camión cargado e ingresa el siguiente camión quedando estacionado correctamente para comenzar una nueva carga. Entonces si cada volquete de 15 m³ se carga en 6 minutos, entonces se consolida el dato de explotación de la cantera a un rendimiento teórico de 150 m³/hora; este dato es irreal porque la excavadora realiza otras actividades como limpieza, acomodo del material, eliminación de roca grande, limpieza de rampa de carga, etc. Estas actividades hacen que se incremente los minutos por cada volquete cargado a 8 min, entonces tenemos un rendimiento real de 112.5 m³/hora.

Figura n.º 3. 4 Proceso de acareo y apilamiento de material global



Fuente: Elaboración propia

El lugar de almacenamiento de la materia prima se encuentra a una distancia de 2 km por lo tanto, cada camión volquete debe transitar 4 km para completar un ciclo. Se puede observar que el acceso tiene algunas deficiencias que se generan por el asentamiento de la misma plataforma, algunos huecos por el exceso de riego; asimismo la vía no tiene el ancho adecuado de tal forma que permita el libre desplazamiento de los camiones. Estas falencias quizás estén generando que los camiones se desplacen con carga a una velocidad en promedio de 13.33 km/hora (2Km/9min), y 17.14 km/hora (2Km/7min.) Cuando retornan (sin carga). Las mediciones del tiempo se han tomado de manera inopinada y se ha promediado con los registros de varios días, se ajusta a la realidad.

- Las maniobras de descarga están controladas por una persona (cuadrador) quien recepciona cada volquete direccionándole a determinado sector de descarga, esta persona está capacitada para realizar estas maniobras, y tienen competencia de las áreas de producción y seguridad industrial, el mismo quien cumple los protocolos señalados en un procedimiento de trabajo. Una vez que llega el camión a la zona de descarga, el cuadrador se comunica con el conductor a distancia mediante señales usando elementos de seguridad como paletas (pare/siga), baliza destellante, linterna,

etc. Al establecer comunicación, el conductor cuadra el vehículo en el punto exacto donde se le ordena, por consiguiente, el conductor recibe también la información de descarga y se procede con la maniobra. Se ha registrado que este procedimiento tiene una media de 4 minutos desde que empieza la maniobra, hasta el inicio del nuevo recorrido de regreso a la cantera.

- El manejo del stock pile (material acopiado en pila), se viene realizando de la siguiente manera: la maniobra de descarga es una actividad crítica en términos de seguridad, siempre debe realizarse en una plataforma plana, pero puede tener cierta inclinación (no mayor a 3%) en el eje de posicionamiento del volquete, nunca hacia los lados del camión. Cada vez que se termina de completar la plataforma habilitada, el encargado solicita que un equipo mueva tierra (en este caso, un cargador frontal) para que habilite el área donde se continuará con la descarga (puede ser el mismo espacio que se terminó de completar). Se ha tomado tiempo del trabajo de la conformación de la plataforma con cargador frontal Caterpillar 962H con una potencia neta de 211 hp, con cucharón de 3.2 m³ de capacidad. Se registró un tiempo de 2 horas con 20 minutos para un área de 45M x 60M (2700 m²), cada volquetada de material ocupa aproximadamente 24 m², entonces el cargador frontal en 2 hora con 20 minutos ha conformado 112.5 volquetadas (1687.5 m³ de material). Esto no quiere decir que la máquina ha movido ese volumen (1687 m³), conformar quiere decir descabezar cada montón de 15 m³, de esa manera hacer una nivelación aproximada. Cada capa conformada mide aproximadamente 1.20M, y la suma de estos niveles va formando la pila. Cada 7 metros de altura se forma una banqueta alrededor de la pila para que las partículas que se desprendan por acción del viento o al perder humedad, disminuya la velocidad en la caída. Una vez que se haya terminado de completar el ancho y la altura total de la pila, esta es abandonada y se sigue con el almacenamiento del material integral en otro sector contiguo a este, y consecutivamente se avanza dejando en reposo para que el material pierda humedad.

3.1.3. Evaluación en la etapa de selección de la roca

Se ha realizado una evaluación de la forma de trabajo que se ha aplicado para la selección de la roca: Se tiene contratado una zaranda vibratoria Power screen Chieftain 1700, con capacidad hasta 500 ton/hora (en condiciones ideales), con tres niveles de tamizado y 4 fajas transportadoras de salida, trabaja con material menor a 4" en la primera dimensión de la medida de la piedra. Esta máquina es autopropulsada, quiere

decir que se desplaza por el terreno mediante sus orugas (tren de arrastre), lo que permite hacer movimientos cada vez que se necesite mover la máquina hacia otro punto de proceso. También se ha tenido que contratar un cargador frontal Caterpillar 962H de 211 hp de potencia neta, con cucharón de 3.2 m³ de capacidad de carga. También se cuenta con dos volquetes Volvo FMX 480 de 473 hp de potencia neta, con cajón de 15 m³. Los mismos que se usan en el transporte de la roca seleccionada como también los materiales que no se utiliza; asimismo se cuenta con dos torres luminarias con capacidad suficiente para el alumbrado de la zona de trabajo en concordancia con los requerimientos de seguridad (300 lux). Esta etapa tiene como finalidad productiva, realizar la selección de la roca apropiada para la siguiente etapa (trituración), se trata de usar el material global acumulado en la etapa de explotación de la cantera y almacenamiento del mismo. Se procesa en la zaranda vibratoria de tal manera que se pueda separar la roca de 1"- 20" la misma que es usado como material ideal para la trituración primaria en una chancadora de mandíbulas.

Figura n.º 3. 5 Etapa de selección de roca con zaranda vibratoria Chieftain 1700



Fuente: Elaboración propia

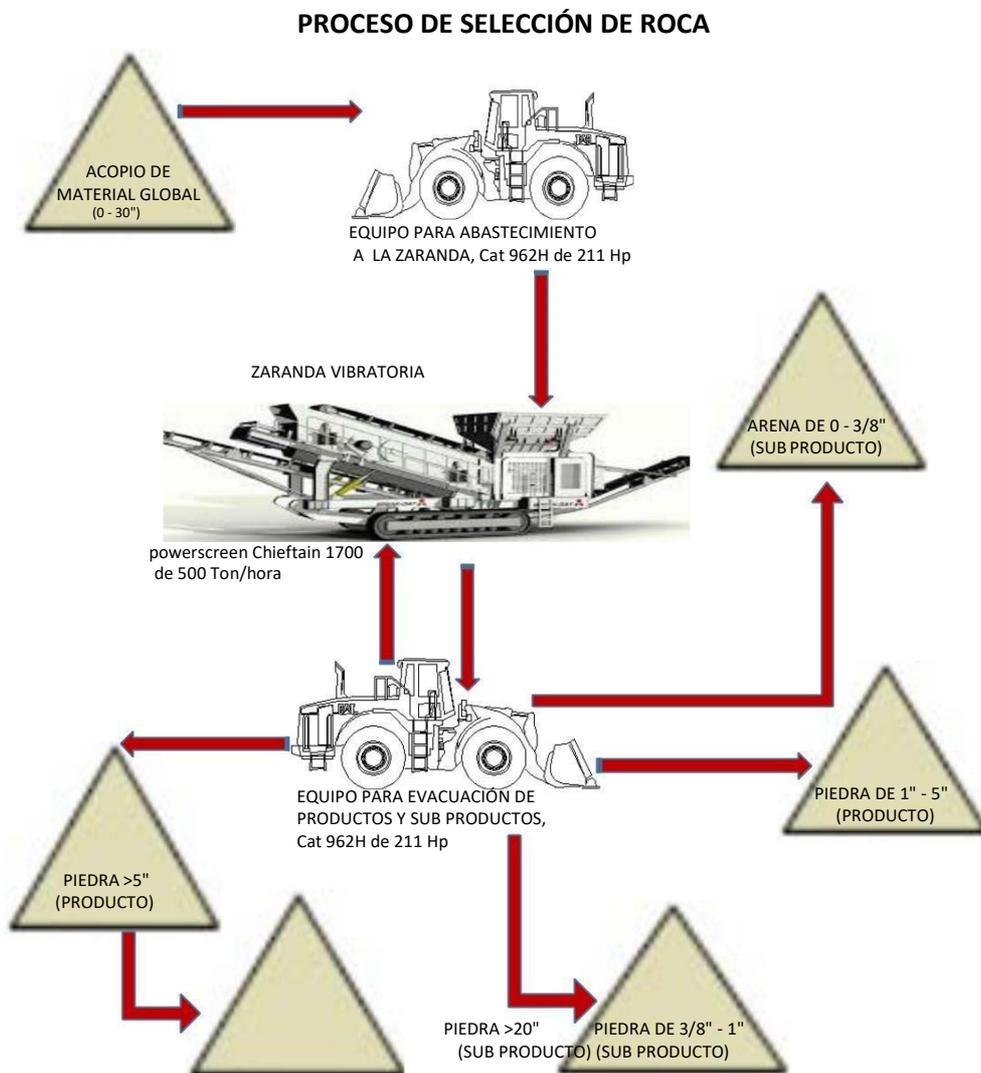
- La instalación de la máquina ha sido muy rápida porque solo se necesitó emparejar un área de terreno de 45 M x 60 M muy cerca a la pila de almacenamiento del material global, cerca al acopio más antiguo. también se ha construido una rampa de acceso a

la tolva de alimentación para que el cargador frontal alcance con mayor facilidad a la descarga del lampón del material global que se alimentará a la máquina. Las fajas de salida de materiales están ubicados en las direcciones donde permita que la maquinaria pesada (cargador frontal) pueda desplazarse con toda libertad. Para la instalación de la máquina no se ha tomado ningún criterio técnico, se ha ubicado la zaranda en base a la necesidad del momento, los detalles describiré en las recomendaciones.

- Para el procesamiento de la selección de la roca, en cada inicio de jornada se cumple con el protocolo de seguridad que soporta los trabajos de producción, La actividad se asegura con la presentación y firmas de los documentos que exige el procedimiento de trabajo. Luego de la reunión de seguridad y de coordinación de actividades, todo el personal y equipos se desplazan a su puesto de trabajo. Todo equipo previo al arranque merece una inspección que se justifica en un formato y será verificado por un supervisor, se demora 5 minutos de calentamiento para regular las temperaturas de los lubricantes y refrigerantes de los motores de cada máquina. Un cargador frontal toma el material del acopio de que está contiguo a la zaranda, para vaciar en la tolva. Cada ciclo que se completa para descargar en la tolva (3.2 m³ de materia prima) se está demorando en promedio 6.5 minutos, lo que comprende el desplazamiento del cargador hacia la pila, la maniobra de recojo del material, el desplazamiento hacia la tolva de recepción, y la descarga completa del material.
- La máquina está calibrada a una velocidad de tal forma que permita haber fluidez constante en el proceso, la configuración de las mallas está distribuidas de la siguiente manera: La malla restrictiva de la tolva, por naturaleza de fabricación (así viene de fábrica) es de tipo arpa con espacios de 4 ½", en el primer nivel de la caja cribadora se tiene mallas con cocada de 4", en el segundo nivel se ha colocado mallas de 1", y en el tercer nivel hay mallas de 3/8". Con esta distribución de mallas se obtiene los siguientes productos (no todos ellos se aprovechan): Piedra de 4 ½" – 20", piedra de 1" – 4 ½", piedra de 3/8" – 1", y arena de 0 – 3/8". Los factores determinantes en la producción en esta etapa principalmente son: la operatividad de la máquina, la forma de operación de la misma, el trabajo del cargador frontal, y la humedad del material. Se ha tomado registros inopinados del avance de la producción en diferentes momentos, se tiene los siguientes rendimientos promedios de cada producto: 22 m³/hora de piedra de 1" – 4 ¼", 19 m³/hora de piedra de 4 ½" - 20, 11 m³/hora de piedra de 3/8" – 1", y 17 m³/hora

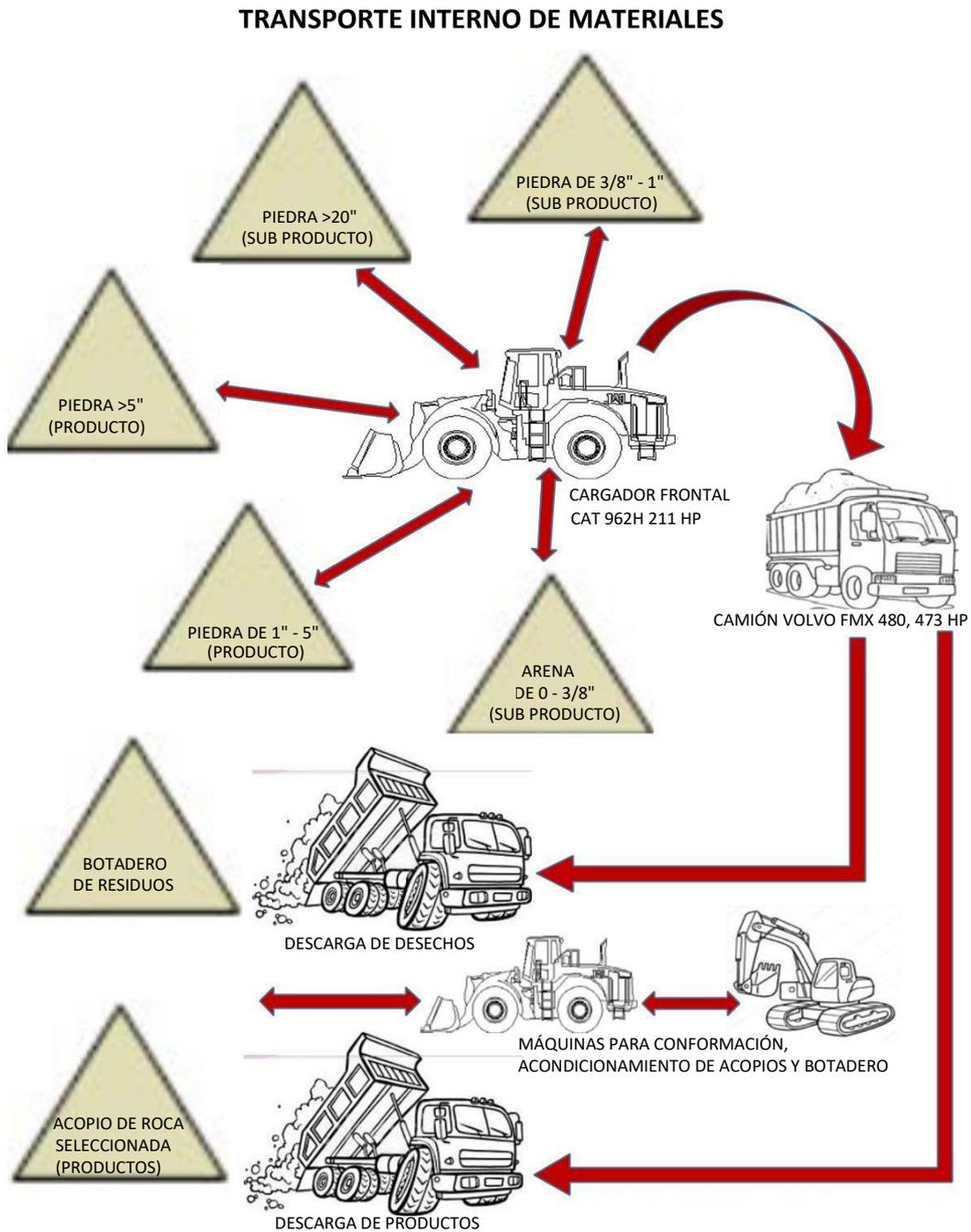
de arena de 0 - 3/8", de estas fracciones solamente se aprovecha las piedras desde 1" -20". Para la siguiente etapa de producción, que se trata de la trituración de la roca se necesita un total de 46,647 m³ de roca seleccionada, de esta cantidad se generará un volumen de 10,405 m³ de material de desperdicio, es decir que solamente se aprovechará 36,242 m³.

