



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE EQUIPOS
BULLDOZER PARA IDENTIFICAR SU PRODUCCIÓN
Y DISPONIBILIDAD, EN EL PROYECTO
SHAHUINDO, CAJABAMBA - PERÚ 2015

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Eric Saul Huamaní De La Cruz

Asesor:

Mg. Ing. José Siveroni Morales

Cajamarca – Perú
2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Eric Saul Huamaní De La Cruz**, denominada:

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE EQUIPOS BULLDOZER
PARA IDENTIFICAR SU PRODUCCIÓN Y DISPONIBILIDAD,
EN EL PROYECTO SHAHUINDO, CAJABAMBA – PERÚ
2015”**

Ing. José Siveroni Morales
ASESOR

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
JURADO

Ing. Roberto Gonzales Yana
JURADO

Ing. Wilder Chuquiruna Chavez
JURADO

DEDICATORIA

A mis Hermanos,
a mi Padre y Madre,
familia en general,
a todas esas personas dedicadas al apoyo de este trabajo,
a mis educadores y amigos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas y tutores que con tanta dedicación me ayudaron a realizar este trabajo.

A mis compañeros de universidad que con sus consejos y aprendizaje incentivaron la realización de mi carrera.

A mis padres y familiares, que nunca dejaron de apoyarme y aconsejarme.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Limitaciones	2
1.5. Objetivos	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases Teóricas	6
2.3. Definición de términos básicos	12
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	16
3.1. Formulación de la hipótesis	16
3.2. Operacionalización de variables	16
CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL	18
4.1. Generalidades.....	18
4.1.1. <i>Ubicación y acceso</i>	18
4.1.2. <i>Geología</i>	19
4.2. Métodos y Aplicación	22
4.2.2. <i>Referencia técnica de equipos Bulldozer</i>	27
4.2.2.2. <i>Producción y estimación de equipos KOMATSU D155AX-6</i>	35
4.2.2.3. <i>PRODUCCION CATERPILLAR D8T</i>	42
4.2.2.4. <i>PRODUCCION LIEBHER PR752</i>	48
4.2.3. <i>Estimación de costos</i>	51
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
5.1. Tipo de diseño de investigación.....	56
5.2. Material de estudio.....	56
5.2.1. <i>Población</i>	56
5.2.2. <i>Muestra</i>	56
5.2.3. <i>Unidad de estudio</i>	56
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	57
5.3.1. <i>Para recolectar datos</i>	57

<i>Fuente: Propia</i>	57
5.3.2. <i>Para analizar información</i>	58
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	59
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	62
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
8.1. Conclusiones.....	63
8.2. Recomendaciones	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.: Operacionalización de la variable dependiente e independiente	17
Tabla 4.2.1.1: coeficiente de tracción.....	28
Tabla 4.2.1.2: Factor de resistencia a la rodadura	29
Tabla 4.2.1.3: Relación entre velocidad Sísmica y elección de Ripper.....	33
Tabla 4.2.1.4: Factor de llenado Komatsu.....	36
Tabla 4.2.1.5: Tiempo requerido según transmisión de Bulldozer	37
Tabla 4.2.1.6: Factor de eficiencia de trabajo.....	38
Tabla 4.2.1.7: Cuadro resultante de cantidad de tractores Komatsu	41
Tabla 4.2.1.8: Factor de llenado de Bulldozer CATERPILLAR	42
Tabla 4.2.1.9: Factor de eficiencia de trabajo CATERPILLAR	44
Tabla 4.2.1.10: Factor de eficiencia del operador	44
Tabla 4.2.1.11: Cuadro resultante de cantidad de tractores CATERPILLAR.....	46
Tabla 4.2.1.12: Cuadro resultante de cantidad de tractores LIEBHER.	50
Tabla 4.2.2.1: Cuadro de costos según marca del equipo Bulldozer	53
Tabla 4.2.2.2: Costos directos de producción del equipo Bulldozer	53
Tabla 4.2.2.3: Relación entre potencia del motor Diesel y consumo de combustible.....	53
Tabla 4.2.2.4: Consumo de combustible estimado para cada modelo de equipo.....	53
Tabla 4.2.2.5: Tabla comparativa de costos unitarios	56
Tabla 5.3.1.1: Recolección de información.	57
Tabla 5.3.1.2: Determinación de objetivos.....	58
Tabla 6.1: Cuadro resultante en costos por tonelada de material removido.....	59
Tabla 6.2: Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 tractores Komatsu y 01 tractor Liebher.....	60
Tabla 6.3: Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 tractores Caterpillar y 01 tractor Liebher.....	60
Tabla 6.4: Cuadro resultante en costos por tonelada para 01 Tractor Caterpillar y 02 tractores Komatsu.....	60
Tabla 6.5: Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 tractores Caterpillar y 01 tractor Komatsu.....	60
Tabla 6.6: Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 Tractores Liebher y 01 Tractor Caterpillar.....	61
Tabla 6.7: Cuadro resultante final.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Zona Roja, zona mineralizada.....	4
Figura 2.1.1 Fase de material en banco, suelto y compactado.....	6
Figura 2.2.1 Componentes del Bulldozer.....	10
Figura 2.2.2: Componentes exteriores del equipo Bulldozer.....	11
Figura 4.1.1: Ubicación y acceso al proyecto Shahuindo.....	18
Figura 4.1.2: Alteración Local.....	20
Figura 4.2: Pasos en el proceso del Six Sigma.....	23
Figura 4.2.1.1: Fuerzas divididas por vectores en pendiente.....	28
Figura 4.2.1.2: Plano vectorial de resistencia a la pendiente.....	30
Figura 4.2.1.3: Suma de resistencias para equipo Bulldozer.....	31
Figura 4.2.1.4: Hoja del Bulldozer Semi universal (SU).....	35
Figura 4.2.1.5: Caracterización de Longitud y Peso del equipo Bulldozer D155AX-6.....	36
Figura 4.2.1.6: Caracterización del grado de porcentaje según la pendiente de trabajo.....	38
Figura 4.2.1.7: Cuadro de material ripable según Bulldozer Komatsu.....	39
Figura 4.2.1.8: Relación entre producción horaria y velocidad Sísmica Komatsu.....	40
Figura 4.2.1.9: Curva característica de empuje de material con respecto a su velocidad de traslado del tractor Komatsu.....	41
Figura 4.2.1.10: Relación entre producción horaria en Ripado y velocidad Sísmica Caterpillar.....	45
Figura 4.2.1.11: Cuadro de fuerzas de la barra de tiro con respecto a su velocidad de traslado del tractor Caterpillar.....	47
Figura 4.2.2.1: Imagen de Tractor LIEBHER en trabajo.....	54
Figura 4.2.2.2: Imagen de tractor KOMATSU en trabajo.....	54
Figura 4.2.2.3: Imagen de tractor CATERPILLAR en trabajo.....	55
Figura 6.1: Producción de Tractores según distancia de empuje.....	61

RESUMEN

Los Tractores de cadena tienen una función importante en proyectos y minas de tajo abierto; si bien estos equipos son denominados equipos auxiliares se encuentran presentes en las etapas del proceso minero; al realizar una evaluación de sus características internas y evaluación de costos nos permitirán tomar una buena elección sobre qué equipo es conveniente para el lugar donde nos encontramos y el trabajo que realizamos. La inversión que se realiza irá de la mano con la capacitación y disciplina, la experiencia de los operadores del equipo sumará a mejorar la producción del proyecto. Un buen manejo de la maquinaria tiene un impacto económico muy importante en el resultado de la obra.

Realizar un estudio comparativo en Tractores Bulldozer involucra tener conocimientos técnicos y de operación para poder hallar cada variable de producción; los indicadores de disponibilidad y rendimiento medirán esos logros o nos permitirán corregir errores.

El proceso actual en TAHOE RESOURCES - Proyecto SHAHUINDO es la construcción de caminos y carreteras; con material ígneo y sedimentario los tractores Bulldozer son los equipos ideales para realizar dicho trabajo; realizando estudios geológicos y físicos del terreno podemos hallar el dimensionamiento de equipos de construcción.

Los costos que atribuye disponer de estos equipos de empuje como mantenimiento y operación se realizarán a través de herramientas de control; la herramienta Six Sigma (DMAIC) ayudará al planeamiento y mejoramiento de procesos, no solo se elegirá un equipo rentable sino un grupo con un buen control de costos.

ABSTRACT

The Tractors chain have an important role in projects and open pit mines; While these teams are called ancillary equipment are present in the stages of the mining process, to conduct an assessment of its internal characteristics and cost assessment will allow us to make a good choice about what equipment is suitable for the place where we are and work we perform. The investment made will go hand in hand with training and discipline, the experience of the operators of the equipment added to improve the production of the project. Good management of machinery has a very important role in the result of the work economic impact.

Conduct a comparative study Dozers involves having technical and operating to find each variable of knowledge production; the availability and performance indicators will measure these achievements or allow us to correct errors.

The current process TAHOE RESOURCES - SHAHUINDO project is the construction of roads and highways; igneous and sedimentary material with the bulldozer tractors are the ideal equipment to perform such work; performing geophysical ground surveys can find the dimensioning of construction equipment.

The costs attributed these teams have thrust as maintenance and operation and is made through control tools; the Six Sigma (DMAIC) tool will help planning and process improvement, not just a profitable team but a group with good cost control will be selected.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En empresas mineras del mundo le prestan mucha atención a la adquisición de equipos mecanizados de construcción y su respectivo mantenimiento, que involucran todo el proceso de extracción, debido a que poseen un buen criterio de operación hacia sus equipos, cada una de estas saben el tipo de trabajo al que estarán sometidos, conocen sobre la resistencia que poseen, los esfuerzos y sobre esfuerzos al que estarán expuestos; los proyectos y minas en operación utilizan la ingeniería de planeamiento y el conocimiento sobre los materiales que ayudarán a los equipos a cumplir el tiempo de vida de los equipos mecanizados descrito por el fabricante.

Cada uno de los equipos Bulldozer que se utilizan en la minería posee un tiempo de vida, la cual nos ayudará a realizar cálculos de productividad, costos iniciales y a futuro; dentro de estos costos se encuentra los mantenimientos preventivos, predictivos, correctivos y demás que se crea conveniente para el mejor proceso de productividad.

Dentro de las mineras nacionales formales que tenemos como Cerro verde (Arequipa), Antamina (Ancash), Barrick (La Libertad), etc, poseen estándares de trabajos preventivos y planeamiento ofreciendo el mayor rendimiento en la producción; sin embargo existen mineras que aún no se alinean al estándar de trabajo deseado.

Podemos mencionar también que los tipos de lubricantes e hidrocarburos en nuestro país no poseen la calidad que debería para el consumo de equipos modernos, este es un problema que acarreará impactos negativos ya que involucra unos gastos mayores y con más frecuencia de los mantenimientos.

El proyecto shahuindo se encuentra en la etapa de construcción de carreteras y acceso de caminos; el terreno agreste que se tiene exigirá el alcance de herramientas de control, conocimiento de equipos de empuje y de producción. La utilización de elementos de desgaste en estos equipos como cantoneras, cuchillas y carrilería será frecuente de acuerdo al material presente, su forma y proceso de utilización frente al material involucra tener conocimientos de operación comprobada. La evaluación correcta de los equipos Bulldozer influye en la identificación de su disponibilidad y producción.

Proyecto Shahuindo – TAHOE Corporation es una compañía canadiense que tiene poco tiempo de trabajo en Cajamarca, por tal están en un proceso de acondicionamiento con mano de obra zonal, sumado a esto la poca relación que existe con los pequeños

productores vecinos de Algamarca hace que tengan un trabajo arduo en las relaciones comunitarias de la zona.

1.2. Formulación del problema

¿Según las características de la maquinaria y condiciones del terreno, cómo identifico la disponibilidad y producción de equipos Bulldozer para el proyecto Shahuindo?

1.3. Justificación

El trabajo de investigación que presento sirve como aporte en el análisis de características y diseño de equipos Bulldozer para producción, disponibilidad y cantidad, brindando alternativas de solución en el desplazamiento de material dentro del proyecto Shahuindo, provincia de Cajabamba.

- Justificación teórica. En la elección de equipos se dispondrá de información necesaria que incida en producción y disponibilidad.
- Justificación aplicativa o práctica. Las técnicas de evaluación utilizando datos reales y características técnicas de operación dan la oportunidad de incidir en mejorar la producción en empuje de material y acceso de vías, a la vez dando soluciones futuras al proyecto.
- Justificación académica. El presente trabajo de investigación será de bastante ayuda en el proceso de elección de equipos para trabajos futuros con fines académicos o de aplicación.

1.4. Limitaciones

- La insuficiente información o la falta de realización de cuadros de disponibilidad y el tema de productividad de cada equipo en campo.
- El transporte y la distancia de casi 4 horas que existe desde la ciudad de Cajamarca hacia el proyecto, también las horas reducidas para poder salir del lugar de trabajo (Proyecto Shahuindo), ya que está supeditada por la influencia que existe en la población aledaña.
- La adquisición del tractor en la marca Liebherr no fue posible, por tal no se realizaron pruebas técnicas operativas en campo, ya que no es un equipo muy utilizado en el mercado peruano debido a su alto costo de adquisición.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las características de tres equipos Bulldozer en las marcas CATERPILLAR, KOMATSU y LIEBHER; para identificar producción y disponibilidad, que incida positivamente en el Proyecto Shahuindo.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las ventajas que proporciona cada equipo Bulldozer en las marcas antes mencionadas.
- Calcular los valores comparativos de producción en cada equipo en prueba según su hoja técnica del fabricante (Data Sheet, Brochure).
- Determinar la cantidad exacta de equipos Bulldozer y su disponibilidad.
- Determinar los costos unitarios que involucra tener un Bulldozer en el proyecto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La mineralización de oro y plata en el proyecto aurífero Shahuindo consta de varias zonas de alteración hidrotérmica de las cuales se han obtenido 4 zonas que contienen recursos. Estas zonas incluyen de este - sureste a oeste noroeste. La zona mineralizada principal consta de 6 km de profundidad.

El paquete de alteración en el pórfido indica una alteración epitermal Bajo-Intermedio.

El tipo de roca que contiene el yacimiento es de tres tipos de roca ígnea intrusiva, y compuesta también con unidades sedimentarias de arena y cieno de piedra, con un alojamiento del 50% de mineralización usualmente oxidada. Ver figura 2.1

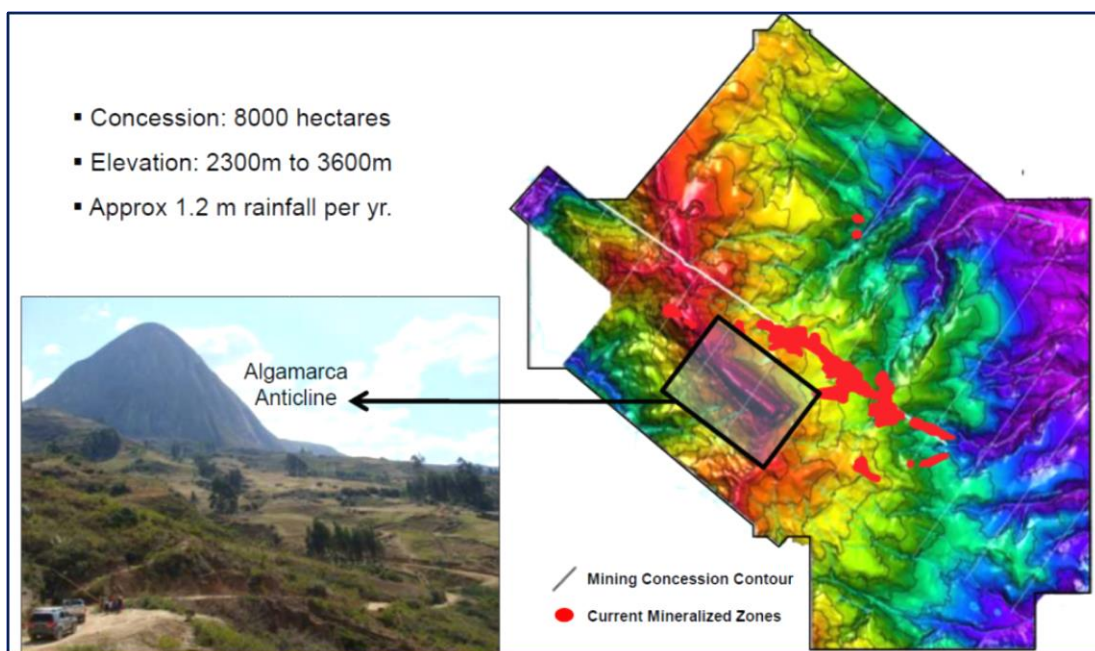


Figura 2.1: Zona roja, zona mineralizada

Fuente: Sulliden (2009), de los contenidos técnicos “*Geological Forum del proyecto Shahuindo*”

De acuerdo a las características del terreno sumado a que el proyecto no es reciente y aún se encuentra en el proceso de construcción, evaluar que equipos serán los ideales para el trabajo de apertura de vías y contar con un plan de mantenimiento será de utilidad para el proceso actual y demás trabajos que involucra.

Desde los inicios del proyecto, los encargados de mantenimiento y evaluación de equipos de construcción fue la gestión del propietario anterior SULLIDEN; la cual hubo deficiencias

en la gestión y control de equipos existentes, lo que conllevó a acortar la vida útil de sus equipos demostrando la poca experiencia en la explotación de yacimientos.

El proyecto Shahuindo se encuentra ubicada cerca de una de las minas con más bajos costos en el mundo con 552 dólares la onza; para el año 2013 la antigua propietaria de la concesión tenía proyectada una producción anual de 105 000 Oz/Oro y si bien es cierto según la revista publicada por Jorge Chávez Ortiz (2013) menciona que fue catalogada según la empresa KALLPASAB SECURITIES como una compañía Junior; esto conlleva a ser más eficientes en contar con nuevas técnicas en trabajos predictivos, correctivos, evaluación en la adquisición de equipos de construcción, conocer a detalle los rendimientos actuales de cada uno de ellos, utilizarlos en el momento necesario según sus cualidades que ofrecen y controlar los procesos de operación.

Como menciona la topografía y geología del lugar, el proyecto se encuentra dentro de la zona de mineralización y esta contiene roca con alta dureza; presencia de carbonatos, piritas, silicatos masivos; la toma de decisión con respecto a la obtención de un equipo de empuje y desplazamiento de material se hará de acuerdo a las necesidades y prioridades al tipo de trabajo, a las propiedades físicas del material a transportar, costos de energía, condiciones climáticas, resistencia a la rodadura por tipo de vía y gradiente de vía; para un mejor rendimiento y ejecución del trabajo.

