

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA PARA
ASEGURAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO APLICACIÓN
PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN LA QUINUA 8A**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MICHEL VALENZUELA ESPINOZA

Lima - Perú

2013

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | 3 |
| LISTA DE CUADROS..... | 4 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 6 |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS..... | 8 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| | |
| CAPÍTULO I : GENERALIDADES DEL PROYECTO PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN LA QUINUA 8A..... | 11 |
| 1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO..... | 11 |
| 1.2 DEFINICIÓN DE LA PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN..... | 12 |
| 1.3 PROCESO DE LIXIVIACIÓN..... | 14 |
| 1.4 PROCESO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN..... | 16 |
| 1.5 MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA OBRA A EJECUTAR..... | 21 |
| | |
| CAPÍTULO II : METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DIRECTA Y CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE LA MAQUINARIA PESADA..... | 24 |
| 2.1 RENDIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA..... | 24 |
| 2.2 FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA..... | 24 |
| 2.2.1 Factor Humano..... | 24 |
| 2.2.2 Factor Equipo..... | 25 |
| 2.2.3 Factor Condición de Obra..... | 27 |
| 2.2.4 Factor Eficiencia Horaria..... | 28 |
| 2.3 REGIMEN DE PRODUCCIÓN..... | 28 |
| 2.4 METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DIRECTA..... | 29 |
| 2.5 CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE LA MAQUINARIA PESADA DE LAS PARTIDAS EN PÉRDIDA..... | 30 |
| 2.5.1 Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado..... | 30 |
| 2.5.2 Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado..... | 34 |
| 2.5.3 Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado..... | 40 |
| 2.5.4 Rendimiento de la Excavadora en roca fragmentada por voladura..... | 44 |
| 2.5.5 Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 2.5.6 Rendimiento del Camión Volquete en el transporte de material..... | 52 |
| 2.5.7 Rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados..... | 56 |

**CAPÍTULO III: PROPUESTAS DE MEJORA PARA ASEGURAR LA
RENTABILIDAD Y RENDIMIENTOS ACTUALES DE OBRA.62**

| | |
|--|----|
| 3.1 CRITERIOS PARA MEJORAR LOS RENDIMIENTOS DE LA MAQUINARIA PESADA..... | 62 |
| 3.1.1 Excavación de material con tractor..... | 62 |
| 3.1.2 Carguío de material con excavadora..... | 64 |
| 3.2 RENDIMIENTOS ACTUALES DE MAQUINARIA PESADA EN OBRA... | 68 |
| 3.2.1 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno saturado..... | 68 |
| 3.2.2 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno no saturado..... | 71 |
| 3.2.3 Rendimiento Actual de la Excavadora en roca fragmentada por voladura..... | 75 |
| 3.2.4 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer..... | 79 |
| 3.2.5 Rendimiento Actual del Camión Volquete en el transporte de material... | 83 |
| 3.2.6 Rendimiento Actual del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados..... | 84 |

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 88

| | |
|--------------------------|----|
| 4.1 CONCLUSIONES..... | 88 |
| 4.2 RECOMENDACIONES..... | 90 |

BIBLIOGRAFÍA.....91

ANEXOS.....92

RESUMEN

La industria de la construcción en nuestro país ha crecido en una forma extraordinaria, ya que el desarrollo de diversas industrias como la minera, la petrolera, los proyectos de infraestructura y/o edificación, entre otros; generan un desarrollo a nuestro país que a su vez se refleja en tasa de crecimiento del sector construcción, según estadísticas oficiales del INEI y del BCRP (Ver Anexo 1). Sin embargo, no existe publicaciones, materia de mediciones reales en campo de los rendimientos de la maquinaria pesada producto de la preocupación de las empresas en la optimización de procesos constructivos y la administración de obra, los cuales permita finalizar una construcción sin pérdidas.

La mejor fuente de datos de los rendimientos son las estadísticas de cada empresa, GyM S.A. desde 1,933 viene realizando obras de construcción civil teniendo una estadística existente de rendimientos, la que refleja las condiciones reales de operación de la maquinaria pesada en una obra, lo que se convierte en el KNOW HOW de una empresa y aumenta su competitividad en el mercado.

El proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A, es una obra de movimiento de tierras donde la maquinaria pesada tiene un rol importante durante la construcción, porque el mayor costo se encuentra en la utilización de estos recursos, pero al identificar partidas en pérdida por actividades con rendimientos menores afectan los análisis de precios unitarios presentados durante la etapa de licitación del proyecto y en consecuencia la rentabilidad esperada.

El presente informe de suficiencia tiene como objetivo principal determinar los rendimientos de la maquinaria pesada en el proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A que asegure la rentabilidad. Se centrará en la medición del rendimiento de la maquinaria pesada por Observación Directa, metodología propia de la empresa y basado en conceptos del Manual de Rendimiento Caterpillar; con el fin de cumplir, mejorar y elevar los rendimientos propuestos para la ejecución de la obra en estudio. El mejoramiento de los rendimientos de la maquinaria pesada en obras de movimiento de tierras se refleja directamente en la rentabilidad de la empresa constructora, haciéndola más competitiva a otras empresas; y crea un precedente para la aplicación de esta metodología en futuros proyectos como una herramienta sencilla para asegurar la rentabilidad.

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro N° 1.- Cantidad de Equipos de Construcción del Proyecto en estudio... | 22 |
| Cuadro N° 2.- Partidas en pérdida del Proyecto en estudio..... | 23 |
| Cuadro N° 3.- Factor de Eficiencia en la Obra..... | 28 |
| Cuadro N° 4.- Tiempos para la excavadora en terreno saturado (I)..... | 32 |
| Cuadro N° 5.- Tiempos para la excavadora en terreno saturado (II) | 32 |
| Cuadro N° 6.- Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado..... | 33 |
| Cuadro N° 7.- Tiempo de empuje del tractor en terreno no saturado..... | 36 |
| Cuadro N° 8.- Tiempo de retroceso del tractor en terreno no saturado..... | 37 |
| Cuadro N° 9.- Tiempo de empuje y retroceso - Tractor en terreno no saturado.. | 38 |
| Cuadro N° 10.- Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado..... | 38 |
| Cuadro N° 11.- Tiempos para la excavadora en terreno no saturado (I)..... | 41 |
| Cuadro N° 12.- Tiempos para la excavadora en terreno no saturado (II)..... | 42 |
| Cuadro N° 13.- Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado..... | 42 |
| Cuadro N° 14.- Tiempos de excavadora en roca fragmentada por voladura (I).. | 45 |
| Cuadro N° 15.- Tiempos de excavadora en roca fragmentada por voladura (II).. | 46 |
| Cuadro N° 16.- Rendimiento de Excavadora en roca por voladura..... | 46 |
| Cuadro N° 17.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (I)..... | 50 |
| Cuadro N° 18.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (II)..... | 50 |
| Cuadro N° 19.- Rendimiento de Excavadora en roca blanda..... | 51 |
| Cuadro N° 20.- Distancias por Frente de Trabajo..... | 53 |
| Cuadro N° 21.- Tiempo de ciclo del camión volquete por Frente de Trabajo..... | 55 |
| Cuadro N° 22.- Tiempo de empuje del tractor en explotación en cantera..... | 58 |
| Cuadro N° 23.- Tiempo de retroceso del tractor en explotación en cantera..... | 58 |
| Cuadro N° 24.- Tiempo de empuje y retroceso del Tractor en cantera..... | 59 |
| Cuadro N° 25.- Rendimiento del Tractor en la explotación en cantera..... | 60 |
| Cuadro N° 26.- Tiempos de la Excavadora en terreno saturado (I)..... | 69 |
| Cuadro N° 27.- Tiempos de la Excavadora en terreno saturado (II)..... | 70 |
| Cuadro N° 28.- Rendimiento Actual de la excavadora en terreno saturado..... | 70 |
| Cuadro N° 29.- Tiempos de la excavadora en terreno no saturado (I)..... | 73 |
| Cuadro N° 30.- Tiempos de la excavadora en terreno no saturado (II)..... | 74 |
| Cuadro N° 31.- Rendimiento Actual de excavadora en terreno no saturado..... | 74 |
| Cuadro N° 32.- Tiempos de Excavadora en roca fragmentada por voladura (I).. | 77 |
| Cuadro N° 33.- Tiempos de Excavadora en roca fragmentada por voladura (II).. | 77 |
| Cuadro N° 34.- Rendimiento Actual de Excavadora en roca por voladura..... | 78 |

| | |
|--|----|
| Cuadro N° 35.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (I)..... | 81 |
| Cuadro N° 36.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (II)..... | 81 |
| Cuadro N° 37.- Rendimiento Actual de Excavadora en Roca Blanda..... | 82 |
| Cuadro N° 38.- Tiempos de empuje del tractor para la explotación en cantera.. | 85 |
| Cuadro N° 39.- Tiempos de retroceso del tractor para explotación en cantera... | 85 |
| Cuadro N° 40.- Tiempo empuje y retroceso - Tractor explotación en cantera.... | 86 |
| Cuadro N° 41.- Rendimiento Actual del Tractor en explotación de cantera..... | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 1.- Ubicación Compañía Minera Yanacocha SRL..... | 11 |
| Figura N° 2.- Ubicación - Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A..... | 12 |
| Figura N° 3.- Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A..... | 13 |
| Figura N° 4.- Plano en planta de la Plataforma de Lixiviación..... | 13 |
| Figura N° 5.- Corte A-A de la Plataforma de Lixiviación..... | 14 |
| Figura N° 6.- Corte B-B de la Plataforma de Lixiviación..... | 14 |
| Figura N° 7.- Plataforma de Lixiviación con niveles de mineral en 10 años..... | 15 |
| Figura N° 8.- Proceso de Lixiviación..... | 15 |
| Figura N° 9.- Corte A-A del Proceso de Lixiviación..... | 16 |
| Figura N° 10.- Topografía de la zona del proyecto..... | 16 |
| Figura N° 11.- Trabajo de Movimiento de Tierras (Excavaciones)..... | 17 |
| Figura N° 12.- Trabajo de Movimiento de Tierras (Rellenos)..... | 17 |
| Figura N° 13.- Drenes subterráneos (Subdrenes)..... | 18 |
| Figura N° 14.- Capa de Revestimiento del Suelo (Soil Liner)..... | 18 |
| Figura N° 15.- Colocación de la Geomembrana..... | 19 |
| Figura N° 16.- Colocación de la Capa de Protección (PL)..... | 19 |
| Figura N° 17.- Colocación de las Tuberías Colectoras de Solución..... | 20 |
| Figura N° 18.- Colocación de la Capa de Drenaje (DL)..... | 20 |
| Figura N° 19.- Sección Típica de una Plataforma de Lixiviación..... | 21 |
| Figura N° 20.- Definición de Rendimiento..... | 24 |
| Figura N° 21.- Capacidad nominal para el cucharón de una excavadora..... | 26 |
| Figura N° 22.- Factor de llenado del cucharón en excavadoras..... | 26 |
| Figura N° 23.- Factor de Disponibilidad Mecánica..... | 26 |
| Figura N° 24.- Factor de Carga..... | 27 |
| Figura N° 25.- Análisis de Precio Unitario de carguío en terreno saturado..... | 30 |
| Figura N° 26.- Situación encontrada de la Excavadora en terreno saturado..... | 31 |
| Figura N° 27.- Análisis de Precio Unitario Excavación en terreno no saturado...35 | 35 |
| Figura N° 28.- Situación encontrada del Tractor en terreno no saturado..... | 35 |
| Figura N° 29.- Ciclo del Tractor..... | 36 |
| Figura N° 30.- Análisis de Precio Unitario de carguío en terreno no saturado.... | 40 |
| Figura N° 31.- Situación encontrada de excavadora en terreno no saturado..... | 41 |
| Figura N° 32.- Análisis de Precio Unitario de carguío en roca por voladura..... | 44 |
| Figura N° 33.- Situación encontrada - Excavadora en roca por voladura..... | 45 |
| Figura N° 34.- Análisis de Precio Unitario de carguío en roca blanda..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura N° 35.- Situación encontrada de excavadora en roca blanda..... | 49 |
| Figura N° 36.- Distancia del Proyecto a los Depósitos..... | 53 |
| Figura N° 37.- Análisis de Precio Unitario de Partida de Transporte < 1 Km..... | 54 |
| Figura N° 38.- Análisis de Precio Unitario de Partida de Transporte > 1 Km..... | 54 |
| Figura N° 39.- Análisis de Precio Unitario Explotación de material en cantera... | 57 |
| Figura N° 40.- Situación encontrada de explotación de material en cantera..... | 57 |
| Figura N° 41.- Rendimiento vs. Distancia de empuje de un tractor..... | 62 |
| Figura N° 42.- Tractor sobre orugas trabajando en pendiente..... | 63 |
| Figura N° 43.- Pendiente vs. Mejora en rendimiento del tractor..... | 63 |
| Figura N° 44.- Posición de la hoja topadora del tractor para cada operación.... | 64 |
| Figura N° 45.- Altura del banco durante el carguío con excavadora..... | 64 |
| Figura N° 46.- Posición ideal del equipo de acarreo durante el carguío..... | 65 |
| Figura N° 47.- Zona de Trabajo para la excavadora en carguío..... | 65 |
| Figura N° 48.- Ángulo de giro óptimo de la excavadora en carguío..... | 66 |
| Figura N° 49.- Distancia ideal desde el borde de la excavadora..... | 66 |
| Figura N° 50.- Tiempo total de ciclo de viaje redondo de un camión..... | 67 |
| Figura N° 51.- Número óptimo de camiones Excavadora en terreno saturado... | 68 |
| Figura N° 52.- Situación Implementada - Excavadora en terreno saturado..... | 69 |
| Figura N° 53.- Número óptimo de camiones Excavadora Terreno no saturado.. | 72 |
| Figura N° 54.- Situación Implementada Excavadora en terreno no saturado.... | 73 |
| Figura N° 55.- Número óptimo de camiones Excavadora en roca por voladura.. | 76 |
| Figura N° 56.- Situación Implementada Excavadora en roca por voladura..... | 76 |
| Figura N° 57.- Número óptimo de camiones Excavadora en roca blanda..... | 79 |
| Figura N° 58.- Situación Implementada Excavadora en roca blanda..... | 80 |
| Figura N° 59.- Distancia del Proyecto a los Depósitos..... | 83 |
| Figura N° 60.- Situación Implementada del Tractor en explotación en cantera... | 84 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