Figura n.º 3. 6 Estructura de la etapa de la selección de la roca, por el proyecto



Fuente: Elaboración propia

Figura n.º 3. 7 Flujo del transporte interno de materiales



Fuente: Elaboración propia

Habiendo realizado el estudio de la presente actividad productiva, encontramos la oportunidad de mejora a esta etapa del proceso, la propuesta que puedo hacer es que se cambie el tipo de zaranda, para este trabajo existe un tipo especial de seleccionadores de roca, especiales para esta actividad. Los pre cribadores Scalper son máquinas a las que se les puede alimentar directamente con el material global, así como es encontrado en el estrato natural (de 0 hasta 20" en la segunda dimensión de la roca), a diferencia de la zaranda para finos (0 – 4") que no admite tamaños mayores a 4", las Scalper son mucho más eficientes en la separación de tamaños grandes de piedra, y el material global se puede procesar cortando directamente del yacimiento y alimentando a la máquina pre cribadora (recibe todo). Con esto se elimina el trabajo de corte, transporte, y acopio del material global, aprovechando solamente lo que sirve para el siguiente proceso.

Figura n.º 3. 8 Zaranda Scalper, equipo especial para separación de material grueso



Fuente: Manual de zarandas vibratorias TESAB

3.1.4. Evaluación de la etapa de trituración de la roca

Se ha hecho un estudio exhaustivo de esta etapa porque se evidencia que es el más importante dado que intervienen recursos de alto valor económico, y es esta actividad quien normalmente marca el resultado final. Para esta etapa se cuenta con una trituradora de impacto de eje horizontal (HSI) semi estacionaria marca EAGLE UM 1200-25 CC, la máquina está equipada con una tolva con parrilla de rechazo (abertura 8") con mesa vibratoria para la alimentación, una cámara de trituración, una zaranda vibratoria, y fajas transportadoras de productos y retorno. Se cuenta también con un cargador frontal Caterpillar 962H de 211 hp de potencia neta, con cucharón de 3.2 m³, un volquete Volvo FMX 480, de 473 hp de potencia, equipado con una tolva de 15 m³ de volumen de carga, un generador encapsulado Caterpillar de 550 kw que genera corriente 440 Vlt., dos torres luminarias para los trabajos nocturnos. Para la mitigación de la polución de las plataformas de trabajo y las vías se cuenta con una cisterna de agua de 5000 gl. Para los mantenimientos programados hay un equipo de personal técnico con un camión de mantenimiento mecánico.

Figura n.º 3. 9 Chancadora de impacto (HSI) EAGLE Jumbo UM 1200–25 CC



Fuente: Elaboración propia

Para la instalación de la máquina se ha necesitado de un área nivelada de 65 M x 90 M, que está ubicado cerca del acopio de la roca seleccionada (1" – 20"), la máquina tiene una posición con la tolva de alimentación hacia el acopio, para la facilidad de alimentación del cargador frontal se ha construido una empalizada para la contención de la tierra armada que sirve de rampa para que la máquina abastecedora de roca suba por esta gradiente y alcance a descargar el material con mayor facilidad. Las instalaciones de la energía se han hecho mediante cable enterrado protegido (NYY de 250 mm² de sección) que va desde el generador eléctrico hasta la cabina de control de la planta en una distancia de 40 M. Dentro del contenedor están los controles de la planta y es en desde ahí que el operador manipula todos los accesorios de la máquina. Las fajas transportadoras de los productos están montadas sobre sus propios apoyos y se han ubicado en las direcciones correctas dejando espacio para las operaciones del cargador frontal.

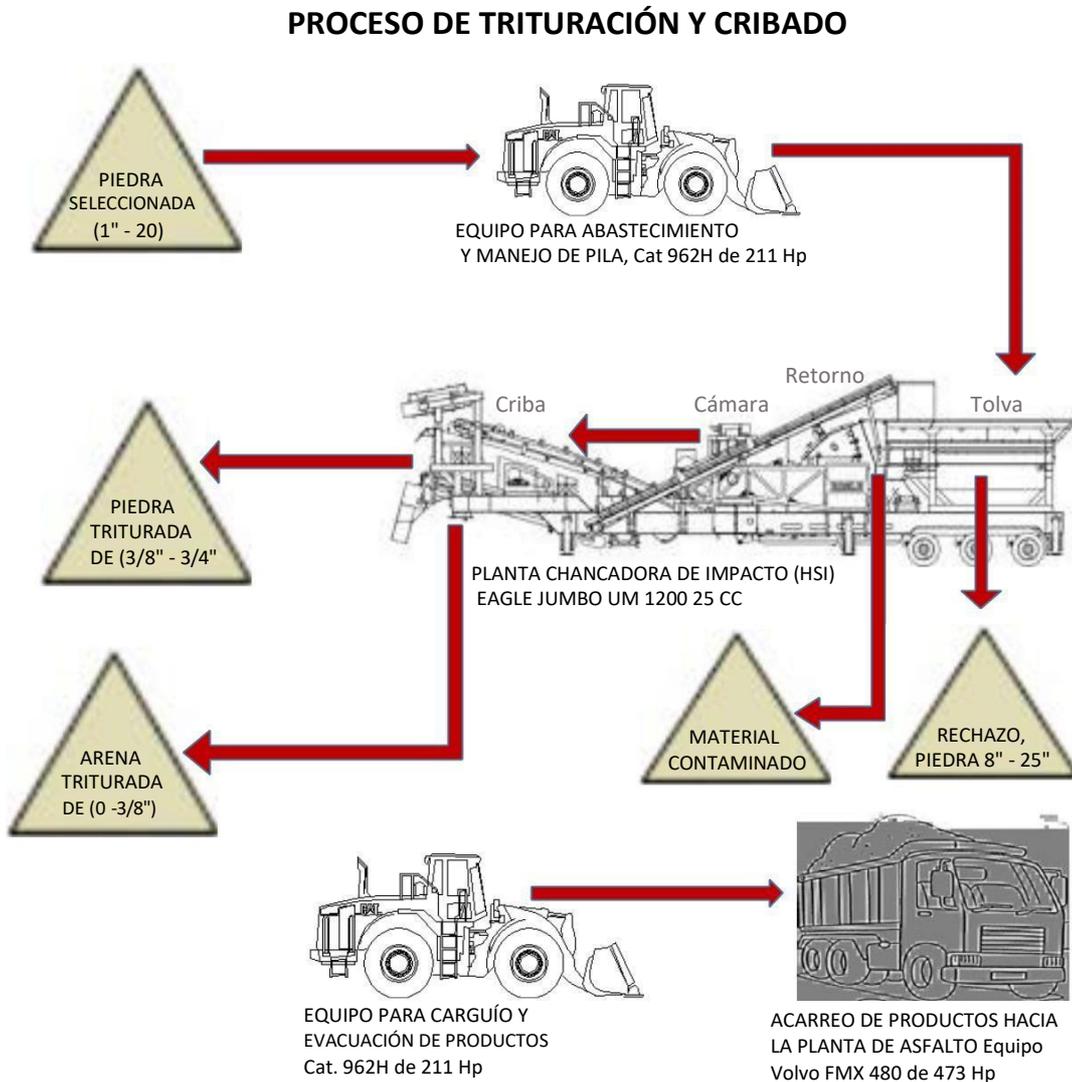
La configuración de la máquina es como sigue: Posee una parrilla de rechazo que limita que ingrese piedra mayor a 8", el reglaje aplicado para la cámara de trituración está en 2 ¼", la configuración de las mallas en la zaranda tiene en el primer nivel mallas de ¾" y 5/8", en el segundo nivel tiene mallas de 3/8" y ¼", está configurado para cerrar el circuito mediante un transportador de retorno.

Todos los inicios de jornada de las operaciones deben cumplir con cierto protocolo que se contempla en el procedimiento de trabajo, para ello se realizan las reuniones de seguridad y coordinación de los trabajos del momento, se firman los documentos internos y los legales, se presenta para la conformidad de los mismos para dar inicio a la jornada. Los operadores, personal auxiliar, y los equipos se desplazan hacia sus puestos de trabajo. Los equipos deben realizar las inspecciones de acuerdo a la naturaleza de la máquina, se registra en un formato (Check list), se da arranque para el calentamiento y normalización de las temperaturas de los sistemas.

Se inicia la producción alimentando a la tolva con roca seleccionada (1" – 20"), el cargador frontal es quien hace esta función demorando 7 minutos por cada ciclo desde: el recorrido hacia la pila, la maniobra de ataque al montón terminando de llenar el cucharón, el traslado y subida hacia la tolva de alimentación, y la descarga del material. Este mismo cargador es quien realiza el trabajo de retirar los productos que se están obteniendo y cayendo desde las fajas transportadoras de servicio. Cada vez que el

cargador completa el llenado en la tolva de alimentación, este se desplaza hacia los pequeños conos de material que se generan por la acción de caída libre de los productos desde las fajas transportadoras, la finalidad es evacuar estos materiales hacia un acopio temporal.

Figura n.º 3. 10 Flujo del proceso productivo de trituración y cribado, antes de la mejora.



Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de producción de los productos: Se ha realizado la toma de datos de manera inopinada de los rendimientos de producción, y de los cuales transcribiremos los promedios de varias jornadas: piedra triturada de $3/8'' - 3/4'' = 11$ m³/hora, arena triturada de $0 - 3/8'' = 6$ m³/hora. La contabilización se realiza cuando se va retirando el producto ya sea con la pala mecánica (cargador frontal), o con el apoyo de un camión volquete. Hay un material que en el proceso no logra pasar por la malla de $3/4''$ que vendría a ser el retenido en esa medida de la malla, inmediatamente es devuelto al inicio del proceso, mediante una faja transportadora para ser fracturado en partes más pequeñas. La alimentación a la tolva es de manera constante, se ha notado que en algunos momentos se queda desabastecido el proceso porque el cargador frontal demora en otras actividades de la planta.

Figura n.º 3. 11 Productos que se obtienen en la planta chancadora de impacto (HSI)



Fuente: Elaboración propia

Las paralizaciones de la planta se dan mayormente porque se tiene que abastecer de combustible a toda la maquinaria comprometida en el proceso, paradas por ajuste

en las mallas, reparaciones por eventos circunstanciales, y para el cambio de elementos de desgaste dentro de la cámara de trituración. Las piezas que cubre el compartimiento de la cámara se desgastan muy rápido, los martillos (03) que van insertado en el rotor duran solamente 19.71 horas, y en la última toma de datos se ha registrado un tiempo record de 18 horas de duración.

El personal que labora en la producción está disponible 11 horas, de las cuales una parte es gastado en reparaciones, mantenimientos correctivos, y cambio de piezas de desgaste que se generan en el proceso de manera constante. Estos tiempos de inoperatividad suman en promedio 75 horas por semana. Así también tenemos el costo de los elementos de desgaste: cada martillo con inserto de cerámico cuesta 2200 U\$D, la máquina lleva tres martillos.

Figura n.º 3. 12 Alta rotación de elementos de desgaste



Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado una evaluación del bajo rendimiento de la chancadora EAGLE, aplicando el método de causa y efecto, donde se ha considerado cinco aspectos importantes que agrupa las causas del problema fundamental. El saber que la enorme inversión no justifica el ratio de producción obtenida, nos lleva a afianzar nuestro compromiso de realizar la presente investigación. Frente a este problema se ha realizado reuniones con los ingenieros de producción donde se abordó temas de los rendimientos y el método aplicado para la presente estructura de producción, y tratando la problemática desde los aspectos menores propios de la actividad hasta los resultados económicos que se venían obteniendo. En encuestas con los técnicos que realizan los mantenimientos, hemos llegado a determinar que los esfuerzos que se pudieran hacer en materia de operatividad, la planta nunca llegaría a mayores del 65% por las recurrentes paradas principalmente para la rotación y/o cambios de los EDD. Así también hemos determinado las causas fundamentales y más específicas que contribuye a que se genere un exceso en la inversión de elementos de desgaste, donde el valor supera el 138% del precio por hora de la tarifa de la chancadora, es decir que la suma de la tarifa de alquiler (165.00 U\$/hora) más el consumo de los desgastables (kit = 4500.00 U\$D) eleva su inversión por hora de la planta a 392.7 dólares por cada hora de producción. Este fenómeno se da porque la materia prima tiene características naturales (alta resistencia a la abrasión) desfavorables para el proceso industrial con este tipo de maquinaria; por lo tanto, hemos evaluado la posibilidad de cambiar de cantera por otro yacimiento que contenga rocas más frágiles, sin embargo ha sido imposible debido a la lejanía en que se encuentran otros depósitos pétreos, y esto encarece desfavorablemente el resultado porque se tendría que realizar mayores inversiones para costear el transporte del material hacia la planta de proceso.

Se ha evaluado también el desperdicio que se genera en la alimentación de la materia prima que ha sido seleccionada (piedra selecta de 1" a 20") en la etapa de extracción y selección de roca, este material ha sido procesado y acopiado en un área contiguo a la planta de chancado. En el proceso de chancado, la roca es dosificada a la tolva de alimentación, y se restringe mediante una malla tipo arpa de 8", lo cual genera un desperdicio considerable del 30%, esto resulta muy desfavorable para el costo total del producto. Respecto a este problema, se ha realizado las consultas al área técnica, y verificado los manuales del fabricante llegando a la conclusión de que la planta solo permite material de las medidas que restringe la malla.

El planeamiento del proceso de producción de agregados ha sido revisado, y hemos visto que no se ha considerado los aspectos técnicos del fabricante, se ha omitido información relevante respecto a los tipos de materiales que se pueden procesar en esta trituradora (HSI). Esta máquina tiene mayor eficiencia con materiales que proviene de canteras de cerro, y tienen índices

porcentuales altos a la resistencia de la abrasión; asimismo se recomienda que puede ser usado en reciclado de materiales de construcción, más no para materiales duros como es el presente caso.

Hemos realizado encuestas al personal que está comprometido con la presente actividad, en el sentido de entender el grado de conocimiento respecto a las bondades de la planta y el uso correcto de la misma, así como la información respecto a los elementos de desgaste que se deberían usar para cada tipo de material. La lluvia de ideas respecto a este tema, no satisface el perfil que se necesita para la operación de este tipo de plantas. Hay muchos vacíos de la información. En conclusión, el personal de dirección y de la misma operación debería ser capacitado a fin de que en adelante no se cometa errores tanto en la toma de decisiones respecto a la elección de la planta de chancado así como para el manejo de la misma.

Dado que se tiene estos supuestos problemas que está conllevando a una producción que no es sustentable, hemos realizado una selección de todas las posibles causas que podrían estar ocasionando el problema, para ello se ha usado la herramienta espina de pescado y con este procedimiento hemos ordenado mejor todos los aspectos por considerar.

Figura n.º 3. 13 Diagrama causa y efecto



Fuente:

Elaboración propia

Habiendo realizado el ordenamiento de las ideas sobre las posibles causas de nuestro problema principal, se ha procedido a tabular en un cuadro Excel, ordenando de mayor a menor todos los que se ha seleccionado, se le ha dado un valor a estos detalles según la toma de datos que se ha realizado con todo el personal involucrado. Estos valores cualitativos tienen un porcentaje de incidencia sobre el problema. Al aplicar la teoría de Pareto (80/20), trasladamos estos datos para la elaboración de un gráfico de barras en el cual nos va a dar una idea mejor de la aplicación de esta teoría.