Según Vargas (1999) en su tesis menciona que si bien existe un equipo adecuado para cada tipo de trabajo no siempre disponen de él y en caso de tenerlo, el tamaño y estado del mismo no resulta en ocasiones el deseable.

Para el estudio de disponibilidad y análisis utilizaremos ciertos conceptos y variables como el volumen, masa y densidad y la relación que hay entre ellas; se menciona que el volumen de un material no es fijo, si no que depende de la acción mecánica a la que lo sometemos; podríamos decir que el volumen que ocupa un material es aparente, es decir que la producción de los equipos de construcción variará de acuerdo a la densidad del material que se presenta, por tal para nuestro trabajo de investigación se utilizará dicha fórmula de densidad:

$$D_a = M / V_a$$

D_a : Densidad aparente

M : masa del material más el agua contenida en ella

V_a : Volumen aparente

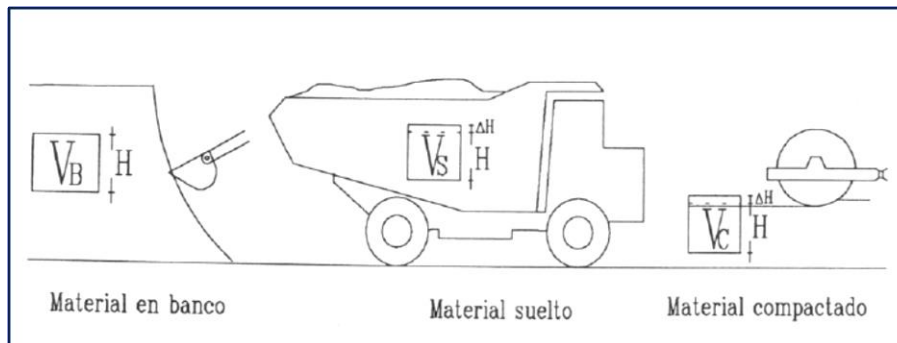


Figura 2.1.1: Fase de material en banco, suelto y compactado

Fuente: Cherné J., Gonzales A., *Movimiento de tierras*, Construcciones industriales, 5° Ingeniería industrial.

Para procesos de futuras evaluaciones nos guiaremos de acuerdo a la fórmula anterior la cual hallaremos un rendimiento real y eficiente de equipos Bulldozer para cualquier tipo de terreno.

2.2. Bases Teóricas

Según Herrera (2009) en su trabajo de investigación menciona que el mantenimiento mecánico se mantiene en dos pilares sobre los que contribuye y por otro lado un buen sistema informático capaz de lograr un buen control e información correcta en tiempo real de todos los datos necesarios para la planificación del trabajo.

También menciona que el criterio de la organización de las funciones extendido en las grandes explotaciones mineras es el de la subdivisión de las funciones basada en la especialización del personal.

El autor menciona formulas básicas de medir la eficiencia de mantenimiento, como son:

$$\% \text{ Utilización} = (\text{Horas Programadas al año} / \text{Horas existentes } (365 \cdot 24)) \cdot 100$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = (\text{Horas trabajadas en equipo} / \text{Horas programadas}) \cdot 100$$

$$\% \text{ Ritmo} = (\text{Horas de tacómetro} / \text{Horas trabajadas}) \cdot 100$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \text{Utilización} \cdot \text{disponibilidad} \cdot \text{ritmo}$$

García (2009-2012) en su manual práctico menciona que los principales objetivos de mantenimiento son: viabilidad, disponibilidad, vida útil de la instalación y cumplimiento de un presupuesto establecido.

Asegura que la disponibilidad se define como la proporción del tiempo que dicha instalación ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho

o no por razones a su estado técnico, a la vez piensa que es imposible que un equipo o planta industrial tenga una disponibilidad del 100%, ya que se volvería no rentable. Para el autor conseguir objetivos de disponibilidad mayores al 92 % es bastante ambicioso.

A la vez toma a la fiabilidad como un indicador que mide el cumplimiento de la producción planificada y comprometida en general con clientes internos y externos. Menciona que con una gestión bien planificada no debería tener ningún problema en llegar al 98 % de fiabilidad.

Ojeda y Behar (2006) mencionó que es necesario una definición clara de los objetivos, los propósitos y las metas para el funcionamiento del sistema de mejoramiento continuo; por otro lado querer hacer las cosas no es suficiente, hace falta saber cómo hacerlas, y esto lo permite el conocimiento de los principios, procedimientos y técnicas para diagnosticar intervenir y monitorear el proceso y finalmente la consideración del factor humano es fundamental para el logro de un objetivo en el sistema, todos deben saber, estar comprometidos y motivados para que cada miembro del equipo realice la contribución necesaria para alcanzar mejoramiento continuo.

Según el Banco interamericano de desarrollo (2010) menciona que toda compañía con aspiraciones de crecer, surgir y elevar la productividad significa encontrar mejores formas de emplear con más eficiencia la mano de obra, el capital físico y el capital humano. Tener una empresa cuyo principal recurso es el factor humano, en consecuencia esta información se centra en los factores que impulsan el nivel y el crecimiento de la eficiencia y no en los factores que determinan la acumulación de capital humano o físico.

Según Sermin Elevli and Birol Elevli (2010) mencionan que anteriormente la manera de mejorar la productividad era utilizar equipos tan eficazmente como sea posible, sin embargo los bajos precios de los productos básicos han obligado a las disminuir su costo unitario mediante la mejora de la productividad, la cual hacen referencia a la medición de la eficacia general del equipo propuesto por NAKAJIMA en el año de 1980 para evaluar el progreso del mantenimiento productivo total y que a la vez se interpreta como un producto de disponibilidad, rendimiento y calidad.

El autor menciona y da a conocer la evolución que han tenido los procedimientos, formatos y la eficacia de los equipos en su mantenimiento y soporte utilizando herramientas de gestión y crecimiento.

Según Jaseck Paraszczak y Dragan komljenovic del instituto de minería, metalurgia y petróleo canadiense, menciona que la rentabilidad de las operaciones depende, entre otros factores de la capacidad de los equipos de construcción en todo el tiempo que sea posible, por lo tanto una de las mejores maneras de aumentar la productividad es mejorar su disponibilidad; también hace referencia a Moore (1998) la cual menciona que el aumento del 1% de disponibilidad puede aumentar la ganancias en 1.7% a 3.5%. Existe una variedad de medios y acciones para mejorar la disponibilidad de los equipos, sin embargo varían considerablemente en cuanto a la relación de costo incurrido sobre el efecto de la disponibilidad referida.

De acuerdo a Cruz Jasso Adrián (2011) en su proyecto de tesis menciona que el Control Predictivo de equipos es el mantenimiento condicional o mantenimiento basado en la condición, se trata de un conjunto de técnicas que debidamente seleccionadas permiten el seguimiento y examen de ciertos parámetros característicos del equipo en estudio, que manifiestan algún tipo de modificación al aparecer una anomalía en el mismo. Las ventajas que da este tipo de mantenimiento es que al conocerse constantemente el estado de los equipos nos permite detectar fallos en estado incipiente, a la vez nos permite aumentar la vida útil de los componentes y aumentar la disponibilidad de los equipos.

De acuerdo a la oficina de energía renovable y eficiencia de energía del gobierno de los Estados Unidos (ENERGY.GOV) menciona que un buen programa ejecutado de mantenimiento predictivo puede eliminar fallas catastróficas en sus equipos ya que los problemas son identificados y eliminados antes de algún deterioro significativo, a la vez facilita un mejor control de inventario de repuestos, ordenando las partes que han sido requerido por el programa de mantenimiento. Dentro de las ventajas se menciona: retorno de la inversión al 1000%, reducción en costo de mantenimiento al 25% - 30%, eliminación de averías al 70%, reducción de tiempos de inactividad al 40% e incremento en la producción del 25%.

Según Ángel Cherné Barilonte, Andrés Gonzales Aguilar en su libro de Movimiento de Tierras, mencionan que existen dos reglas elementales respecto a la maquinaria en la obra:

- Las máquinas son siempre baratas para el trabajo que realizan si están bien elegidas.
- Los nuevos modelos hacen obsoletos a los anteriores y antieconómicos de producción y disponibilidad.

Critica: indagando con otros libros de Diseño de explotaciones mineras, LABOREO III Edición, mayo 2003; menciona otros parámetros para hallar la producción de los equipos Bulldozer con respecto al libro de movimiento de tierras por los autores antes mencionados, lo cual para mi punto de vista la mejor forma de poder resolver algún dato de producción es conveniente tener la mayor cantidad de variables disponibles del equipo.

La fabricación de los Bulldozer nació con la necesidad de desplazar material agrícola, en los años 1920 y 1930 colocando una gran placa de metal en la parte delantera de equipo. Según la publicación realizada por WIKIPEDIA menciona que anteriormente en las épocas de la segunda guerra mundial estos equipos Bulldozer tenían otros objetivos militares, la cual era la de protección contra armamentos y fuego directo con protección del operador y demás tripulantes; poco tiempo después lo utilizaban con fines políticos como derrumbes de edificios enemigas gubernamentales.

Hoy en día la utilización de estos equipos es de amplia variedad, ya sea en campo agrícola, construcción de carreteras, proyectos mineros, y todo lo concerniente en el empuje, traslado de material y nivelación de carreteras. Las necesidades de los usuarios es más exigente y de acuerdo a las normas establecidas de cada país; nuestro país por la amplia necesidad de crecimiento abarca necesidades exigentes como disponibilidad, productividad, y protección al medio ambiente.

La estructura que conforma todo un equipo de desplazamiento está caracterizado por diferentes partes en su interior, que con su gran tracción moverá y trasladará grandes cantidades de tierra y material. Dentro de sus componentes encontramos:

- **Motor de combustión interna:** que se encargará de convertir la energía química del combustible a energía de movimiento rotacional, este componente para muchos es el principal ya que por su potencia generada podremos identificar el torque de empuje de material. Este componente trabaja por medio de combustión interna mediante cuatro fases; la primera es Admisión: absorción de aire fresco, la segunda es Compresión: esta es la compresión del aire fresco, el combustible inyectado y el calor generado por la compresión, la tercera es la Explosión: esta es la reacción entre los tres componentes que permite la impulsión de los pistones y generación del movimiento rotacional del cigüeñal; la cuarta es el Escape: que impulsará los gases nitrosos al ambiente como producto de la combustión interna.

- **El convertidor de torque:** componente cuya función principal es la elevación de la fuerza rotacional o torque generado por el motor de combustión, este componente eleva el torque impulsando aceite hidráulico a través del movimiento del motor Diesel hacia una turbina de recepción y esta a la vez se encuentra acoplada al sistema de transmisión del equipo.
- **Sistema de transmisión:** este componente utiliza un sistema de engranajes que a través de las necesidades de traslado del operador del equipo acopla el eje de salida del sistema de transmisión con el eje diferencial. Se conforma de un conjunto de elementos que se encarga de trasladar toda la potencia del motor Diesel hacia los mandos finales (Ruedas Motrices) de traslado. Ver Figura 3

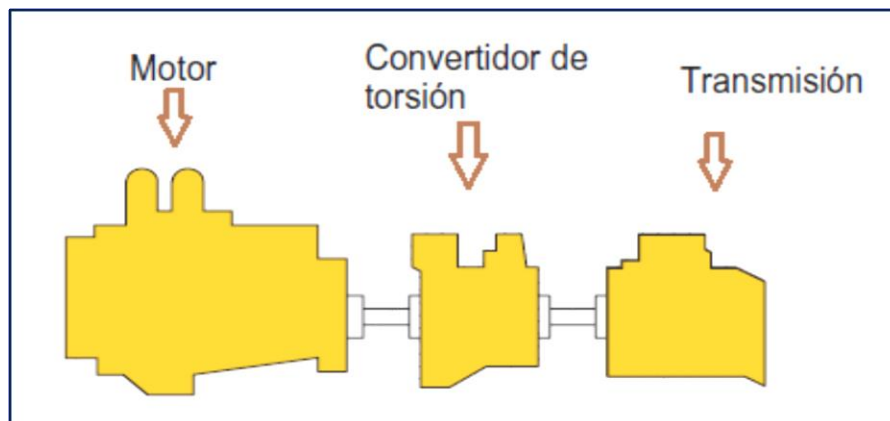


Figura 2.2.1: Componentes de Bulldozer

Fuente: Hoja Técnica 2006, Brochure de tractor Komatsu

- **Eje Diferencial:** Medio por el cual se distribuye toda la potencia generada del sistema de transmisión hacia las ruedas motrices; al inicio la fuerza rotacional se realizara en una dirección, el sistema diferencial permitirá que la tracción se realice en la dirección de las ruedas motrices. A la vez permitirá el traslado en curvas no ocasionando ninguna avería en el sistema. Estos componentes son lubricados e impulsados hidráulicamente.
- **Ruedas motrices:** estos componentes impulsan el Tractor Bulldozer a través del tren de rodaje, poseen en su interior engranajes planetarios de doble acción que permitirán elevar el torque más aún, estos también poseen componentes de desgaste (GETS) llamados Sprocket, se definen de esa manera porque son elementos que se reemplazarán cada cierto tiempo de trabajo.
- **Tren de Rodaje (Carrilería):** componente encargado de impulsar el equipo a través de sus grandes garras en las zapatas, está previsto de un eje pivot que realizará la suspensión y agarre en cualquier tipo de terreno, previsto también de una rueda Guía con

un resorte que amortiguará todos los impactos en la parte delantera del equipo, compuesta también de rodillos superiores e inferiores que la harán de guía de traslado de los eslabones del tren de rodaje.

- **Cabina y sistema de controles eléctricos:** la cabina es el lugar donde el operador comandará todo el equipo a través de sus controles equipados en ella, hoy en día el diseño de las cabinas poseen protecciones al operador contra altos decibeles de ruido, ingreso de polvo, contra caída de material rocoso (Estructura FOPS y ROPS) y protección de altas vibraciones al operador. Con respecto al sistema de control eléctrico, la alta eficiencia y versatilidad en analizar posibles fallas se realizara a través de la comunicación entre equipo y operador; el sistema eléctrico dentro de las cabinas están diseñadas con una pantalla LCD que permitirá observar parámetros de funcionamiento, códigos de fallas activos de los diferentes sistemas del Bulldozer.

La estructura FOPS (Fallen Object Protective Structure) es un tipo de protección que tiene la cabina contra caída de cualquier material rocoso como piedras, u otro material.

La estructura ROPS (Roll Over Protective Structure) es un tipo de protección que tiene la cabina contra rodadura y volcadura del Bulldozer.

- **Hoja topadora (Blade) y adicional:** la hoja topadora es un componente ubicado en la parte delantera del equipo de forma perpendicular al eje de impulso del equipo, este es una gran barra de acero reforzado que impulsará todo el material. por medio de la tracción del motor. Existe una gran variedad y forma de hoja, la elección se hará de acuerdo a las características del terreno y material.

Con respecto a sus adicionales algunos tractores Bulldozer están compuestos de unas segmentos de desgarrar en su parte posterior, estos tienen la función de remover el material antes de su desplazamiento; lo que hace un equipo bastante independiente de algunos otros. (Ver Figura 2.2.2)

Existen otros aditamentos adicionales que hacen más eficiente su funcionamiento.

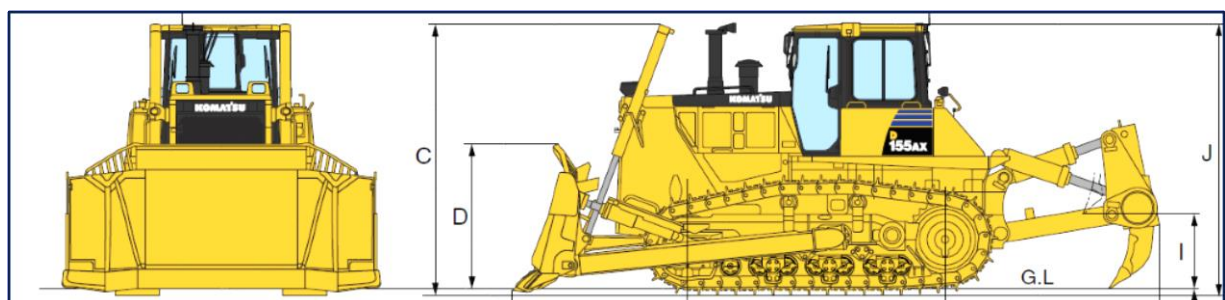


Figura 2.2.2 Componentes exteriores del equipo Bulldozer

Fuente: Hoja Técnica 2006, Brochure de tractor Komatsu

Según las características del yacimiento a explotar, se puede analizar más de un alternativa acerca del equipo de carguío y acarreo.

2.3. Definición de términos básicos

Mantenimiento

Conjunto de acciones para mantener y conservar algún bien en un estado que permita garantizar su funcionamiento.

Predictivo

Capacidad de anticiparse a alguna cosa para un fin. En este caso, la capacidad de predecir futuras reparaciones y trabajos rutinarios en los equipos.

Botadero

Una pila de roca o mineral rotos en la superficie de la tierra.

Costos de operación de equipo:

El dinero invertido en los componentes y suministros que se utilizarán en el equipo, los costos más comunes son los elementos de desgaste, combustible y mantenimientos preventivos y correctivos.

Dimensionamiento de equipos:

Es la medición estimada de la cantidad de equipos y la cantidad de potencia que necesitarán cada equipo para poder cumplir con las exigencias de la mina.

Disponibilidad de equipo

Medida en porcentaje del tiempo de operación disponible, la cual es una operación aritmética entre el tiempo de trabajo útil y los tiempos detenidos.

Se define como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(\text{Tiempo Programado} - \text{Tiempo perdido})}{\text{Tiempo Programado}} * 100 \%$$

Exploración

La exploración es la etapa de búsqueda de anomalías geológicas, consiste en identificar zonas donde se ubican los yacimientos de minerales que luego dependiendo de su dimensión y composición serán explotados en un proyecto minero.

Factor de esponjamiento

Al excavar el material en banco, éste resulta removido con lo que se provoca un aumento de volumen. El factor de esponjamiento, corresponde al incremento fraccional del volumen del material que ocurre cuando está fragmentado y ha sido sacado de su estado natural y depositado en un sitio no confinado, puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje.

Desplazamiento por Bulldozer

Movimiento de tierra, rocas, escombros, entre otros materiales, desde un lugar a otro; gracias a la hoja metálica de alta resistencia ubicada en la parte delantera del equipo Bulldozer.

Ley de mineral

La ley mineral es una medida que describe el grado de concentración de recursos naturales valiosos disponibles en una mina. Se utiliza para determinar la viabilidad económica de una operación de explotación minera. Normalmente su unidad es g/TM

Mineral

Una sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definidas y que, si se forma en condiciones favorables, tiene una forma de cristal definida. Se puede afirmar que estos compuestos conforman en su interior en material valioso de toda mina.