| | | |
|---------------------|---|---|
| PU | : | Análisis de Precios Unitarios |
| CAT | : | Caterpillar |
| cm | : | Centímetros |
| DL | : | Capa de Drenaje (por sus siglas en inglés, Drainage Layer) |
| DLP | : | Ensayo de Penetración Dinámica Ligera |
| FIC | : | Facultad de Ingeniería Civil |
| HDPE | : | Polietileno de Alta Densidad (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) |
| HP | : | Caballos de Fuerza (por sus siglas en inglés, Horse Power) |
| Kg | : | Kilogramo |
| Km | : | Kilómetros |
| LLDPE | : | Polietileno de Baja Densidad Lineal (por sus siglas en inglés, Linear Low Density Polyethylene) |
| m.s.n.m.: | | Metros sobre el nivel del mar |
| m ³ | : | Metros cúbicos (Volumen) |
| m ³ xKm: | | Metro cúbico por Kilómetro |
| MYSRL: | | Minera Yanacocha SRL |
| PAD | : | Plataforma |
| PL | : | Capa de Protección (por sus siglas en inglés, Protective Layer) |
| seg | : | Segundos |
| UG | : | Unidad Geotécnica |
| und | : | Unidad |
| UNI | : | Universidad Nacional de Ingeniería |

INTRODUCCIÓN

El negocio de la construcción ha evolucionado, la complejidad de estos se ha ido incrementando, conforme los clientes depositan mayor responsabilidad en los contratistas, por consiguiente es necesario llevar un control de los rendimientos de los recursos más importantes que se utilizan en un Proyecto.

No es posible esperar utilidades cuando se descuida la utilización adecuada de los equipos de construcción en un proyecto de movimiento de tierras donde el mayor costo se encuentra en la utilización de estos recursos, por lo tanto es indispensable llevar un control de los rendimientos de la maquinaria pesada y corregir oportunamente las desviaciones que se presenten de acuerdo a los rendimientos de la maquinaria pesada presentados en los análisis de precios unitarios y asegurar la rentabilidad del proyecto.

El objetivo principal de este informe es determinar los rendimientos de la maquinaria pesada en el proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A que asegure la rentabilidad. Adicionalmente, elaborar la base de datos de los rendimientos reales de acuerdo a las condiciones de operación de la maquinaria pesada en la obra en estudio y obtener información confiable de los rendimientos que sirva para corregir nuevos presupuestos.

En el capítulo primero se muestra la ubicación del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A, se define lo que es una Plataforma de Lixiviación, se define lo que es un Proceso de Lixiviación, se describe el proceso constructivo de la obra a ejecutar y se reseña la memoria descriptiva del proyecto, donde se describe los antecedentes del proyecto, se describe el estudio geotécnico que se realizó para el proyecto en estudio y se muestran las cantidades estimadas de construcción de las partidas de acuerdo a la Planilla de Metrados entregado durante la etapa de licitación (Ver Anexo 2).

En el capítulo segundo se realiza el cálculo de los rendimientos de la maquinaria pesada de las seis partidas en pérdida por actividades con rendimientos menores a los indicados en los análisis de precios unitarios, los cuales son:

- 1) Rendimiento de Excavadora en terreno saturado**
- 2) Rendimiento de Excavadora y Tractor Buldózer en terreno no saturado**

- 3) Rendimiento de Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura**
- 4) Rendimiento de Excavadora en roca blanda removida por Tractor Buldózer**
- 5) Rendimiento de Camiones Volquete en el transporte de material**
- 6) Rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material de cantera para el zarandeo de materiales.**

El cálculo de los rendimientos de la maquinaria pesada se determina mediante la metodología de Observación Directa, basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 -2012), por el cual se obtiene el tiempo promedio de una operación o movimiento que realiza una maquinaria pesada en la ejecución de un trabajo, así como los tiempos de las maniobras, el tiempo de carga, el tiempo de descarga y el tiempo de transporte de material de acuerdo a la distancia del origen y destino. En éste, se realiza un comentario de los rendimientos de la maquinaria pesada obtenidos de la medición en campo, según las condiciones reales de operación de los equipos de construcción.

En el capítulo tercero se describe los conceptos y criterios para mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada en una obra de movimiento de tierras basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012), la implementación de estas propuestas de mejora al Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A, se presenta los resultados de los nuevos rendimientos calculados de la maquinaria pesada de las seis partidas en pérdida de acuerdo a la situación implementada en campo y se menciona los rendimientos actuales de la maquinaria pesada que se tiene en obra de las seis partidas en pérdida.

En el último capítulo se enuncian las conclusiones acerca de los objetivos planteados. A partir de estas conclusiones, se hacen algunas recomendaciones encaminadas a mejorar la competitividad de una empresa constructora.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas utilizadas durante el desarrollo del presente informe de suficiencia y se anexa información técnica del tema en estudio.

CAPÍTULO I : GENERALIDADES DEL PROYECTO PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN LA QUINUA 8A

1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

La Compañía Minera Yanacocha SRL, la mayor mina aurífera de Sudamérica, se encuentra ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 800 Km al norte de la ciudad de Lima, Perú.

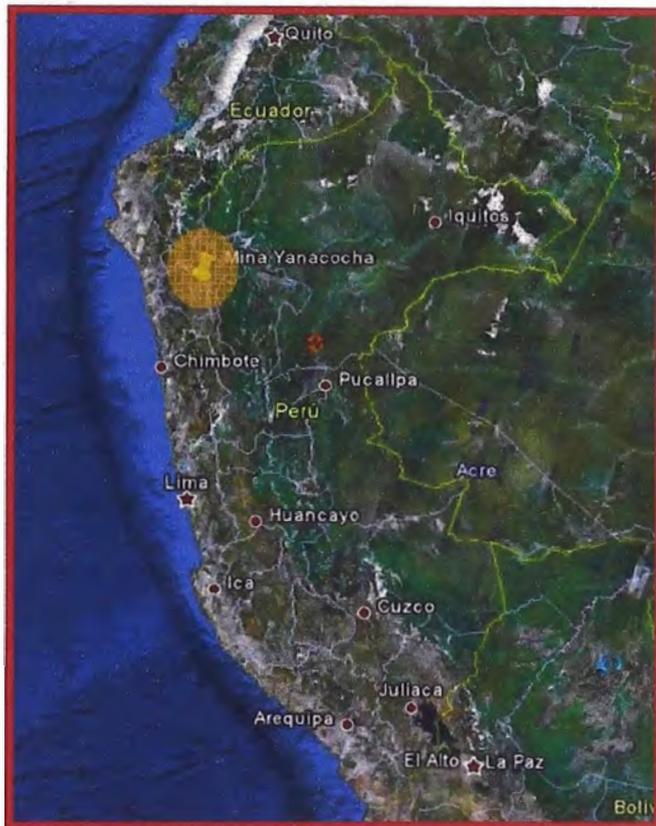


Figura N° 1.- Ubicación Compañía Minera Yanacocha SRL

La Compañía Minera Yanacocha SRL está situada a 45 Km al norte de la ciudad de Cajamarca, en el Perú. Se sitúa a gran altura en la cordillera de los Andes, entre 3.400 y 4.120 m.s.n.m. Inició sus operaciones en el Perú en el año 1993, el yacimiento lo componen cinco minas a cielo abierto, cuatro Plataformas de Lixiviación y tres plantas de recuperación de oro.

El Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A tiene una extensión aproximada de 120 hectáreas, está ubicado a 37 Km al norte de la ciudad de

Cajamarca teniendo como acceso principal la vía interprovincial Cajamarca – Bambamarca, la altitud del proyecto varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m.

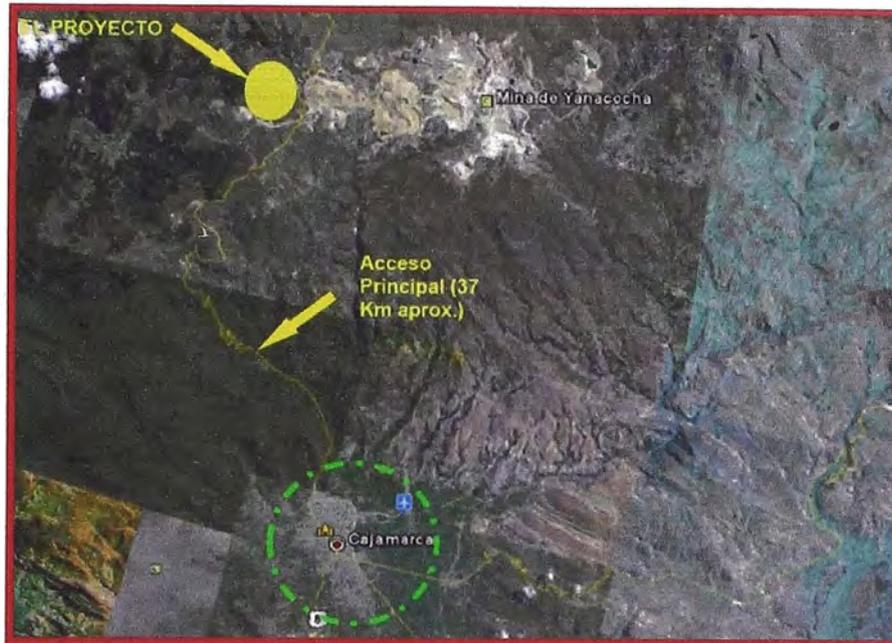


Figura N° 2.- Ubicación - Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A

1.2 DEFINICIÓN DE LA PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN

El uso de la Plataforma, también llamado “PAD” (en el idioma inglés que significa Plataforma), de Lixiviación para la extracción de metales diseminados o en bajas concentraciones se ha convertido en uno de los métodos más populares en los últimos tiempos y muchos de los proyectos de este tipo han sido desarrollados en minas del Perú. Los proyectos más grandes incluyen a la Minera Yanacocha SRL, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., Southern Perú Copper Corporation, Compañía Minera Caimolache S.A., entre otros.

Una **Plataforma de Lixiviación** es una gran cancha nivelada, protegida y aislada con geomembrana con la finalidad de no contaminar el terreno de fundación (subrasante), sobre la geomembrana se colocan dos capas de material seleccionado, una capa con la finalidad de proteger la geomembrana y una capa de drenaje con la finalidad de iniciar el Proceso de Lixiviación (Véase ítem 1.3), llegando así a la rasante de la estructura. La Plataforma de Lixiviación está bordeada en todo su perímetro por un canal de concreto llamado **Canal de Derivación**, para evitar que el agua de lluvia ingrese a la plataforma y no alterar

el balance del sistema que se desarrolla en el Proceso de Lixiviación, estas aguas descienden por el canal y los deriva a la quebrada natural. Finalmente, en la parte más baja de la plataforma se encuentra la **Poza de Procesos**, donde se depositará la "solución rica" resultado del Proceso de Lixiviación.



Figura N° 3.- Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A

En el plano en planta de la Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A, se muestran los Cortes A-A y B-B, que se explican a continuación:

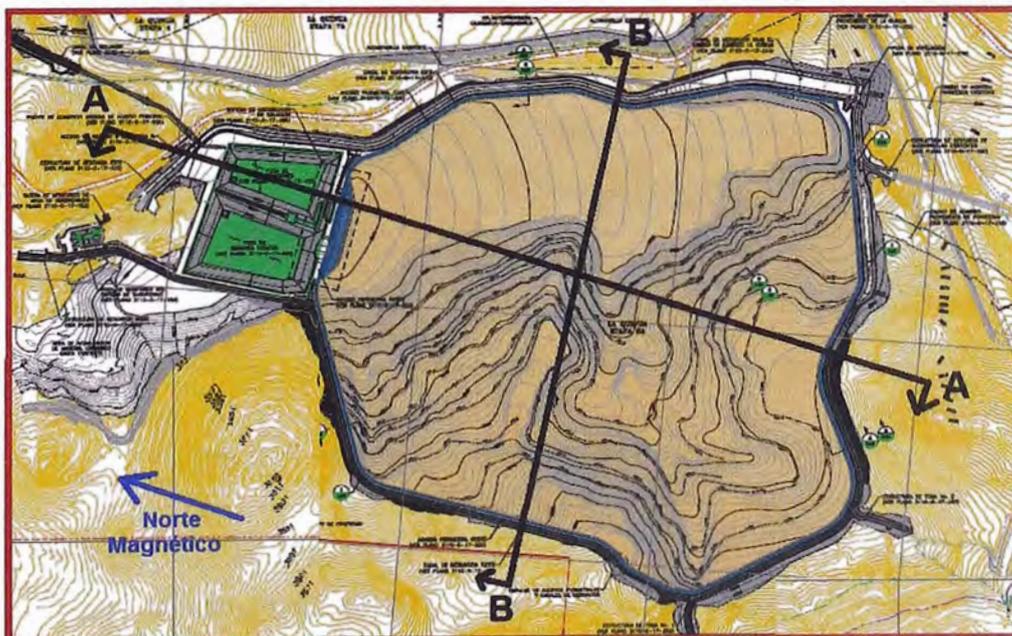


Figura N° 4.- Plano en planta de la Plataforma de Lixiviación

El Corte A-A muestra la rasante de la estructura de la Plataforma de Lixiviación, según el norte magnético, al norte se encuentra la Poza de Procesos notándose la pendiente en dirección hacia la poza y al sur se encuentra el canal de derivación sur bordeando el perímetro de la plataforma de lixiviación.