Tabla n.º 3. 1

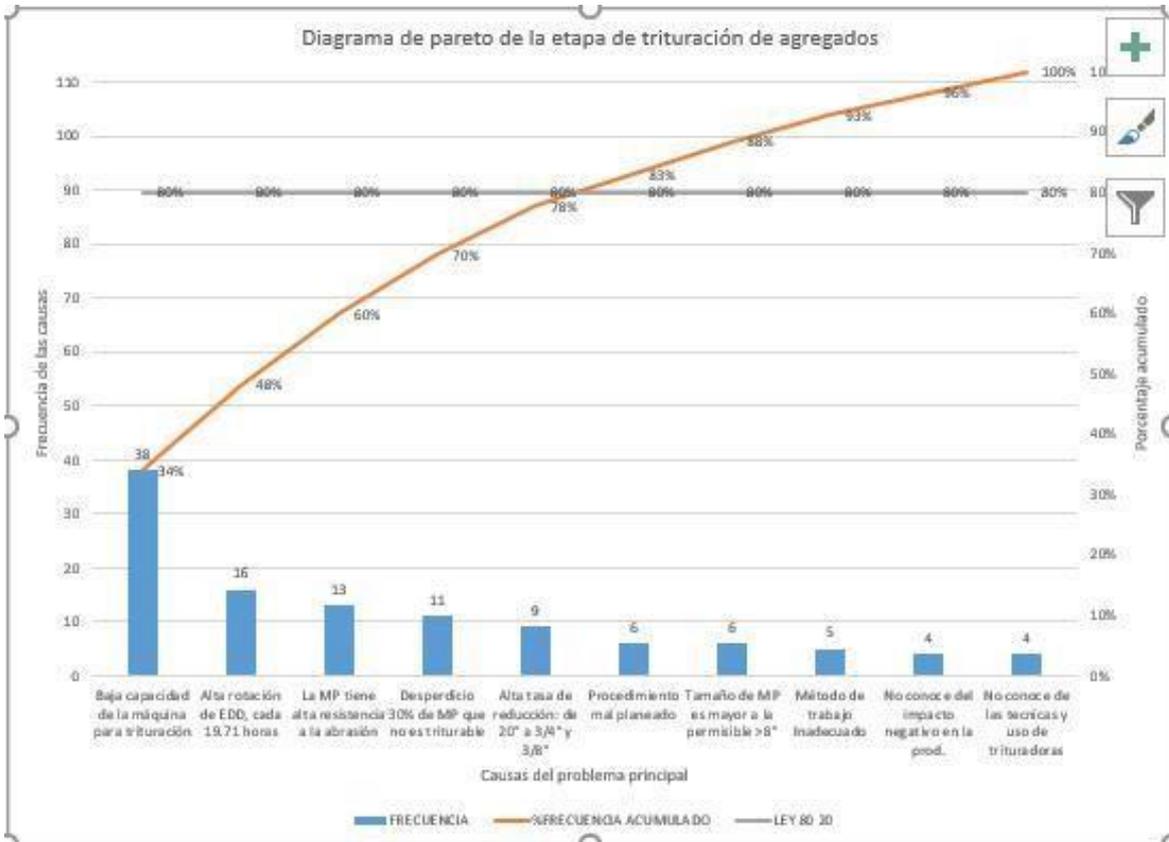
Ponderación de las posibles causas del problema principal

CAUSAS DEL PROBLEMA	FRECUENCIA	%FRECUENCIA ACUMULADO	FRECUENCIA ACUMULADO	LEY 80/20
Baja capacidad de la máquina para trituración	38	34%	38	80%
Alta rotación de EDD, cada 19.71 horas	16	48%	54	80%
La MP tiene alta resistencia a la abrasión	13	60%	67	80%
Desperdicio 30% de MP que no es triturable	11	70%	78	80%
Alta tasa de reducción: de 20" a 3/4" y 3/8"	9	78%	87	80%
Procedimiento mal planeado	6	83%	93	80%
Tamaño de MP es mayor a la permisible >8"	6	88%	99	80%
Método de trabajo Inadecuado	5	93%	104	80%
No conoce del impacto negativo en la prod.	4	96%	108	80%
No conoce de las técnicas y uso de trituradoras	4	100%	112	80%
TOTAL:	112			

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el diagrama de Pareto en un gráfico donde se puede apreciar que nuestros problemas de mayor importancia están concentrados en las cinco primeras variables, y en consecuencia deberíamos concentrarnos en resolver estos problemas para poder disminuir el impacto que se está generando en esta etapa del proceso.

Figura n.º 3. 14 Diagrama de Pareto de las principales causas del problema



Fuente: Elaboración propia

Con esta herramienta, se ha podido seleccionar las posibles causas que hace que el costo de inversión por hora de planta se eleve a tal nivel de ser inviable el proyecto.

Aplicación de la teoría de restricciones para la planta de trituración EAGLE 1200-25

Con el objetivo de hallar las restricciones del sistema productivo de la línea de producción, se llevó a cabo un diagnóstico de las diferentes áreas y de los diferentes procesos de manera que se conociera a profundidad lo que hacía cada una de las áreas, los recursos con que se cuentan, capacidades de las maquinarias.

Se tomaron uno a uno los procesos que hacen parte del sistema productivo hasta la colocación de la mezcla (MAC), se calcularon las capacidades de maquinarias y la capacidad productiva de la línea en sí.

A continuación, se presentan las tablas de las capacidades de los recursos utilizados en el proceso productivo total hasta el último proceso que viene a ser la colocación y compactación en pista de la mezcla de asfalto en caliente, la misma que tiene un proceso delicado porque es el final de la cadena productiva, y los acabados son los que definen la conformidad ante el cliente.

Figura n.º 3. 15 Capacidades de producción en cada etapa de la línea.

ETAPA 1 - PROCESO DE EXTRACCIÓN	CAPACIDAD REAL	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOS AGREGADOS
Excavadora CAT 336 DL Extracción de material en cantera en bruto	112.5 m3/hora	
ETAPA 2 - PROCESO DE SELECCIÓN	41 m3/hora	
Zaranda Vibr. Powerscreen Selección de roca, se elimina desperdicio		
ETAPA 3 - PROCESO DE TRITURACIÓN	17 m3/h	
Chancadora Eagle (HSI) trituration de los productos, piedra y arena		
ETAPA 4 - PROCESO DE MEZCLA	65 m3/hora	PROCESO DE LA MEZCLA EN CALIENTE
Planta de asfalto Ciber Preparación de la mezcla asfáltica en caliente		
ETAPA 5 - PROCESO DE COLOCACIÓN	90 m3/hora	
Pavimentadora de asfalto Vogele Colocación y compactación de mezcla en pista		

Elaboración propia

Después de llevar a cabo un análisis y visitas continuas para entender todo el proceso productivo, revisando uno a uno los procesos, midiendo el tiempo, calculando capacidades de producción, analizando niveles de inventarios, se determinó que el cuello de botella se encuentra en la etapa de producción número 3

La etapa 3 está conformada por una trituradora de impacto de eje horizontal, la cual tiene una capacidad muy reducida en comparación con las demás etapas que forman parte de la línea de producción y es la operación que mayor tiempo se toma para procesar una m3 de producto.

Cuando se inicia el proceso de la línea de producción en la etapa 2, el operador debe verificar y estar al tanto cuando el proceso en la trituradora de la etapa 3 haya llegado a su capacidad máxima pues debe parar el zarandeo de manera que las piedras no continúen el recorrido hasta la etapa 3 porque puede ocurrir un derrame y atoramiento en la tolva de alimentación. Esta operación

de parada se da cada vez que la tolva de alimentación se llene, y conlleva a un aumento de tiempo de inactividad de la zaranda.

Los volquetes llegan a la rampa de descargue y en algunas ocasiones tienen que esperar que la línea de producción este lista de manera que puedan descargar el material para ser procesado, finalmente terminan descargando en el acopio, esto genera un inventario en creciente; sin embargo, debido a la mala comunicación, los operarios de los volquetes en su espera, deciden regresar al área de extracción para continuar con el proceso de manera que en ocasiones se da el caso que la línea de producción está libre para iniciar nuevamente el proceso y no se encuentra material disponible para llevar a cabo la actividad, es decir, que el cuello de botella no se utiliza en su capacidad máxima.

Por otro lado, en la etapa 1, donde se da el proceso de extracción, el operador extrae de manera descontrolada pues son las exigencias de la gerencia de producción y su cumplimiento con el indicador de medición de ese proceso, lo que genera un inventario considerable en esa etapa.

Explotación de la restricción.

Después de determinar las restricciones del proceso, se deben explotar, es decir, tratar de aprovecharlas al máximo, hacer todo lo necesario para que este trabaje al 100%. La restricción del proceso productivo se encontró en la línea de producción, etapa 3, exactamente la capacidad de la trituradora (HSI) es muy inferior a las capacidades de los demás recursos; por lo tanto, las acciones que se sugieren tomar para aprovechar al máximo el recurso restricción son:

Evitar las paradas de almuerzo de la línea de producción: Esta acción se da con una planeación de los turnos del almuerzo de manera que siempre estén disponibles operadores que aseguren la continuidad del proceso.

Evitar paradas por falta de materia prima: el recurso restrictivo debe disponer de materiales listos para su procesamiento de manera que este se pueda utilizar en un 100%.

Asignación estratégica de operarios: a la línea de producción se le debe asignar los operarios más hábiles de manera que estén atentos a la operación de manera proactiva.

Evitar el reproceso: esto permite que el recurso restrictivo no ocupe una capacidad adicional para volver a procesar algo que ya ha sido manufacturado.

Aumento al máximo de la capacidad de la trituradora: aumentar la capacidad de la máquina de manera que este pueda procesar mayor cantidad de m³ posibles. Esta opción es la más conveniente puesto que, al aumentar la capacidad productiva, también asegura una continuidad en la línea de producción; sin embargo, esta es una de las primeras opciones que tienen en cuenta los gerentes de producción sin un previo análisis de la capacidad de la planta.

Supeditación de la restricción

Esta etapa es muy importante en la que se debe enfrentar políticas las cuales deben suprimirse y esto implica un cambio radical y profundo en la forma de actuar y de pensar no solamente en el nivel operativo sino en la de los directivos de la empresa, quienes han manejado el área de producción de agregados, de manera especial durante mucho año por lo que se requiere de compromiso para la implementación del sistema.

Para el cumplimiento de este paso de subordinación, se aplicará el sistema DBR a la PDA, el cual se presenta más adelante.

Elevación de la restricción

Para elevar la restricción del sistema de PDA, es necesario aumentar la capacidad de la restricción; en este caso, la empresa debe tomar medidas que llevan a elevar la restricción de su sistema productivo incrementando considerablemente sus niveles de producción.

Para el recurso restricción, chancadora de impacto EAGLE 1200-25, cuya capacidad es de 17 m³/hora consta de un motor de 200 caballos y se ha analizado que no se puede aumentar la capacidad realizando algún cambio en la velocidad ni potencia.

Sistema Drum – Buffer – Rope (Tambor – Amortiguador – Cuerda)

La operatividad de los escenarios productivos planteados en la explotación de la restricción se da mediante una solución genérica de TOC el cual se basa en el sistema DBR propuesto dentro de la teoría de las restricciones, por Goldratt (1988) considerada una técnica de control de la producción para la implementación de los pasos de explotación, supeditación y elevación de la restricción.

En el caso de aplicación, esta herramienta permitirá explotar de la forma más eficiente la limitación del sistema que a través del Drum se consigue ya que es el programa de la limitación. El Drum o tambor hace referencia al recurso restricción y marcará el ritmo de la producción dentro del sistema productivo. En el presente caso, el recurso restricción es la trituradora EAGLE ubicado en l

etapa 3, el cual está determinado por el plan de producción que deberá seguir este recurso para ser explotado al máximo.

Se hace necesario definir el tiempo de procesamiento de cada pedido antes de la restricción y posterior a ella, para esto se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El recurso restricción no es operado directamente por un operario sino por medio del cuarto de control, por lo que no se considera la opción de trasladar personal de otras áreas hacia esta pues esta operación no depende directamente de la mano de obra. Determinar los tiempos que se toman para la preparación y de operación por cada tonelada pedida en los procesos de extracción, zarandeo y los que se dan en la etapa 3 con la trituradora de impacto.

Programar la restricción para lo cual se deben tener en cuenta lo siguiente: o El inicio de la operación se realiza según la programación finita hacia atrás, sumando los tiempos de procesos antes de la restricción, tiempos de restricción y el Buffer dado a la restricción o Los tamaños de los buffer son determinados de manera empírica. Se maneja una variedad de productos los cuales generan un mayor Throughput, también se debe tener en cuenta que la línea de producción opera una sola materia prima y esta saca los 2 productos que necesita el proyecto; es decir, no es posible darle prioridad a un producto u otro ya que, si ingresa una tonelada de materia prima, esa misma sale distribuida en los diferentes productos. Por lo tanto, no es posible dar prioridad a un producto u otro ya que la línea de producción está configurada de esa manera. De igual forma, el producto que genera mayor Throughput es el Triturado de 3/4", Se calcula la cuerda - fecha de expedición la cual es considerada la fecha límite en que una tarea debe llegar al origen del amortiguador con un 90% de probabilidad dando como resultado la siguiente formula:

$$h \quad \text{ó} = \quad + (\quad + \quad)$$

Drum – Tambor

Teniendo en cuenta todo lo anterior y haciendo un análisis de cada una de las operaciones de la planta se procede a calcular la disponibilidad en tiempo de cada operación. El cálculo de la disponibilidad de operación se determina considerando la disponibilidad de cada etapa de operación de la planta, y también considerando los mantenimientos programados de la maquinaria, días no laborales y el horario de trabajo. La disponibilidad estaría dado a razón de:
*Disponibilidad = h * * * -*

Figura n.º 3. 16 Elementos para el cálculo de disponibilidad

Factores de disponibilidad	variable
Horas de producción por turno	h
Numero de turnos operativos día	t
Número de días laborables	d
Numero de máquinas operativas	n
Horas de mantenimiento programado	mp

Fuente: Elaboración propia

TRITURACIÓN

$$= 8,5 + 2 \cdot 25 + 1 - 7,5$$

$$= 417,5 \text{ h /mes}$$

$$ó = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

Tabla n.º 3. 2

Cálculo de la capacidad de diseño de la planta de trituración

Nº máquinas	Estándar de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	capacidad de diseño m3/mes
1	45	25	17	19,125

Fuente: Elaboración propia

Tabla n.º 3. 3

Cálculo de la utilización y eficiencia de la planta de trituración

Eficiencia 90%	Capacidad efectiva m3/mes	Capacidad real m3/mes	Porcentaje de Utilización	Porcentaje de eficiencia
0.9	17,212.5	4,130.67	22%	24%

Fuente: Elaboración propia

Tabla n.º 3. 4

Cálculo de la capacidad efectiva, real de la planta

Nº máquinas	Estándar de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	capacidad de diseño m3/mes	Eficiencia 90%	Capacidad efectiva m3/mes
1	17.54	20	15.7	5,507.56	0.75	4,130.67

Fuente: Elaboración propia

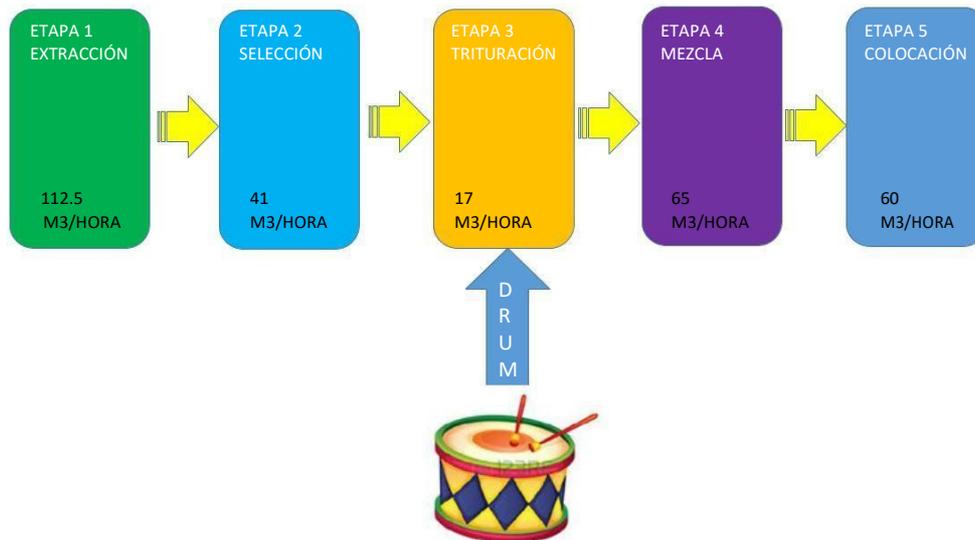
Línea de producción

Teniendo en cuenta que la línea de producción es una sola, pero que se dividen en 5 etapas independientes, se calculara la disponibilidad de la línea completa puesto que cada etapa no es independiente, sino que una conlleva a la otra.

$$= 8.5 \times 2 \times 25 \times 5 = 2101 \text{ h s/mes}$$

Obtenida la disponibilidad de cada actividad, se determina que la operación con mayor carencia de disponibilidad se encuentra en la línea de producción, con una muy inferior a las demás operaciones del sistema, sin embargo, hay que tener en cuenta que este cálculo de disponibilidad se realizó a toda la línea de producción por lo que no podemos determinar cuál es la etapa restricción dentro de ella; para esto, se toma como referencia el tiempo que cada etapa demora en procesar un m3 de piedras y evidentemente, la operación de la etapa 3 es el que mayor tiempo se toma para procesar lo que significa que este será el tambor, es decir este será el ritmo con el que se trabajara en la planta.