Recursos de mineral

Los recursos mineros son aquellas concentraciones minerales de significado económico que han sido sometidas a investigación para cuantificar su contenido metálico hasta un cierto grado de certeza.

Reservas de mineral

Las reservas minerales son recursos de los cuales se sabe que son económicamente factibles de ser extraídos.

Roca

En geología se le denomina roca a la asociación de uno o varios minerales, natural, inorgánica, heterogénea, de composición química variable, sin forma geométrica determinada, como resultado de un proceso geológico definido.

Tajo

También denominadas OPEN-PIT, son aquellas que se explotan por bancos accesibles directamente desde la superficie del terreno.

Tonelada

Conocido como Tonelada métrica, una unidad de masa equivalente a 1,000 kilogramos.

Valor Anual Equivalente (VAE)

Este método se basa en calcular que rendimiento anual uniforme provoca la inversión en el proyecto durante el periodo definido. Para calcular el VAE utilizamos la siguiente formula:

$$VAE = -VPN * [(i) / (1-(1+i)^{-n})]$$

Dónde:

- VPN : Valor presente Neto
- VAE : valor anual equivalente
- i : Tasa de interés
- n : Número de periodos en años

Ripper

Consiste en un bastidor con travesaños, armados por su parte inferior por cuchillas de acero para cortar material rocoso.

Elementos de desgaste (GETS)

Componentes menores que utiliza el equipo Bulldozer para trasladarse, empujar y desgarrar el material; son los componentes que se desgastan con más frecuencia. Dentro del equipo Bulldozer se puede mencionar a las puntas de Ripper, cantoneras, cuchillas de desgarre y carrilería en general.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

Realizando un estudio comparativo de las características y diseño de equipos Bulldozer nos permite identificar disponibilidad y producción en el proyecto Shahuindo

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE: Características de los equipos Bulldozer

VARIABLE DEPENDIENTE: Disponibilidad en los equipos de desplazamiento Bulldozer.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
(Independiente) Características de los equipos Bulldozer	Valores y parámetros de los equipos de desplazamiento de material	Planificación diaria de trabajo de los equipos	Diseño interno del equipo
			Tiempo de trabajo diario del operador, turnos y horas
			Velocidad para transportar material
			Potencia neta del motor
			Capacitación mecánica de los agentes involucrados
			Pericia del operador
			Capacidad de detección de fallas y averías
(Dependiente) Disponibilidad de los equipos Bulldozer	Es la capacidad que tienen los bienes de disponer de ellos.	Planeamiento de costos	Costo de operación unitario
			Cantidad de material empujado en ciclo de trabajo

			Dureza y densidad de material a remover
			Tiempo de empuje de material en ciclos de trabajo
			Velocidades permitidas según normas estándares del proyecto (Velocidad en km/h)

Tabla 3.2: Operacionalización de la variable independiente y dependiente

Fuente: Propia

CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

4.1. Generalidades

4.1.1. Ubicación y acceso

El proyecto Shahuindo se encuentra dentro de la región Cajamarca en los caseríos de San José, Moyan Alto, Moyan Bajo, y Shahuindo de Araqueda; este proyecto será una mina de tajo abierto que extraerá oro y plata en un tiempo de 10 años incluyendo 03 años de cierre, con una inversión de 48 millones de dólares.

Esta ha adquirido una concesión de 8000 hectáreas y posee una elevación de 2300 a 3600 metros sobre el nivel del mar.

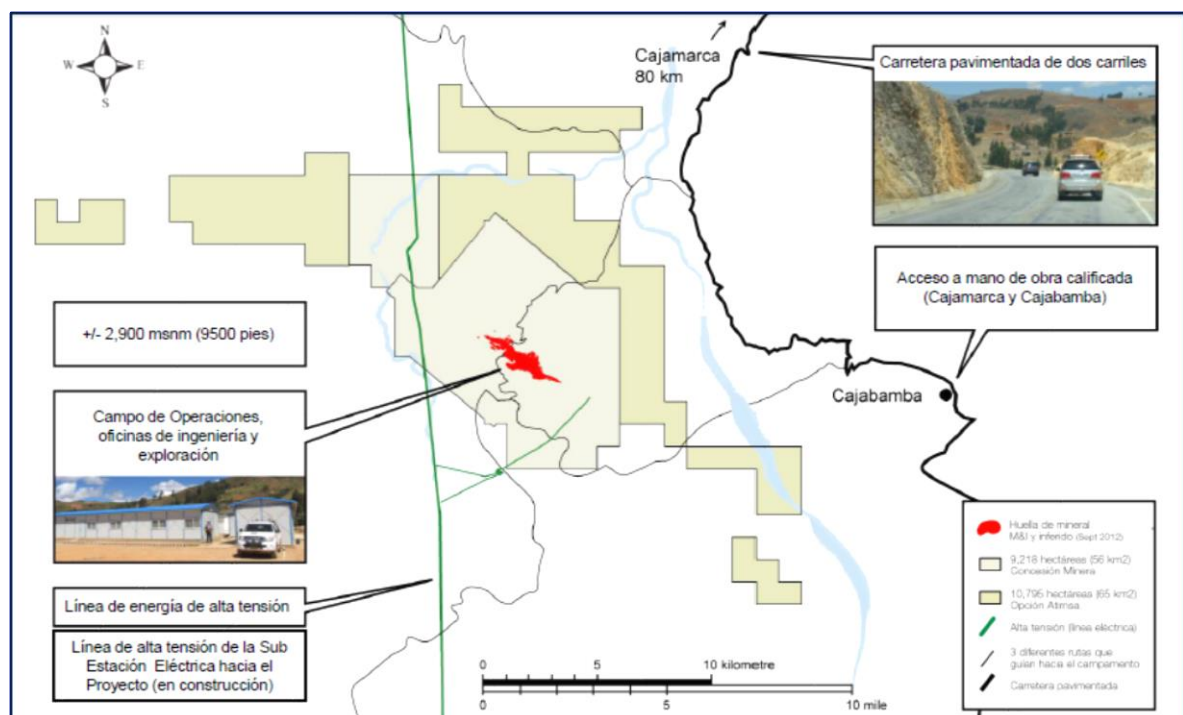


Figura 4.1.1 Ubicación y acceso al proyecto Shahuindo

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”

4.1.2. Geología

a. Geología regional

Según Reyes en el boletín A31 Geología de los cuadrángulos Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, menciona:

A partir del Oligoceno, y después de otro largo período de estabilización, se formó la superficie de erosión denominada Superficie Puna, probablemente afectando en muchos lugares, hasta el basamento y rocas intrusivas. En estas condiciones se inicia aparentemente en forma cíclica, el cuarto movimiento deformativo del Ciclo Andino (Epirogenético), ocasionando superficies de erosión a diferentes niveles a partir del Mio-Plioceno. Estas superficies algunas veces fueron rellenadas por materiales volcánicos tardíos (Volcánico Huambos) y por sedimentos lacustres en las cuencas continentales. Finalmente, como subproducto de la glaciación Plio-Pleistocénica se acumuló por acción fluvial en las partes bajas, una serie de materiales fluvioglaciares (Formación Condebamba) y depósitos recientes en las innumerables lagunas que progresivamente han ido desaguándose. Estructuralmente, se han reconocido las provincias de pliegues y sobre escurrimientos y la imbricada, afectando exclusivamente sedimentos Jurásicos-Cretáceos. Ello implica el transporte lateral del SO al NE de sedimentos de la cuenca sobre el flanco del geoanticlinal del Marañón, despegadas aparentemente, de algún nivel de las lutitas Chicama. Las rocas intrusivas son generalmente cuerpos medianos de diorita granodiorita y pequeños stocks de andesitas y dacitas porfiríticas, las cuales se relacionan a los yacimientos de cobre diseminado. La mineralización se extiende por la parte occidental del área siguiendo una faja con contenido de zinc, plata, plomo, cobre (Quiruvilca, Sayapullo y Paredones). En la parte oriental hay otra faja que, además, de tener los elementos anteriormente citados, vienen acompañados de tungsteno y molibdeno (Pasto Bueno, Victoria, Tamboras, Huamachuco y Algamarca). Finalmente, en la parte NE se tienen los pórfidos cupríferos de Michiquillay, Sorochuco y otros más, al Norte en la misma dirección. Los depósitos no metálicos están representados por carbón, arcillas, yeso, calizas, cuarcitas y tobas, para la industria de la construcción.

b. Geología Local

Según Sulliden Geological Forum (2009), indica que el Proyecto Shahuindo comprende de tres tipos de rocas intrusivas:

Alterados:

Pórfido Blanco QF 2 – 5 % QTZ, pocos restos de globos oculares con minerales máficos de 16 My

Menos o poco alterado:

Porfido F, 0-2% QTZ globos oculares con 5% fenocristales de minerales maficos, 25 My

Intrusivos carbonatados:

No hay datos



Figura 4.1.2: Alteración Local

Fuente: Sulliden (2009), de los contenidos técnicos “*Geological Forum del proyecto Shahuindo*”

Unidades sedimentarias:

Al contacto con el pórfido alterado: areniscas y limonitas, CARRUAZ Fm, mantiene 50% de mineralización generalmente oxidado.

Por debajo de la CARRUAZ Fm: Limonita y Esquistos: SANTA Fm, por lo general el contacto está bajo el contacto de oxidación fuerte, mantiene el 25% de mineralización de mineral de pirita y sulfosales.

c. Alteración y mineralización

Según el contenido técnico del Forum Geological de Sulliden (2009)

- PIMA ESTUDIOS hizo un reconocimiento en el año 2003 a través de 2000 muestras.
- TERRASPEC lo hizo en algunos lugares del proyecto con 10 muestras en el año 2009
- En Campo y en observaciones de taladro.

Silicificación:

- Afectando el paquete sedimentario
- Esquisto - Limonita: No ha sido afectado (Santa Fm)
- Grano fino de arenisca: Grano individualizado (Carruaz Fm)
- Arenisca: Evolución de la textura granular, a la saccaroidal, a la Sílica Masiva (Chimu, Farrat Fm).

Conclusión:

- Paquete de alteración en el pórfido indicativo de mineralización epitermal bajo intermedia
- Low T, la Jarosita y Alunita (De forma Habita) interpretó que se formaron durante la meteorización del depósito de pirita.
- Silificación más extendida de lo reconocido previamente.

4.2. Métodos y Aplicación

La toma de decisión respecto a disponibilidad y productividad lo realizaremos basado en una herramienta de medición de defectos y mejora de calidad llamada Six Sigma, esta herramienta proporciona un método para administrar las variaciones del proceso que causan los defectos.

Esta herramienta se aplica dentro de una estructura de desempeño de mejora conocido como DMAMC que son siglas en inglés definidos como (DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR Y CONTROLAR).

Dentro de una organización de mejora esta herramienta cumple ciertos criterios que es necesario analizarlos:

- Tienen entregas claramente definidas
- Son aprobados por las respectivas gerencias
- No son tan grandes como para ser inmanejables, ni tan pequeños como para ser poco importantes o perderle el interés.
- Está relacionado directamente con la misión de la organización

Uno de las compañías que se benefició con Six Sigma fue la corporación automovilística FORD, logrando resultados cuantificables para el año 2006, teniendo como meta ahorros de 6 millones de dólares, la cual el 61 % de la meta propuesta fue lograda por los cinturones negros y el 28 % de la meta en cinturones verdes.

Otra compañía que se benefició con Six sigma fue la compañía Motorola, antes con una caída económica bastante perjudicial para ellos, luego de la utilización de esta herramienta sus ganancias fueron muy favorables.

Según los antecedentes de esta herramienta con otras compañías mineras y de fabricación confiamos en la realización de este proyecto para poder tomar una buena elección de equipo dentro del área de planeamiento siguiendo paso a paso las tareas a realizar.

Es necesario mencionar y definir cada etapa de la herramienta Six Sigma para poder entender y especificar cada proceso del trabajo a realizar.

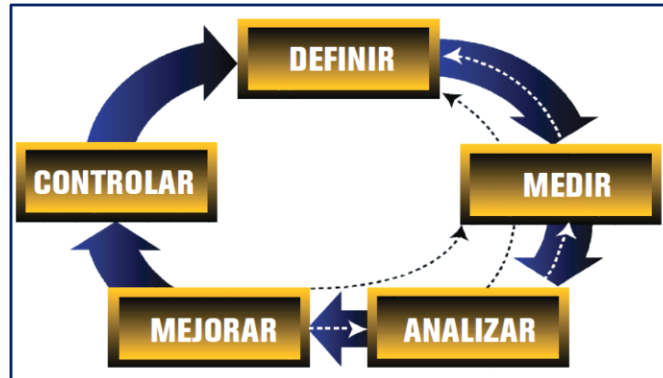


Figura 4.2: Pasos en el proceso del Six Sigma
Fuente: Subramaniam Manivannan (2007), "Introducción a Six Sigma"

Las etapas del Six Sigma son:

Definir: El propósito de esta etapa es refinar el entendimiento del problema a solucionar por parte del equipo de trabajo, que en nuestro caso es la elección conveniente de equipos de desplazamiento de material para el proyecto Sulliden. Para ello es necesario definir al grupo de personas encargadas de la elección, este grupo será conformado por personal de planeamiento, gestión de mantenimiento, gerencias de costos y demás personal que contribuya en la elección positiva de los equipos. Existen algunas preguntas que tendrán que hacerse los involucrados como: ¿Qué es lo importante y que es crítico para la calidad?, ¿Qué defectos estoy tratando de reducir?, ¿Cuál es el costo actual de los defectos?

En esta etapa es necesario definir cuál es el problema actual con la operación de los equipos, con las caídas y defectos repentinos que se están suscitando, tener un panorama actual de todo.

Medir: El propósito de esta etapa es establecer técnicas para la recolección de datos sobre el desempeño actual y que tan bien se cumplen las expectativas del cliente interno. Para nuestro caso la etapa de medición nos permitirá conocer un sistema válido de medición, consistencia en la recolección de datos, frecuencia de los defectos y datos suficientes para el análisis del problema. Esta etapa conlleva a diferentes preguntas: ¿Qué indicador afecta más la calidad?, ¿Cuál variable del proceso parece afectar más a esos indicadores?, ¿es aceptable la habilidad para medir y detectar los problemas actualmente?, ¿Cómo funciona el proceso actualmente?

Dentro del proyecto Shahuindo es necesario el proceso de medición y control de equipos que poseen actualmente; con estos datos encontrados, el equipo de control obtendrá datos

actuales del funcionamiento de las maquinarias con ayuda de datos técnicos del manual del fabricante de los equipos, estas personas tendrán que tener conocimientos técnicos y de gestión de mantenimiento para poder establecer técnicas de medición constante como evaluaciones periódicas de los equipos de acarreo, análisis de aceites y lubricantes, etc.

Dentro de las evaluaciones periódicas de los equipos Bulldozer podemos mencionar a las mediciones preventivas de los componentes internos del equipo, podemos detallar al Motor Diesel, sistema de transmisión, sistema de carrilería, elementos de desgaste, sistema de lubricación, sistema de enfriamiento. En el proceso de medición podemos identificar tiempos de demora en las evaluaciones, tiempo de demora en los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos.

Analizar: Esta etapa permite al equipo de trabajo establecer oportunidades de mejora al tener todos los datos recolectados en la etapa anterior. En esta etapa el equipo determina porque, cuando y como ocurren los defectos; se plantea un conjunto de mejoras potenciales para aplicarse en la siguiente etapa.

Las personas involucradas en este proceso tendrán la capacidad de crítica y análisis, con conocimientos técnicos y de la realidad problemática del proyecto con respecto a las falencias en el área de mantenimiento. Esta etapa conlleva a algunas preguntas: ¿Qué variables del proceso afectan más a la calidad y hasta qué punto?, ¿Cuántas observaciones necesito para sacar conclusiones?, ¿Qué nivel de confianza tengo con respecto a mis conclusiones?

Con respecto al proyecto en cuestión, esta etapa nos permitirá implementar personas con capacidad de análisis que están involucradas directamente con la operación y mantenimiento del equipo.

Mejorar: En esta etapa el equipo desarrolla, implementa y valida alternativas de mejora que mejoran y rectifican el proceso, esto consiste en hacer una lluvia de ideas para generar alternativas de mejora, probar soluciones propuestas realizando pruebas piloto y validando la mejora. Esta etapa entrega soluciones al problema y validación de las soluciones como planes de implementación y comunicación el equipo de trabajo puede demostrar la validez de las mejoras mediante la recopilación y de todos los nuevos datos del proceso. Una vez que sé con seguridad que variables del proceso afectan mis indicadores podría hacerme las siguientes preguntas: ¿Cómo implemento los cambios?, ¿Cuántas pruebas necesito correr para confirmar las mejoras del procedimiento?

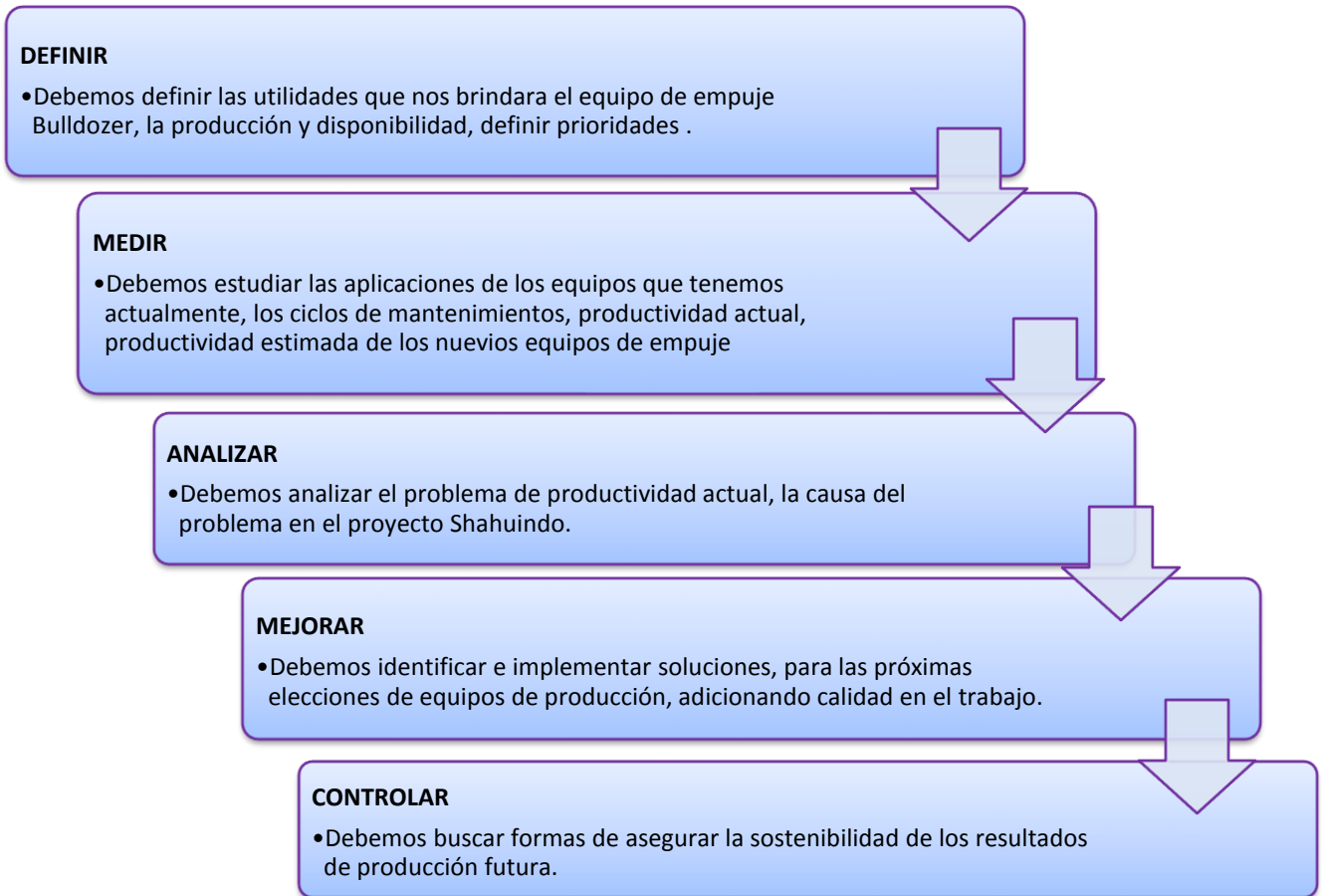
Dentro del proyecto Shahuindo las mejoras y pruebas pilotos se realizarán de acuerdo al presupuesto asignado al área manteniendo. Mejorar significa ser eficiente en cada proceso del trabajo, dar más con poco recurso, aportar nuevas ideas que nos ayuden a mejorar y aportar en producción global.