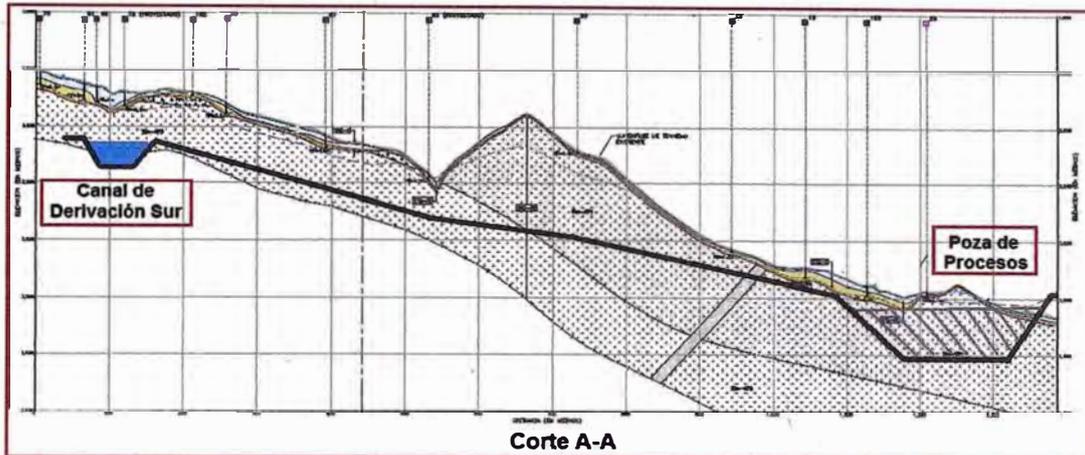


Figura N° 5.- Corte A-A de la Plataforma de Lixiviación

En Corte B-B muestra la rasante de la estructura de la Plataforma de Lixiviación, la pendiente en dirección hacia el centro de la plataforma y en ambos lados bordeando el perímetro de la plataforma se tienen los canales de derivación.

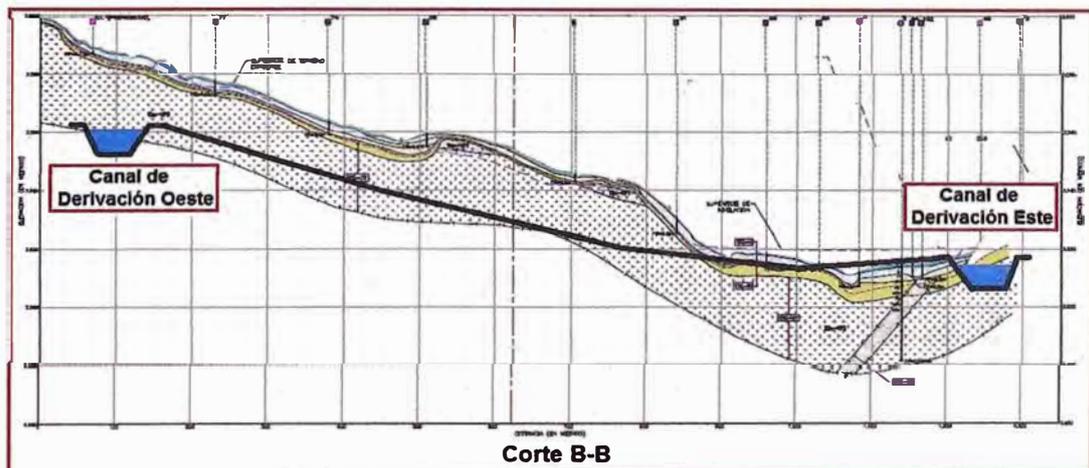


Figura N° 6.- Corte B-B de la Plataforma de Lixiviación

1.3 PROCESO DE LIXIVIACIÓN

Al culminar la construcción de una Plataforma de Lixiviación o una entrega parcial de la misma, la compañía minera empieza sus operaciones y el proceso

de producción, realizando el carguío y transporte del mineral proveniente del tajo mediante camiones gigantes que pueden cargar hasta 250 toneladas de material, éstos llevan el mineral que contiene oro en su composición y descargan sobre la Plataforma de Lixiviación a manera de pirámide escalonada (niveles).

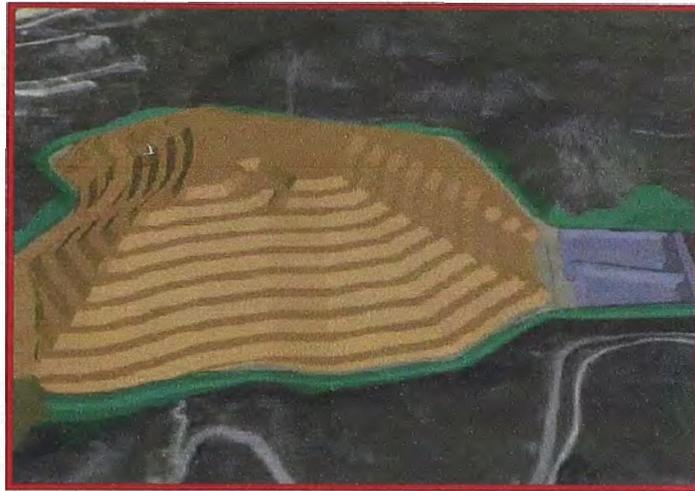


Figura N° 7.- Plataforma de Lixiviación con niveles de mineral en 10 años

Una vez depositado el mineral se realiza el **Proceso de Lixiviación**, es decir, se riega con una solución agua - cianuro (50 miligramos por litro de agua) a través de un sistema de goteo por mangueras y aspersores. Esta solución tiene la propiedad de disolver el oro y plata del mineral. Como resultado del proceso de lixiviación se obtiene una solución disuelta de oro y cianuro, llamada "solución rica", que pasa a una **Poza de Procesos** a través de tuberías de colección de solución colocadas en la base de la plataforma de lixiviación, desde donde se bombea hacia la planta de procesos para obtener el metal deseado.

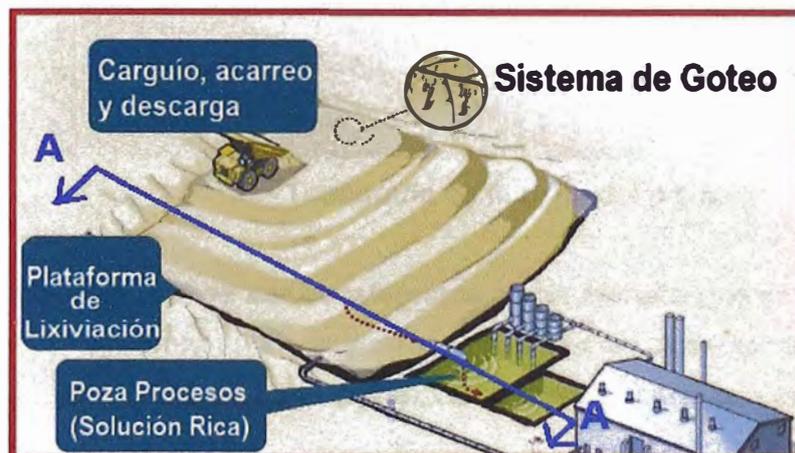


Figura N° 8.- Proceso de Lixiviación

Se muestra una vista del corte A-A del Proceso de Lixiviación, donde se aprecia la "solución rica" en tránsito desde la parte de arriba y tomando la pendiente de la plataforma de lixiviación, dirigiéndose hacia la parte más baja donde se encuentra la poza de procesos.

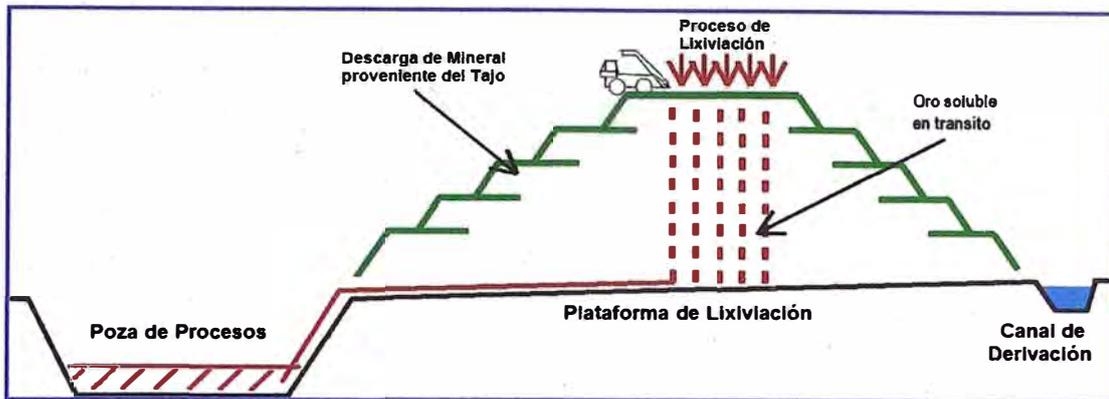


Figura N° 9.- Corte A-A del Proceso de Lixiviación

1.4 PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN

Generalmente la zona elegida para la construcción de una Plataforma de Lixiviación no son los más favorables, el terreno es irregular, con valles muy profundos, por donde discurren riachuelos, mesetas con pantanos, manantiales, lagunas y lomas de poca altura, todo cubierto con vegetación típica de la puna.

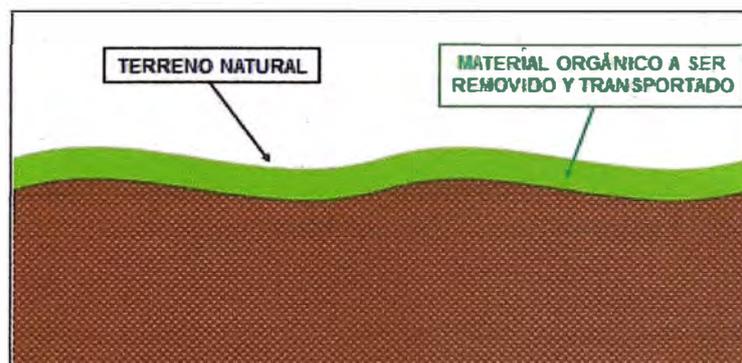


Figura N° 10.- Topografía de la zona del proyecto

La topografía original debe ser transformada de tal manera que se logre tener la forma de una plataforma nivelada y de poca pendiente, teniendo en cuenta que aguas abajo se construirán las pozas de procesos para la captación de la "solución rica".

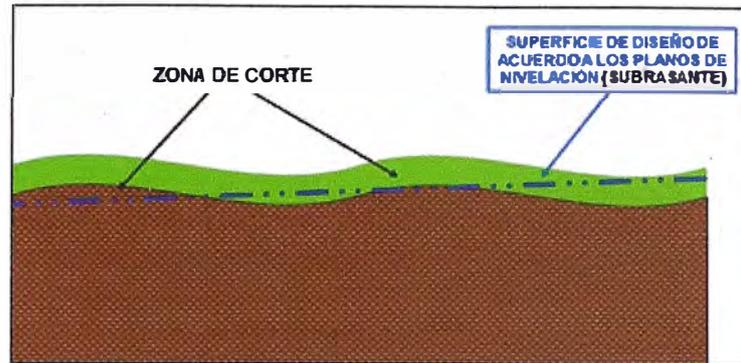


Figura N° 11.- Trabajo de Movimiento de Tierras (Excavaciones)

Los trabajos de movimiento de tierras son las excavaciones y rellenos. Las excavaciones consisten en el corte del terreno hasta llegar a una fundación libre de material inadecuado o a la superficie de diseño de acuerdo a los planos de nivelación (subrasante) y los rellenos consisten en el relleno de material seleccionado libres de sustancias deletéreas como basura, materia orgánica, productos perecibles, suaves, saturados o inadecuados de tal modo que tenga características uniformes y propiedades técnicas de acuerdo al tipo de relleno.