Figura n.º 3. 17 Determinación del Drum de la línea completa del proceso



Fuente: Elaboración propia

3.2. Desarrollo del Objetivo 2

Para conocer la materia prima (material de cantera) se ha realizado los ensayos pertinentes a fin de determinar sus características naturales del material global; asimismo la caracterización de las unidades de los tipos de roca existentes. Se trata de un material aluvial característico de un río de costa, este se encuentra en extensos depósitos a los costados del mismo cauce, se distingue variadas geoformas que ha ido dibujando el río a su paso con una crecida importante de la temporada.

Sobre el área asignada, y con la ayuda de una retroexcavadora, se han realizado trabajos de prospección removiendo el material en varias calicatas. Ha sido necesario contar con personal técnico de laboratorio de suelos para la toma de muestra. El ensayo de granulometría se puede desarrollar en el mismo punto de la toma, o de lo contrario se traslada el material hacia el laboratorio. De contar con cantidades mayores, se debe realizar el cuarteo de la muestra correspondiente y las piedras de gran tamaño que ya no se puede pasar por una malla, se mide la segunda dimensión de la misma. A continuación, mostraremos un control de los ensayos realizados al material extraído de las calicatas.

Figura n.º 3. 18 Calicata con presencia de agua y rocas grandes



Fuente: Elaboración propia

Esta clasificación nos muestra un porcentaje definido de material <3" a lo que llamamos gravas y se clasifica aplicando la clasificación SUCS, ASTM D2487 la misma que sirve para ensayar materiales que se encuentran dentro de ese rango; y también existe un porcentaje importante de materiales >3" y <12" donde aplicaremos el ASTM D2488 porque se encuentra en ese rango y este mismo se aplica para rocas que superan el tamaño de 12". Estos parámetros nos ayudan a entender para un mejor aprovechamiento de los volúmenes de material que se van a explotar de la cantera de río, y por consiguiente en base a este dato debemos elegir la maquinaria y el tipo de etapas que se debe aplicar.

Para nuestro caso, se ha realizado los ensayos granulométricos y podemos definir que hay un importante volumen de material que supera las 5", considerando que la etapa secundaria admite

material de esta medida y la etapa primaria a rocas mayores a 5", se determina entonces que el proceso merece maquinaria para la trituración primaria con capacidades para admitir roca de 20" como tamaño máximo. En este punto se debe tener mucho cuidado, porque la selección de la trituradora no solamente es en base al tamaño de la roca, sino que se debe considerar la dureza de estas rocas. Por ello en adelante se va a realizar ensayos de laboratorio para determinar el grado de la resistencia al desgaste de la roca. Entonces por el momento queda definido que para nuestro proceso se necesita de una trituradora primaria (de mandíbula, de impacto, giratorias), por el tamaño máximo que se ha medido (hasta 20"). En adelante se desarrollará otros ensayos para determinar el tipo de primaria que se necesita, por consiguiente, la presente información se complementará con los ensayos de abrasión.

Figura n.º 3. 19 Acopio de piedra selecta, presencia de tamaños >5"



Fuente: Elaboración propia

Teniendo los resultados de la granulometría del material global, se ha procedido a realizar los ensayos destructivos para este fin, es decir que el material se somete a un ensayo llamado Los Ángeles para probar la resistencia que presenta al desgaste. Este ensayo se realiza solamente a la piedra, para nuestro caso aplicaremos el corte en 1 ½" lo que significa que todo lo que pasa en ese tamiz hasta el retenido en 3/8" es el que se selecciona, este es el tipo granulométrico "A".

- Retenido en 1" debe tener un peso de 1250 +/- 25 gr

- Retenido en $\frac{3}{4}$ " debe tener un peso de 1250 +/- 25 gr
- Retenido en $\frac{1}{2}$ " debe tener un peso de 1250 +/- 10 gr
- Retenido en $\frac{3}{8}$ " debe tener un peso de 1250 +/- 10 gr

El total de la suma de estas proporciones debe estar en 5000 +/- 10 gr. Esta selección debe ser lavada y luego será secada en un horno a 110 °C, se vierte en la máquina de los Ángeles en conjunto con las cargas abrasivas, que son 12 unidades, estas son esferas de hierro que pesan aproximadamente 400 a 440 gr cada una. La máquina de los Angeles es un cilindro hueco que mide 28" de diámetro y 20" de longitud, con un eje que se apoya en los extremos sobre dos cojinetes, el movimiento se realiza mediante un motoreductor a una velocidad de 30 – 35 rev/min. El material seleccionado junto con las esferas se les somete a golpe por acción de las vueltas que se le da durante 500 revoluciones. Una vez que se cumple la cantidad de vueltas, se vacía el material en un recipiente y se tamiza por una malla N°12. El agregado retenido en la malla se vuelve a lavar y secar como se hizo antes de someter a la prueba, y se calcula la diferencia de peso:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{p1 - p2}{P1} \times 100$$

Cuando el porcentaje de desgaste supera el 50% quiere decir que el material no sirve para los procesos constructivos como afirmados, rellenos y otros tratamientos, entonces se debe descartar el material. La norma peruana del MTC que se aplica para agregados triturados para mezcla asfáltica el caliente MTC E 207, ASTM C-131, indica que para pavimentos que se va a colocar a una altitud superior a 3000 msnm es de 35% en la resistencia al desgaste, y para altitudes menores a 3000 msnm exige un máximo desgaste de 40%.

Para nuestro caso el resultado obtenido fue de 13% de desgaste, lo que indica que es un material muy duro, y para fines de la preparación de la mezcla (MAC) es un material demasiado bueno, pero para fines de producción esto no es conveniente porque se tendría que invertir mayor esfuerzo para romper estas rocas, y en consecuencia eso hace que el proceso sea más lento y se encarezca. Para superar este problema se tendrá que conseguir máquinas de mayor potencia, y eso significa mayor inversión económica.

Figura n.º 3. 20 Ensayo de abrasión de los Ángeles



Fuente: Laboratorio de la UPN

Resumiendo, el tema, actualmente se cuenta con una planta trituradora semi estacionaria EAGLE UM 1200-25 CC, es de tipo impactor de eje horizontal (HSI), su funcionamiento es mediante una masa giratoria (rotor) con tres martillos de tungsteno insertados, los mismos que son fuertes a la fricción pero no soportan golpes de material duro. Quiere decir que para triturar roca dura (en nuestro caso 13% de resistencia a la abrasión) no se aplica. Cuando se tiene volúmenes importantes de roca en tamaños $>5''$, y estos poseen una resistencia a la abrasión $<30\%$, entonces puedo recomendar el uso de trituradoras primarias de mandíbula de efecto simple. Estas máquinas desarrollan elevados esfuerzos de compresión y con alta capacidad de fracturar la roca dura como es el caso.

Habiendo estudiado las características de la materia prima, se ha podido establecer como recomendación la primera etapa del proceso de chancado; asimismo, y siendo más específico se ha seleccionado el tipo de chancadora tomando en consideración las características (tamaño y dureza) de las rocas.

Por consiguiente, seguiremos buscando alternativas para elegir la adecuada maquinaria que se debe integrar a la siguiente etapa de trituración, el estudio tiene relación directa al producto final. Las especificaciones técnicas que se ha consolidado para la mezcla de asfalto en caliente es MAC-

2, por acuerdos y conformidad de la supervisión de la obra con el contratista. Se ha definido la aplicación de mencionado huso granulométrico, lo que significa que nuestro producto tiene como tamaño máximo $\frac{3}{4}$ ".

Tabla n.º 3. 5

Especificaciones para el agregado para asfalto MTC

TAMIZ	Porcentaje que pasa		Variación permisible en % en peso
	MAC-2	MAC-3	total de los áridos (%)
25,0 mm (1")	-	-	+/- 5
19,0 mm (3/4")	100	-	+/- 5
12,5 mm (1/2")	80-100	-	+/- 5
9,5 mm (3/8")	70-88	100	+/- 5
4,75 mm (Nº 4)	51-68	65-87	+/- 5
2,00 mm (Nº 10)	38-52	43-61	+/- 4
425 mm (Nº 40)	17-28	16-29	+/- 3
180 mm (Nº 80)	8-17	9-19	+/- 3
75 mm (Nº 200)	4-8	5-10	+/- 1

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el producto deberá ser triturado y cortado en la medida $\frac{3}{4}$ ", lo que quiere decir que todo lo que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") hasta las partículas que son retenidas en la malla 75 mm (Nº200), serán los ingredientes para la mezcla (MAC), pero en los porcentajes que se describe en esta misma norma del MTC. Los materiales retenidos en la malla Nº4 son los agregados gruesos, y los materiales que pasan la malla Nº4 se denominan agregados finos. Ambos agregados son sometidos a ensayos de laboratorio para que se pueda definir si cumplen con las exigencias de las normas establecidas, estos agregados deben calificarse como aptos para ser usados en la mezcla asfáltica. Hemos tenido que procesar el material grueso por separado, y también el agregado fino de la misma forma. A continuación se detalla en un cuadro, las especificaciones para los agregados gruesos con sus respectivos parámetros.

Tabla n.º 3. 6

Especificaciones técnicas para el agregado grueso MTC

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM / AASHTO	
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	ASTM C-88	10% máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C-88	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C-131	35% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)	-	ASTM D-4791	10% máx.
Caras fracturadas dos o mas (\leq 3 millones de Ejes Equivalentes)	MTC E 210	ASTM D-5821	40% min.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D-1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C-118	Según Diseño
Adherencia	MTC E 519	AASHTO T-182	+95

Fuente: MTC

Figura n.º 3. 21 Ensayos granulométricos en campo, grava/arena



Fuente: Elaboración propia

Al aplicar los procedimientos de control de calidad en campo y en laboratorio, se ha concluido que los agregados gruesos cumplen con las especificaciones, son materiales aptos en la intervención de la mezcla. Los agregados finos también han sido sometidos a los ensayos correspondientes que se describe en el cuadro siguiente:

Tabla n.º 3. 7

Especificaciones para la evaluación de los agregados finos

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM / AASHTO	
Equivalente de Arena Adhesividad	MTC E 209	ASTM D 2419	Mínimo 45 %
(Riedel Weber) Índice de	MTC E 220	MTC E 220	6 mín.
Plasticidad (malla N°40) Índice de	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Plasticidad (malla N°200) Sales	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Solubles Totales Absorción	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
	MTC E 205	ASTM C 118	Según Diseño

Fuente: MTC

De la misma manera se ha ensayado los materiales finos donde no cumple con las exigencias del equivalente de arena y los índices de plasticidad, entonces se está aplicado el procedimiento de venteo para bajar la cantidad de finos perjudiciales. Respecto a este tema recomiendo mejorar el manejo de la piedra seleccionada, así como realizar ciertas mejoras en el proceso de selección, realizando un lavado superficial de la piedra tanto en la seleccionadora como en la pila de acopio, de esta manera eliminar el material fino que normalmente queda impregnado a la superficie porosa de la piedra. Para que pueda ser triturada la piedra lavada, deberá reposar un tiempo para que pierda humedad.

Uno de los ingredientes importantes para la mezcla es el material llenante de vacíos llamado filler, este material fino muchas veces no se incorpora porque el diseño de la mezcla es quien determina la necesidad. En la actualidad el agregado fino que se está obteniendo con la chancadora de impacto (HSI), cumple con el parámetro requerido, pero se encuentra al límite, quiere decir que el porcentaje se encuentra pegado a la banda superior de la especificación.

Mi recomendación en este sentido es que se triture siempre una piedra limpia, de esta manera se asegura que el producto no contenga impurezas. Por otro lado, con la seguridad del caso puedo afirmar que es necesario tomar la decisión de cambiar la chancadora de impacto (HSI) por un tren completo (Primaria, secundaria, y zaranda).

Para la configuración de la nueva chancadora que estamos recomendando, posiblemente será necesario realizar una configuración en la planta de tal modo que se eliminaría parte de este material fino, ya que posiblemente se generaría un exceso por la actividad de doble trituración (primaria, secundaria) en el agregado fino (arena). Cabe resaltar también que la arena requerida para la mezcla, debe ser 100% triturada.

Tabla n.º 3. 8
Especificaciones del Filler

Malla	% que pasa (en peso Seco)
Nº 30	100
Nº 50	95-100
Nº 200	80-100

Fuente: Especificaciones del MTC

Resulta necesario redundar en la explicación de haber realizado ensayos del material que se está obteniendo de la trituración con una chancadora de impacto de eje horizontal (planta chancadora Eagle UM 1200-25 CC) que se tiene instalado en el proyecto, el producto fino que se obtiene de ese proceso cumple con las cantidades de finos, pero se encuentra en el parámetro máximo, y no hay que hacer mayores mejoras para eliminar excesos. En la nueva propuesta que estamos haciendo, se presume que se generará un leve exceso de finos (pasante de la malla Nº 30) por la doble fracturación que se daría para reducir los tamaños de las rocas (trituración primaria, secundaria). Entendemos que el fino del cual estamos hablando no es nocivo para la mezcla (MAC), este fino es conocido como polvo de roca y actúa como un llenante natural para compensar los vacíos. Los ensayos de laboratorio para la elaboración del diseño de mezcla determinarán el exceso o carencia.

En síntesis, tomando en cuenta los resultados de los ensayos de calidad, para la etapa de extracción y selección, recomiendo cambiar la zaranda vibratoria de tres niveles (equipo para

material <4”), por una zaranda Scalper (equipo para material grueso >4”). En la etapa de trituración y selección, recomiendo cambiar la chancadora-zaranda de impacto (HSI), por un tren de equipos compuesto por: una trituradora de mandíbulas de 26” x 49” de abertura, una chancadora secundaria de cono de tres pies, y una zaranda vibratoria de tres niveles. Si se desea mejorar la textura, angulosidad, y cubicidad de la piedra, se puede incluir una chancadora de impacto (VSI). Para cumplir con las exigencias de las especificaciones de MAC-2, no es necesario incluir al proceso la trituradora (VSI).

3.3. Desarrollo el Objetivo 3

En virtud de haber desarrollado una evaluación total al sistema que se tiene instalado, y haber realizado los ensayos básicos para nuestro fin, puedo proponer las siguientes estructuras:

PARA LA ETAPA DE EXTRACCION Y SELECCIÓN (se junta los dos procesos)

Se necesitarían los siguientes equipos (las marcas son referenciales):

- Un tractor oruga CAT D6R de 185 Hp de potencia neta
- Una excavadora CAT 336DL de 282 Hp de potencia neta
- Una zaranda Scalper Warrior 1800 de 500 ton/hora
- Un cargador frontal CAT 962H de 211 Hp de potencia neta

El proceso lo plantearía de la siguiente manera: El tractor oruga debería realizar la conformación de los accesos, plazoletas de pase, zonas de volteo y generar suficiente espacio para las operaciones de los volquetes. Este mismo equipo se encargará de realizar el desbroce de la capa superficial liberando el estrato de todo material contaminante, las rocas grandes que no entran en el proceso, se empujará hacia las riveras del cauce, y en un futuro plan de cierre de cantera se usaría como material para la conformación y protección de las orillas del río. El trabajo de este equipo (tractor) contribuye a la actividad, más no es un equipo propio de producción, su eficiencia se medirá en m² de avance.

La excavadora se usará solamente para el corte y alimentación del material hacia la zaranda Scalper, y su eficiencia se medirá mediante un simple ejercicio de los m³ cortados entre las horas contabilizadas de la máquina, ese será el rendimiento de la explotación de la cantera. Entonces el ratio deberá alcanzar 200 m³/hora los mismos que se contabiliza al ser dosificados a la tolva de la zaranda.

La zaranda tiene una capacidad nominal de rendimiento de 500 ton/hora, este dato siempre será referencial (comercial), porque el fabricante lo ha calculado en base a condiciones óptimas que no podrían darse en una situación de trabajo normal. Nosotros vamos a tomar referencia de controles tomados en otro proyecto y en condiciones parecidas a la actual donde nos da una media de:

- Conglomerado de 0 – 1" (humedad 5%) 35 m3/hora
- Piedra de 1" – 4" 36 m3/hora
- Piedra de 4" – 20", 30 m3/hora + 3% de piedra >20 (0.9m3/hora) que contiene.

La piedra de sobre tamaño >20" representa un 2 o 3% lo que se debería ir retirando cada vez que sea manipulado con los cargadores o excavadoras.