Cada uno de los involucrados está comprometido en esta labor con capacitación y mejora del proceso. Los supervisores y ejecutivos de gestión serán los encargados de incentivar a la comunicación y a la implementación de nuevos procesos de mejora continua.

Controlar: La etapa de control toma parte de su propiedad las mejoras del proceso y monitorea el desempeño actual a fin de obtener ganancias logradas en la etapa de mejorar, durante esta etapa el equipo de trabajo elabora un plan de control de incorpora los cambios en el proceso de forma cronológica y un enunciado de calidad de desempeño actualizado. Una vez realizados todos estos procesos nos preguntamos: ¿Cómo pueden los equipos de trabajo y yo mantener los defectos controlados?, ¿Qué se debe preparar para mantener el desempeño satisfactorio aun cuando haya algún cambio como gente, tecnología, proveedores?

El proyecto Shahuindo se encuentra aún en la etapa de construcción, posee personal con poco conocimiento en gestión y control de equipos de construcción, mejorar y controlar nuevos procesos será una tarea bastante ardua, ya que la elección de equipos y su gestión en mantenimiento trata de organización y conocimiento.

En el proceso de elección de equipos de desplazamiento Bulldozer podemos utilizar los beneficios del Six sigma de la siguiente manera:



Pasos en el proceso de elección de Bulldozer

Fuente: Propia

Si bien es cierto la herramienta Six Sigma es un proceso de eliminación de defectos, este también me ayudará a una buena elección de equipos de desplazamiento de material.

Para el presente trabajo de investigación, correspondiente al estudio comparativo de Bulldozer, utilizaremos los tres primeros pasos del proceso SIX SIGMA, la cuales son Definir, Medir y Analizar; las explicaciones están detallados anteriormente en cada proceso. Con respecto a los dos pasos siguientes (Mejorar y Controlar) lo utilizaremos en caso se aplique de forma definitiva el presente trabajo en el proyecto Shahuindo (In situ).

4.2.1. Referencia técnica de equipos Bulldozer

Dentro del proceso de MEDIR podemos identificar todas las referencias técnicas que nos proporcionan los indicadores cuantitativos y que es necesario conocerlo para hacer una buena elección. Para ello me basaré en algunas referencias bibliográficas que me ayudará a conocer valores cuantitativos de productividad y disponibilidad, teniendo en cuenta en qué etapa del proyecto se encuentra y las condiciones del proyecto.

Una máquina dispondrá de potencia para desplazarse, producida por el motor (unidad motriz) y que se aplicará en las ruedas motrices mediante la transmisión. Al esfuerzo, producido por el motor y la transmisión, se denominará tracción disponible o esfuerzo de tracción a la rueda, siendo ésta el diámetro total del neumático, o en el caso de cadenas el diámetro de la rueda motriz. La definición de esta tracción es, por tanto, la fuerza que un motor puede transmitir al suelo. La tracción disponible se puede calcular de forma aproximada para cada velocidad de marcha mediante la expresión:

$$\text{Tracción Disponible} = (\text{Potencia (Kw)} * \text{Rendimiento de transmisión}) / \text{Velocidad (Km/h)}$$

Donde el rendimiento de transmisión, también llamado eficiencia mecánica, es la relación entre potencia que llega al eje motriz y potencia del motor, los valores más comunes se encuentran entre 75 y el 85 %.

La tracción utilizable: La máquina en función de su peso dispondrá de una fuerza determinada que se llama tracción utilizable. Esta tracción depende del porcentaje del peso que gravita sobre las ruedas motrices, que es el útil para empujar o tirar del vehículo, y de las superficies en contacto, especialmente área, textura y rugosidad, tanto de las ruedas motrices como del suelo.

Para calcular la tracción utilizable se ha de multiplicar el peso total que gravita sobre las ruedas motrices por el factor de eficiencia a la tracción o coeficiente de tracción y si es en caso de una pendiente el peso del equipo se multiplica por el coseno del ángulo que forma con la horizontal.

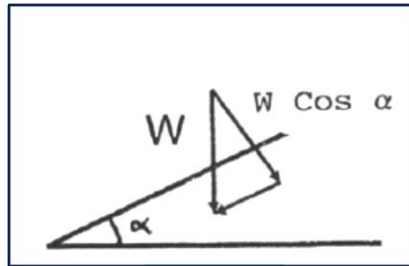


Figura 4.2.1.1: Fuerzas divididas por vectores en pendiente
Fuente: Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar; “*Construcciones Industriales*”.

La tracción utilizable es independiente a la potencia del motor y se calcula mediante la expresión:

$$\text{Tracción Utilizable (Kg)} = \text{Peso que soporta las ruedas (Kg)} * \text{factor de tracción (\%)}$$

FACTORES DE TRACCIÓN	
TIPO DE TERRENO	CADENAS
Hormigón o asfalto	0.45
Arcilla seca	0.9
Arcilla húmeda	0.7
Mena seca	0.3
Mena húmeda	0.5
Canteras	0.55
Tierra firme	0.9
Tierra suelta	0.6
Carbón apilado	0.6
Hielo	0.12

Tabla 4.2.1.1: Coeficiente de tracción
Fuente: Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar; “*Construcciones Industriales*”.

Si el esfuerzo de tracción TD (tracción disponible) es mayor que el esfuerzo máximo de reacción del terreno TU (tracción utilizable) se produce el deslizamiento, por lo que las ruedas patinan y la máquina avanza menos o puede llegar a detenerse. Por el contrario

cuando TU (tracción utilizable) es mayor que TD (tracción disponible) hay adherencia entre ruedas y suelo y el vehículo avanza correctamente.

De todo lo anterior se deduce que de nada sirve que una máquina tenga un grupo de transmisión muy potente (que desarrolla mucha tracción disponible), si no tiene el peso suficiente para conseguir un esfuerzo tractor (tracción utilizable). Por lo tanto, uno de los criterios de elección de una máquina de movimiento de tierras es el de elegir máquinas con un equilibrio entre el grupo moto propulsor y el peso de la misma. Se entiende por grupo moto propulsor el conjunto de motor y órganos de transmisión con sus sistema de reducción.

Resistencia a la rodadura:

Es la resistencia principal que se opone al movimiento de un equipo sobre una superficie plana, es proporcional al peso total del vehículo y se expresa:

$$\text{Resistencia a la rodadura} = \text{Peso del equipo} * \text{factor de resistencia a la rodadura}$$

La resistencia a la rodadura depende del tipo de terreno y elementos motrices (cadenas o neumáticos)

FACTOR DE RESISTENCIA DE RODADURA (Kg/t)	
TERRENO	CADENAS
Hormigón liso	27
Asfalto en buen estado	30 – 35
Camino firme, superficie plana (buena condicion	30 – 40
Camino blando de tierra (penetración de neumáticos de 2 a 3 cm)	40 – 45
Camino blando de tierra (penetración de neumáticos de 10 a 15 cm)	70 – 90
Arena o grava suelta	80 – 100
Camino blando, fangoso, arenoso con mas de 15 cm de penetración de neumáticos	100 – 120

Tabla 4.2.1.2: Factor de resistencia a la rodadura

Fuente: Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar; “*Construcciones Industriales*”.

Dicha resistencia aumentará en torno a 6 Kg/t por cada incremento de penetración de las ruedas en el terreno de 1 cm. Esta resistencia también engloba la fricción de los engranajes internos y la flexión lateral de los neumáticos.

Resistencia a la pendiente: Es la componente del peso del vehículo paralela al plano de rodadura.

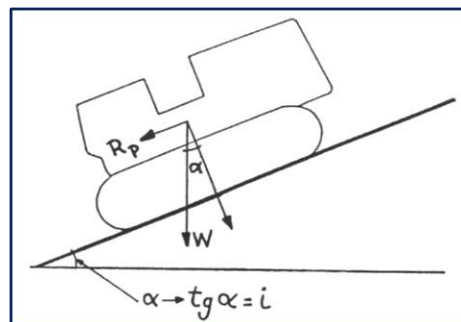


Figura 4.2.1.2: Plano vectorial de resistencia a la pendiente

Fuente: Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar; “*Construcciones Industriales*”.

La imagen muestra que:

$$R_p = \text{Peso del equipo} * \text{Seno del ángulo que forma con la horizontal}$$

Donde R_p : Resistencia a la pendiente

De todo lo anterior se obtiene que la cantidad de Kg-fuerza de tracción requeridos para mover un vehículo es la suma de la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la rodadura y lo requerido para vencer la resistencia a la pendiente, es decir:

$$\text{Resistencia total} = (\text{Factor de rodadura} * \text{peso del equipo}) + (\text{Resistencia a la pendiente})$$



Figura 4.2.1.3: suma de resistencia total para poder mover un vehículo
 Fuente: Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar; “*Construcciones Industriales*”.

Resistencia al aire: Esta resistencia no se suele tener en cuenta, dado que las velocidades de los vehículos y maquinaria de obra son pequeñas y se sabe que la resistencia al aire es proporcional al cuadrado de la velocidad.

De modo que la Resistencia al Aire = $K \times S \times V^2$ siendo V (m/s) la velocidad del vehículo, S la superficie desplazada normal a la dirección del movimiento y K un coeficiente que depende de la forma de la máquina y que está comprendido entre 0,02 y 0,08.

Sin embargo, contra viento fuerte la resistencia al aire es un factor significativo.

ESPONJAMIENTO Y FACTOR DE ESPONJAMIENTO

Según Juan Cherné y Andrés Gonzales Aguilar en “*Construcciones Industriales*” menciona: Al excavar un material en banco, este resulta ser removido con lo que se provoca una aumento de volumen.

En todo momento se debe saber s los volúmenes de material que se manejan corresponden al material en banco o al material excavado.

Se denomina factor de esponjamiento a la relación entre los volúmenes antes y después de la excavación.

La fórmula de factor de esponjamiento es la siguiente:

$$FW = VB/VS = ds / db$$

FW: factor de esponjamiento

VB: Volumen en banco

VS: Volumen Suelto

ds: densidad suelta

db: densidad en banco

Rendimiento de los equipos BULLDOZER:

El rendimiento de los equipos Bulldozer en su operación normal de empuje viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (m}^3\text{/h)} = (\text{Vc} \cdot 60 \cdot \text{Fe} \cdot \text{Ct}) / \text{Tc}$$

Donde

Vc: Capacidad de la cuchilla en m³ de material esponjado

Fe: Factor de eficacia del equipo. La mayor o menor eficacia depende del conductor, el estado del equipo, clase de terreno y tipo de trabajo. El factor de eficacia suele variar entre el 70% y el 80%.

Ct: Coeficiente de transformación. Según el material transportado por la máquina; esponjado o compactado.

Tc: Tiempo empleado del ciclo por minuto

- **Actividad de ripado**

En terrenos muy compactos es necesario utilizar un bulldozer para ripar (desprender el terreno) la superficie, siempre que ésta no exceda el valor de 3500 m/seg de velocidad sísmica.

La gran importancia económica del ripado reside en el abaratamiento del costo de extracción de ciertos materiales que no son excavables directamente. El parámetro que decide si un terreno es ripable o no es su velocidad sísmica.

Velocidad Sísmica Vs	RIPABILIDAD
Vs<400	No es necesario utilizar Ripper
400<Vs<800	Ripper de 3 dientes
800<Vs<1200	Ripper de 2 dientes
1200<Vs<2000	Ripper de 1 dientes
2000<Vs<3000	Estudio especial
3000<Vs<3500	Pre voladura y posterior ripado
Vs>3500	No se debe rippear

Tabla 4.2.1.3: Relación entre velocidad sísmica y elección del Ripper adecuado

El rendimiento de los Bulldozer Ripeando esta definido como:

$$\text{Rendimiento (m}^3/\text{h)} = A * B * C * Vt * E$$

Donde

A: Coeficiente de solape, se adopta para todos los casos el valor de 0.9

B: Coeficiente de gestión, adaptacion y acoplamiento

Para obras pequeñas : 0.45

Para obras grandes: 0.6

C: Coeficiente cíclico

C = Ciclo propuctivo / ciclo total

- Arrancar material (tiempo)
- Avanzar : Longitud de ripado / Velocidad de ripado
- Sacar Ripper (tiempo)
- Girar 180° (tiempo)
- Hincar Ripper (tiempo)
- Avanzar: Longitud de ripado / velocidad de ripado
- Sacar ripper (tiempo)
- Girar 180° (tiempo)

Si el terreno es llano se rippea en ambos sentidos, si tiene una pendiente se rippea en el sentido favorable.

Vt: Está definido por la siguiente fórmula:

$$V_t \text{ (m}^3\text{/h)} = K \cdot H^2 \cdot V$$

Donde

H: profundidad del elemento para arrancar el terreno, oscila entorno de 50 cm

V: velocidad de ripado (m/s)

K: coeficiente que depende del terreno

Rocas con tendencia plástica y macizos de arcilla dura = 0.8

Macizos de roca fiable, calizas porosas = 1

Rocas duras fracturadas y diaclasadas = 1.1

Rocas duras sanas, estratificadas = 1.2

E: Es el valor asociado al número de dientes que usa el Bulldozer

E = 1 01 diente

E = 1.9 02 dientes

E = 2.7 03 dientes

Ya conocido el programa de producción horaria de movimiento de tierras, se procede a calcular la cantidad de equipos Bulldozer

El proyecto Shahuindo planea remover 147 310 000 TON, con este dato podríamos estimar la cantidad de equipos Bulldozer que emplearíamos en el proyecto.

Para hallar cada una de la producción de las siguientes opciones de Bulldozer ponemos en claro que utilizaremos una hoja Semi Universal (Ver Figura 4.2.1.4) debido a las características del terreno y condiciones del suelo; esta hoja tiene mayor capacidad, por la adición de los flancos laterales cortos y las cantoneras de la hoja topadora. Los flancos laterales mejoran la capacidad de retención de carga y permiten la capacidad de penetrar materiales muy compactados en gran volumen.

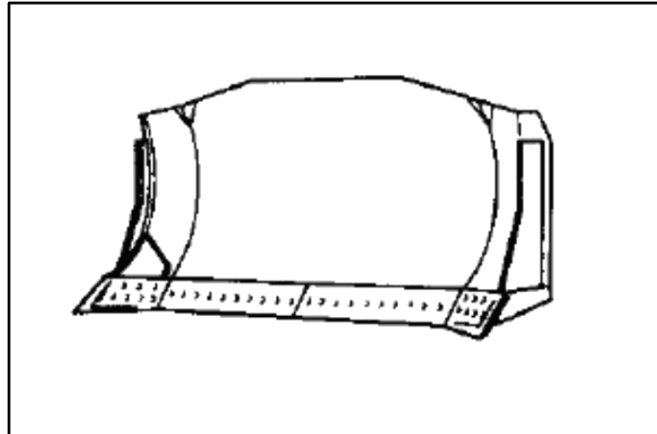


Figura 4.2.1.4: Hoja del Bulldozer modelo Semi Universal (SU)
Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

PRODUCCIÓN DE EQUIPOS EN CUESTIÓN:

4.2.1.1. Producción y estimación de tractor KOMATSU D155AX-6

Según el Hand Book Komatsu (2009)

La producción horaria para un equipo Bulldozer Komatsu en el momento de desplazamiento de material puede ser obtenida usando la siguiente fórmula:

$$Q = q * (60/Cm) * E * e$$

Donde

Q: Producción Horaria en (m³/Hora)

Cm: Tiempo de un ciclo de trabajo en min

E: Eficiencia de trabajo

q: Ancho de la hoja en m³

e: Factor de la Hoja

Item		Model	D155AX-6
OPERATING WEIGHT*		kg (lb)	35960 (79,280)
BLADE CAPACITY LH2** SAE		m ³ (yd ³)	13.23 (17.31) 9.4 (12.3)
DIMENSION*			
A	Overall length	mm (ft.in)	6175 (20'3")
B	Overall width	mm (ft.in)	4130 (13'7")
C	Overall height	mm (ft.in)	3385 (11'1")
	Ground pressure	kg/cm ² (PSI)	0.98 (13.94)
DOZER EQUIPMENT			
	Weight (Includes hydraulic control unit)	kg (lb)	4960 (10,936)
	Length	mm (ft.in)	4130 (13'7")
	Height	mm (ft.in)	1790 (5'10")
D	Max. lift above ground	mm (ft.in)	1255 (4'1")
E	Max. drop below ground	mm (ft.in)	593 (1'11")
F	Max. tilting adjustment	mm (ft.in)	953 (3')
UPPER ATTACHMENT			-

Figura 4.2.1.5: Características de longitud, peso del equipo Komatsu D155AX-6
Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Para operaciones de desplazamiento de material la producción por ciclo es teóricamente calculado de la siguiente manera:

$$q = q_1 * a \quad q_1: \text{capacidad de la cuchilla en m}^3 \quad a: \text{Factor de llenado de la cuchilla}$$