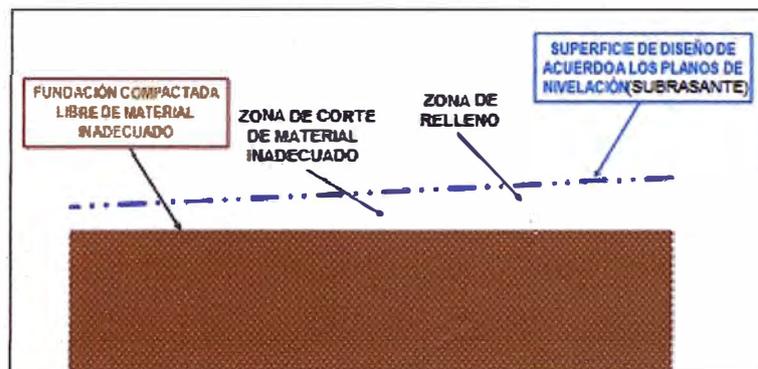


Figura N° 12.- Trabajo de Movimiento de Tierras (Rellenos)

Durante las excavaciones y rellenos se realiza la construcción de drenes subterráneos para controlar el agua de los manantiales (aguas subterráneas) por medio de canales llamados "subdrenes", estos son construidos a 2 metros de profundidad, en cada canal hay tuberías de 4 ó 6 pulgadas de acuerdo al diseño y la distribución en los planos de construcción, el canal es relleno y compactado con material común. La longitud y la cantidad de tuberías por canal dependen del caudal y la ubicación del manantial en el interior del perímetro de la plataforma de lixiviación.



Figura N° 13.- Drenes subterráneos (Subdrenes)

Luego de llegar al terreno de fundación (subrasante) de acuerdo a los planos de nivelación, se procede a la colocación de la Capa de Revestimiento del Suelo, el terreno es cubierto con una capa de material arcilloso de grano fino bien gradado de baja permeabilidad no mayor de 1×10^{-6} cm/seg, también conocido como "Soil Liner" (en el idioma inglés que significa Revestimiento de Suelo), la capa tiene 30 cm de espesor y se compacta para lograr esta permeabilidad. Esta capa de revestimiento de suelo tiene la función de ser aislante, para evitar la percolación de la solución rica en caso de una posible rotura de la geomembrana.

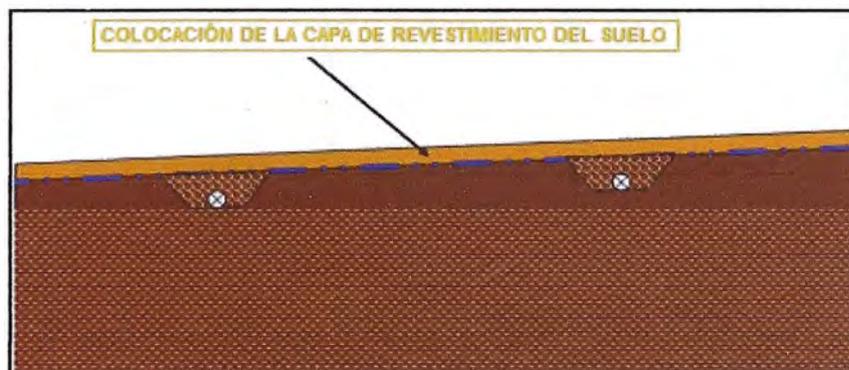


Figura N° 14.- Capa de Revestimiento del Suelo (Soil Liner)

Sobre la capa de revestimiento del suelo (Soil Liner) se procede a la colocación de la Geomembrana, que es una lámina polimérica impermeables, la geomembrana es colocada una tras otra con un traslape de 20 cm para permitir las soldaduras entre las láminas, éstas son instaladas desde la base de la plataforma hacia el perímetro donde finalmente son anclados en la parte externa de la plataforma. La geomembrana es de HDPE (Polietileno de Alta Densidad) o

LLDPE (Polietileno de Baja Densidad) de 2 mm (80 mil) o 1.5 mm (60 mil) de acuerdo al diseño y la distribución de la geomembrana.

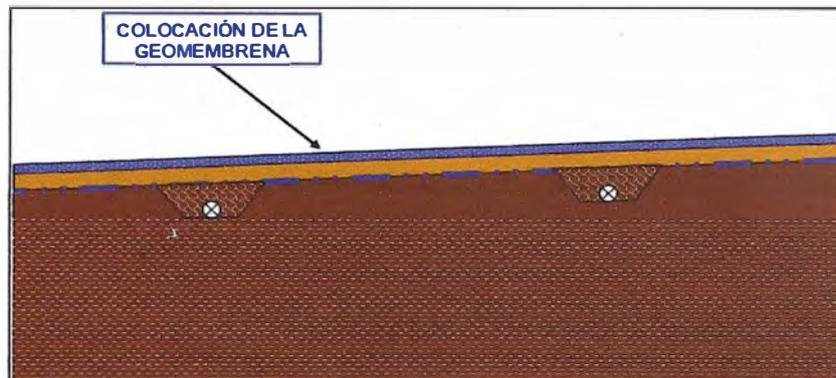


Figura N° 15.- Colocación de la Geomembrana

Sobre la geomembrana se procede a la Colocación de la Capa de Protección, que es un material de arena gravosa limosa bien gradada que se obtendrá de las operaciones de chancado y/o zarandeo, también conocido como "PL" (siglas de "Protective Layer" que en idioma inglés significa capa de protección), el espesor de la capa de protección es de 30cm. La capa de protección (PL) tiene la función de proteger la geomembrana de los impactos del mineral que se apilará sobre ella, sirve como amortiguación a las tuberías colectoras y matrices, que son instalados sobre la capa de protección (PL).

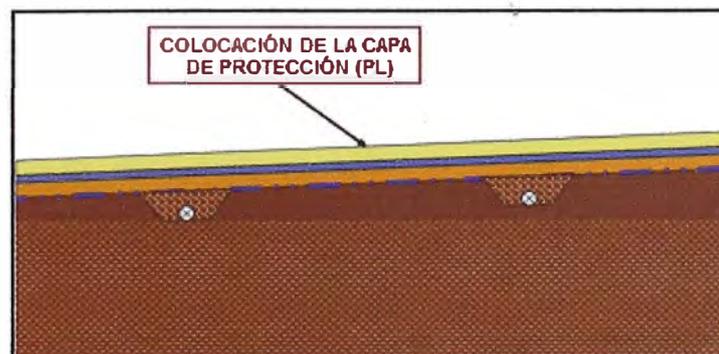


Figura N° 16.- Colocación de la Capa de Protección (PL)

Sobre la capa de protección se procede a la colocación de Tuberías Colectoras de Solución que son tuberías que están instaladas formando un ángulo de 45° con la tubería principal, la tubería principal está instalada sobre la línea de máxima pendiente de un área. Las tuberías colectoras y principales son

perforadas, estas perforaciones permite que la “solución rica” sea conducida por la tubería. La forma como están dispuestas las tuberías en la base de la plataforma es similar a una cuenca hidrográfica, formado por riachuelos, que van a los ríos y descargan en un lago. Las tuberías colectoras son como pequeños riachuelos que alimentan a un río mayor, lo llamaremos tuberías principales y estas alimentarán a otro y lo llamaremos tuberías matrices, y este finalmente llega a la parte baja de la plataforma ingresando a la poza de procesos.

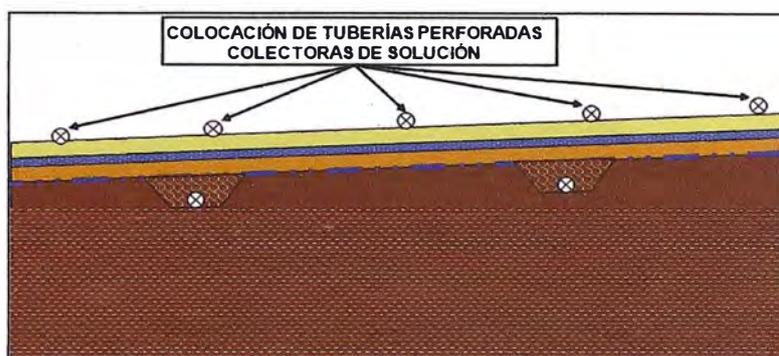


Figura N° 17.- Colocación de las Tuberías Colectoras de Solución

Finalmente, se procede a la Colocación de la Capa de Drenaje que consiste en una grava gruesa mal gradada que se obtendrá de las operaciones de chancado y/o zarandeo, también conocido como “DL” (siglas de “Drainage Layer” que en idioma inglés significa capa de drenaje), el espesor de la capa es de 35cm. La capa de drenaje (DL) tiene la función de proteger las tuberías colectoras de solución de los impactos del mineral que se apilará sobre ella y como dren para conducir la “solución rica” por las tuberías colectoras de solución hacia la poza de procesos.

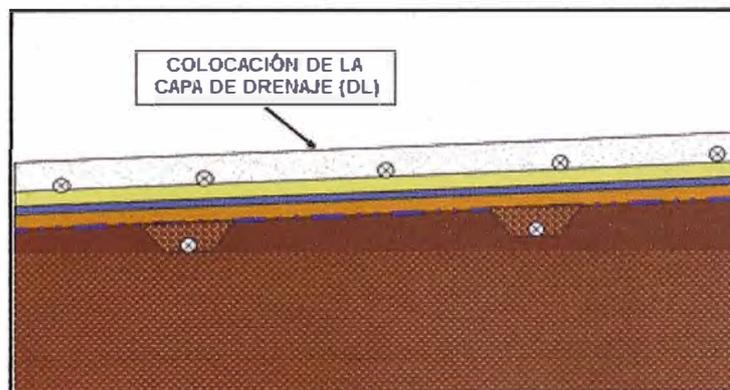


Figura N° 18.- Colocación de la Capa de Drenaje (DL)

De esta manera, se tiene una sección típica de la estructura de la Plataforma de Lixiviación, donde se procederá a apilar el mineral extraído a manera de pirámide escalonada para posteriormente realizar el Proceso de Lixiviación.

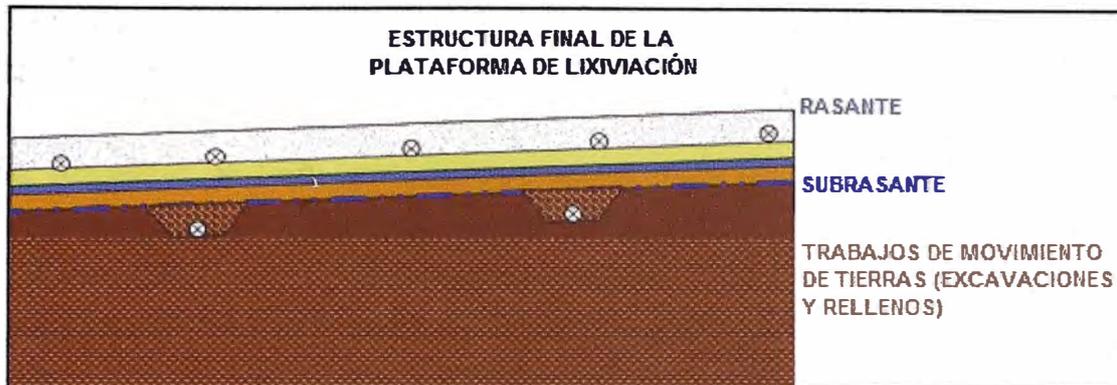


Figura N° 19.- Sección Típica de una Plataforma de Lixiviación

1.5 MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA OBRA A EJECUTAR

La propuesta del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A fue materia de una licitación privada por invitación por parte de la Compañía Minera Yanacocha SRL en el mes de noviembre del año 2010 a las empresas tales como: Odebrecht, Mota Engil, JJC, San Martín, Skanska y GyM S.A. (Ver Anexo 3).

El proceso de licitación tuvo una duración de 3 meses y en el mes de febrero del año 2011 le otorgan a la empresa constructora GyM S.A. la Buena Pro para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A al 100% del presupuesto base, la modalidad del tipo del contrato es a Precios Unitarios y se elaboró el presupuesto y el análisis de los precios unitarios con el programa S10.

La construcción del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se inició el 01 de marzo del 2011, fecha que marca el Hito consignado en las bases del contrato (Ver Anexo 4), el plazo de ejecución de la obra es de 29 meses donde se consideró en el cronograma de obra cuatro meses de paralización de la obra por lluvia de acuerdo al clima de la zona, los meses de febrero y marzo del 2012 y 2013 (Ver Anexo 5).

Por tal motivo, en la primera paralización, febrero y marzo del 2012, de un total de 260 operadores de maquinaria pesada que se tenía en la obra se despidió a 200; de tal manera que con los operadores restantes solamente se realizaban trabajos de medioambiente, mantenimiento de vías y otras actividades que no eran afectados por la lluvia.

En consecuencia, por la gran demanda laboral en el sector construcción que en la actualidad el Perú está viviendo se generan cientos de empleos y las empresas buscan contratar a personal calificado, en nuestro caso, a operadores de maquinaria pesada hábiles y con mucha experiencia. De esta manera, la mayoría de los operadores de maquinaria pesada que se había despedido fueron a trabajar a otras obras alrededor del Perú.

Al reiniciar la construcción de la obra Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A en el mes de marzo del 2012, se contrató operadores de maquinaria pesada que cumplieran los requisitos para trabajar en una obra civil dentro de una mina, pero que no tenían la habilidad y la experiencia de los operadores de maquinaria pesada que se tenía trabajando en el proyecto en el 2011.