El cargador frontal es una máquina que se encargará de evacuar los tres materiales a acopios temporales contiguo a la plataforma de procesamiento, o en su defecto se podrá aprovechar para cargar los volquetes para que sea llevado a su destino siguiente (acopio de roca, botadero, u otro). La presente propuesta está plasmada en el siguiente esquema:

Figura n.º 3. 22 Propuesta de mejora para la etapa de explotación de cantera

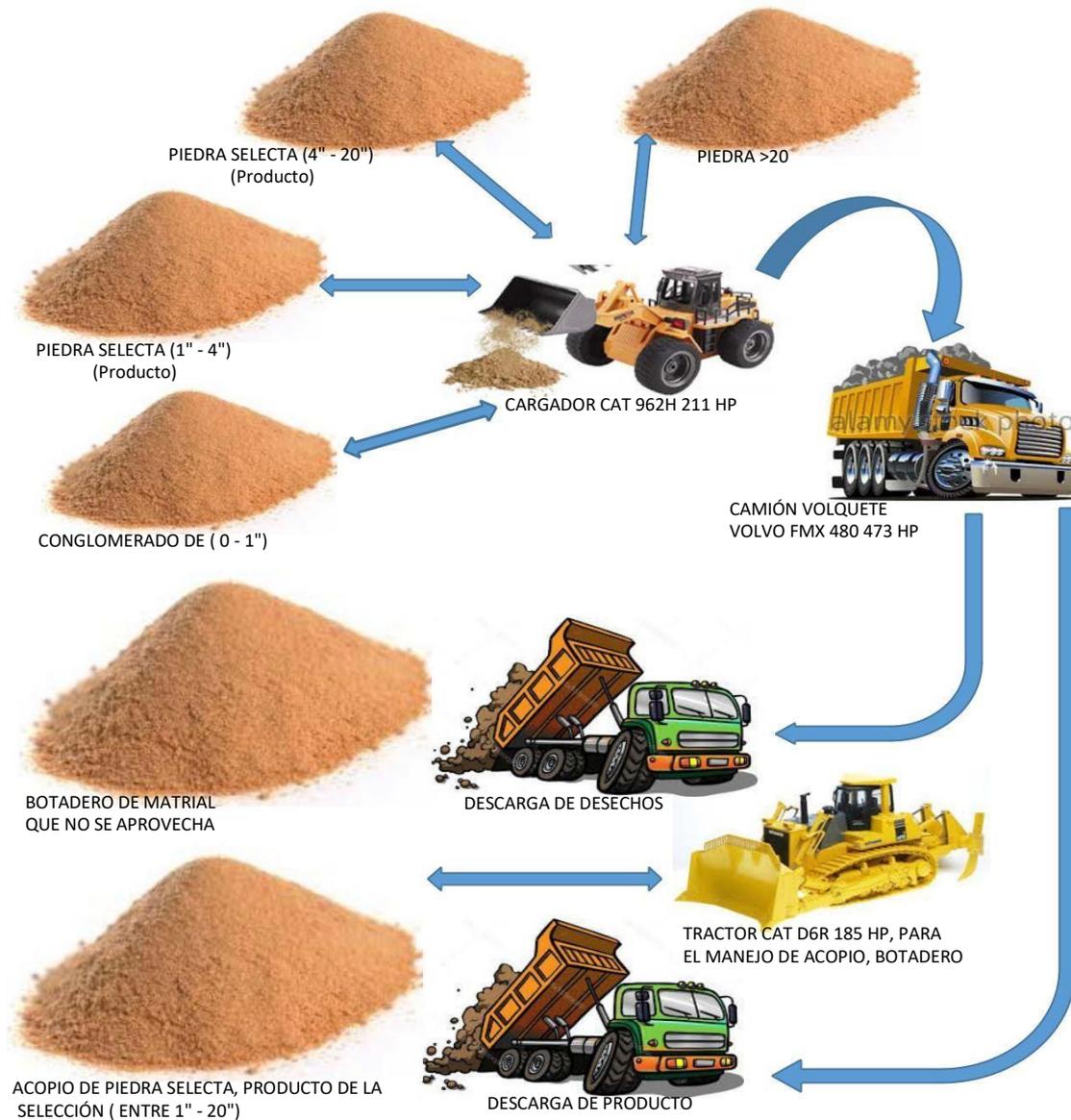


Fuente: Elaboración propia

Esta propuesta nos conlleva a realizar un estudio económico simple. Es necesario aclarar que esta actividad está dentro de un presupuesto total de la obra, y para la aprobación se han realizado los cálculos de los montos de inversión y recuperación del dinero, solo así se ha podido determinar la factibilidad del proyecto. El presente estudio se está realizando en una sub partida presupuestal (producción de agregados) de la partida principal, que viene a ser la colocación de "mezcla asfáltica en caliente" la misma que tiene un precio por m² de asfalto colocado. Se ha realizado un ejercicio económico donde se ha considerado los recursos que interviene en cada actividad a la cual estamos implementando y se realiza también una comparación con la actividad observada.

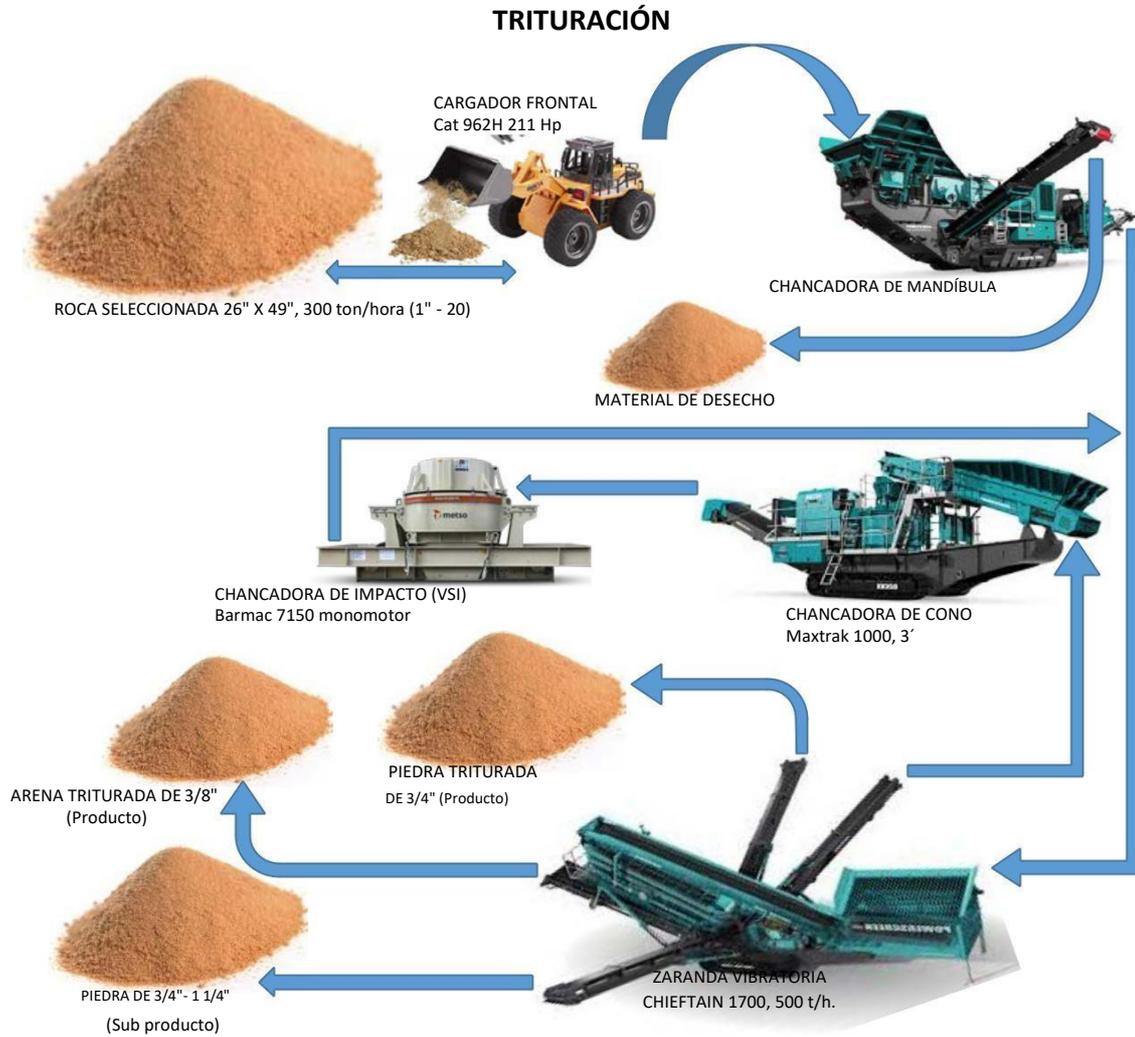
Figura n.º 3. 23 Propuesta de mejora para el transporte interno y acopio

CARGUÍO, TRANSPORTE INTERNO Y APILAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Figura n.º 3. 24 Propuesta de mejora para la etapa de trituración



Fuente: Elaboración propia

Figura n.º 3. 25 Toma de datos de la producción estructurada por el proyecto

REGISTRO DEL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS PARA ASFALTO

Tamaño de la roca: 25", ingresa solo <8"

Dureza de la roca: 13.5% de abrasión

TIPO: MAC-2

Control de producción diario

Arena chanc. 3/8" Piedra chanc. 3/4"

CHANCADORA EAGLE JUMBO 1200 25

Fecha	Tur no	Prom. De producc.	Horas máquina	Producc.	Acum.	Producc.	Acum.	Información del detalle
10/10/2017	D	16.44	4.50	24.50	24.50	49.50	49.50	Se realizaron pruebas de chancado, calibración pers. Laboratorio
10/10/2017	N	0.00	0.00	0.00	24.50	0.00	49.50	Turno noche no hay producción...
11/10/2017	D	16.92	6.50	39.00	63.50	71.00	120.50	Al finalizar se volteó los martillos, se configuró las aberturas en la cámara.
11/10/2017	N	0.00	0.00	0.00	63.50	0.00	120.50	Turno noche no hay producción, falta personal...
12/10/2017	D	17.00	6.00	36.00	99.50	66.00	186.50	En el día se calibra la arena, se pone un parche en la malla de 3/8"
12/10/2017	N	0.00	0.00	0.00	99.50	0.00	186.50	No hay turno de noche, no se implementó
13/10/2017	D	17.00	7.50	45.00	144.50	82.50	269.00	Se cambió los martillos, tiene mucho desgaste
13/10/2017	N	19.25	8.00	66.00	210.50	88.00	357.00	A media mañana se volteó los martillos por desgaste.
14/10/2017	D	19.25	8.00	66.00	276.50	88.00	445.00	Al término de la jornada se cambiaron los martillos, no da más..
14/10/2017	N	17.00	7.30	43.80	320.30	80.30	525.30	El producto está calibrado, problema con los martillos.
15/10/2017	D	17.18	8.70	53.50	373.80	96.00	621.30	Se cambió los martillos por desgaste, producción normal.
15/10/2017	N	17.00	8.50	51.00	424.80	93.50	714.80	Al final de la jornada hizo rotación de martillos, producción pareja.
16/10/2017	D	19.64	2.20	19.00	443.80	24.20	739.00	Se paró para ajustar las mallas y realizar trabajos de solda dura.
16/10/2017	N	17.00	9.00	54.00	497.80	99.00	838.00	A fin de jornada se cambió los martillos, se fracturaron, piedra muy dura.
17/10/2017	D	17.00	8.00	48.00	545.80	88.00	926.00	Los materiales pasaron la prueba, rotación de martillos....
17/10/2017	N	18.25	8.00	58.00	603.80	88.00	1014.00	El material es muy duro, los martillos no están durando.
18/10/2017	D	17.00	7.80	46.80	650.60	85.80	1099.80	Se cabió los martillos para dejar operativo al turno noche.
18/10/2017	N	17.00	10.00	60.00	710.60	110.00	1209.80	Rotación de martillos, salió uno roto. Agregado cumple las EETT.
19/10/2017	D	18.00	8.00	51.00	761.60	93.00	1302.80	Cambio de martillos, no dura más de 9 horas de trabajo. Realizar requerimiento
19/10/2017	N	17.79	9.50	60.00	821.60	109.00	1411.80	Rotación de martillos, trabajo de solda dura en la cámara de trituración.
20/10/2017	D	17.00	10.00	60.00	881.60	110.00	1521.80	Se tiene martillos para dos días, se debe comprar más juegos. Se cambió juego.
20/10/2017	N	18.19	10.50	71.00	952.60	120.00	1641.80	El material ha tenido alguna desviación, se ha corregido.
21/10/2017	D	17.00	9.70	58.20	1010.80	106.70	1748.50	Se cambia un juego de martillos, se continúa...
			157.70	1010.80		1748.50		

Nota: 1- cada juego de martillos (3unidades) dura 19.71 horas

- 2.- Se ha calculado que en 20 jornadas de trabajo se ha consumido 8 juegos de martillos
- 3.- Un juego de martillos dura para producir 345 m3 de producto
- 4.- El costo de un juego de martillos de cerámico es: USD 6600.00, y sin cerámico USD 4500.00
- 5.- Una hora de martillos sin cerámico cuesta 228.31 U\$D
- 6.- El rendimiento de producción es 17.54 m3/h (piedra y arena)
- 7.- La tarifa de alquiler de la máquina chancadora es 165 USD/hora
- 8.- El valor de los martillos sin cerámico es 138% del valor de alquiler por hora de la máquina

Fuente: Elaboración propia

Figura n.º 3. 26 Elaboración de los rendimientos con la propuesta de mejora.

CONTROL DE LA NUEVA PPROPUESTA DE PRODUCCIÓN

ARENA CHANCADA 1/4"						ARENA CHANCADA 3/8"		PIEDRA CHANCADA 3/4"	
FECHA	TUR NO	HORAS	RATIO DIARIO	MATERIAL TRITURADO	ACUMULADO (m3)	MATERIAL TRITURADO	ACUMULADO (m3)	MATERIAL TRITURADO	ACUMULADO (m3)
22/11/17	D	9.80	50.51	150.00	12,997.00	165.00	7,070.00	180.00	13,710.00
22/11/17	N	9.00	28.33	60.00	13,057.00	45.00	7,115.00	150.00	13,860.00
23/11/17	D	8.80	44.32	120.00	13,177.00	120.00	7,235.00	150.00	14,010.00
23/11/17	N	11.60	31.03	135.00	13,312.00	105.00	7,340.00	120.00	14,130.00
24/11/17	D	2.20	38.64	30.00	13,342.00	15.00	7,355.00	40.00	14,170.00
24/11/17	N	-	-	0.00	13,342.00	0.00	7,355.00	0.00	14,170.00
25/11/17	D	7.10	39.44	75.00	13,417.00	90.00	7,445.00	115.00	14,285.00
25/11/17	N	10.10	37.13	120.00	13,537.00	105.00	7,550.00	150.00	14,435.00
26/11/17	D	8.60	43.60	120.00	13,657.00	105.00	7,655.00	150.00	14,585.00
26/11/17	N	10.20	33.82	105.00	13,762.00	90.00	7,745.00	150.00	14,735.00
27/11/17	D	11.00	38.18	150.00	13,912.00	90.00	7,835.00	180.00	14,915.00
27/11/17	N	10.50	38.57	150.00	14,062.00	90.00	7,925.00	165.00	15,080.00
28/11/17	D	10.70	35.05	90.00	14,152.00	105.00	8,030.00	180.00	15,260.00
28/11/17	N	7.60	29.61	105.00	14,257.00	0.00	8,030.00	120.00	15,380.00
29/11/17	D	10.80	43.06	165.00	14,422.00	120.00	8,150.00	180.00	15,560.00
29/11/17	N	10.30	33.50	180.00	14,602.00	0.00	8,150.00	165.00	15,725.00
30/11/17	D	-	-	-	14,602.00	-	8,150.00	-	15,725.00
30/11/17	N	6.40	35.16	135.00	14,737.00	15.00	8,165.00	75.00	15,800.00
01/12/17	D	8.00	31.88	75.00	14,812.00	75.00	8,240.00	105.00	15,905.00
01/12/17	N	10.60	33.96	150.00	14,962.00	60.00	8,300.00	150.00	16,055.00
02/12/17	D	10.60	33.96	150.00	15,112.00	45.00	8,345.00	165.00	16,220.00
02/12/17	N	10.50	34.29	165.00	15,277.00	45.00	8,390.00	150.00	16,370.00
03/12/17	D	11.30	42.48	195.00	15,472.00	90.00	8,480.00	195.00	16,565.00
03/12/17	N	10.70	28.04	105.00	15,577.00	45.00	8,525.00	150.00	16,715.00
04/12/17	D	11.20	40.18	165.00	15,742.00	105.00	8,630.00	180.00	16,895.00

- Nota: 1- Se ha tomado datos del cuadro donde se invirtió 217.6 horas en 23 jornadas, y 9.46 horas/jornada
 2.- Se ha calculado que en 20 jornadas (184.4 horas) se ha consumido 01 Kit de cono-cóncavo
 3.- Se ha calculado que en 65.21 jornadas (600 horas) se ha consumido un Kit de mandíbula
 4.- Se ha calculado que en 12.7 jornadas (120 horas) se ha consumido un Kit de tips para la terciaria VSI 7150SE
 4.- El costo de un juego de cono-cóncavo cuesta 9367 U\$D
 5.- El costo de un juego de mandíbulas cuesta 14,618 U\$D
 6.- El costo de un juego de tips para VSI 7150 cuesta 1400 U\$D
 7.- El cálculo del rendimiento de producción € 36.70 m3/hora

Producción triturada (m3)	217.6	Horas maq.	23	jornadas
Producto	Acumulado	Rendimiento		
Arena 1/4"	2895.00	13.30		
Arena 3/8"	1725.00	7.93		
Piedra 3/4"	3365.00	15.46		
		36.70		m3/hora

Fuente: Elaboración propia

3.4. Desarrollo el Objetivo 4

Se ha hecho la corrida económica de cada etapa de proceso, tanto el que se viene aplicando antes de la mejora; asimismo el análisis económico de la nueva propuesta, considerando todos los recursos que se invierte en la producción, desde la extracción del material global de cantera, selección de la roca, trituración y selección de los productos, hasta depositarlo en un acopio de material. Ambos escenarios (actual y la propuesta) comienza en la explotación de cantera y culmina en el depósito de los productos terminados. A continuación, se desarrolla el estado actual y la propuesta que se ha hecho:

3.4.1. Escenarios económicos de las etapas de producción antes de la mejora

En estos análisis económicos se ha considerado los datos de los estudios realizados a la producción que se venía realizando antes de la consolidación de nuestra propuesta de mejora, estos números proviene de los cálculos en base a toma de datos que se han extraído en cada etapa de producción, estas mediciones se han trabajado también con los precios de todos los recursos que interviene en dichas actividades.