Capacidad del blade según datos del fabricante	Para Hoja Semi U	Longitud	4130	Mm
		Altura	1790	Mm

Condiciones de desplazamiento		Factor de llenado (a)
Desplazamiento fácil	Blade completamente lleno, baja cantidad de agua, suelo arenoso.	1.1 – 0.9
Desplazamiento Promedio	Tierra suelta, pero imposible acarrear totalmente lleno el Blade, roca fina y con grava	0.9 – 0.7
Desplazamiento con dificultad	Alto contenido de agua y arcilla húmeda	0.7 – 0.6
Desplazamiento con alta dificultad	Largas piezas de rocas, roca de voladura	0.6 – 0.4

Tabla 4.2.1.4: factor de llenado

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Según las condiciones del terreno dentro del proyecto Shahuindo, el factor de llenado será de:	0.7
--	------------

Hallando la fórmula de PRODUCCION POR CICLO (q) nos da:	4.130*1.790²*0.7 = 9.26	metros cúbicos
---	---	---------------------------

Hallando el tiempo del ciclo de empuje de material

*La distancia de empuje (D) para esta prueba será de:	45	metros
*La velocidad de frente (F) para este equipo será de:	93.33	metros/min
*La velocidad en reversa (R) será de:	233.33	metros/min
*tiempo requerido para el cambio de velocidad (z) será de:	0.05	Min

Tiempo de ciclo:

El tiempo que necesita el Tractor Komatsu para completar un ciclo de desplazamiento y este es calculado por la siguiente fórmula:

$$Cm = (D/F) + (D/R) + Z$$

Tipo de transmision	Tiempo requerido para el cambio
Transmision directa	0.1
Tipo TORQ FLOW	0.05

Tabla 4.2.1.5: Tiempo requerido según la transmisión

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Los equipos Komatsu tiene la transmision Torq Flow

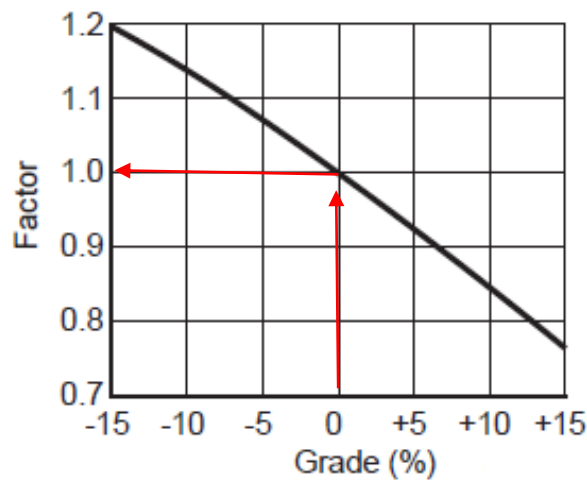
Por tal el resultado es :

Hallando el tiempo que necesita el tractor Komatsu para completar un ciclo de trabajo:	0.725	Minutos
--	-------	---------

Grado de factor de la Hoja (e)

La produccion es afectada por el grado de desplazamiento de la tierra

Esta se puede seleccionar con el siguiente gráfico:



a. Figura 4.2.1.6: Grado de porcentaje según la pendiente de trabajo
 Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Asumiremos que el equipo trabajará en un terreno llano por tal el Factor de Grado será de :	1
---	----------

La eficiencia de trabajo: la siguiente tabla nos indica un valor aproximado en la eficiencia del equipo, este es obtenida de acuerdo a las condiciones de operación actual.

Condiciones de operación	Eficiencia de trabajo
Buena	0.83
Promedio	0.75
Poco Pobre	0.67
Pobre	0.58

Tabla 4.2.1.6: Factor de eficiencia de trabajo

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Asumiremos que el equipo esta nuevo y se encuentra en buenas condiciones por tal la eficiencia del trabajo será de:	0.83
---	-------------

Hallando la producción del tractor D155 AX-6 con una hoja semi universal con los valores que se obtuvieron:

$Q = q * 60/Cm * e * E$ nos da como resultado **636.28** metros cúbicos / Hora.

Producción Komatsu en el desgarrado de material a través del Ripper

En la producción de Ripeado varia gradualmente de acuerdo a la velocidad sísmica que tiene el terreno. Como se indica el cuadro que muestra a continuación para equipos KOMATSU.

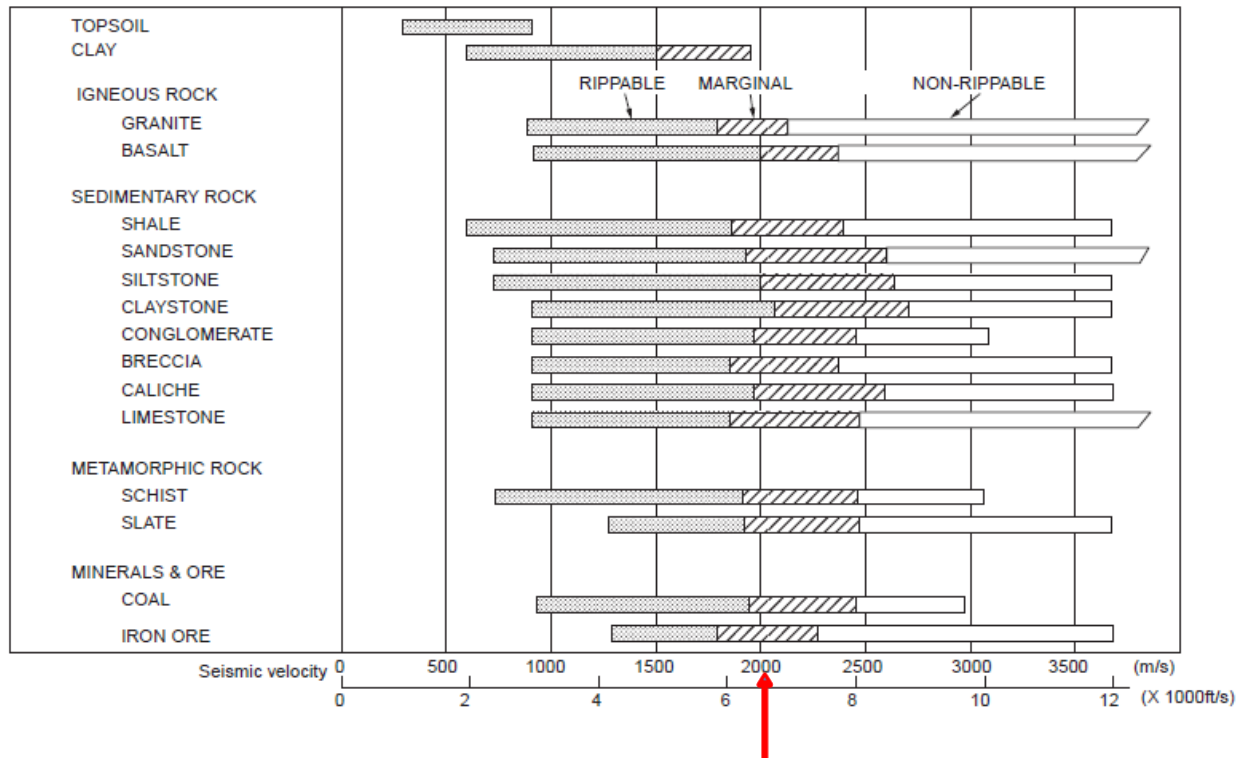


Figura 4.2.1.7: Cuadro de material Ripeable según Bulldozer KOMATSU
 Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Como se muestra en el cuadro, Komatsu no recomienda Ripear en terrenos que posean velocidad sísmica mayores a los 2000 m/seg, al igual que otras marcas en Bulldozer. Ver figura 4.2.1.7.

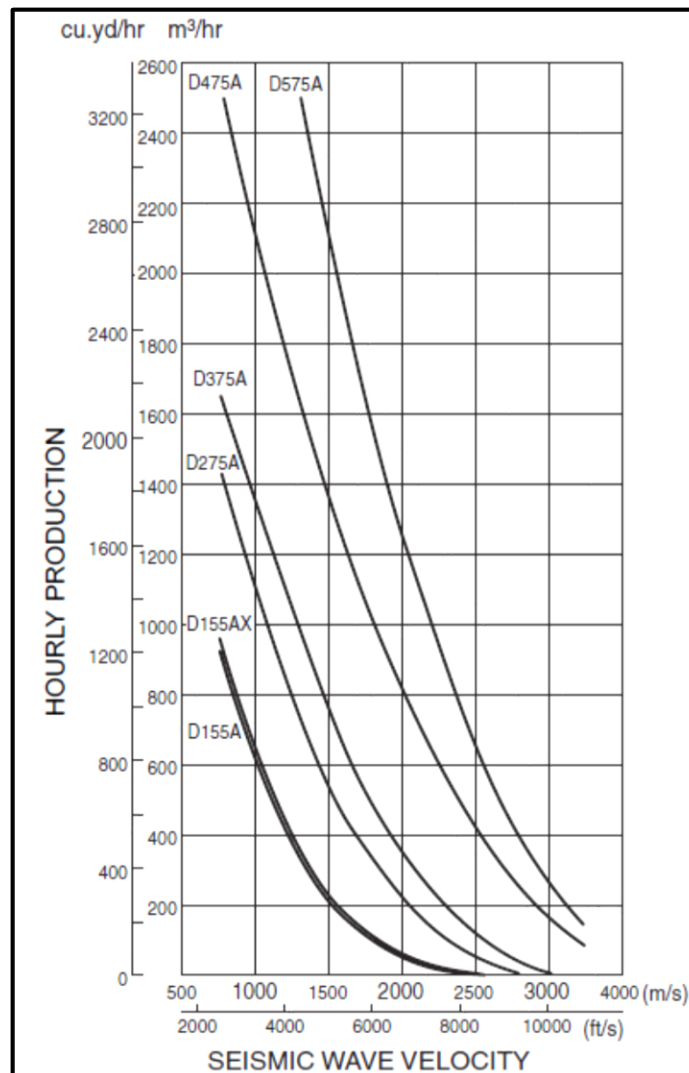


Figura 4.2.1.8: Relación entre producción horaria y velocidad sísmica (KOMATSU)
 Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Como se muestra en la imagen la producción horaria depende de la velocidad sísmica del terreno, Suponemos que la velocidad sísmica del terreno es de: 1000 m/s; En el cuadro de referencia de producción se muestra que según la velocidad sísmica del equipo D155AX-6 la producción horaria aproximada es de:

650	metros cúbicos /hora
-----	----------------------

Esta cantidad de producción estándar se multiplica por la eficiencia de trabajo, la cual se calcula 45 minutos de trabajo por cada hora de labor y esta nos da en porcentaje de: 75%

La producción actual es de :	$650 * 0.75 = 487.5$	Metro Cúbico/Hora
------------------------------	----------------------	-------------------

Para un Factor de esponjamiento, según el material del lugar será una aproximado de:	26.00	%
--	--------------	----------

NOTA: Con los cálculos obtenidos en TON/HORA podríamos calcular la cantidad de equipos de empuje que se necesitaran en el proyecto

Cantidad de material a remover por hora	2638.87 TON/HORA
Producción del equipo Bulldozer	1161.5 TON/HORA
Cantidad de equipos Bulldozer a obtener	TRACTORES 2.3 KOMATSU

Tabla 4.2.1.7: Cuadro resultante de cantidad de tractores KOMATSU

Fuente: Propia

Cuadro de empuje de material vs velocidad de traslado

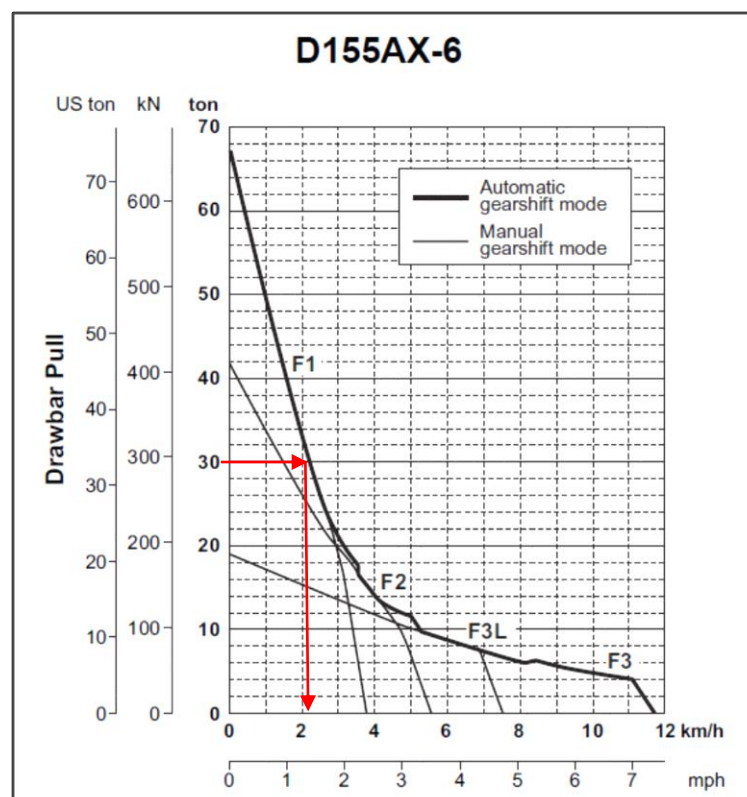


Figura 4.2.1.9: Curva característica de Empuje de material con respecto a su velocidad de traslado del tractor Komatsu

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Analizando la Figura 4.2.1.9 anterior podemos mencionar que para desplazar 30 toneladas de material, el equipo puede desplazarse a 2,2 km/hora como muestra la figura k.

4.2.1.2. PRODUCCION TRACTOR CATERPILLAR D8T

Capacidad del DOZER según datos del fabricante	Para Hoja Semi Universal	Longitud	3930	mm
		Altura	1690	mm

Fuente: CATERPILLAR (2014), *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*, Edición 44

Condiciones para hallar el FACTOR DE LLENADO (FILL FACTOR)

Condiciones de empuje		Factor de llenado
Fácil Empuje	Material completamente suelto, la cual ocupa toda el área del Dozer, poco contenido de agua, tierra no compactada	1.1 ~ 0.9
Empuje promedio	tierra suelta, pero imposible de llenar el Dozer completamente, suelo con arena y grava, finas rocas incrustadas	0.9 ~ 0.7
Empuje con poca dificultad	Alto contenido de agua y arcilla pegajosa, contenido de tierra natural	0.7 ~ 0.6
Empuje con dificultad	Rocas de gran tamaño incrustadas.	0.6 ~ 0.4

Tabla 4.2.1.8: factor de llenado de Bulldozer
Caterpillar

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30

Según las condiciones del terreno dentro del proyecto Shahuindo, el factor de llenado será de:

0.7

Hallando la fórmula de PRODUCCION POR CICLO (q) nos da:

$$3.93 * 1.69^2 = 7.86$$

metros cúbicos

HALLANDO EL TIEMPO EN UN CICLO DE TRABAJO

$$C_m (\text{min.}) = \frac{D}{F} + \frac{D}{R} + Z$$

D : Distancia de empuje

F : velocidad de frente

R : Velocidad de reversa

Z : Tiempo requerido para el
cambio

*La distancia de empuje (D) para esta prueba será de:	45	metros
*La velocidad de frente (F) para este equipo será de:	100.00	metros/min
*La velocidad en reversa (R) será de:	236.67	metros/min
*tiempo requerido para el cambio de velocidad (z) será de:	0.05	min

Hallando el tiempo que necesita el tractor Caterpillar para completar un ciclo de trabajo:	0.69	Minutos
--	------	---------

Hallando el FACTOR DE GRADO (e)

Se refiere a la pendiente del suelo al que estará sometido el equipo Bulldozer según la tabla que se muestra en el lado derecho

Asumiremos que el equipo trabajará en un terreno llano por tal el Factor de Grado será de :

1

Hallando la EFICIENCIA DEL TRABAJO (E)

Nos muestra la eficiencia que muestra el equipo en el trabajo, horas perdidas y demás factores de operación.