Los equipos de construcción para la ejecución del Proyecto Plataforma de Lixiviación 8A son:

Cuadro N° 1.- Cantidad de Equipos de Construcción del Proyecto en estudio

| Equipo de Construcción | Cantidad | Horas Máquina Totales |
|---|-----------------|------------------------------|
| Excavadora CAT 336DL, 247 HP | 14 | 76,500 |
| Tractor CAT D8T, 310 HP | 8 | 57,000 |
| Tractor CAT D7R, 240 HP | 4 | 20,000 |
| Cargador Frontal de ruedas CAT 966H | 6 | 29,000 |
| Rodillo Liso Vibratorio CAT de 10 Ton. | 6 | 29,000 |
| Rodillo Pata de Cabra Vibratorio CAT de 10 Ton. | 1 | 5,000 |
| Motoniveladoras CAT 140K, 170 HP | 6 | 29,000 |
| Retroexcavadoras de ruedas CAT 420E | 6 | 25,000 |
| Minicargadores CAT 246C | 4 | 15,000 |
| Camiones Volquete Volvo de 15m3 | 76 | 491,500 |

Fuente: Elaboración Propia

En el mes de mayo del 2012, en el proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A se identificaron cuatro partidas de excavación, una partida de producción de agregados y una partida de transporte de material en pérdida por actividades con rendimientos menores afectando los análisis de precios unitarios y la rentabilidad de la obra. Es preciso resaltar que en este proyecto estas 06 partidas tienen una gran incidencia porque representan el 48.69% del presupuesto de costo directo, las cuales son:

Cuadro N° 2.- Partidas en pérdida del Proyecto en estudio

| Ítem | Descripción / Actividad | Und. | Cantidad | PU (\$) | Parcial (\$) | % |
|-------------|---|--------------------|------------|---------|----------------------|---------------|
| 1,00 | Excavaciones | | | | 10.827.459,18 | 19.19% |
| 1,01 | Excavación y carguío de Material en terreno saturado | m ³ | 1,172,000 | 2.88 | 3,375,360.00 | |
| 1,02 | Excavación y carguío de roca fragmentada por voladura | m ³ | 861,100 | 3.34 | 2,876,074.00 | |
| 1,03 | Excavación y carguío de roca blanda removida por Tractor | m ³ | 737,550 | 3.44 | 2,537,172.00 | |
| 1,04 | Excavación y carguío de Material en terreno no saturado | m ³ | 856,661 | 2.38 | 2,038,853.18 | |
| 2,00 | Chancado y Zarandeo de agregados | | | | 3,830,719.35 | 6.79% |
| 2,01 | Explotación de material de cantera para zarandeo de agregados | m ³ | 619,858 | 6.18 | 3,830,719.35 | |
| 3,00 | Transporte de Material | | | | 12,808,126.50 | 22.71% |
| 3,01 | Transporte de material en general | m ³ xkm | 32,841,350 | 0.39 | 12,808,126.50 | |

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II : METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DIRECTA Y CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE LA MAQUINARIA PESADA

2.1 RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA

El rendimiento es la cantidad de productos que se realiza en una unidad de tiempo (Dr. Juan Ríos Segura – Apuntes de Clase FIC-UNI 2012).

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{PRODUCTOS}}{\text{TIEMPO}}$$

Figura N° 20.- Definición de Rendimiento

Para nuestro caso, en el Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A que es una obra de movimiento de tierras, el rendimiento de una maquinaria pesada será el número de unidades de trabajo o de obra que se realiza en una unidad de tiempo, generalmente una hora.

Las unidades de trabajo o de obra más comúnmente empleadas en una obra de movimiento de tierras son el m³ y m³xKm. La unidad de tiempo más empleada es la hora, aunque a veces el rendimiento se expresa por día.

2.2 FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA

2.2.1 Factor Humano

2.2.2 Factor Equipo

2.2.3 Factor Condición de Obra

2.2.4 Factor Eficiencia Horaria

2.2.1 Factor Humano

a) **Habilidad y experiencia del operador:** según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) un operador de maquinaria pesada con experiencia y habilidad, trabajando en condiciones apropiadas y utilizando una maquinaria moderna constituye un equipo de operador-máquina que puede obtener la

máxima producción. La habilidad y experiencia del operador se verá reflejado en el cálculo del rendimiento de la maquinaria pesada en el ítem 2.4.

b) Administración de obra: para todos los trabajadores en el régimen de construcción civil su pago de remuneración semanal es la mayor motivación para trabajar, el pago de las remuneraciones de acuerdo a la categoría del trabajador en el régimen de construcción civil se encuentran establecidas en las leyes del Perú. Por lo tanto, la remuneración de pago semanal a los trabajadores no debe de tener ningún error, ya que, esto traería en consecuencia descontento, incomodidad y desconfianza en los trabajadores lo cual afecta el desempeño durante sus labores.

c) Dirección de Trabajo: la falta de supervisión de trabajo, falta de técnicas para un mejor aprovechamiento de los recursos, las maneras inadecuadas de utilizar los equipos de construcción y la poca experiencia por parte de los que dirigen el proyecto (supervisores) generan trabajos no contributivos. Según el Dr. Juan Ríos Segura (Apuntes de Clase FIC-UNI 2012) son las actividades que no generan valor y que caen directamente en la categoría de pérdida, como por ejemplo: el operador esperando ordenes, esperando por evaluación o muestreo de material para empezar el carguío y en general todas las esperas por algún motivo. Esto se verá reflejado en el cálculo del rendimiento de la maquinaria pesada en el ítem 2.4 y mencionando las propuestas de mejora en el capítulo III.

d) Logística: la falta de materiales, equipo de protección personal, equipos y herramientas cuando se necesitan influyen negativamente en el rendimiento de la maquinaria pesada.

2.2.2 Factor Equipo

a) Factor de Llenado del cucharón: según el Manual de Rendimiento Caterpillar (4-132 Edición 42) para el caso de las excavadoras, el factor de llenado del cucharón es un porcentaje de la capacidad colmada del cucharón, también conocido como capacidad nominal del cucharón de acuerdo al modelo de excavadora. La capacidad colmada de cucharón es la capacidad a ras más el

volumen de material colmado por encima del nivel a ras, con un ángulo de reposo de 1:1.

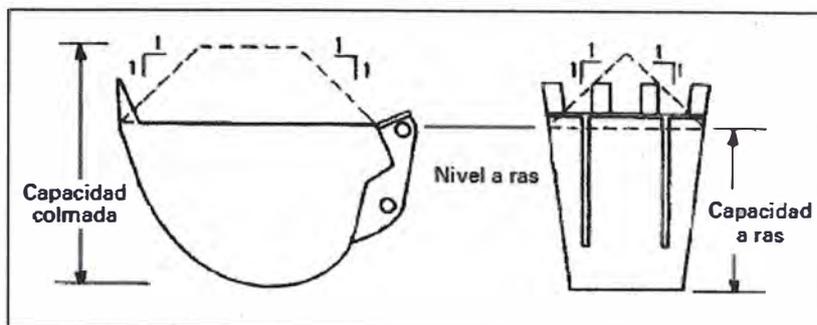


Figura N° 21- Capacidad nominal para el cucharón de una excavadora

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012)

Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (4-156 Edición 42), se tiene los siguientes valores de factor de llenado según el tipo de material para el carguío de material con excavadora:

| Material | Gama de factor de llenado (porcentaje de la capacidad colmada del cucharón) |
|------------------------------------|---|
| Marga mojada o arcilla arenosa | A - 100-110 % |
| Arena y grava | B - 95-110 % |
| Arcilla dura y compacta | C - 80-90 % |
| Roca bien fragmentada por voladura | 60-75 % |
| Roca mal fragmentada por voladura | 40-50 % |

Figura N° 22.- Factor de llenado del cucharón en excavadoras

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012)

b) Factor de Disponibilidad Mecánica: según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) es el porcentaje de las horas reales trabajadas por año entre las horas programadas por año. Es afectado por la calidad del equipo, asistencia técnica (partes y servicios) y las prácticas de mantenimiento.

$$\text{Disponibilidad Mecánica} = \frac{\text{Horas Reales Trabajadas por año}}{\text{Horas Programadas por año}} \times 100$$

Figura N° 23.- Factor de Disponibilidad Mecánica

2.2.3 Factor Condición de Obra

a) **Naturaleza, disposición y grado de humedad del terreno:** las obras de movimiento de tierras son licitadas en m^3 en banco y las valorizaciones se dan en m^3 en banco pero son operadas en m^3 sueltos. La densidad de los materiales es una característica que afecta el rendimiento y se define como el peso del material por unidad de volumen (Kg/m^3), la densidad en banco se define como el peso del material en su estado natural por unidad de volumen y la densidad suelta se define como el peso del material fuera de su estado natural por unidad de volumen.

Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para calcular el rendimiento de una maquinaria pesada en metros cúbicos en banco debe aplicarse el factor de carga debido a la naturaleza, disposición y grado de humedad del terreno apropiado de la sección del Tablas 27-4 del Manual de Rendimiento Caterpillar (Ver Anexo 6). El factor de carga es la inversa del factor esponjamiento.



Figura N° 24.- Factor de Carga

b) **Reducción de Potencia debido a la altitud:** Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42), el factor de reducción de potencia debido a la altitud es un factor dado de acuerdo al modelo del equipo que se está utilizando y está en función a la altitud sobre el nivel del mar donde se está realizando la operación del equipo.

El factor de reducción de potencia debido a la altitud se obtiene de la sección de Tablas 27-5, 27-6, 27-7, 27-8, 27-9, 27-10 y 27-11 del Manual de Rendimiento Caterpillar (Ver Anexo 7).

2.2.4 Factor Eficiencia Horaria: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) es el porcentaje del número real de minutos que se trabaja en hora; varía según las condiciones de trabajo, habilidad del operador, disciplina en la obra, disciplina en su empresa, seguridad y medio ambiente.

Cuadro N° 3.- Factor de Eficiencia en la Obra

| Eficiencia Horaria en la Obra | |
|--------------------------------------|-------------------|
| Tiempo de trab./h | Eficiencia |
| 60 Min | 100 % |
| 55 | 91 % |
| 50 | 83 % |
| 45 | 75 % |
| 40 | 67 % |

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

2.3 RÉGIMEN DE PRODUCCIÓN

Las industrias son tan diferentes y los procesos productivos tan variados, que al clasificarlos de acuerdo a su régimen de producción, se observa un orden creciente de complejidad, partiendo de aquellas industrias en que la producción sigue una línea de operaciones consecutivas como es el caso de la industria de la construcción hasta llegar a las más complicadas, es decir, las de producción simultánea, a través de procesos productivos conjuntos. Según la Guía de Fundamentos para la dirección de Proyectos se distinguen tres tipos de régimen de producción que encierran a todos los procesos productivos:

a) Régimen de Producción Intermitente por lotes de trabajo

Este régimen también es conocido por “órdenes de producción” o “lotes específicos de trabajo”, la producción se hace sobre distintos trabajos o lotes de productos. Cuando un proceso recibe la producción de otro proceso, ambos procesos están dentro de un arreglo secuencial; en estos procesos la transformación de las materias primas obedece a una serie de etapas secuenciales, es decir, la producción se realiza a través de dos o más procesos, de tal forma que la producción terminada en un proceso constituye total o parcialmente el material directo del proceso siguiente. Por ejemplo: construcción de edificios, montaje de estructuras y en general la industria de la construcción.

b) Régimen de Producción Múltiple, en paralelo o convergente

En estas industrias los productos se transforman a través de procesos separados y, posteriormente, las partes o piezas semielaboradas se arman, mezclan o fusionan en un proceso, que puede ser el final o el primero de otra nueva línea de procesos consecutivos. Por ejemplo: la industria automotriz.

c) Régimen de Producción conjunto, simultáneo o divergente

Es característico en estas industrias que partiendo de una materia prima básica que puede sujetarse a uno o varios procesos iniciales de transformación, se rompe, se separe o subdivida, surgiendo simultáneamente diversos productos o semiproductos en cuyo último caso, cada uno de éstos se someterá a uno o varios procesos propios de transformación, hasta la obtención de los diversos artículos elaborados. Por ejemplo: la industria del petróleo.

2.4 METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DIRECTA

La metodología para la medición de los rendimientos de la maquinaria pesada por Observación Directa es propia de la empresa y está basada en la teoría y conceptos del Manual de Rendimientos Caterpillar (Edición 42 – 2012), con el cual se establece el tiempo necesario que una maquinaria pesada requiere para la ejecución de una operación. El método que se utiliza para analizar los tiempos, es el de tiempos promedios, por el cual se obtiene el tiempo promedio de una operación o movimiento que realiza una maquinaria pesada en la ejecución de un trabajo.

Las mediciones de los tiempos para el cálculo de los rendimientos de la maquinaria pesada son realizadas por uno o varios observadores que utilizan un reloj o cronómetro y formatos diseñados, en los cuales se registra los tiempos que se observa en la ejecución de cada una de las operaciones de la maquinaria pesada; con la información de campo registrada en los formatos se realiza el cálculo del rendimiento de la maquinaria pesada en estudio y poder así analizar, comparar y mejorar los tiempos de los ciclos con soluciones reales y tomadas de inmediato. Esta metodología cumple dos funciones: Primero, informa lo que se está haciendo y cómo se está haciendo el trabajo en campo de acuerdo a las condiciones reales de operación de la maquinaria pesada; y segundo, permite generar cambios y modificaciones que permiten el mejoramiento en términos de

rendimiento de la maquinaria pesada. La utilización de esta metodología incluye las siguientes etapas generales:

- Observación e identificación de los problemas.
- Registro de la información de los tiempos del trabajo en campo.
- Cálculo de los rendimientos de los recursos utilizados.
- Generación de alternativas de mejoramiento.
- Selección de la mejor alternativa.
- Desarrollo de un plan de acción e implementación de las propuestas de mejora del trabajo en campo.
- Seguimiento y control de lo implementado.