Se está considerando necesario anexar algunas cotizaciones de los recursos de mayor relevancia que se ha tomado en cuenta para tal ejercicio, en el sentido de demostrar los costos reales de la maquinaria (chancadoras y zarandas) que se toma en un contrato de alquiler; asimismo los precios de los elementos de desgaste que tiene alto valor.

3.4.1.1. Etapa de la extracción de la materia prima y su transporte

Este cálculo resulta del análisis de las actividades que se desarrolla en el proceso de extracción de la materia prima, donde se ha contabilizado la maquinaria que se ha usado, los recursos y herramientas, así como la mano de obra. La suma de todo lo que se invierte en dólares es dividido entre la cantidad de material que se obtiene por cada hora de trabajo. La toma de datos se ha desarrollado en varios momentos donde se desarrollaba una producción pareja.

Figura n.º 3. 27 Costo de la extracción y transporte de materia prima

ESCENARIO DEL COSTO REAL DE LA EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DE MATERIAL GLOBAL

PRESUPUESTO DE EQUIPOS CON TARIFAS REALES										PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA CON TARIFAS REALES														
ETAPA N° 1																								
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE RÍO (corte con excavadora y carguío con volquetes)																								
HUMEDAD: 5% de humedad I. PLASTICIDAD: No plástico PRODUCTO: Conglom. río, máx 2 CANTERA: Aluvial										Rend. (m3/hora): 112.5 Rend. (m3/día): 956.25					Elementos de desgaste. 15% HM/D 8.5 DM/M 25					HH/D 10.5 11.50 DH/M 30 30.00				
Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa USD/HM	Costo USD/Gln	Consumo Combustible Gln/HM	Costo HM (Total)	Item	Cant.	Descripción	HH/Día (previsto)	Tarifa USD/Hh	Costo HH Día (Total)	Costo HH Noche (Total)								
1	1	Cargador Frontal	Caterpillar	962H	6.00	45.00	3.590	4.65	370.16	1	0.5	Capatáz	10.50	9.64	50.51	68.18								
2	1	Excavadora	Caterpillar	336 DL	8.50	58.00	3.590	6.50	691.35	2	9	Op. eq. Pesado	10.50	8.24	780.57	1,053.77								
3	5	Volquete	VOLVO	FMX 480	8.50	25.00	3.590	4.50	1,749.09	3	1	Oficial	10.50	6.63	69.62	93.98								
4	0	Torre Iluminaria	TEREX		8.50	2.29	3.590	0.51	-	4	1	Peón	10.50	6.63	69.62	93.98								
5	1	Cisterna de agua	Hino (5000 gl.)		4.50	25.00	3.590	4.50	185.20															
									COSTO TOTAL EQ/Día															
									COSTO TOTAL EQ/Mes															
									TOTAL USD/M3															
Distancia (Km) 2 60 min. Transp. IDA (Km/h) 13.33 8.00 Transp. VUELTA (Km/h) 17.14 10.909091 Maniobra CARGA (min) 6 Maniobra DESCARGA (min) 4 Notas= 1.- Los equipos tiene elementos que se desgastan, poeste concepto se ha considerado 15% más al costo de los equipos. Tiempo de ida (min) 9 2.- La cantidad de volquetes está determinado por cálculo (4.33 unidades), se transporta el material a 2 kilómetros. Tiempo de vuelta (min) 7 3.- El cargador frontal y cisterna de agua son de apoyq trabajan sdo medio tiempo. TOTAL CICLO (min): 26.00 4.- el presente escenaio es en turno de día, los costos de noche tien en un incremento. CANTIDAD DE VOLQUETES: 4.33 5.- El precio de combustible está actualizado.										COSTO T. MO/Día 970.31 COSTO T. MO/Mes 29,109.15 TOTAL USD/M3 1.01														

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2. Etapa de la selección de la roca

En esta etapa se desarrolla las actividades de selección del material que va a servir para la siguiente etapa (trituration), aquí la materia prima es separada y se acopia la roca mayor a 1". Los costos de los recursos y las tarifas de mano de obra son reales. La suma de todo lo que interviene para realizar este trabajo se ha mencionado en el cuadro siguiente, y la producción que se obtiene en cada hora se ha ido contabilizando en varias jornadas de trabajo. El ejercicio resulta de la suma de lo que se invierte, contra el volumen de producto que se obtiene (m3/hora).

Figura n.º 3. 28 Costo de la etapa de selección de la roca

ESCENARIO DEL COSTO REAL DE SELECCIÓN DE ROCA

ETAPA II
SELECCIÓN DE PIEDRA DE 1" - 20" (Se elimina conglomerado de 0 - 1")

		ARENA			GRAVAS						
		0 - 3/8"	3/8"- 1"		4 1/2"- 20"	Consumibles 15%					
HUMEDAD: 4%											
I. PLASTICIDAD: No plástico											
TIPO DE MAT.: de río, t. máx 20"											
PRODUCTO: Piedra 1" - 20"		Rend. (m3/hora):	17	11	22	19	HM/D 8.5		35%		
CANTERA: Aluvial		Rend. T. (m3/día)	348.5							DM/M 25	11.50

PRESUPUESTO DE MO CON TARIFAS REALES

Item	Cant.	Descripción	HH/U/a (previsto)	Tarifa USD/HH	Costo HH Dia (Total)	Costo HH Noche (Total)	
1	0.5	Capatáz	10.50	9.62	50.51	68.18	
2	5	Op. Eq. Pesado	10.50	8.26	433.65	585.43	
3	0	Operario	10.50	8.26	-	-	
4	3	Oficial	10.50	6.63	208.85	281.94	
					COSTO T. MO/Día	693.00	935.55
					COSTO T. MO/Mes	20,790.00	28,066.50
					TOTAL USD/M3	1.99	

Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa USD/HM	Costo USD/Gln	Consumo Combustible Gln/HM	Costo HM (Total)	
1	1	Cargador Frontal	Caterpillar	962H	8.50	55.00	3.590	4.65	609.39	
2	1	Cargador Frontal	Volvo	L120	8.50	55.00	3.590	4.50	604.82	
3	1	Zaranda Vibratoria	Powerscreen	Chief. 1700	8.50	95.00	3.590	3.80	923.46	
4	0	luminaria 5 Kw	TEREX		8.50	2.29	3.590	0.51	-	
5	2	Camión volquete	Volvo	FM 480	8.50	25.00	3.590	4.50	699.64	
6	1	Cisternade agua	Hino	5000 gl.	3.00	25.00	3.590	4.10	119.16	
									COSTO TOTAL EQ/Día	3,399.93
									COSTO TOTAL EQ/Mes	84,998.26
									TOTAL USD/M3	9.76

Distancia (Km)	1.95	60 min.
Transp. IDA (Km/h)	13.00	4.50
Transp. VUELTA (Km/h)	14.63	10.636364
Maniobra CARGA (min)	17	
Maniobra DESCARGA (min)	3	
Tiempo de ida (min)	9	
Tiempo de vuelta (min)	8	
TOTAL CICLO (min):	37.00	
CANTIDAD DE VOLQUETES:	2.18	

Notas= 1.- Para obtener el rendimiento se toma solamente las gravas desde 1" hasta 20", hay un 3% de piedra >20" que se elimina.
2.- La cisterna para agua apoya solamente 3 horas, y la luminaria no se considera porque el cálculo es en turno día.
3.- La cantidad de volquetes está determinado por el cálculo (2.18), se cuenta con dos unidades.
4.- se está considerando 15% de incremento al costo total de los equipos para el tema de elementos de desgaste.

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Etapa de la trituración y cribado de los productos finales

Esta es la etapa final de todo el proceso, la actividad comienza con la dosificación de la roca selecta que se encuentra acopiada en una pila, esta es alimentada mediante un dosificador hacia la trituradora (HSI), el conglomerado triturado es llevado mediante una faja transportadora hacia la seleccionadora vibratoria, luego los productos son extraídos y llevados hacia acopios temporales. Todo el proceso se desarrolla en una planta de trituración y cribado grande. Se ha tomado los datos de la producción en varias jornadas tanto de día como de noche, los precios de los demás equipos son tarifas que se tiene de cotizaciones de empresas arrendatarias dedicadas al rubro; asimismo también se ha detallado el precio de la mano de obra según la tarifa de construcción civil más otros gastos que el personal genera por cada día. El resultado del precio de cada m3/hora es de la suma de todo lo que se invierte entre la producción horaria.

Figura n.º 3. 29 Elaboración del costo de la etapa de trituración

ESCENARIO DEL COSTO REAL DE LA TRITURACIÓN

		ARENA				GRAVAS				Consumibles		PRESUPUESTO DE MO CON TARIFAS REALES							
		0-3/8"	P. 3/8"-3/4"	P. 3/4"-4"	P. 4"-20"	15%		35%											
HUMEDAD: Piedra seca										HM/D	8.5	HH/D	10.5	DM/M	25	DH/M	30	30.00	
I. DE PLASTICIDAD: No plástico																			
INGRESA: Piedra de 1" - 8"																			
PROD.: Arena/piedra triturada		Rend. (m3/hora)	6	11	0	0													
CANTERA: Aluvial		Rend. (m3/día)	144.5																
Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa USD/HM	Costo USD/Gln	Consumo Combustible Gln/HM	Costo HM (Total)	Item	Cant.	Descripción	HH/Día (previsto)	Tarifa USD/HH	Costo HH Día (Total)	Costo HH Noche (Total)			
1	1.5	Cargador Frontal	Caterpillar	962H	8.50	55.00	3.692	4.65	920.14	1	1	SUPERVISOR DE	10.50	9.62	101.01	136.36			
2	1	Chancadora impacto	Eagle jumbo	1200 25	8.50	393.00	3.692	2.91	3,431.82	2	6	OPERADOR EQU	10.50	8.26	520.38	702.51			
3	0	Chancadora Primaria	HARTL	vercrusher 12	8.50	105.00	3.692	6.70	-	3	1	OPERARIO	10.50	8.26	86.73	117.09			
4	2	Volquete	VOLVO	FM 450	8.50	25.00	3.692	4.50	707.44	4	2	OFICIAL	10.50	6.63	139.23	187.96			
5	0	Chancadora secundaria	PEGSON	Maxtrak 1000	8.50	105.00	3.692	7.80	-	5	1	PEON	10.50	6.63	69.62	93.98			
6	1	Generador	VOLVO	Penta 450 KW	8.50	30.00	3.692	6.00	443.29			COSTO T. MO/Día		916.97	1,237.90				
7	2	Torre de iluminación	TEREX		8.50	2.29	3.692	0.51	71.09			COSTO T. MO/Mes		27,508.95	37,137.08				
Costo del equipo más desgastables									COSTO TOTAL EQ/Día			TOTAL USD/M3		6.35					
Tarifa de chancadora									165 U\$D			COSTO TOTAL EQ/Mes		160,246.27					
Costo de Martillos									4,500 U\$D			TOTAL USD/M3		44.36					
Tiempo de duración									19.71 Horas										
Costo Hora/martillo									228.00 U\$D	138%									
C. chanc. + martillo									393.00 U\$D/Hora										

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Escenario económico de la propuesta para la mejora estudiada

Los siguientes escenarios se han elaborado con la cantidad real de recursos que intervendrá en la futura estructura de la planta, los precios de alquiler de las máquinas son datos que se encuentra en el mercado local, así como también los elementos de desgaste que usa cada trituradora de roca. Como se podrá apreciar, cada escenario propuesto no es el mismo con respecto al que se tiene instalado en la planta en la actualidad, justamente se ha hecho una reestructuración de todo el sistema de la planta de trituración de roca donde se puede ver que en la etapa de extracción de la materia prima se está proponiendo otro método, en la etapa de selección también proponemos que se desarrolle de manera distinta al actual, en la etapa de trituración proponemos el incremento de maquinaria que interviene para la fracturación de la roca, o cual de esta última etapa se puede decir que los costos de inversión son mayores, pero en el resultado final hay una reducción del precio por metro cúbico de producto porque se consigue incrementar el volumen de producción por hora.

3.4.2.1. Etapa de extracción de la materia prima

A diferencia de los trabajos que se viene desarrollando para la extracción y acarreo de la materia prima, la propuesta siguiente ha sido pensada para separar la actividad de extracción de la materia prima con la actividad de transporte. El cuadro siguiente detalla los recursos que interviene únicamente en los trabajos de explotación de la cantera para obtener el material global (materia prima). Se ha tomado datos históricos de escenarios aplicados en otros proyectos de similar cantera y trabajos extractivos con los mismos recursos; asimismo se ha realizado una simulación de la actividad en condiciones reales con los equipos y personal que interviene para dicha actividad. Por lo tanto, la propuesta económica detallada en el siguiente cuadro se ajusta a la realidad.

Figura n.º 3. 30 Propuesta de mejora para la elaboración de la etapa de extracción

PRESUPUESTO DE EQUIPOS CON TARIFAS REALES										PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA CON TARIFAS REALES						
ETAPA N° 1																
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE RÍO (corte con excavadora y carguío con volquetes)																
HUMEDAD: 5% de humedad																
I. PLASTICIDAD: No plástico																
PRODUCTO: Conglom. río, máx 2																
CANTERA: Aluvial																
Rend. (m3/hora): 101										Elementos de desgaste. 15%						
Rend. (m3/día): 858.5										HM/D 8.5						
										HH/D 10.5						
										DH/M 30						
										11.50						
										30.00						
Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa US\$/HM	Costo US\$/sin	Consumo Combustible gal/HM	Costo HM (Total)	Item	Cant.	Descripción	HH/Día (previsto)	Tarifa US\$/HM	Costo HH Día (Total)	Costo HH noche (Total)
1	1	Excavadora	Caterpillar	336DL	8.50	58.00	3.590	6.50	691.35	1	0.5	Capatáz	10.50	9.62	50.51	68.18
2	1	Tractor Oruga	Caterpillar	D6R	4.00	55.00	3.590	6.20	309.03	2	1	Op. eq. Pesado	10.50	8.26	86.73	117.09
3	0	Luminaria	Terex	5 kw	11.00	2.29	3.590	0.51	-							
COSTO TOTAL EQ/Día									1,150.44	COSTO T. MO/Día			137.24	185.27		
COSTO TOTAL EQ/Mes									28,760.91	COSTO T. MO/Mes			4,117.05	5,558.02		
TOTAL USD/M3									1.34	TOTAL USD/M3			0.16			

- Notas 1.- Las máquinas tienen elementos que se desgastan, por este concepto se ha considerado 15% más al costo total de los equipos.
3.- El tractor oruga apoya a la actividad principal, realiza trabajos de despalme, limpieza, arreglo de accesos y otros.
4.- el presente escenario es en turno de día, los costos de noche tienen un incremento.
5.- El precio de combustible está actualizado.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Etapa de selección y transporte de la roca selecta

En esta etapa del proceso hemos determinado que es conveniente juntar dos actividades, la del proceso de selección con el transporte interno, ya que estratégicamente resulta ser más provechoso porque se hace las dos cosas en simultáneo y se puede aprovechar parte de los recursos para los dos trabajos. Para la selección de la roca se propone usar un tipo diferente de cribadora porque el que se viene usando en la actualidad no es adecuado para el tipo de material a seleccionar, proponemos usar una zaranda scalper que tiene capacidad a recibir material hasta 25" que debe ser incluida y cambiada por la zaranda vibratoria de tres niveles que sirve para productos

<4". El precio de ambas máquinas es similares pero tienen diferente aplicación. También se detalla los demás recursos y mano de obra que intervendría en la nueva propuesta de trabajo.