Por tal nos guiaremos de la tabla que se muestra a continuación:

Condiciones de operación	Eficiencia de trabajo
Buena	0.83
Promedio	0.75
Poco Pobre	0.67
Pobre	0.58

Tabla 4.2.1.9: factor de eficiencia de trabajo Caterpillar

Fuente: CATERPILLAR (2014), *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*, Edición 44

Asumiremos que el equipo esta nuevo y se encuentra en buenas condiciones por tal la eficiencia del trabajo será de:

0.83

HALLANDO LA EFICIENCIA DEL OPERADOR

OPERADOR EXCELENTE	1
OPERADOR DEFICIENTE	0.6

Suponemos que la operación de estos equipos lo realiza personal capacitado y con certificación, la cual es 1 como resultado

Tabla 4.2.1.10: Factor de eficiencia del operador

Fuente: CATERPILLAR (2014), *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*, Edición 44

HALLANDO LA PRODUCCIÓN HORARIA DEL TRACTOR BULLDOZER CON EL MODELO D8T

Según los datos obtenidos en los cálculos anteriores obtenemos como resultado lo siguiente:

$$Q = q * 60 / C_m * e * E$$

566.96

metros cúbicos /
Hora

PRODUCCIÓN RIPEANDO SEGÚN CATERPILLAR

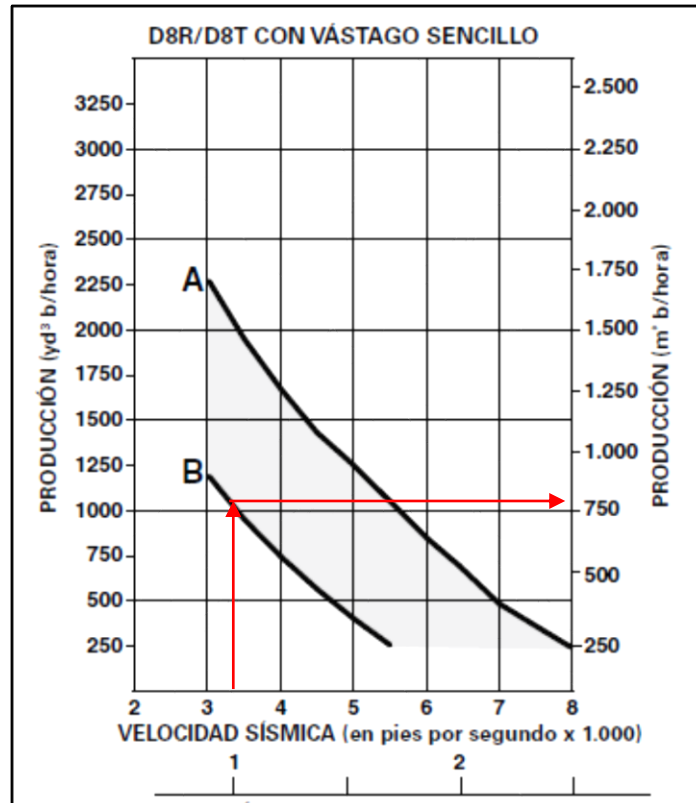


Figura 4.2.1.10: Relación entre Producción horaria y velocidad Sísmica
 Fuente: CATERPILLAR (2014), *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*, Edición 44

La curva **A** indica que las condiciones de Ripeado son las ideales
 La curva **B** indica que las condiciones de Ripeado son Adversas

La flecha indica, a una velocidad sísmica de 1000 m/s, una producción de aproximadamente 770 m3/hora a una situación adversa, la hoja de datos menciona que hay que reducirle el 25% en caso ser Rocas Igneas, por tal nos da:	770 m3/hora Roca 0.25 Ignea <hr/> 577.5 m3/hora
--	--

Si suponemos que la eficiencia de trabajo es de 45 minutos en cada hora de trabajo, este será de 0.75, la cual la producción será el 75% de resultado final; este será de: $578 \times 75\% =$	577.5 m3/hora
	0.75 45min/hora
	433.125 m3/hora

Hallando la Producción del Bulldozer CAT en Ton/hora

DENSIDAD DE MATERIAL	2.3	TON/Metro cúbico
----------------------	-----	------------------

Producción del equipo Bulldozer CAT:	1034.9	TON/Hora
---	---------------	-----------------

Para un Factor de esponjamiento, según el material del lugar será una aproximado de:	26.00	%
--	--------------	----------

NOTA: Con los cálculos obtenidos en TON/HORA podríamos calcular la cantidad de equipos de empuje que se necesitarán en el proyecto

Cantidad de material a remover por hora:	2638.87	TON/HORA
Producción del equipo Bulldozer:	1034.9	TON/HORA
Cantidad de equipos Bulldozer a obtener:	2.5	TRACTORES

Tabla 4.2.1.11: Cuadro resultante de cantidad de tractores Caterpillar

Fuente: Propia

Relación entre capacidad de empuje y velocidad de traslado

Como dato adicional podemos mencionar la capacidad de empuje del Bulldozer CATERPILLAR con respecto a su velocidad de traslado

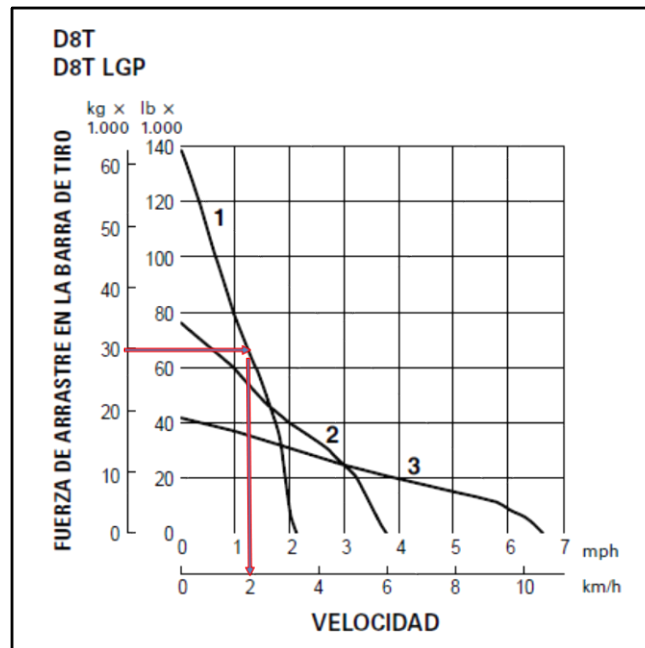


Figura 4.2.1.11: Cuadro de Fuerza de la barra de tiro con respecto a su velocidad de traslado

Fuente: CATERPILLAR (2014), *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*, Edición 44

Analizando la figura anterior (Figura 4.2.1.11) se puede mencionar que para desplazar una fuerza de 30 toneladas es necesario desplazarse a 2 km/hora como muestra la figura.

El análisis se realizó para un equipo compatible con los otros dos equipos en cuestión, en el equipo Caterpillar es el modelo: D8T

4.2.1.3. PRODUCCION TRACTOR LIEBHER PR752

Empezamos con hallar la cantidad de volumen que desplaza el Blade del equipo Liebherr. Debido a la poca información de este equipo se recolectó poca información técnica, Según El Programa de Maquinaria de Movimiento de Tierras, (2004) se menciona a continuación:

Capacidad del Blade según datos del fabricante:	Para Hoja Semi Universal	Longitud	4200	mm
		Altura	1650	mm

Hallando la cantidad de volumen que desplaza la hoja topadora del equipo Liebherr:

$$Q = 4.200 \text{ m} * (1.650 \text{ m})^2 = \mathbf{11.5 \text{ metros cúbicos}}$$

Realizando la corrección con el factor de carga este resultado se multiplica por 0.7

(Ver tabla 1)

$$\mathbf{11.5 \text{ metros cúbicos} * 0.7 = 8.01 \text{ metros cúbicos}}$$

Hallando el tiempo en un ciclo de trabajo:

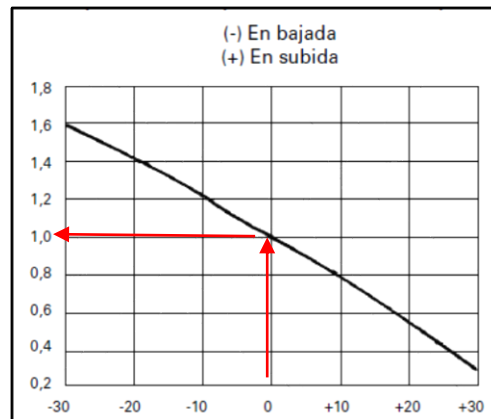
*La distancia de empuje (D) para esta prueba será de:	45	metros
*La velocidad de frente (F) para este equipo será de:	100.00	metros/min
*La velocidad en reversa (R) será de:	200	metros/min
*tiempo requerido para el cambio de velocidad (z) será de:	0.05	min

Hallando el tiempo que necesita el tractor Liebherr para completar un ciclo de trabajo:

0.73 minutos

Hallando el FACTOR DE GRADO (e)

Se refiere a la pendiente del suelo al que estará sometido el equipo Bulldozer según la tabla que se muestra en el lado derecho



Asumiremos que el equipo trabajará en un terreno llano por tal el Factor de Grado será de :

1

Hallando la EFICIENCIA DEL TRABAJO (E)

Nos muestra la eficiencia que muestra el equipo en el trabajo, horas perdidas y demás factores de operación

Por tal nos guiaremos de la tabla que se muestra a continuación:

Condiciones de operación	Eficiencia de trabajo
BUENA (50 min /hora)	0.83
PROMEDIO	0.75
CASI POBRE (40 min/Hora)	0.67
POBRE	0.58

Asumiremos que el equipo esta nuevo y se encuentra en buenas condiciones por tal la eficiencia del trabajo será de:

0.83

HALLANDO LA EFICIENCIA DEL OPERADOR	
OPERADOR EXCELENTE	1.0
OPERADOR PROMEDIO	0.75
OPERADOR DEFICIENTE	0.6

Suponemos que la operación del operador es excelente por tal el factor de corrección es de:

1

HALLANDO LA PRODUCCION HORARIA DEL BULLDOZER LIEBHER PR752

Según los datos obtenidos en los cálculos anteriores obtenemos como resultado lo siguiente:

$$Q = q * 60 / C_m * e * E$$

556.92

metros
cúbicos / Hora

Hallando la Producción del Bulldozer LIEBHER en TON/ hora

DENSIDAD DE MATERIAL	2.3	TON/Metro cúbico
----------------------	-----	------------------

Producción del equipo Bulldozer	1016.6	TON/Hora
---------------------------------	--------	----------

Para un Factor de esponjamiento, según el material del lugar será una aproximado de:	26.00	%
--	-------	---

NOTA: Con los cálculos obtenidos en TON/HORA podríamos calcular la cantidad de equipos de empuje que se necesitarán en el proyecto

Cantidad de material a remover por hora	2638.87 TON/HORA
Producción del equipo Bulldozer LIEBHER:	1016.6 TON/HORA
Cantidad de equipos Bulldozer a obtener	2.6 TRACTORES

Tabla 4.2.1.12 Cuadro resultante de la cantidad de tractores LIEBHER

4.2.2. Estimación de costos

CUADRO DE COSTOS SEGÚN LA MARCA DEL EQUIPO BULLDOZER				
		KOMATSU	CATERPILLAR	LIEBHER
Costo de venta	Dólares	585000	590000	610000
Impuesto por la compra	Dólares	105300	106200	109800
Años del equipo	Años	10	10	10
Horas de operación por año	Horas	6800	6800	6800
Retorno de inversión	%	10	10	10
Pago anual	Dólar/Hora	129392.61	130498.53	134922.20
COSTO DEL EQUIPO EN UNA HORA	Dólar/Hora	16.52	16.66	17.23

Tabla 4.2.2.1: Cuadro de costos según la marca del equipo

Fuente: Propia

Costos directos del equipo

CUADRO DE COSTOS DIRECTOS SEGÚN LA MARCA DEL EQUIPO BULLDOZER				
		KOMATSU	CATERPILLAR	LIEBHER
Consumo de combustible	Dólar/Hora	76	71	75
Costo de mantenimiento	Dólar/Hora	87	89	88
Lubricantes y grasas	Dólar/Hora	6	7	9
Elementos de desgaste	Dólar/Hora	64	68	65
Operación del equipo	Dólar/Hora	20	20	20
Costo total de la hora de operación	Dólar/Hora	253	255	257
Costo incluido la compra del equipo	Dólar/Hora	269.52	271.66	274.23
Producción Horaria según Mina	TPH	2638.9	2638.9	2638.9
Costo por tonelada	Dólar/Ton	0.102	0.103	0.104

Tabla 4.2.2.2: Costos directos de producción del equipo

Fuente: Propia

El costo del equipo en este caso puede referirse a la inversión requerida por el proyecto.

Los costos directos del equipo pueden reflejarse como gastos necesarios en el Bulldozer para su funcionamiento, normalmente estos costos son incurridos en \$/ton.

Como parte de los costos que deben contemplarse en desplazamiento de material, se menciona:

PRECIO DE VENTA DE LOS EQUIPOS EN CUESTIÓN

Para identificar los equipos que se van a adquirir en el proyecto es necesario evaluar los precios indicados en la tabla siguiente:

	KOMATSU	CATERPILLAR	LIEBHER
PRECIO DEL EQUIPO BULLDOZER	585000 \$	590000 \$	610000 \$

Fuente: Consulta a vendedores de cada una de las compañías

Con respecto a los costos de cada uno de ellos, estos varían de acuerdo a la oferta y la demanda que existe en el mercado actualmente.

En la actualidad en el mercado peruano las ventas se inclinan por las marcas KOMATSU y CATERPILLAR; con respecto a la marca LIEBHER, este equipo tiene un precio más alto y no posee una gran trayectoria de ventas que posee las otras marcas mencionadas debido a su alto costo de mantenimiento.

Analizando los demás precios que incurren en la utilización del Bulldozer, uno de los componentes que más demanda un costo son los GET (Elementos de desgaste como cuchillas, cantoneras, puntas de Ripper), carrilería en general; y el combustible que consume.

Para el equipo Komatsu y Liebher el costo en los elementos de desgaste será menor que el equipo Caterpillar ya que este posee el mando Final en la parte superior (ver figura 4,2,2,1; 4,2,2,2; 4,2,2,3), es necesario recalcarlo para identificar la diferencia de costos que incurren mensualmente.

DATOS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Es muy importante mencionar que el consumo de combustible representa gran parte de la inversión del equipo, por tal debemos mencionar que el consumo real será representado por medio de personas capacitadas en la operación de del equipo Bulldozer, la relación que existe entre potencia, velocidad del equipo y la velocidad del motor Diesel, ya que de esta dependerá el consumo de combustible y el costo que involucra contar con un equipo de empuje (BULLDOZER).

Para conocer el consumo a cada régimen del motor es necesario efectuar pruebas empíricas o acudir a las gráficas de potencia que suministran los fabricantes sobre todo si se trata de grande unidades. Luego de algunas pruebas en taller y campo podemos identificar lo siguiente:

CONSUMO APROXIMADO EN FUNCION DE LA POTENCIA DE MOTOR		
200 CV	197.2 HP	44-50 Litros/Hora
250 CV	246.5 HP	55-63 Litros/Hora
300 CV	295.8 HP	66-75 Litros/Hora
350 CV	345.1 HP	80-88 Litros/Hora
400 CV	394.4 HP	90-97 Litros/Hora

Tabla 4.2.2.3 Relación entre potencia del motor Diesel y consumo de combustible

Fuente: <http://www.cibernautica.com.ar/>

Und:

- Unidad de potencia: Caballo de vapor (CV)
- Unidad de Consumo: Litros / Hora

Por lo tanto al relacionar el consumo de cada uno de los equipos en cuestión podemos mencionar lo siguiente:

	Tractor KOMATSU (D155 AX-6)	Tractor CATERPILLAR (D8T)	Tractor LIEBHER (PR752)
Potencia de Motor (NETA)	354 HP	320 HP	326 HP
Consumo estimado	85 Litros/Hora	78 Litros/Hora	84 Litros/Hora

Tabla 4.2.2.4 Consumo de combustible estimado para cada modelo de equipo



Figura 4.2.2.1: Foto de tractor Liebher en trabajo
Fuente: El Programa de Maquinaria de Movimiento de Tierras, (2004)



Figura 4.2.2.2: Foto de tractor Komatsu en trabajo
Fuente: BROSHOURE (Hoja técnica del fabricante) del equipo



Figura 4.2.2.3: Foto de tractor CATERPILLAR en trabajo
Fuente: BROSHOURE (Hoja técnica del fabricante) del equipo

Como se puede apreciar en la imagen del tractor Caterpillar (Figura 4.2.2.3) el Mando Motriz se encuentra en la parte superior, a diferencia de los otros equipos los costos de mantenimiento aumentarán debido a la mayor cantidad de componentes GET (elementos de desgaste como Zapatas, bujes, eslabones). Al costo de mantenimiento se aumentaría una Rueda Guía y 2 de zapatas.

Se puede confirmar según encuestas realizadas a distintos operadores de tractores Bulldozer que este equipo posee una mejor fuerza de desgarrar de material compactado, la cual influye la pericia del operador y potencia del equipo. Por lo tanto si analizamos cada una de las alternativas de Bulldozer:

Recopilando datos de costos en combustible, mantenimiento, componentes de desgaste e inversión en la compra del equipo podemos mencionar que como mejor opción en velocidad, consumo de combustible, empuje de material suelto debido a su rapidez y costos de mantenimiento es el equipo KOMATSU, y el equipo CATERPILLAR como equipo de empuje de material rocoso y confiabilidad de los encuestados.

Analizando también la logística en cada uno de ellos podemos afirmar que ambas marcas poseen el stock necesario en caso haya una avería, a la vez se puede afirmar que poseen tiendas comerciales en las ciudades donde se concentran los centros mineros del país.

El costo unitario en compra del equipo y elementos de desgaste es:

	Costo de venta	Costo de mantenimiento	Costo de combustible	Producción Diaria (Dólar/TON)	Costo en 500 Toneladas
CATERPILLAR	590000 dólares	89 Dólar/hora	71 Dólar/hora	0.103	51.5 Dólar
KOMATSU	585000 dólares	87 Dólar/hora	76 Dólar/hora	0.102	51 Dólar
LIEBHER	610000 dólares	88 Dólar/hora	75 Dólar/hora	0.104	52 Dólar

Tabla 4.2.2.5: Tabla comparativa de costos unitarios

Fuente: Propia

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

No experimental, descriptiva y comparativa

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Población

Equipos de empuje de material: Tractores Bulldozer

5.2.2. Muestra

Equipos Bulldozer en las marcas:

- CATERPILLAR, modelo: D8T
- KOMATSU, modelo: D155AX-6
- LIEBHER, modelo: PR752
- JHON DEERE, modelo 1050J
- FIAT ALLIS, modelo FD 255
- NEW HOLLAND, modelo D350
- CASE, modelo 2050 M

5.2.3. Unidad de estudio

- 01 equipo Bulldozer CATERPILLAR, modelo D8T.
- 01 equipo Bulldozer KOMATSU, modelo D155AX-6.
- 01 equipo Bulldozer LIEBHER, modelo PR752.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Para recolectar datos.

La presente tesis fue desarrollada en base a:

- Información de minera TAHOE Corporación – Shahuindo en sus inicios del proyecto, datos geológicos y geotécnicos extraídos en estudios de esa época.
- Información referente a estudios de mercado, logística y distribución de maquinarias Bulldozer en el mercado peruano, con requerimientos para diferentes operaciones mineras.
- Información referente a datos técnicos de cada equipo Bulldozer que constituye la tesis, como manual de rendimiento de cada equipo, Datos y características del fabricante, Hand Book actualizado, afiches, cuadros técnicos, análisis matemáticos, experiencias de distintos operadores y mantenedores de tractores.
- Encuestas realizadas a diferentes operadores del medio referente a la confiabilidad de los equipos Bulldozer

A continuación se detalla las técnicas a usar en la recolección de datos:

Tabla 5.3.1.1: Recolección de información

TÉCNICA	JUSTIFICACIÓN	INSTRUMENTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Datos técnicos de cada equipo en cuestión, • Mejora de proceso, análisis matemáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar cada característica técnica, indicadores, valores en cuadros, parámetros de la empresa minera • Obtener características geológicas y geotécnicas del proyecto en cuestión. • Obtener información de sus inicios del proyectos y actuales referente al proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos y Registros técnicos. • Análisis de costos e inversión. • Instrumento de mejora de Procesos anteriores • Datos y encuestas de operadores de tractores.

Fuente: Propia

5.3.2. Para analizar información.

El análisis matemático se realizó en mesa de trabajo, luego en programa actualizado de Microsoft Excel para un mejor entendimiento del resultado.

La elección de los equipos Bulldozer como unidad de estudio (CATERPILLAR, KOMATSU, LIEBHERR) se obtuvo de acuerdo a distribución de componentes, repuestos, servicio de reparación certificada, datos de confiabilidad y años de permanencia en el mercado peruano.

Con los resultados obtenidos del análisis identificamos las características resaltantes de cada equipo de empuje Bulldozer en el proyecto Tahoe - Shahuindo, provincia de Cajabamba, luego de esto se decidió la mejor opción en la obtención de equipos Bulldozer, según producción y costos por hora.