Con esta metodología identificamos las causas que no permiten que nuestras operaciones sean óptimas, y así una vez identificados podremos tomar medidas que nos ayuden a eliminar o minimizar su incidencia; con el fin de cumplir, mejorar y elevar los rendimientos de la maquinaria pesada propuestos para la ejecución de una obra.

2.5 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA DE LAS PARTIDAS EN PÉRDIDA

2.5.1 Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se tiene un rendimiento previsto para el carguío de material en terreno saturado de 1,200 m³/día con excavadora. El análisis de precio unitario de esta partida es como se muestra a continuación:

| Partida | Carguío de material inadecuado saturado | | | | | |
|---------------------------------|---|--------------|---|----------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Día | MO. 1,200.00 | EQ. 1,200.00 | Costo unitario directo por : m ³ | | | 0.71 |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD |
| Mano de Obra | | | | | | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0083 | 7.78 | 0.06 |
| | | | | | | 0.06 |
| Equipos | | | | | | |
| 0301030006 | Excavadora CAT 330 , 247 HP | hm | 1.0000 | 0.0083 | 78.00 | 0.65 |
| | | | | | | 0.65 |

Figura N° 25.- Análisis de Precio Unitario de carguío en terreno saturado

Cálculo del Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado por la metodología de Observación Directa: Según la situación encontrada en campo se observa una excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando la excavación del material inadecuado saturado y acopiándolo a un lado, una segunda excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando el carguío del material en terreno saturado y transportando dicho material con 12 camiones volquetes Volvo de 15 m³ hasta el depósito o botadero llamado Desmonte Norte La Quinoa designado por la compañía Minera Yanacocha SRL ubicado a una distancia de 9.58 Km del lugar de trabajo (Ver Anexo 8), donde los camiones volquete descargarán el material y retornarán al punto de carguío para reiniciar el proceso de carguío y acarreo del material saturado, es preciso resaltar que los 12 camiones volquetes es la flota designada al carguío por el responsable, en el Capítulo III se realizará el cálculo óptimo del número de camiones volquete para compararlo con la situación encontrada.



Figura N° 26.- Situación encontrada de la Excavadora en terreno saturado

Para calcular el rendimiento de la excavadora se toman los siguientes tiempos:

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right\}$$

$$\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 4.- Tiempos para la excavadora en terreno saturado (I)

| Código Camión | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|---------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-591 | 00:00:26 | 00:01:51 | 00:03:27 | 00:01:25 | 00:01:36 | 00:00:56 |
| 11-354 | 00:04:23 | 00:05:51 | 00:07:29 | 00:01:28 | 00:01:38 | 00:00:30 |
| 11-356 | 00:07:59 | 00:09:41 | 00:11:15 | 00:01:42 | 00:01:34 | 00:00:39 |
| 11-586 | 00:11:54 | 00:13:29 | 00:15:04 | 00:01:35 | 00:01:35 | 00:00:48 |
| 11-629 | 00:15:52 | 00:17:21 | 00:18:53 | 00:01:29 | 00:01:32 | |
| 11-349 | 00:23:38 | 00:25:09 | 00:26:47 | 00:01:31 | 00:01:38 | |
| 11-351 | 00:31:33 | 00:33:05 | 00:34:37 | 00:01:32 | 00:01:32 | 00:00:48 |
| 11-614 | 00:35:25 | 00:36:49 | 00:38:24 | 00:01:24 | 00:01:35 | 00:00:41 |
| 11-624 | 00:39:05 | 00:40:40 | 00:42:18 | 00:01:35 | 00:01:38 | 00:00:47 |
| 11-612 | 00:43:05 | 00:44:32 | 00:46:08 | 00:01:27 | 00:01:36 | 00:00:51 |
| 11-348 | 00:46:59 | 00:48:25 | 00:50:00 | 00:01:26 | 00:01:35 | |
| 11-625 | 00:54:36 | 00:56:04 | 00:57:36 | 00:01:28 | 00:01:32 | |
| 11-591 | 01:01:59 | 01:03:23 | 01:04:58 | 00:01:24 | 00:01:35 | 00:00:40 |
| 11-354 | 01:05:38 | 01:07:14 | 01:08:50 | 00:01:36 | 00:01:36 | 00:00:53 |
| 11-356 | 01:09:43 | 01:11:08 | 01:12:42 | 00:01:25 | 00:01:34 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 5.- Tiempos para la excavadora en terreno saturado (II)

| Código | Factor de Llenado | Número de Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-591 | 95% | 6 | 00:03:27 | 01:01:47 | 00:58:20 |
| 11-354 | 95% | 6 | 00:07:29 | 01:05:21 | 00:57:52 |
| 11-356 | 95% | 6 | 00:11:15 | 01:09:32 | 00:58:17 |
| 11-586 | 95% | 6 | 00:15:04 | | |
| 11-629 | 95% | 6 | 00:18:53 | | |
| 11-349 | 95% | 6 | 00:26:47 | | |
| 11-351 | 95% | 6 | 00:34:37 | | |
| 11-614 | 95% | 6 | 00:38:24 | | |
| 11-624 | 95% | 6 | 00:42:18 | | |
| 11-612 | 95% | 6 | 00:46:08 | | |
| 11-348 | 95% | 6 | 00:50:00 | | |
| 11-625 | 95% | 6 | 00:57:36 | | |
| 11-591 | 95% | 6 | 01:04:58 | | |
| 11-354 | 95% | 6 | 01:08:50 | | |
| 11-356 | 95% | 6 | 01:12:42 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de 2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen/Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 6.- Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado

| Tiempo de la Excavadora en terreno saturado | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 1.50 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.58 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.77 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 3.85 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 58.16 |
| Distancia (Km) | 9.58 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 20.65 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 62.01 |
| Acoplamiento de Flota (Se verá el Capítulo III) | |
| Número Óptimo de Camiones | 16.10 |
| Número Real de Camiones | 12 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 1.32 |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.40 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 95% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 11.61 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 158.84 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 93.15 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 931.50 |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de carguío con excavadora en terreno saturado un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga será de 80%, es preciso mencionar que de acuerdo a los datos de campo se tiene un factor de esponjamiento promedio de 1.20, además la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para la Excavadora 336 DL es de 96%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia de obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento calculado en estas condiciones reales de operación de la excavadora en terreno saturado es de 931 m³/día. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,200 m³/día, por lo tanto, en el Capítulo III se implementará las propuestas de mejora basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012) para cumplir y/o mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada y asegurar la rentabilidad.

2.5.2 Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A se tiene un rendimiento previsto para la excavación de material en terreno no saturado de 1,500 m³/día con tractor buldózer. El análisis de precio unitario de la partida de excavación de material en terreno no saturado con tractor buldózer es como se muestra a continuación:

| Excavación de material inadecuado no saturado | | | | | | |
|---|---|--------|-----------|---|------------|-------------|
| Partida | Rendimiento m ³ /DIA MO. 1,940.00 EQ. 1,940.00 | | | Costo unitario directo por : m ³ | | 0.67 |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD |
| Mano de Obra | | | | | | |
| 0102010001 | Capataz Movimiento de Tierras | hh | 1.0000 | 0.0052 | 8.80 | 0.04 |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0052 | 7.78 | 0.04 |
| 0104100014 | Cuadrador/Vigia | hh | 1.0000 | 0.0052 | 5.04 | 0.03 |
| Equipos | | | | | | |
| 0301060006 | Tractor de Orugas 240-310 hp | hm | 1.0000 | 0.0052 | 107.00 | 0.55 |
| 0321060001 | Torre de Iluminación 5 Kw | hm | 0.5000 | 0.0026 | 2.80 | 0.01 |
| | | | | | | 0.56 |

Figura N° 27.- Análisis de Precio Unitario de excavación en terreno no saturado

Cálculo del Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado por la metodología de Observación Directa: se analizará la situación encontrada tal como está en campo y se calculará el rendimiento en dichas condiciones por la Metodología de Observación Directa. Según la situación encontrada en campo se observa un Tractor CAT D8T (310 HP) realizando la excavación del material en terreno no saturado y acopiándolo a un lado, y una excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando el carguío y transporte del material en terreno no saturado con camiones volquetes Volvo de 15 m³. Se realizará la medición del tiempo de ciclo y el cálculo del rendimiento para el Tractor CAT D8T (310 HP) la cual está realizando la actividad de excavación de material en terreno no saturado.

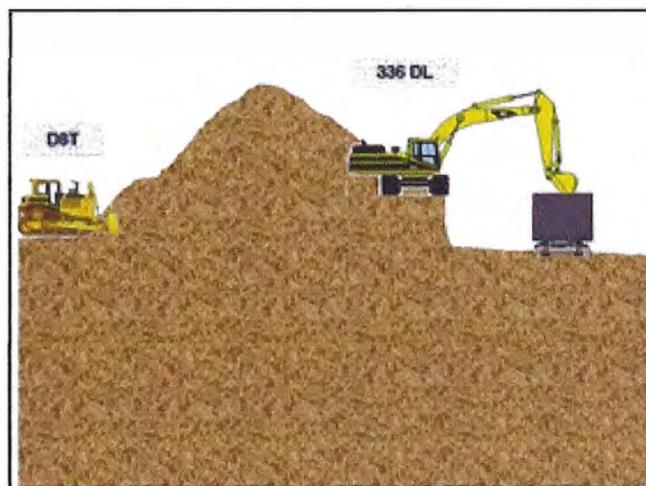


Figura N° 28.- Situación encontrada del Tractor en terreno no saturado

El ciclo de trabajo consiste en las operaciones repetitivas que el equipo realiza en el movimiento de tierras, por lo tanto, el tiempo de ciclo del tractor se define como la suma del tiempo de ida o empuje, donde realiza las operaciones de corte, transporte de material y descarga, y el tiempo de regreso o retorno.

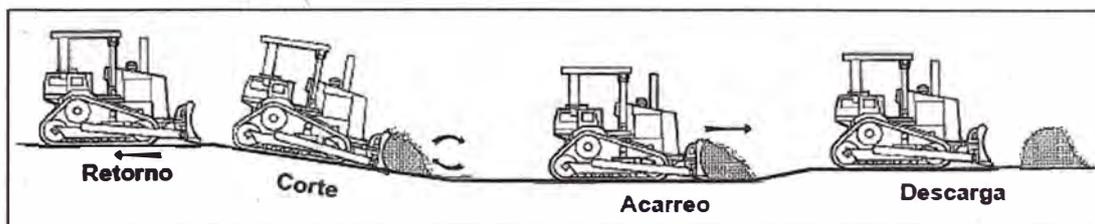


Figura N° 29.- Ciclo del Tractor

Entonces, de acuerdo a los formatos diseñados para el cálculo del rendimiento por Observación Directa, se tomarán veintiséis tiempos con el cronómetro del empuje y retroceso del tractor CAT D8T (310 HP) para obtener el tiempo promedio de empuje y el tiempo promedio de retroceso, realizando esta medición tres veces para determinar el tiempo promedio del ciclo del tractor.

Cuadro N° 7.- Tiempo de empuje del tractor en terreno no saturado

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|--------|----------|----------|----------|
| empuje | 25.86 | 32.57 | 30.88 |
| empuje | 26.85 | 26.56 | 33.99 |
| empuje | 30.92 | 33.15 | 33.54 |
| empuje | 23.56 | 34.94 | 31.70 |
| empuje | 34.85 | 26.26 | 31.71 |
| empuje | 26.17 | 23.94 | 21.18 |
| empuje | 24.51 | 29.99 | 25.26 |
| empuje | 30.68 | 27.47 | 25.42 |
| empuje | 29.51 | 26.90 | 28.26 |
| empuje | 29.21 | 27.18 | 27.21 |
| empuje | 20.93 | 35.11 | 21.97 |
| empuje | 20.72 | 22.81 | 30.48 |
| empuje | 30.38 | 32.76 | 31.11 |
| empuje | 34.58 | 24.86 | 23.63 |
| empuje | 30.23 | 24.70 | 28.31 |
| empuje | 32.22 | 22.71 | 21.16 |
| empuje | 35.11 | 34.53 | 27.24 |
| empuje | 32.76 | 22.34 | 32.11 |

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| empuje | 32.75 | 25.15 | 20.45 |
| empuje | 24.98 | 29.65 | 24.27 |
| empuje | 30.75 | 22.37 | 23.61 |
| empuje | 20.32 | 34.28 | 27.32 |
| empuje | 33.55 | 22.59 | 22.71 |
| empuje | 22.55 | 33.52 | 23.76 |
| empuje | 29.17 | 29.26 | 20.67 |
| empuje | 26.78 | 27.62 | 27.34 |
| Promedio | 28.46 | 28.20 | 26.74 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Cuadro N° 8.- Tiempo de retroceso del tractor en terreno no saturado

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| retroceso | 15.20 | 14.61 | 20.77 |
| retroceso | 16.60 | 14.66 | 14.26 |
| retroceso | 14.78 | 16.26 | 15.17 |
| retroceso | 14.25 | 17.59 | 18.44 |
| retroceso | 18.34 | 17.54 | 14.95 |
| retroceso | 18.55 | 15.78 | 20.32 |
| retroceso | 14.76 | 15.77 | 16.17 |
| retroceso | 15.94 | 16.37 | 15.32 |
| retroceso | 14.59 | 16.21 | 20.82 |
| retroceso | 16.50 | 19.45 | 15.35 |
| retroceso | 17.62 | 17.66 | 17.87 |
| retroceso | 15.24 | 16.65 | 18.62 |
| retroceso | 17.23 | 16.63 | 20.86 |
| retroceso | 16.55 | 15.90 | 14.65 |
| retroceso | 17.91 | 17.85 | 14.37 |
| retroceso | 19.96 | 18.70 | 19.84 |
| retroceso | 16.50 | 19.44 | 19.95 |
| retroceso | 17.22 | 18.59 | 15.81 |
| retroceso | 18.86 | 15.50 | 19.55 |
| retroceso | 18.77 | 17.13 | 17.22 |
| retroceso | 14.40 | 14.57 | 20.98 |
| retroceso | 15.69 | 14.59 | 15.18 |
| retroceso | 18.77 | 19.76 | 18.73 |
| retroceso | 20.89 | 16.56 | 17.46 |
| retroceso | 15.73 | 17.26 | 15.50 |
| retroceso | 16.59 | 19.68 | 20.51 |
| Promedio | 16.82 | 16.95 | 17.64 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Teniendo como resultado el tiempo promedio del ciclo del Tractor D8T (310 HP) para el empuje y retroceso del material en terreno no saturado, tomando como resultado el mayor de los tres, por lo tanto, el tiempo promedio del ciclo del Tractor CAT D8T (310 HP) para la partida de excavación del material en terreno no saturado es de 45.28 segundos.