Figura n.º 3. 31 Costo para la propuesta de mejora de la selección y transporte de la roca

PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN Y TRANSPORTE DE LA ROCA

ETAPA II
SELECCIÓN DE PIEDRA DE 1" - 20" (Se elimina conglomerado de 0 - 1")

HUMEDAD: 4%		ARENA/GRAV				GRAVAS				Consumibles 15%		35%	
I. PLASTICIDAD: No plástico		0 - 1"	1" - 4 1/2"	4 1/2" - 20"	>20"	HM/D	DM/M	HH/D	DH/M	HM/D	DM/M	HH/D	DH/M
TIPO DEMAT.: derío, t. máx 20"	Rend. (m3/hora):	35	36	30	0.9	8.5	25	10.5	30	8.5	25	10.5	30
PRODUCTO: Piedra 1" - 20"	Rend. T. (m3/día):	561											
CANTERA: Aluvial													

Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa USD/HM	Costo USD/Gin	Consumo Combustible (l/HM)	Costo HM (Total)	Item	Cant.	Descripción	HH/Día (previsto)	Tarifa USD/HH	Costo HH Día (Total)	Costo HH Noche (Total)
1	1	Cargador Frontal	Caterpillar	962H	8.50	55.00	3.590	4.65	609.35	1	0.5	Capatáz	10.50	9.62	50.51	68.15
2	1	Tractor oruga	Caterpillar	D6R	4.00	55.00	3.590	6.20	309.03	2	8	Op.Eq.Pesado	10.50	8.26	693.84	936.68
3	1	Zaranda Scalper	Powerscreen	Warrior 1800	8.50	95.00	3.590	3.80	923.46	3	0	Operario	10.50	8.26	-	-
4	0	luminaria 5 Kw	TEREX		11.00	2.29	3.590	0.51	-	4	3	Oficial	10.50	6.63	208.85	281.94
5	4	Camión volquete	Volvo	FM 480	8.50	25.00	3.590	4.50	1,399.27					COSTO T. MO/Día	953.19	1,286.81
6	1	Cisterna de agua	Hino	5000 gl.	4.00	25.00	3.590	4.10	158.88					COSTO T. MO/Mes	28,595.70	38,604.20
									COSTO TOTAL EQ/Día	3,910.03					TOTAL USD/M3	1.70
									COSTO TOTAL EQ/Mes	97,750.86						
									TOTAL USD/M3	6.97						

Distancia (Km)	2	60 min.
Transp. IDA (Km/h)	13.33	8.00
Transp. VUELTA (Km/h)	17.14	10.9090909
Maniobra CARGA (min)	6	
Maniobra DESCARGA (min)	4	
Tiempo de ida (min)	9	
Tiempo de vuelta (min)	7	
TOTAL CICLO (min):	26.00	
CANTIDAD DE VOLQUETES:	4.33	

Notas= 1.- Para obtener el rendimiento se toma solamente las gravas desde 1" hasta 20", hay un 3% de piedra >20" que se elimina.
2.- La cisterna para agua apoya solamente 4 horas, y la luminaria no se considera porque el cálculo es en turno día.
3.- La cantidad de volquetes está determinado por el cálculo (4.33), se cuenta con 4 unidades.
4. se está considerando 15% de incremento al costo total de los equipos para el tema de elementos de desgaste.
4.- El producto de esta actividad se transporta y acopia a dos kilómetros de la cantera (zona de chancado)

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Etapa de trituración y cribado del producto

Esta última etapa es la más importante de todo el proceso de producción, debido a que en esta última se obtiene el producto terminado y por lo tanto merece mucha atención. Es importante señalar que a diferencia de la estructura actual aplicada en la planta, nuestra propuesta utiliza mayores recursos incrementando la inversión por cada hora de operación; sin embargo el resultado es satisfactorio porque hay un incremento de la producción del producto final, lo cual hace que el precio por m3 obtenido tenga menor costo. En el siguiente ejercicio se ha descrito los recursos que se debería implementar y también los rendimientos con el material (características de la roca seleccionada) que se tiene en la actualidad. Ha sido importante sumar el costo de los materiales de desgaste, los mismos que tiene alto valor de compra, de esta manera el ejercicio se económico tiene carácter real. Los precios de todos los elementos que interviene en la actividad son los que se encuentran en el mercado y se ha extraído de cotizaciones formales; la mano de obra también tiene un costo real por día de trabajo, en el precio se ha considerado todos los gastos incurridos para cada tipo de trabajador.

Figura n.º 3. 32 Costo de la propuesta de mejora para la etapa de trituración

PROPUESTA DE MEJORA DE LA ETAPA DE TRITURACIÓN

HUMEDAD: Piedra seca		ARENA				GRAVAS				Consumibles 15%		PRESUPUESTO DE MONOTARIFAS REALES			
I. DE PLASTICIDAD: No plástico		0 - 1/4"	0 - 3/8"	3/8" - 3/4"	P. 4" - 20"	HM/D		DM/M		HH/D		30.00			
INGRESA: Piedra de 1" - 20"		Rend. (m3/hora)	13.3	7.93	15.46	0	8.5	25	10.5	35%					
PROD.: Arena/piedra triturada		Rend. (m3/día)	311.865												
CANTERA: Aluvial															

Item	Cant.	Descripción	Marca	Modelo	HM/Día (previsto)	Tarifa USD/HM	Costo USD/Gin	Consumo Combustible Gin/HM	Costo HM (Total)	
1	2	Cargador Frontal	Caterpillar	962H	8.50	45.00	3.692	4.65	1,056.85	
2	1	Zaranda Vibratoria	POWERSCREEN	Chieftain 1800	8.50	90.00	3.692	2.91	856.32	
3	1	Chancadora Primaria	HARTL	wercrusher 12	8.50	129.36	3.692	6.70	1,309.85	
4	2	Volquete	VOLVO	FM 480	8.50	25.00	3.692	4.50	707.44	
5	1	Chancadora secundaria	PEGSON	Maxtrak 1000	8.50	157.04	3.692	7.80	1,579.61	
6	1	Generador	VOLVO	Penta 450 kW	8.50	30.00	3.692	9.50	553.13	
7	1	Chanc. Terciaria	Metso	VSI 7150	8.50	111.67	3.692	-	949.17	
8	2	Torre Iluminación 5 Kw	TEREX		8.50	2.29	3.692	0.51	71.09	
Duración Hrs. Precio U\$D EQ. + Kit									COSTO TOTALEQ/Día	8,145.98
Kit muelas mandíbula 600.00 14,618 129.36									COSTO TOTAL EQ/Mes	203,649.41
Kit cono y cóncavo 180.00 9,367 157.04									TOTAL USD/M3	26.12
Costo kit terciaria VSI 120.00 1,400 111.67										
Tarifa Ch. primaria 105.00 U\$D										
Tarifa Ch. secundaria 105.00 U\$D										
Tarifa Ch. terciaria 100.00 U\$S										

Item	Cant.	Descripción	HH/Día (previsto)	Tarifa USD/HH	Costo HH Día (Total)	Costo HH Noche (Total)
1	1	SUPERVISOR DE	10.50	9.62	101.01	136.36
2	9	OPERADOR EQU	10.50	8.26	780.57	1,053.77
3	1	OPERARIO	10.50	8.26	86.73	117.09
4	2	OFICIAL	10.50	6.63	139.26	187.96
5	2	PEON	10.50	6.63	139.26	187.96
COSTO T. MO/Día					1,246.77	1,683.14
COSTO T. MO/Mes					37,403.10	50,494.19
L USD/M3					4.00	

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente capítulo, se ha elaborado un resumen comparativo de los costos incurridos de las diferentes etapas de producción tanto del estudio realizado a la planta instalada, y los resultados a partir de la propuesta que se está haciendo:

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. RESULTADOS

Se ha hecho una comparación de los escenarios en cada etapa de producción, de la estructura ya instalada, se ha revisado todos los procesos en cada etapa productiva, y en base a ello se ha encontrado la oportunidad de mejora. Se ha trabajado en la investigación de una nueva propuesta, estructurando de una manera diferente a la que se tiene actualmente. La nueva propuesta tiene carácter real, se ha considerado datos históricos de proyectos iguales al actual para la obtención de los rendimientos, y los precios de los equipos y mano de obra son tarifas actualizadas.

En el siguiente cuadro se detalla las diferencias económicas del costo del producto terminado que se venía obteniendo al momento de la intervención a la planta, y el costo del producto que se obtendría al implementar la mejora. No todos los procesos son iguales excepto el de trituración que tiene cierta similitud:

Tabla n.º 4-1

Comparativo de los costos del producto terminado, el antes y después.

ETAPAS DE PRODUCCIÓN	COSTO ACTUAL		COSTO DE PROPUESTA	
	Mano de Equipos o.		Mano de Equipos o.	
	Costo en U\$D/m3	Costo en U\$D/m3	Costo en U\$D/m3	Costo en U\$D/m3
Etapa de explotación de cantera	0.00	0.00	1.34	0.16
Etapa de explotación de cantera y transporte	3.60	1.01	0.00	0.00
Etapa de selección de roca	9.30	1.9	0.00	0.00
Etapa de selección de la roca, y transporte	0.00	0.00	6.97	1.70
Etapa de trituración	44.36	6.35	26.12	4.00
TOTALES EQ./MO.	57.26	9.26	34.43	5.86

Fuente: Elaboración propia

Producto: Piedra triturada de 3/4", Arena triturada 3/8"

Costeo por etapas

- Costo total de la actividad actual = 66.52
- Costo total de la propuesta de producción = 40.29

La estructura que ya se tenía implementado consiste en las siguientes etapas:

- Etapa de explotación de cantera y transporte
- Etapa de selección de la roca
- Etapa de trituración y cribado

La implementación de la mejora que se está proponiendo, mantiene una estructura diferente a la descrita anteriormente, también hay diferencias de la maquinaria que compone toda la planta:

- Etapa de explotación de cantera
- Etapa de selección de roca y transporte
- Etapa de trituración y cribado

Se presenta las diferencias con respecto a lo que se tiene instalado. La mejora principalmente va en el sentido económico, con la nueva propuesta se obtiene mayor volumen de producción por hora de trabajo, y este índice hace de que el costo por metro cúbico de material procesado disminuya sustancialmente. Como resultado del estudio entonces se determina que las actividades deberían seguir:

- El proceso de la extracción de la materia prima deberá ser realizado a tajo abierto, y corte con excavadora, asistido por un tractor de orugas.
- El material cortado será descargado directamente a la tolva de alimentación de la zaranda Scalper, la misma que seleccionará la roca >1" como producto del tamizado. - los productos serán retirados y cargados con el apoyo de un cargador frontal y 5 volquetes para una distancia de 2 km. Hasta el acopio cerca de la planta de chancado.
- La trituración primaria se debe realizar con una chancadora de mandíbula de 26" x49".
- La trituración secundaria se realizará con una chancadora de cono mayor a 3´
- La trituración terciaria deberá ser con una trituradora VSI 7150 de rotor profundo.
- Para la selección del producto se deberá usar una criba no menor de 5´x 16´ en el área de tamizado.

Los resultados de la utilización y eficiencia se comparan en el siguiente cuadro:

Figura n.º 4. 1 Cuadro comparativo de la utilización y eficiencia de antes y después

ESCENARIO N° 1 (Antes)

Comportamiento de la planta de chancado instalada en el proyecto

N° máquinas	Estandart de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	capacidad de diseño m3/mes	Eficiencia 90%	Capacidad efectiva m3/mes	Capacidad real m3/mes	Porcentaje de Utilización	Porcentaje de eficiencia
1.00	45.00	25.00	17.00	19,125.00	0.90	17,212.50	4,130.67	22%	24%

Capacidad real de la planta instalada

N° máquinas	Estandart de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	capacidad real m3/mes	Eficiencia 75%	Capacidad efectiva m3/mes
1.00	17.54	20.00	15.70	5,507.56	0.75	4,130.67

ESCENARIO N° 2 (Después)

Comportamiento de la planta de chancado con la mejora recomendada

N° máquinas	Estandart de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	capacidad de diseño m3/mes	Eficiencia 90%	Capacidad efectiva m3/mes	Capacidad real m3/mes	Porcentaje de Utilización	Porcentaje de eficiencia
1.00	45.00	25.00	17.00	19,125.00	0.90	17,212.50	13,254.26	69%	77%

Capacidad recomendada

N° máquinas	Estandart de prod. M3/h	Días de trabajo al mes	Horas de trabajo al día	Capacidad real m3/mes	Eficiencia 85%	Capacidad efectiva m3/mes
1.00	36.69	25.00	17.00	15,593.25	0.85	13,254.26

Fuente: elaboración propia

Como resultado del estudio se ha propuesto a la gerencia de producción de plantas la nueva estructura que se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura n.º 4. 2 Propuesta de mejora, trituración primaria, secundaria, terciaria, y cribado.



Fuente: Elaboración propia

La propuesta de mejora de la etapa de trituración es la de mayor relevancia, como se observa en la figura anterior, la estructura obedece al incremento de maquinaria pero el resultado es exitoso.

4.2. CONCLUSIONES

Se ha determinado que el sistema de la planta de producción de agregados ha sido mal estructurado, cada etapa del proceso ha sido evaluada. Los rendimientos finales no justifican el resultado económico. La tercera fase de la línea (trituración) está generando restricción en el proceso debido a la baja capacidad de fracturación de la roca que tiene la máquina en la etapa 3, este problema hace que las siguientes etapas tengan mayores inversiones de presupuesto por un tema de equipos parados (stand by). El desarrollo y resultado del estudio alertó a los responsables del proyecto a tomar en cuenta la propuesta de cambio, dado que los resultados económicos están por debajo del precio unitario contractual, los productos cumplen con la calidad deseada, y el volumen requerido se completará dentro del plazo proyectado.

Se ha determinado el tipo y características de calidad de los materiales de cantera, siendo esto fundamental y determinante para la elección de las trituradoras, y en consecuencia para desarrollar una nueva estructura de producción. Por la resistencia a la abrasión que posee las rocas, se ha descartado el uso de la trituradora que se encontraba en operación (HSI), y se propone el cambio por una trituradora de mandíbula para el chancado primario, una trituradora de cono para el chancado secundario, y una trituradora de impacto (VSI) para la etapa terciaria. La criba también debe ser cambiada por tratarse de chancadoras móviles. Se debería implementar el proceso con una trituración terciaria, porque el resultado de los ensayos de calidad de la grava, no cumple con las exigencias, así como también por la cubicidad de las piedras.

Se propone una nueva estructura para sistema de producción porque aportará mucho valor a la organización, reduciendo el tiempo por metro cúbico producido, e incrementándose la producción en un 52.21%; asimismo se conseguirá bajar el precio del producto terminado en un 39.43% con relación a lo que se venía obteniendo.

Los buenos resultados que se obtendrían, resulta de los ajustes aplicados en la etapa de extracción de materia prima, a un ratio de: 101 m³/hora, selección de la roca y transporte a: 66m³/hora, y finalmente un rendimiento del producto terminado de 36.70 m³ en cada hora de producción, y a un precio total de 40.29 U\$D por todo el trabajo desarrollado; por lo mostrado se concluye que la mejor manera de producir este tipo de agregados es implementando la planta en las tres etapas que se ha detallado.