Tabla 5.3.1.2: Determinación de objetivos

OBJETIVOS	EVIDENCIAS	TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN
Determinar el ciclo de empuje de material.	Los tiempos de cada equipo de empuje Bulldozer que posee según su hoja de datos.	Cálculo matemático de tiempo de ciclo.
Determinar la producción estimada de cada equipo en cuestión.	Datos de los equipos que obtengan la capacidad necesaria para producción en mina.	Cálculos matemáticos obtenidos en mesa de trabajo.
Determinar la cantidad óptima de equipos	Datos de los equipos que obtengan la capacidad necesaria para producción en mina.	Cálculos matemáticos obtenidos en mesa de trabajo. Experiencias en diferentes tipos de terreno con los diferentes equipos de empuje.
Estimar los costos directos estimados de cada equipo, antes y durante de la producción.	Análisis de las alternativas presentes en el mercado con el menor costo.	Cálculo matemático, comparación de alternativas presentes en el mercado.

Fuente: Propia

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Los siguientes resultados se obtuvieron según los siguientes datos:

- Evaluación de la cantidad de equipos de empuje de material se realizó con las siguientes marcas como son: KOMATSU, CATERPILLAR Y LIEBHER; actualmente existentes en el mercado peruano.
- La cantidad de equipos se obtuvo a través de datos técnicos, características de funcionamiento y diseño interno de cada equipo e indicadores de disponibilidad y confiabilidad.
- Datos y entrevistas a distintos operadores empíricos y con certificación en Manejo y operación de Tractores Bulldozer.

Como resultado tenemos la obtención de 3 tractores Bulldozer para satisfacer datos de producción que el proyecto espera producir, la cual según diseño y producción de cada equipo evaluado y encuestas realizadas de confiabilidad de tractores podemos mencionar que se obtendrán los siguientes tractores para el proyecto:

- 02 TRACTORES SOBRE ORUGAS MODELO: D155AX-6
MARCA: KOMATSU
Este se encargará del empuje de material suelto y compactado.
- 01 TRACTOR SOBRE ORUGAS MODELO D8T
MARCA: CATERPILLAR
Este se encargará del desgarrar de material compactado y si en caso sea necesario también material suelto.

Costos por tonelada para cada marca de equipo:

Marca del equipo	Cantidad de equipos obtenidos en cálculo	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
TRACTOR CATERPILLAR	3 Unid	0.103 Dolar/Ton	0.309 Dolar/Ton
TRACTOR KOMATSU	3 Unid	0.102 Dolar/Ton	0.306 Dolar/Ton
TRACTOR LIEBHER	3 Unid	0.104 Dolar/Ton	0.312 Dolar/Ton

Tabla 6.1: Cuadro resultante en costos por tonelada de material removido

Fuente: propia

Costo por tonelada por 02 Tractores en la marca KOMATSU y 01 tractor LIEBHER:

	CANTIDAD	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
Tractor KOMATSU	02	0.102 Dolar/Ton	0.204 Dolar/Ton
Tractor LIEBHER	01	0.104 Dolar/Ton	0.104 Dolar/Ton
TOTAL			0.308 Dolar/Ton

Tabla 6.2 Cuadro resultante en costos por tonelada para equipo 02 Komatsu y 01 Liebher

Costo por tonelada por 02 Tractores en la marca CATERPILLAR y 01 tractor LIEBHER:

	CANTIDAD	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
Tractor CATERPILLAR	02	0.103 Dolar/Ton	0.206 Dolar/Ton
Tractor LIEBHER	01	0.104 Dolar/Ton	0.104 Dolar/Ton
TOTAL			0.310 Dolar/Ton

Tabla 6.3 Cuadro resultante en costos por tonelada para equipo 02 Caterpillar y 01 Liebher

Costo por tonelada por 02 Tractores en la marca KOMATSU y 01 tractor CATERPILLAR:

	CANTIDAD	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
Tractor KOMATSU	02	0.102 Dolar/Ton	0.204 Dolar/Ton
Tractor CATERPILLAR	01	0.103 Dolar/Ton	0.103 Dolar/Ton
TOTAL			0.307 Dolar/Ton

Tabla 6.4 Cuadro resultante en costos por tonelada para 01 Caterpillar y 02 Komatsu

Costo por tonelada por 02 Tractores en la marca CATERPILLAR y 01 tractor KOMATSU:

	CANTIDAD	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
Tractor KOMATSU	01	0.102 Dolar/Ton	0.102 Dolar/Ton
Tractor CATERPILLAR	02	0.103 Dolar/Ton	0.206 Dolar/Ton
TOTAL			0.308 Dolar/Ton

Tabla 6.5 Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 Caterpillar y 01 Komatsu

Costo por tonelada por 02 Tractores en la marca LIEBHER y 01 tractor CATERPILLAR:

	CANTIDAD	Costo por equipo (Incluido la compra y mantención)	Costo total
Tractor LIEBHER	02	0.104 Dolar/Ton	0.208 Dolar/Ton
Tractor CATERPILLAR	01	0.102 Dolar/Ton	0.102 Dolar/Ton
TOTAL			0.310 Dolar/Ton

Tabla 6.6 Cuadro resultante en costos por tonelada para 02 Liebher y 01 Caterpillar

Los cálculos obtenidos de producción, cantidad de equipos y costo por obtención de equipos nos permitirán aumentar la productividad estimada que el proyecto Shahuindo desea obtener.

Según datos de producción nos da como resultado el siguiente cuadro de barras, la cual en su proceso se adicionó factores de corrección y variables que disminuyeron la producción horaria en cada uno de los tractores.

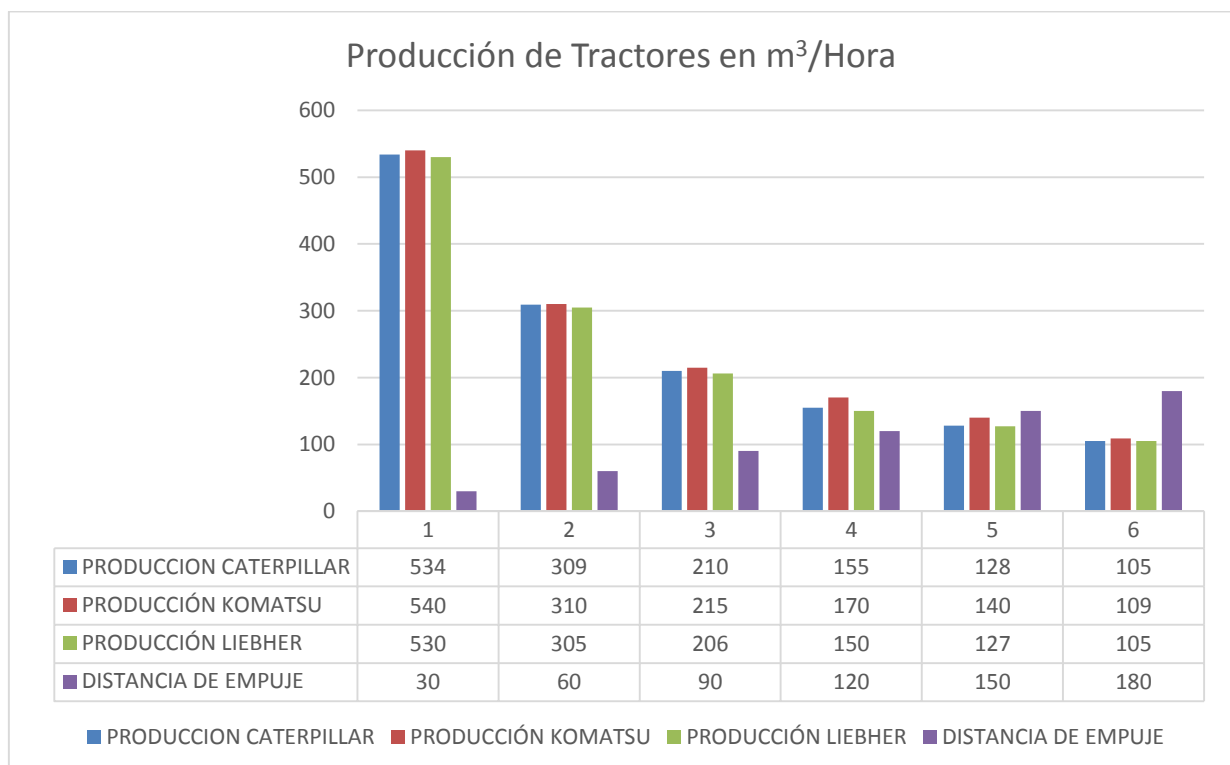


Figura 6.1: Producción de Tractores según distancia de empuje

Fuente: Propia

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Para poder realizar una buena elección de equipos de empuje Bulldozer, fue necesario identificar cada una de las variables que involucra en la elección, como material a remover, costos de mantenimiento, costos de adquisición, geología del lugar, personal de operación, rapidez del equipo en el campo, datos obtenidos de los diferentes operadores de tractor Bulldozer, etc.

En los ensayos realizados con los tractores Bulldozer se determinó la cantidad de producción horaria de cada equipo auxiliar en cuestión y la cantidad de equipos que necesita el proyecto según su producción estimada, esto a diferencia de algunos otros resultados de producción podemos comprobar que tenemos diferentes resultados desde el punto de vista de cada involucrado.

El tipo de elección de tractores Bulldozer en nuestro caso se dio debido a las experiencias pasadas que ha tenido cada fabricante de tractores en el mercado de construcción, si bien es cierto el resultado sale a favor del equipo Komatsu, las encuestas realizadas a los diferentes operadores de tractores mencionan que el equipo Caterpillar posee una mejor fuerza de desgarre de material compactado; a pesar que la teoría muestre otro dato.

Podemos mencionar que según la evolución de los diseños de maquinarias y basándome en datos de los mismos operadores, estos indican que los equipos han ido evolucionando en su diseño de construcción debido a muchos factores como la contaminación del medio ambiente, el consumo de combustible no renovable, los mismos costos de producción y la innovación; estos factores han hecho de que los equipos de construcción hayan variado sus componentes internos y que haya un diseño de maquinaria para cierto tipo de trabajo.

Actualmente el proyecto se encuentra dentro de la etapa de construcción con mano de obra de contratista; según lo estimado por el proyecto sobre la cantidad de equipos Bulldozer en el plan de minado, con los resultados obtenidos en cantidad, uno de los Bulldozer se podría colocar en el botadero, los demás en el Pad de lixiviación; en caso haya otra ubicación para los tractores, será netamente decisión de los encargados del proyecto Shahuindo.

Es necesario entender que lo calculado en el presente trabajo de investigación es carácter descriptivo y comparativo ya que proyecto está sujeto a cambios que pueden modificar datos y valores característicos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Para el estudio comparativo y luego de la obtención la potencia del tractor a utilizar se escogieron los equipos que se comercializan en el mercado peruano y estos equipos son: Tractor Bulldozer en la marca Caterpillar modelo D8T y tractor Bulldozer marca Komatsu modelo D155AX-6 y tractor marca Liebherr modelo PR572. La producción de los equipos que se obtuvieron según necesidad de proyecto, datos geotécnicos, recursos y reservas; se menciona a continuación:

MARCA DE TRACTORES	TRACTOR CATERPILLAR	TRACTOR KOMATSU	TRACTOR LIEBHER
Producción Horaria en Ton/Hora	1034.9	1161.5	1016.6

Podemos mencionar que estos resultados están sujetos a cambios de última hora que dependerán de otras variables como precios del mineral, planeamiento y diferentes modificaciones que se harán en el proyecto.

- Según la cantidad de material a remover, velocidad y fuerza de desgarrar de material; de acuerdo a lo planeado por el proyecto Shahuindo se obtuvo como resultado la obtención de 3 Tractores Bulldozer:

- En la marca KOMATSU (02 Tractores) aprovechando su velocidad de empuje de material, diseño ecológico de su motor Diesel y su tecnología.
- En la marca CATERPILLAR (01 tractor) con una potencia similar a la anterior, aprovechando su fuerza de desgarrar de material compactado, la confiabilidad de los mismos operadores.

El diseño de los equipos es de acuerdo a la geología del lugar, la elección de los diferentes componentes de desgaste (GETS) del tractor variarán los costos antes mencionados, la comunicación con el área de geología nos mantendrá informados para hacer una buena elección y reducir costos.

- Se puede confirmar con sustento del caso que para mayor producción y confiabilidad y de acuerdo al diseño innovador de los fabricantes que la mejor opción para el proyecto Shahuindo es la Tabla N° 6.4 como se menciona a continuación:

	COSTO POR TONELADA	CANTIDAD DE TRACTORES	COSTO TOTAL
MARCA CATERPILLAR	0.103 Dolar/Ton	01	0.103 Dolar/Ton
MARCA KOMATSU	0.102 Dolar/Ton	02	0.204 Dolar/Ton
TOTAL			0.307 Dolar/Ton

Tabla 6.7 Cuadro resultante final

Fuente: Propia

8.2. Recomendaciones

- Se recomienda tener el apoyo de diferentes profesionales y técnicos en Topografía, Geotecnia, Geología, Planeamiento de Minas y movimiento de tierras para poder realizar estudios posteriores al desarrollado actualmente.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado que nos podrán determinar variables diferentes a temas técnicos tocados en el presente trabajo.
- La disponibilidad de materiales, repuestos y el apoyo de la logística serán de mucha ayuda en el trabajo a realizar, por tal se recomienda contar con personal de planeamiento y control de unidades necesarios para los mantenimientos preventivos y correctivos en el equipo.
- Según datos reales calculados en la presente tesis, análisis, características de diseño del equipo (Según Hoja del fabricante), a la vez con las nuevas normativas medio ambientales; y la producción que demanda el proyecto Shahuindo, personalmente recomendaría usar los tractores Komatsu y Caterpillar. Podemos adicionar la potencia del equipo, logística en el mercado peruano y sobre todo la tecnología de innovación que los caracteriza.
- Si bien es cierto existen otras marcas de tractores, es útil mencionar que existen diferentes condiciones de terreno y aplicaciones, las cuales estos equipos pueden desempeñarse de manera eficiente; por lo tanto la comparación entre uno u otro conllevará a mejor análisis de diseño y experiencia para cada tipo de terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amireault, S. (2009). *Geological Forum*. Canada.
- Australian Government, *Energy Efficiency Opportunities*, Department of Resources, energy and tourism.
- Caterpillar Edt. (2014). *Manual de rendimiento Caterpillar*. Peoria, Illinois: Estados Unidos
- Cherné Tarilonte J., Gonzales Aguilar A., *Movimiento de tierras*, Construcciones industriales, 5º Ingeniería industrial.
- Elevli, S. & Elevli, B. (2010). *Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE*. Kutahya: Turquía.
- García, S. (2009 – 2012). *Ingeniería de Mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. España.
- Herrera, J. (Edt) (2009). *Introducción al mantenimiento Minero*. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Komatsu Ltd. (2013). *Especifications & Application Hand Book* (Edición 31). Japón
- Laboreo III (2003). *DISEÑO DE EXPLOTACIONES MINERAS*, Universidad Politécnica de Madrid – Escuela superior de Ingenieros de Minas
- Mather, D. (2004). *An Introduction to the Maintenance Scorecard*.
- Ojeda, M. & Behar R. (2006). *Estadística, productividad y Calidad*. Vera Cruz. Secretaría de Educación de Veracruz del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave
- Pagés, C (Edt.) (2010). *La era de la productividad. Como transformar las economías desde sus cimientos*. Banco Interamericano de Desarrollo

- Paraszczak, J. & Komljenovic, D. & La fontaine, E. *Production equipment availability and its contributing factors in selected Canadian underground mines*. Canada. Instituto de Minería, Metalurgia y Petróleo de Canada.
- Sulliden Gold Corporation Ltd. (2014). Camino Libre hacia la producción para Shahuindo.

ANEXO

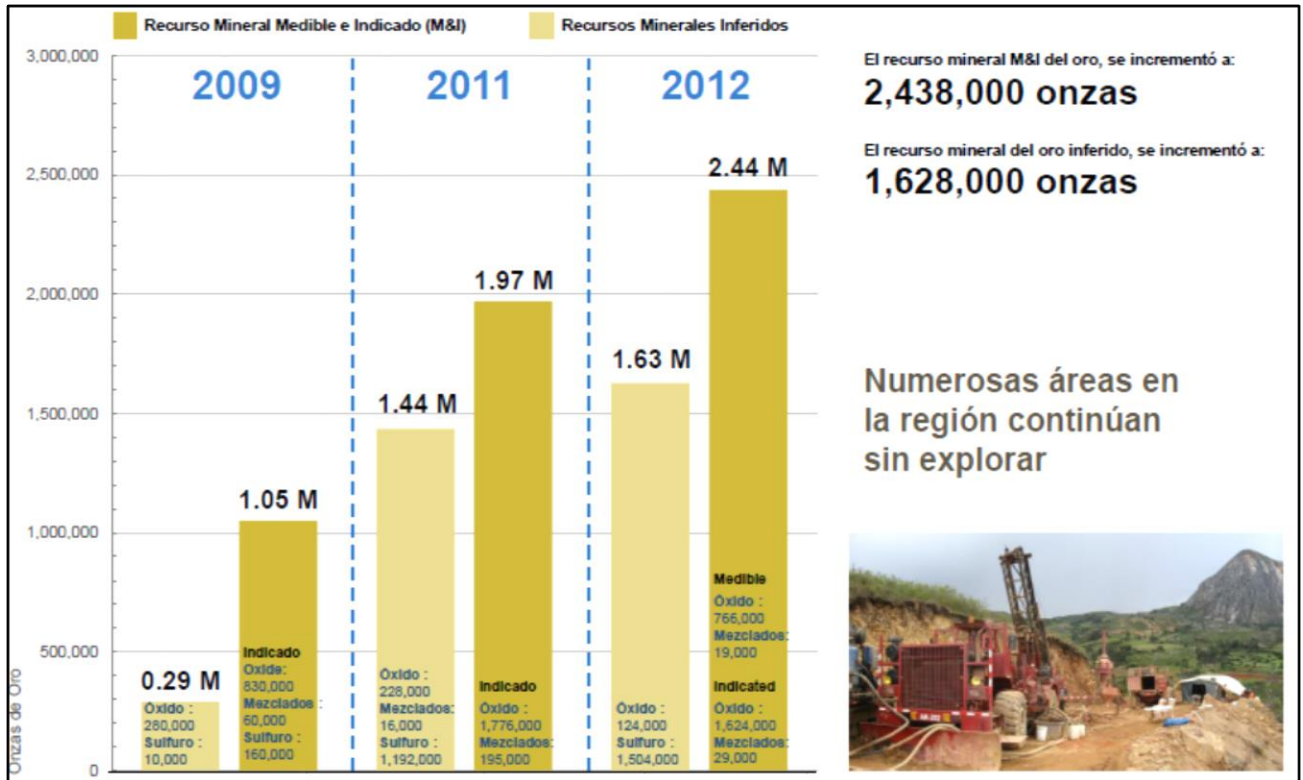
Anexo1. Reservas minerales representan solo aproximadamente el 40% de las onzas de oro del total de recursos de óxido mineral (Estudio realizado en Septiembre del 2012)