Cuadro N° 9.- Tiempo de empuje y retroceso - Tractor en terreno no saturado

| Descripción | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Tiempo de empuje (segundos) | 28.46 | 28.2 | 26.74 |
| Tiempo de retroceso (segundos) | 16.82 | 16.95 | 17.64 |
| Tiempo de ciclo (segundos) | 45.28 | 45.15 | 44.38 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

También, se observó que el Tractor CAT D8T (310 HP) incluye el aflojar o soltar el material en terreno no saturado por medio del escarificado mediante el desgarrador del tractor (también conocido como "ripper" que en el idioma inglés significa desgarrador), entonces del trabajo observado en campo el porcentaje de tiempo invertido por el Tractor CAT D8T (310 HP) en la excavación de material en terreno no saturado es del 70%.

Volumen de la Hoja Topadora del Tractor Buldózer: La capacidad nominal de la hoja topadora, es decir, la capacidad colmada de un Tractor D8T es de 8.6 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final del Tractor Buldózer en terreno no saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 10.- Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado

| Tiempo del Tractor Buldózer en terreno no saturado | | |
|--|------------------------|------------------------|
| | Tractor D8T (CORTE) | Tractor D8T (RIPEO) |
| Descripción del proceso | Empuje | Escarificado |
| Tiempo de ciclo por pasada (segundos) | 45.28 | --- |
| Tiempo de Ciclo Total (minutos) | 0.75 | --- |

| Rendimiento del Tractor Buldózer en terreno no saturado | | |
|--|--------------|------------|
| Capacidad Nominal (m ³) | 8.6 | |
| Factor de Llenado de la Hoja Topadora (%) | 70% | |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 79.51 | |
| Producción 100% eficiencia (m³/hora) | 479 | |
| Tiempo invertido en el trabajo (%) | 70% | 30% |
| Factor Humano (%) | 100% | |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% | |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% | |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 100% | |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% | |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 205 | |
| Rendimiento Final (m³/día) | 2,050 | |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de carguío con excavadora en terreno saturado un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga será de 80%, es preciso mencionar que de acuerdo a los datos de campo se tiene un factor de esponjamiento promedio de 1.20, además la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para el Tractor CAT D8T (310 HP) es de 100%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia de obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento calculado en estas condiciones reales de operación del Tractor CAT D8T para la excavación de material en terreno no saturado es de 2,050 m³ por día. Según el análisis de precio unitario el

rendimiento mínimo para esta partida es de 1,940 m³ por día, por lo tanto, se está cumpliendo con el rendimiento previsto para esta actividad y asegurando la rentabilidad para esta partida.

2.5.3 Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A se tiene un rendimiento previsto para el carguío de material en terreno no saturado de 1,350 m³/día con excavadora. El análisis de precio unitario de la partida de carguío de material en terreno no saturado con excavadora es como se muestra a continuación:

| Partida | Carguío de material | | | | | Costo unitario directo por : m3 | 0.71 |
|---------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------|------------|---------------------------------|------|
| Rendimiento m3/DIA | MO. 1,350.00 | EQ. 1,350.00 | | | | | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0101140014 | Ayudante Movimiento de Tierras | hh | 2.0000 | 0.0148 | 5.04 | 0.07 | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0074 | 7.78 | 0.06 | |
| | | | | | | 0.13 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0301030006 | Excavadora CAT 330 , 247 HP | hm | 1.0000 | 0.0074 | 78.00 | 0.58 | |
| | | | | | | 0.58 | |

Figura N° 30.- Análisis de Precio Unitario de carguío en terreno no saturado

Cálculo del Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado por la metodología de Observación Directa: se analizará la situación encontrada tal como está en campo y se calculará el rendimiento en dichas condiciones por la Metodología de Observación Directa. Según la situación encontrada en campo se observa una excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando el carguío del material en terreno no saturado y transportando dicho material con 5 camiones volquetes Volvo de 15 m³ hasta el depósito o botadero llamado Cerro Negro designado por la compañía Minera Yanacocha SRL ubicado a una distancia de 3.21 Km del lugar de trabajo (Ver Anexo 8), donde los camiones volquete descargarán el material y retornarán al punto de carguío para reiniciar el proceso de carguío y acarreo del material no saturado, es preciso resaltar que los 5 camiones volquetes es la flota designada al carguío por el responsable, en el

Capítulo III se realizará el cálculo óptimo del número de camiones volquete para compararlo con la situación encontrada.



Figura N° 31- Situación encontrada de excavadora en terreno no saturado

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right.$$

$$\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 11.- Tiempos para la excavadora en terreno no saturado (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-554 | 00:00:43 | 00:01:15 | 00:02:47 | 00:00:32 | 00:01:32 | |
| 11-607 | 00:06:00 | 00:06:30 | 00:08:01 | 00:00:30 | 00:01:31 | 00:00:53 |
| 11-385 | 00:08:54 | 00:09:25 | 00:10:56 | 00:00:31 | 00:01:31 | 00:00:46 |
| 11-606 | 00:11:42 | 00:12:48 | 00:14:17 | 00:01:06 | 00:01:29 | 00:00:09 |
| 11-555 | 00:14:26 | 00:15:46 | 00:17:20 | 00:01:20 | 00:01:34 | |
| 11-554 | 00:24:43 | 00:26:02 | 00:27:33 | 00:01:19 | 00:01:31 | |
| 11-607 | 00:34:01 | 00:35:07 | 00:36:36 | 00:01:06 | 00:01:29 | 00:00:11 |
| 11-385 | 00:36:47 | 00:37:48 | 00:39:17 | 00:01:01 | 00:01:29 | 00:00:19 |
| 11-555 | 00:39:36 | 00:40:29 | 00:41:59 | 00:00:53 | 00:01:30 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 12.- Tiempos para la excavadora en terreno no saturado (II)

| Código | Factor Llenado | Número de Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|----------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-554 | 99% | 6 | 00:02:47 | 00:24:27 | 00:21:40 |
| 11-607 | 99% | 6 | 00:08:01 | 00:31:00 | 00:22:59 |
| 11-385 | 100% | 6 | 00:10:56 | 00:33:00 | 00:22:04 |
| 11-606 | 100% | 6 | 00:14:17 | 00:34:50 | 00:20:33 |
| 11-555 | 100% | 6 | 00:17:20 | 00:37:50 | 00:20:30 |
| 11-554 | 99% | 6 | 00:27:33 | | |
| 11-607 | 99% | 6 | 00:36:36 | | |
| 11-385 | 98% | 6 | 00:39:17 | | |
| 11-555 | 98% | 6 | 00:41:59 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de 2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno no saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 13.- Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado

| Tiempo de la Excavadora en terreno no saturado | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 0.92 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.52 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.51 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 2.95 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 21.55 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 20.22 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 24.50 |

| Acoplamiento de Flota (Se verá el Capítulo III) | |
|--|---------------|
| # Óptimo de Camiones | 8.51 |
| # Real de Camiones | 5.00 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 1.95 |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 99% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 12.24 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m ³ /hora) | 175.00 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga) (%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud) (%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m ³ /hora) | 102.60 |
| Rendimiento Final (m ³ /día) | 1,026 |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de carguío con excavadora en terreno saturado un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga será de 80%, es preciso mencionar que de acuerdo a los datos de campo se tiene un factor de esponjamiento promedio de 1.20, además la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para la Excavadora 336 DL es de 96%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia de obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento calculado en estas condiciones reales de operación de la excavadora en terreno no saturado es de 1,026 m³/día. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³/día, por lo tanto, en el Capítulo III se implementará las propuestas de mejora basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012) para cumplir y/o mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada y asegurar la rentabilidad.

2.5.4 Rendimiento de la Excavadora en roca fragmentada por voladura

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se tiene un rendimiento previsto para el carguío de roca fragmentada por voladura es de 1,350 m³/día con excavadora. El análisis de precio unitario de la partida de carguío de roca fragmentada por voladura con excavadora es como se muestra a continuación:

| Partida | Carguío de material | | | | | Costo unitario directo por : m3 | 0.71 |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------|------------|---------------------------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /DIA | MO. 1,350.00 | EQ. 1,350.00 | | | | | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0101140014 | Ayudante Movimiento de Tierras | hh | 2.0000 | 0.0148 | 5.04 | 0.07 | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0074 | 7.78 | 0.06 | |
| | | | | | | | 0.13 |
| Equipos | | | | | | | |
| 0301030006 | Excavadora CAT 330 , 247 HP | hm | 1.0000 | 0.0074 | 78.00 | 0.58 | |
| | | | | | | | 0.58 |

Figura N° 32.- Análisis de Precio Unitario de carguío en roca por voladura

Cálculo del Rendimiento de la Excavadora en roca fragmentada por voladura por la metodología de Observación Directa: El terreno de roca comprende como primer proceso perforación y voladura de la roca en su ubicación natural que estará a cargo de la compañía Minera Yanacocha SRL. Según la situación encontrada en campo se observa un Tractor D8T (310 HP) realizando la remoción de material de voladura y una excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando el carguío y acarreo del material de roca fragmentada por voladura con siete camiones volquetes Volvo de 15 m³ hasta el depósito o

botadero llamado Cerro Negro designado por la compañía Minera Yanacocha SRL ubicado a una distancia de 3.21 Km del lugar de trabajo (Ver Anexo 8), donde los camiones volquete descargarán el material y retornarán al punto de carguío para reiniciar el proceso de carguío y transporte del material, es preciso resaltar que los siete camiones volquetes es la flota designada al carguío por el responsable, en el Capítulo III se realizará el cálculo óptimo del número de camiones volquete para compararlo con la situación encontrada.



Figura N° 33.- Situación encontrada de excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura

Para calcular el rendimiento de la excavadora se toman los siguientes tiempos:

$$\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 14.- Tiempos de excavadora en roca fragmentada por voladura (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de Maniobra | Tiempo de Carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------|
| 11-354 | 00:00:18 | 00:01:30 | 00:03:15 | 00:01:12 | 00:01:45 | 00:00:44 |
| 11-607 | 00:03:59 | 00:05:17 | 00:06:54 | 00:01:18 | 00:01:37 | 00:00:46 |
| 11-591 | 00:07:40 | 00:08:52 | 00:10:36 | 00:01:12 | 00:01:44 | 00:00:41 |
| 11-554 | 00:11:17 | 00:12:32 | 00:14:11 | 00:01:15 | 00:01:39 | 00:00:22 |
| 11-606 | 00:14:33 | 00:15:52 | 00:17:38 | 00:01:19 | 00:01:46 | |
| 11-385 | 00:19:59 | 00:21:10 | 00:22:48 | 00:01:11 | 00:01:38 | 00:00:47 |
| 11-349 | 00:23:35 | 00:24:47 | 00:26:30 | 00:01:12 | 00:01:43 | 00:00:40 |
| 11-354 | 00:27:10 | 00:28:24 | 00:30:06 | 00:01:14 | 00:01:42 | 00:00:33 |
| 11-607 | 00:30:39 | 00:31:54 | 00:33:32 | 00:01:15 | 00:01:38 | 00:00:25 |
| 11-591 | 00:33:57 | 00:35:14 | 00:37:00 | 00:01:17 | 00:01:46 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 15.- Tiempos de excavadora en roca fragmentada por voladura (II)

| Código | Factor de Llenado Promedio | N° Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|----------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-354 | 75% | 5 | 00:03:15 | 00:27:01 | 00:23:46 |
| 11-607 | 75% | 5 | 00:06:54 | 00:30:24 | 00:23:30 |
| 11-591 | 75% | 5 | 00:10:36 | 00:33:48 | 00:23:12 |
| 11-554 | 75% | 5 | 00:14:11 | | |
| 11-606 | 75% | 5 | 00:17:38 | | |
| 11-385 | 75% | 5 | 00:22:48 | | |
| 11-349 | 75% | 5 | 00:26:30 | | |
| 11-354 | 75% | 5 | 00:30:06 | | |
| 11-607 | 75% | 5 | 00:33:32 | | |
| 11-591 | 75% | 5 | 00:37:00 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de 2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 16.- Rendimiento de Excavadora en roca fragmentada por voladura

| Tiempo de la Excavadora en roca fragmentada por voladura | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 1.25 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.70 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.63 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 3.58 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 23.49 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 18.35 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 27.07 |

| Acoplamiento de Flota (Se verá el Capítulo III) | |
|--|---------------|
| # Óptimo de Camiones | 7.6 |
| # Real de Camiones | 7.0 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 0.28 |
| Rendimiento de la Excavadora en roca fragmentada por voladura | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 75% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 15.51 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m ³ /hora) | 139.63 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m ³ /hora) | 81.90 |
| Rendimiento Final (m ³ /día) | 819.00 |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de carguío con excavadora en terreno saturado un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga será de 80%, es preciso mencionar que de acuerdo a los datos de campo se tiene un factor de esponjamiento promedio de 1.20, además la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para la Excavadora 336 DL es de 96%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia de obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento calculado en estas condiciones reales de operación de la excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura es de 819 m³/día. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³/día, por lo tanto, en el Capítulo III se implementará las propuestas de mejora basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012) para cumplir y/o mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada y asegurar la rentabilidad.