4.3. RECOMENDACIONES

Esta investigación servirá a todos los interesados que manejan este tipo de negocio y desean enriquecer su conocimiento para que puedan aplicar en la producción de agregados triturados. Se recomienda realizar una evaluación de todo el proceso semejante a lo que se ha actuado, y detallado en el presente documento. Se debe evaluar estrictamente la materia prima mediante técnicas aplicadas en un laboratorio de suelos, así como las características de los productos que se desea obtener, cumplir siempre con estos previos pasos para la toma de decisiones respecto a la estructuración de la planta, lo mismo que determinará el éxito de su producción.

El factor importante y determinante que mueve el número del costo final, es el rendimiento (m³/hora). Se recomienda estabilizar y cuidar este ratio; una vez que se haya validado los parámetros de calidad de los productos, se debe afinar el ratio haciendo ajustes de calibración en la planta dentro de lo permisible. También se debe mantener una determinada homogeneidad y limpieza de la materia prima, esto asegura un producto con la calidad. Se recomienda asemejar siempre la calidad de los productos, con las especificaciones técnicas aplicadas, y nunca trabajar a límite de los controles.

Siempre es necesario realizar un comparativo y actualización de las tarifas de alquiler, de los equipos de trituración y cribado, los de apoyo (cargador, excavadora, tractor), así como de la mano de obra a emplearse, también debería ser analizado a detalle la calidad y precio de los elementos de desgaste, ya que estos tienen un costo muy alto. La suma de todos estos recursos contra el rendimiento proyectado, deberá arrojar un valor muy por debajo del presupuesto de contrato, solo así se podría decir que el proyecto es viable.

REFERENCIAS

Grados Carlos Artola (2014) *Modelo DBR en procesos productivos – Aplicando la Teoría de restricciones.*

Poma Jhoel (2014) *cuellos de botella y recursos restringidos por la capacidad.*

Aguilera Carlos (2017) *un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones.*

ESAN (2018) *Teoría de las Restricciones.*

Ishikawa Kaoru (2013). *maestros de la calidad.*

González Jesús (2018) *Agregados para concreto.*

Cisneros Campos (2015) *Funciones en el concreto.*

Santiago Razzak Melian (2014) *Clasificación de Los Agregados.*

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2017) *estudio para la rehabilitación y mejoramiento de carreteras.*

Arangurí Castillo (2013). *La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad.*

Rolando Mendoza Camey (2018) *evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán.*

Pareto Vilfredo (2013) *El principio de Pareto*

ANEXOS

Anexo n.º 1 Costo de los elementos de desgaste para chancadora secundaria	106
Anexo n.º 2 Costo de elementos de desgaste para trituradora primaria	107
Anexo n.º 3 Especificaciones técnicas de chancadora de mandíbula Hartl PC	108
Anexo n.º 4 Especificaciones técnicas de chancadora cónica Pegson Maxtrak 1000	109
Anexo n.º 5 Especificaciones técnicas de chancadora de impacto Eagle 1200-25	110
Anexo n.º 6 Ficha técnica de chancadora de impacto HSI Eagle	111

Anexo n.º 1 Costo de los elementos de desgaste para chancadora secundaria



Lima, 05 de Setiembre del 2017

Sres.
Consortio Vial

COTIZACION N° OUT - 005 - 2017

Estimado Ing. Marchese;

Por medio de la presente, nos es grato dirigirnos a usted a fin de hacerle llegar la cotización de algunos elementos de desgaste para la chancadora primaria HARTL PC 1265J.

ITEM	CANT.	PRODUCTO	N. DEPARTE	P. UNITARIO	TOTAL
1	1	Moving Jaw Plate	BB126.033.00.00C	5,714.50	5,714.50
2	1	Fix Jaw Plate	BB126.043.00.00C	5,805.80	5,805.80
3	1	Togle Plate	BB126.15.00.275DB	1,371.70	1,371.70
4	1	Bothom righth wear plate	BB126.1631.00.00	830.60	830.60
5	1	Bothom left wear plate	BB126.293.00.00	830.60	830.60
6	6	Bolt	M20/90/10.9 din 933	6.30	37.80
7	6	Nut	M20	4.50	27.00
TOTAL :					14,618.00

Condiciones comerciales:

- Condiciones de pago: 100% adelanto
- Validez de la oferta : 15 días
- Las tarifas son en DOLARES NORTEAMERICANOS
- La tarifa en más I.G.V
- La entrega de los elementos será en los almacenes de ICON CRUSHING & SCREENING (Cieneguilla – Lima).

Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente
Medali Gutierrez Q.
ICON
Cel. 975649800

Fuente: Icon Crushing SAC

Anexo n.º 2 Costo de elementos de desgaste para trituradora primaria



Lima, 05 de Setiembre del 2017

Sres.
Consortio Vial

COTIZACION N° OUT - 006 - 2017

Estimado Ing. Marchese;

Por medio de la presente, nos es grato dirigirnos a usted, a fin de hacerle llegar la cotización de los elementos de desgaste para la Chancadora Secundaria PEGSONMAXTRAK 1000.

ITEM	CANT.	PRODUCTO	N. DE PARTE	P. UNITARIO	TOTAL
1	1	Concave Medium Coarse M 18%	603/9052E	3,185.60	3,185.60
2	1	Mantel 22/100 MG 18%	603/910E	3,073.50	3,073.50
3	1	Mantel Nut	603/929	1,861.20	1,861.20
4	1	Wear Plate	2564-7102	676.50	676.50
5	4	Bolt M20 x 4 1/2"	Alternativo	17.60	70.40
6	2	Kit Resina epóxica	2144-0031	250.00	500.00
TOTAL =					9,367.20

Condiciones Comerciales:

- Condiciones de pago: 100% adelanto
- Validez de la oferta : 15 días
- Las tarifas son en dólares americanos
- La tarifa en más I.G.V
- La entrega de los elementos será en los almacenes de ICON CRUSHING & SCREENING (Cieneguilla – Lima).

Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente
Medali Gutierrez Q.
ICON

Fuente: Empresa Icon Crushing SAC

Anexo n.º 3 Especificaciones técnicas de chancadora de mandíbula Hartl PC



■ Información Técnica

Machacadora de mandíbulas PC 1265:

Boca de alimentación:	1250 x 650 mm (49" x 26")
Rotor de la mandíbula:	1500 mm (59")
Revoluciones de trituración:	270 (max. rpm)
Capacidad de trituración:	hasta 300 t/h
Ajuste hidráulico de la boca:	
Ancho de la boca:	60 – 150 mm (2,4" – 6")

Motor:

Motor:	CAT C9
Rendimiento:	242 kW (325 hp)
Cantidad de cilindros:	6 cilindros en línea
Sistema de refrigeración:	agua, bomba de circulación

Tolva de alimentación:

Construcción:	acero „Hardox“
Volumen de la tolva:	aprox. 4,5 m ³
Largo:	3780 mm (12' 5")
Ancho:	2320 mm (7' 7")
Altura:	3500 mm (11' 5")

Canalota vibratoria con pre-cribado

Largo sin grizzly:	2490 mm (8' 2")
Ancho:	1240 mm (4' 1")
Largo del grizzly:	900 mm (35,5")
Funcionamiento:	hidráulico
Equipamiento estándar	
Zaranda lineal:	60 mm (2")
o	
Zaranda Zig-Zag:	50 mm (2")

Cinta transportadora principal:

Construcción:	construcción en acero perfilado
Ancho de la cinta:	1200 mm (47,2")
Alto de descarga:	3480 mm (11' 5")
Funcionamiento:	hidráulico

Para su transporte la cinta puede ser plegada.

Cinta transportadora lateral:

Construcción:	construcción en acero perfilado
Ancho de la cinta:	650 mm (25,5")
Altura de descarga:	2800 mm (9' 2")
Funcionamiento:	hidráulico

Para su transporte la cinta puede ser plegada.

Mecanismo propulsor de orugas:

Ancho de la cadena de la oruga:	400 mm (15,7")
Distancia entre ejes:	3100 mm (10' 2")
Diseño:	placas de 3 costos
Capacidad de trepado:	max. 20°
Funcionamiento:	hidráulico

Separador magnético permanente:

Ancho de la cinta:	750 mm (29,5")
Distancia entre ejes:	1840 mm (6' 5")
Funcionamiento:	hidráulico

Control remoto

El sistema consiste en un set receptor montado en la máquina, un set transmisor inalámbrico con dos baterías y una unidad de recarga. El mecanismo propulsor de orugas y el alimentador del grizzly pueden ser controlados con el control remoto.

Dimensiones:

Dimensiones de trabajo:

Largo:	14.200 mm (46' 7")
Ancho:	6.000 mm (19' 8")
Altura:	3.500 mm (11' 5")

Dimensiones de transporte:

Largo:	12.100 mm (39' 8")
Ancho:	2.550 mm (8' 4")
Altura:	3.460 mm (11' 4")

Peso: aprox. 42 t (92594 lb)

Fuente: Manual de especificaciones de Chancadoras Hartl

Anexo n.º 4 Especificaciones técnicas de chancadora cónica Pegson Maxtrak 1000



1000 MAXTRAK SPECIFICATION



CONE CRUSHER

Crusher type:	1000 Automax Crusher fitted as standard with long throw eccentric.
Liners:	Manganese steel alloy mantle and concave.
Standard concave:	Medium Coarse.
Lubrication:	Pumped system having a chassis mounted lube tank with air/bleed cooler.
Adjustment:	Hydraulic setting adjustment, automatic overload release and hydraulic unblocking.
Control:	System 2 hydraulic controls as standard.
Concave options:	Extra coarse (XC) Coarse (C) Autosand (AS)
Eccentric option:	Short throw.
Drive:	Wedge belt drive from engine via hydraulically controlled clutch.



CRUSHER OPTIONS

CRUSHER	CONCAVE	MAXIMUM FEED SIZE	MAXIMUM RECOMMENDED CSS
1000 Automax	Medium Coarse	160mm	36mm
1000 Automax	Coarse	175mm	36mm
1000 Automax	Extra Coarse	195mm	36mm
1000 Autosand	Autosand	63mm	32mm

Each of the above available with choice of long & short throw eccentrics

Fuente: manual de especificaciones de chancadoras Pegson

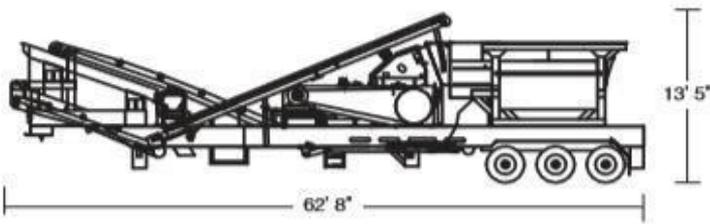
Anexo n.º 5 Especificaciones técnicas de chancadora de impacto Eagle 1200-25

Product Specification Sheet

1200-25CC Portable Plant Specifications



1200-25CC Travel Dimensions



1200-25CC Portable Plant Specifications*

Impactor	3-stage UltraMax® UM25
Impactor Weight	32,500 lbs.
Plant Weight	120,600 lbs.
Travel Width	11' 11"
Rotor Diameter & Width	47" x 47"
Feed Opening	48" x 34"
Vibrating Grizzly Feeder Dimensions	18' x 45.5"
Feed Hopper Capacity	17 cubic yards/23 tons
Grizzly Bars	Two-step, 30" long bars
On-Plant Screen	Inclined 5' x 16' double-deck
Discharge System	42" wide conveyor to screen
On-Plant Power Supply	325 HP or 335 HP diesel engine and 100kW generator (optional 430 HP 175kW)
Hydraulic Lift/Leveling System	On-board, gas-powered; also used for secondary curtain settings and crushing chamber access

* Design specifications subject to change without notice.

UltraMax® Impactor Models and Specifications

Model	Diameter x Width	Width x Height	Power Required	Approx. Weight
UM69	56 x 68	69 x 42	400-600	60,200
UM45	50 x 56	56 x 35	300-400	38,700
UM25	47 x 47	48 x 34	150-300	32,500
UM15	44 x 41	42 x 32	150-200	27,500
UM05	40 x 33	33 x 32	75-150	19,500
UM04	40 x 29	27 x 32	60-100	16,600

ATTENTION: Eagle Crusher Company designs a range of impactors. The capacities vary based on feed size, feed rate, physical characteristics of feed material, environmental conditions, operator training and proficiency, blow bar gap settings, and conditions of wear parts.

Fuente: Manual de equipos Eagle UM Jumbo 1200-25CC

Anexo n.º 6 Ficha técnica de chancadora de impacto HSI Eagle



SISME - Sistema de Mantenimiento de Equipos

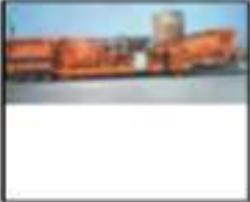
OBRA: GYM - 0090 : VILLA

Fecha Reporte : 14/07/2019
Hora Reporte : 03:12:39 PM
Página No: 1 de 2

FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO

DATOS GENERALES		
Código:	000400011	Categoría: PICH
Familia:	CHANCADORAS	
Marca:	EAGLE	Modelo: JUMBO 1200-25
Descripción:	PLANTA CHANCADORA	
Propietario:	GYM	Combustible: DIESEL
N° de serie:	3304779	N° de placa:
Año fabrica:	1999	Tip. equipo: Mayor
Capacidad:	200 TPH	Potencia: 325140

FOTOS

DATOS TÉCNICOS		
Componente	Descripción	Características
ALBIENTADOR	MODELO	409F
	SERIE	4781
	ANCHO x LARGO	40' x 18'
	CAPACIDAD DE TOLVA	17 YD / 22 Ton.
CAMARA CHANCADO	RECOMIENDAS	CON CHANCAS PLACAS DE DESASTE
	PLACA DE REDUCCION 81A	82A20
	PLACA DE REDUCCION 81A	82C100
	BOYER	ULTIMAS 25
	CAPACIDAD MOTOR	160-250 TON
	MANTENEDOR	80704F
CANTERA VIBR	MODELO	M1104
	SERIE	004481102
	ANCHO x LARGO	6 x 9'
	REBOTES DE CANTERA	8
MOTOR DIESEL	MARCA	CUMMINS
	MODELO	N14864F
	SERIE	1177122
	POTENCIA	325 HP
	NRO DE CILINDROS	6
	DESCRIPCIONES	SEMIPRESURIZADO
EMBRAJE	MARCA	AVR DSD
	MODELO	BF-214-021
GENERACION ELECTRICO	MARCA:	URA ELECTRIC COMPANY
	TIPO:	MAC BRUSHLESS AC
	POTENCIA:	60 KW
MOT ELECTR	FUJA PRINCIPAL	75 HP
	FUJA PRINCIPAL RETORNO	5HP
	FUJA AUXILIAR RETORNO	5HP
	FUJA PRINCIPAL SALIDA POST	5HP
	FUJA AUXILIAR SALIDA	5HP
FUJA PINOS ALBIENTADOR	5HP	

PESOS (Tn) Y MEDIDAS (m)					
Descripción	Largo	Ancho	Alto	Peso	
BOCINA DE TRANSPORTE	15.7	3.5	3.5	5.7	

CONSUMIBLES					
Descripción	Cant	Tipo	Marca	Cad	Observación
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	1	0	FLEETLINE F-301E		
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	1	0	FLEETLINE F-777		
FILTRO DE COMBUSTIBLE	2	0	FLEETLINE F-1010		
FILTRO INTRINSECANTE	1	0	FLEETLINE F-201E		
FILTRO DE ACEITE	1	0	ORALCOR F01049		
FILTRO DE ACEITE	1	0	ORALCOR F11049		

CAPACIDADES				
Descripción	UNIDAD	Cant		Observación
INDICADOR DEL ALBIENTADOR	GA	20		PUES. 10401 001 HP 200
CANTERA VIBRATORIA	GA	12		PUES. 10401 001 HP 200
MOTOR DIESEL	GA	61		PUES. 10401 001 HP 200
TANQUE HIDRAULICO	GA	10		PUES. 10401 001 HP 200
INDICADOR DE MOTOR DE ALBIENTADOR	GA	4		PUES. 10401 001 HP 200
SISTEMA DE EMPEÑAMIENTO	GA	61		EMPEÑAMIENTO
CONCRETO	GA	110		FEEL 1

USUARIO: KATIA CARILWINK GONZALES

Fuente: Sistema de mantenimiento GyM