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”

	Contenido de oro (Oz)	Grado de Oro (g/T)	Plata Contendida (Oz)	Grado de Plata (g/T)	Toneladas (T)	Grado de Oro Eq. g/T	Au Eq Onzas
Total reservas Minerales	1022000	0.84	11561000	9.5	37847000	0.85	1032000
Oxido	1015000	0.84	11404000	9.4	37589000	0.85	1026000
Mezclado	6000	0.76	157000	18.9	258000	0.78	6000
Reservas Probadas de Minerales							
Oxido	434000	0.9	5008000	10.4	14994000	0.91	438000
Mezclado	4000	0.71	93000	17.6	165000	0.72	4000
Total	437000	0.9	5102000	10.5	15159000	0.91	441000
Reservas Probables de Minerales							
Oxido	582000	0.8	6396000	8.8	22595000	0.81	588000
Mezclado	3000	0.87	64000	21.3	93000	0.89	3000
Total	584000	0.8	6459000	9.4	22688000	0.81	591000

Anexo 2: Aumento del recurso mineral – Oro, únicamente 150000 metros excavados en la propiedad

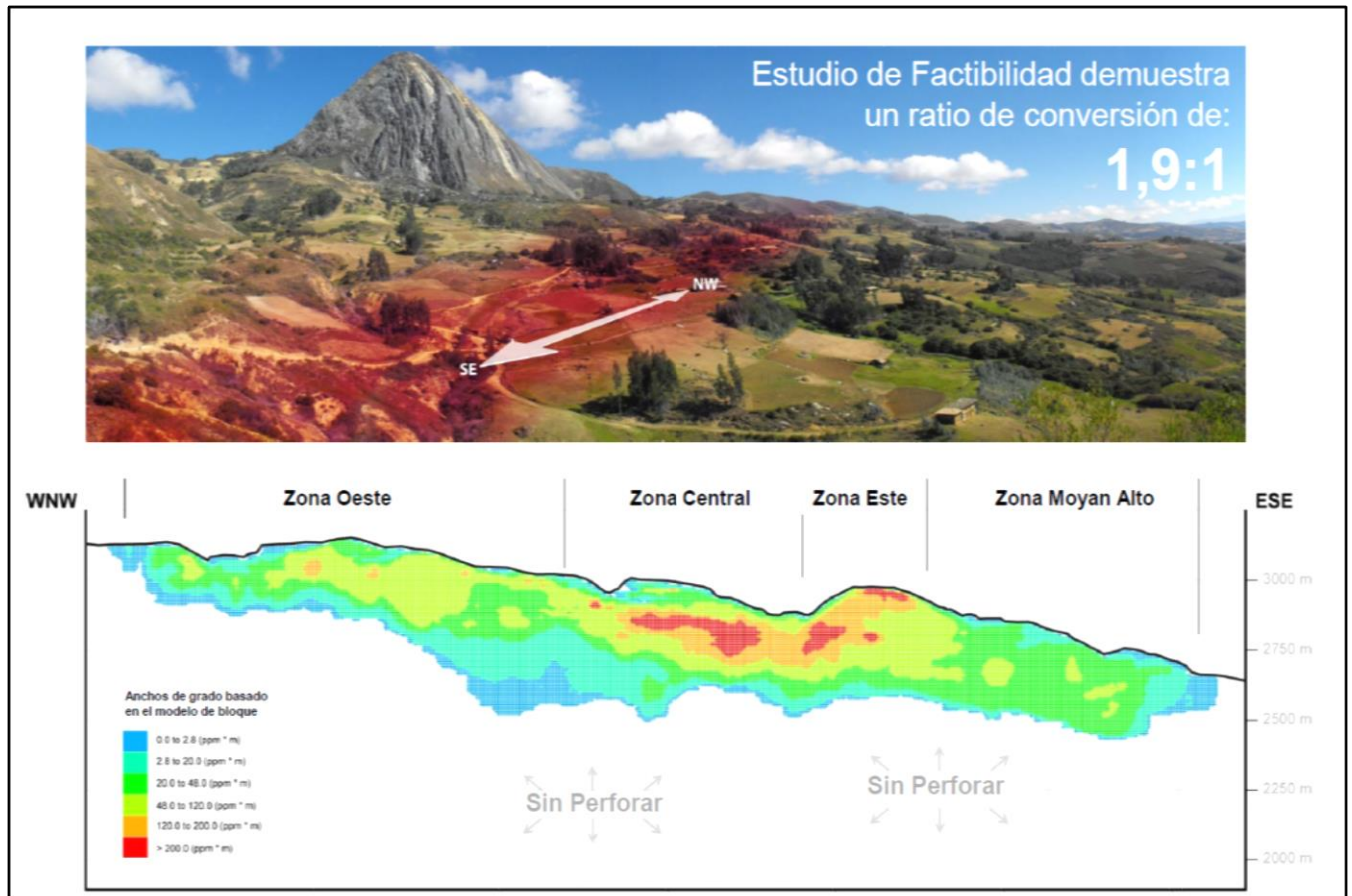
Fuente: Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”



Los cuadros indican el alza de recursos minerales medidos e inferidos hasta el año 2012.

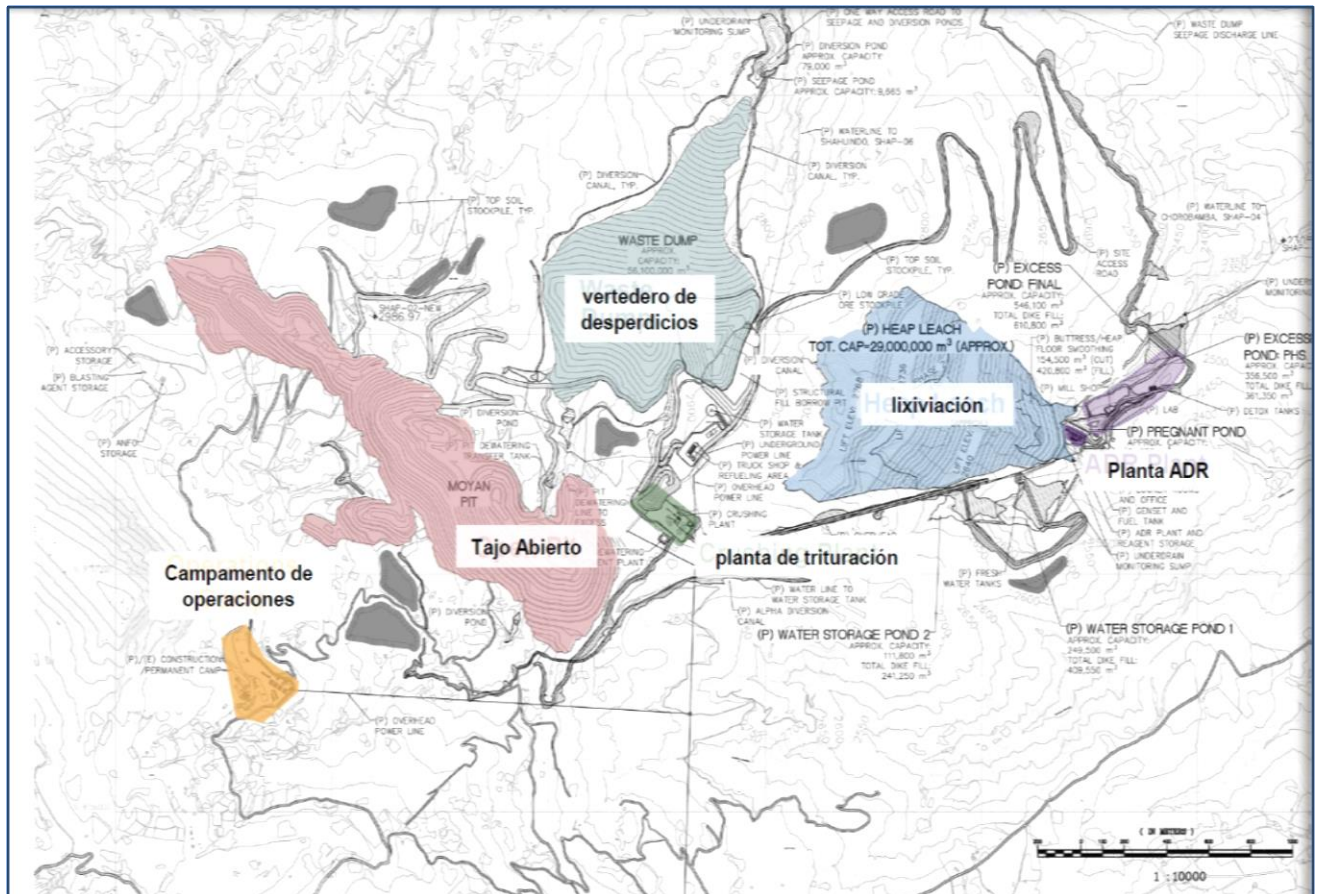
Anexo 3: Afloramiento de óxido de mineralización en la superficie

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”



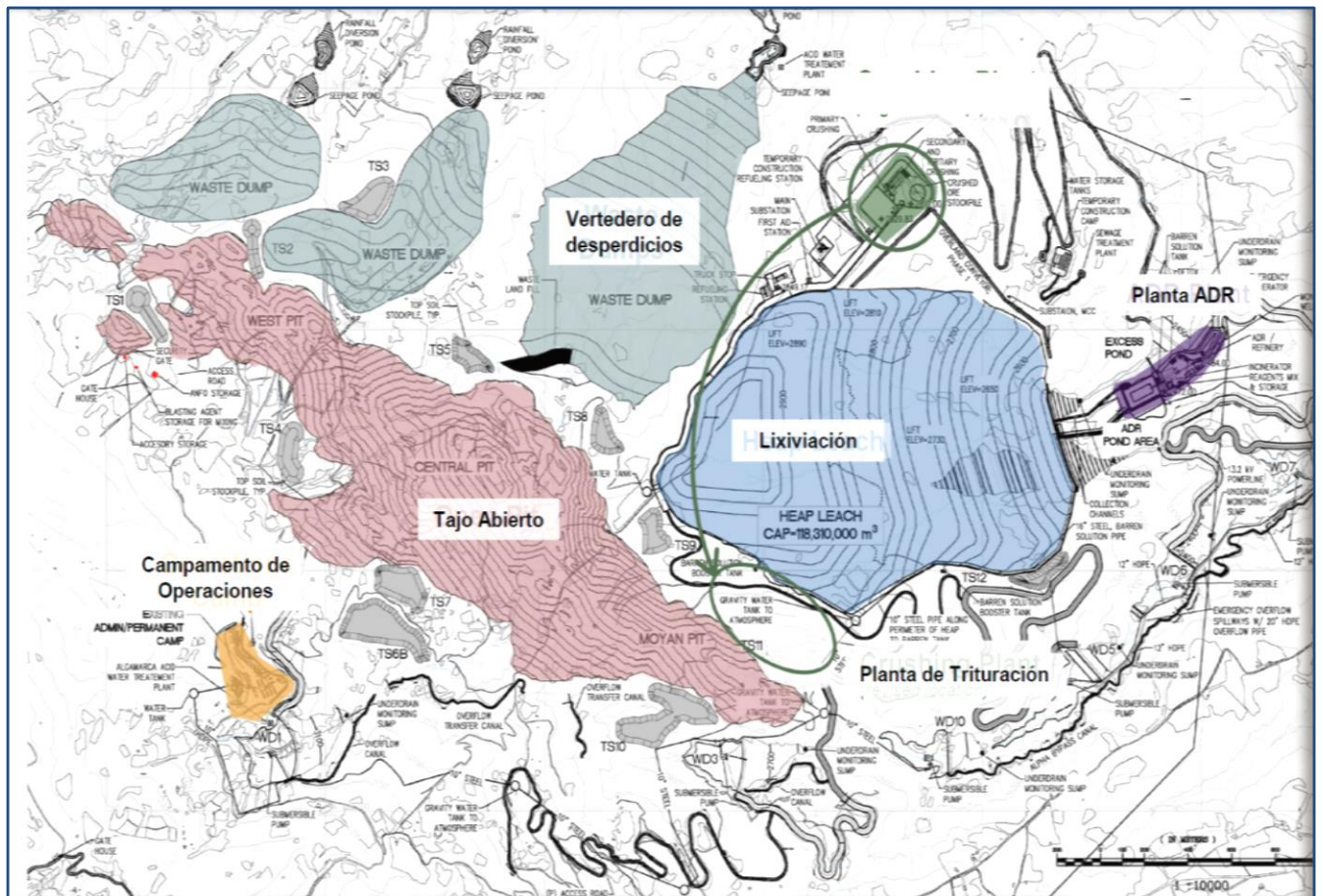
Anexo 4: Estudio de factibilidad, septiembre 2012, mina de 10000 toneladas por día

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”



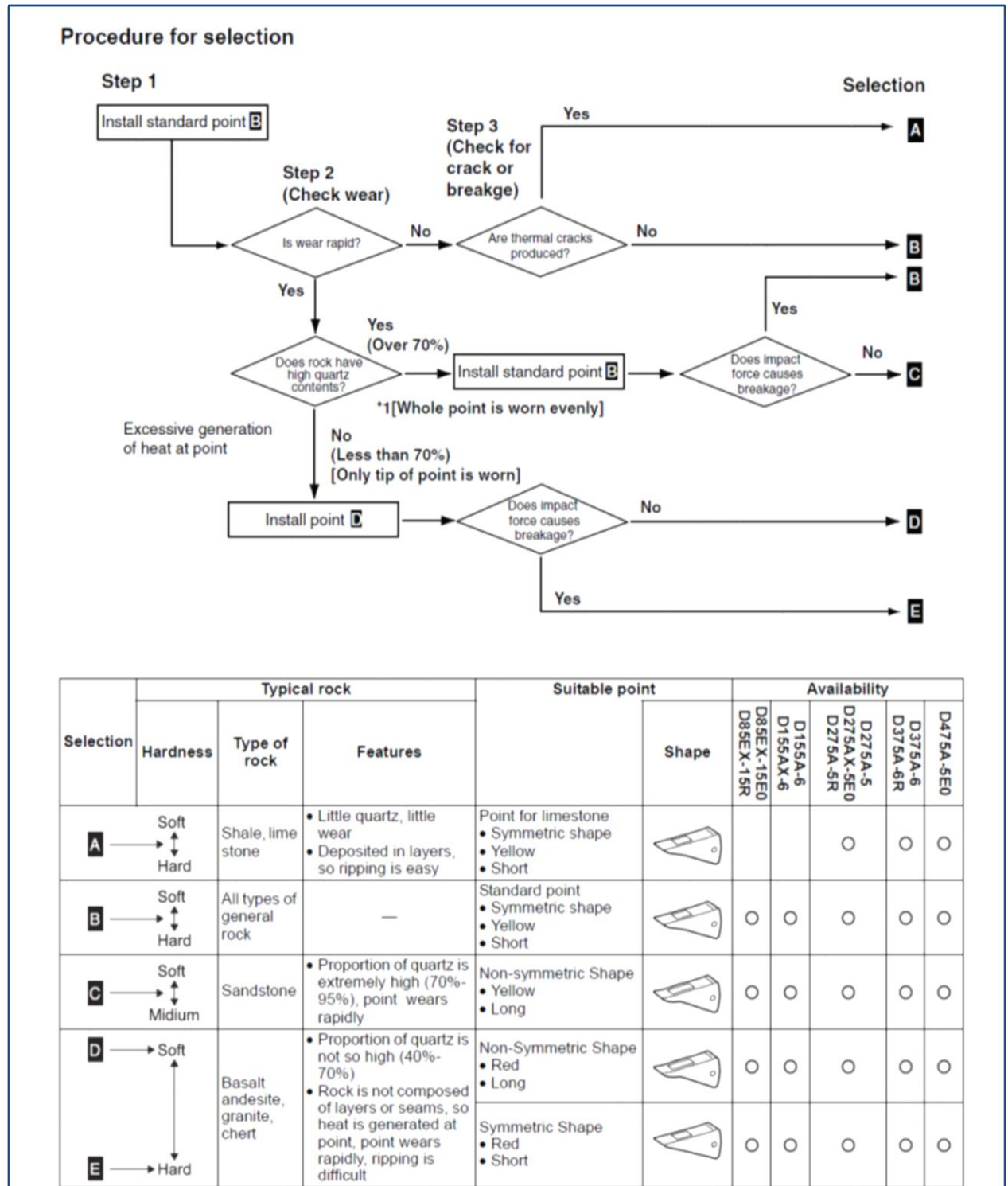
Anexo 5: Projectado escenario de expansión, diseño preliminar para la potencial ampliación de la mina.

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”



Anexo 6: Procedimiento para poder escoger la punta de Ripper adecuada

Fuente: KOMATSU (2009), *SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK*, Edición 30



Anexo 7: Comparativo con otros proyectos de Oxido de Oro

Fuente: Sulliden (2014), del contenido técnico “Un proyecto de Oro en Perú a bajo costo con pilas de lixiviación”

Compañía, Proyecto & Ubicación	Reporte Técnico	Precio de Oro \$	IRR (Pre- Tax)	IRR (Post Tax)	Producción Anual (Oz)	Vida de la mina	Costos Operativos (Per Oz) \$	CAPEX (\$)	Ratio de Conv.
Sulliden Gold Shahuindo, PERÚ	Estudio de factibilidad (Sept 26, 2012)	1300	45.6 %	33 %	87700	10 años	541	131.8 M	1.97:1
PMI Gold, Obotan, GHANA	Estudio de factibilidad (Aug 28, 2012)	1300	35 %	28 %	221500	11.5 años	626	296.6 M	5.6:1
Rainy River, Ontario	Estudio de factibilidad (Aug 29, 2012)	1250	21 %	--	308000	16 años	563	767 M	2.50:1
Lydian Intl., Amulsar, ARMENIA	Estudio de factibilidad (Sept 5, 2012)	1200	27.7 %	--	118000	12 años	469	270 M	2.23:1
Agnico Eagle, La India, Mexico	Estudio de factibilidad (Sept 4, 2012)	1379	41 %	31 %	90000	8 años	500	158 M	1:1
Torex Gold, Morelos, MEXICO	Estudio de factibilidad (Sept 4, 2012)	1276	--	24.2 %	337000	10.5 años	421	675 M	5.6:1

Anexo 8: Indicador de producción de tractores en la marca KOMATSU en Mina Barrick – Lagunas Norte

Fuente: Área de mantenimiento del Proyecto Lagunas Norte – BARRICK, La Libertad