2.5.5 Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se tiene un rendimiento previsto para el carguío de material en terreno de roca blanda removida por tractor Buldózer de 1,350 m³/día con excavadora. El análisis de precio unitario de la partida de carguío de material en terreno de roca blanda removida por tractor Buldózer con excavadora es como se muestra a continuación:

| Partida | Carguío de material | | | | | Costo unitario directo por : m3 | 0.71 |
|---------------------|--------------------------------|--------------|--------------|----------|------------|---------------------------------|-------------|
| | Rendimiento m3/DIA | MO. 1,350.00 | EQ. 1,350.00 | | | | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0101140014 | Ayudante Movimiento de Tierras | hh | 2.0000 | 0.0148 | 5.04 | 0.07 | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0074 | 7.78 | 0.06 | |
| | | | | | | | 0.13 |
| Equipos | | | | | | | |
| 0301030006 | Excavadora CAT 330 , 247 HP | hm | 1.0000 | 0.0074 | 78.00 | 0.58 | |
| | | | | | | | 0.58 |

Figura N° 34.- Análisis de Precio Unitario de carguío en roca blanda

Cálculo del Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer: se analizará la situación encontrada tal como está en campo y se calculará el rendimiento de la excavadora en dichas condiciones por la Metodología de Observación Directa. Según la situación encontrada en campo se observa un Tractor D8T (310 HP) realizando la excavación del material de roca blanda y acopiándolo a un lado, y una

excavadora CAT 336DL (247 HP) realizando el carguío y acarreo del material de roca blanda removida por tractor buldózer con nueve camiones volquetes Volvo de 15 m³ hasta el depósito o botadero llamado Cerro Negro designado por la compañía Minera Yanacocha SRL ubicado a una distancia de 3.21 Km del lugar de trabajo (Ver Anexo 8), donde los camiones volquete descargarán el material y retornarán al punto de carguío para reiniciar el proceso de carguío y transporte del material, es preciso resaltar que los nueve camiones volquetes es la flota designada al carguío por el responsable, en el Capítulo III se realizará el cálculo óptimo del número de camiones volquete para compararlo con la situación encontrada en campo.



Figura N° 35.- Situación encontrada en campo de carguío con excavadora en roca blanda removida por Tractor Buldózer

Para calcular el rendimiento de la excavadora se toman los siguientes tiempos:

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right\}$$

| |
|--|
| $\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$ |
|--|

Cuadro N° 17.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de Maniobra | Tiempo de Carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-352 | 00:03:36 | 00:04:58 | 00:06:49 | 00:01:22 | 00:01:51 | 00:00:36 |
| 11-414 | 00:07:25 | 00:08:47 | 00:10:36 | 00:01:22 | 00:01:49 | 00:00:39 |
| 11-406 | 00:11:15 | 00:12:33 | 00:14:26 | 00:01:18 | 00:01:53 | 00:00:26 |
| 11-535 | 00:14:52 | 00:16:24 | 00:18:15 | 00:01:32 | 00:01:51 | 00:00:44 |
| 11-415 | 00:18:59 | 00:20:11 | 00:22:04 | 00:01:12 | 00:01:53 | 00:00:42 |
| 11-386 | 00:22:46 | 00:23:52 | 00:25:44 | 00:01:06 | 00:01:52 | 00:00:24 |
| 11-397 | 00:26:08 | 00:27:34 | 00:29:32 | 00:01:26 | 00:01:58 | 00:00:43 |
| 11-355 | 00:30:15 | 00:31:23 | 00:33:16 | 00:01:08 | 00:01:53 | 00:01:09 |
| 11-570 | 00:34:25 | 00:35:12 | 00:37:03 | 00:00:47 | 00:01:51 | 00:00:49 |
| 11-352 | 00:37:52 | 00:38:56 | 00:40:45 | 00:01:04 | 00:01:49 | 00:00:39 |
| 11-414 | 00:41:24 | 00:42:36 | 00:44:31 | 00:01:12 | 00:01:55 | 00:01:03 |
| 11-406 | 00:45:34 | 00:46:24 | 00:48:17 | 00:00:50 | 00:01:53 | 00:00:44 |
| 11-535 | 00:49:01 | 00:50:08 | 00:51:53 | 00:01:07 | 00:01:45 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 18.- Tiempos de Excavadora en roca blanda (II)

| Código | Factor Llenado | Número de Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|----------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-352 | 98% | 6 | 00:06:49 | 00:37:42 | 00:30:53 |
| 11-414 | 100% | 6 | 00:10:36 | 00:41:14 | 00:30:38 |
| 11-406 | 100% | 6 | 00:14:26 | 00:45:24 | 00:30:58 |
| 11-535 | 98% | 6 | 00:18:15 | 00:48:46 | 00:30:31 |
| 11-415 | 100% | 6 | 00:22:04 | | |
| 11-386 | 99% | 6 | 00:25:44 | | |
| 11-397 | 100% | 6 | 00:29:32 | | |
| 11-355 | 98% | 6 | 00:33:16 | | |
| 11-570 | 98% | 6 | 00:37:03 | | |
| 11-352 | 98% | 6 | 00:40:45 | | |
| 11-414 | 98% | 6 | 00:44:31 | | |
| 11-406 | 100% | 6 | 00:48:17 | | |
| 11-535 | 98% | 6 | 00:51:53 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de 2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 19.- Rendimiento de Excavadora en roca blanda

| Tiempo de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer | |
|---|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 1.18 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.86 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.72 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 3.76 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 30.75 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 15.56 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 34.51 |
| Acoplamiento de Flota (Se verá el Capítulo III) | |
| # Óptimo de Camiones | 9.2 |
| # Real de Camiones | 9.0 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 0.08 |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 99% |
| Carga del camión volquete (m ³) | - |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 15.65 |
| Ciclos de Acarreo (ciclos/hora) | - |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 223 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 130.8 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,308 |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de carguío con excavadora en terreno saturado un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga será de 80%, es preciso mencionar que de acuerdo a los datos de campo se tiene un factor de esponjamiento promedio de 1.20, además la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para la Excavadora 336 DL es de 96%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia de obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento calculado en estas condiciones reales de operación de la excavadora en terreno de roca blanda removido por Tractor Buldózer es de 1,308 m³/día. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³/día, por lo tanto, en el Capítulo III se implementará las propuestas de mejora basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012) para cumplir y/o mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada y asegurar la rentabilidad.

2.5.6 Rendimiento del Camión Volquete en el transporte de material

El Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A está dividido en siete entregas parciales, que se consideran como los frentes de trabajo en el proyecto, de acuerdo a los hitos de entrega (Ver Anexo 4). Los trabajos de movimiento de tierras de los 4 primeros frentes fueron culminados el año 2012, para el desarrollo del presente informe del suficiencia los trabajos de excavación y carguío se están realizando en el quinto frente de trabajo, por lo tanto, el

transporte de material en general se está transportando a los depósitos o botaderos de Cerro Negro y Desmonte Norte La Quinoa desde la quinta entrega.

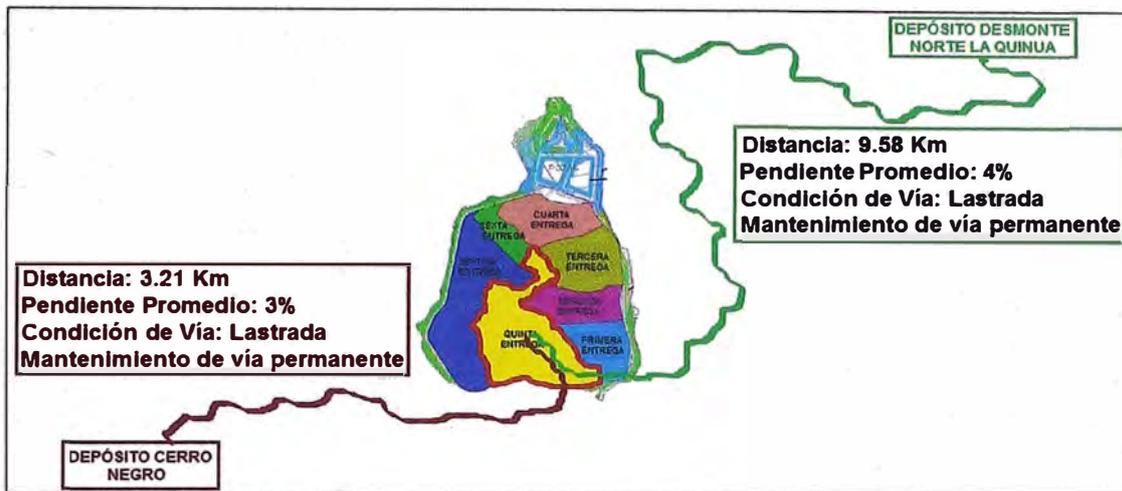


Figura N° 36.- Distancia del Proyecto a los Depósitos

De acuerdo a las distancias desde el centroide de cada frente de trabajo, es decir, las siete entregas parciales del Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A, se conciliaron las distancias con la compañía Minera Yanacocha SRL en Kilómetros redondeando al décimo de kilómetro más cercano. Por lo tanto, se tienen las siguientes distancias en Kilómetros para cada frente de trabajo:

Cuadro N° 20.- Distancias por Frente de Trabajo

| | | DESTINOS | |
|--------|-----------------|--------------------------|-------------|
| | | Distancias en Kilómetros | Cerro Negro |
| ORIGEN | Primera Entrega | 4.62 | 13.79 |
| | Segunda Entrega | 4.45 | 13.29 |
| | Tercera entrega | 4.37 | 13.05 |
| | Cuarta entrega | 3.91 | 11.67 |
| | Quinta Entrega | 3.21 | 9.58 |
| | Sexta Entrega | 3.46 | 10.33 |
| | Séptima entrega | 3.38 | 10.09 |

Fuente: Plano de Distancias de acarreo (Ver Anexo 8)

Según el Ing. Walter Ibáñez en su libro "Costos y Tiempos en Carreteras", el tiempo total de ciclo de viaje redondo de un equipo de acarreo es la suma de los siguientes tiempos:

$$\text{Tiempo CICLO} = \text{Tiempo CARGUÍO} + \text{Tiempo IDA} + \text{Tiempo DESCARGA} + \text{Tiempo VUELTA}$$

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se tiene los análisis de precio unitario de la partida de transporte de material en general con camión volquete como se muestra a continuación:

| Partida | | Acarreo < 1km (incluye tiempos de carga y descarga) | | | | | |
|---------------------|-----------------------|---|------------|---------------------------------|------------|-------------|--|
| Rendimiento m3/DIA | | MO. 467.00 | EQ. 467.00 | Costo unitario directo por : m3 | | 1.00 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0214 | 7.78 | 0.17 | |
| | | | | | | 0.17 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0304080002 | Camión Volquete 15 m3 | hm | 1.0000 | 0.0214 | 39.00 | 0.83 | |
| | | | | | | 0.83 | |

Figura N° 37.- Análisis de Precio Unitario de Partida de Transporte < 1 Km

| Partida | | Acarreo > 1 Km | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------|-----------------------------------|------------|-------------|--|
| Rendimiento m3km/DMO. | | 1,195.00 | EQ. 1,195.00 | Costo unitario directo por : m3km | | 0.39 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0084 | 7.78 | 0.06 | |
| | | | | | | 0.06 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0304080002 | Camión Volquete 15 m3 | hm | 1.0000 | 0.0084 | 39.00 | 0.33 | |
| | | | | | | 0.33 | |

Figura N° 38.- Análisis de Precio Unitario de Partida de Transporte > 1 Km

Se procederá a determinar el tiempo de ciclo máximo de viaje para un camión volquete de acuerdo a los análisis de precios unitarios para el Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A desde cada frente de trabajo considerando las distancias conciliadas del Cuadro N° 20.

Ejemplo: Cálculo del tiempo de ciclo máximo para un camión volquete desde la Quinta Entrega hacia el depósito o botadero de Cerro Negro:

1° La distancia de la quinta entrega hacia Cerro Negro es de 3.21 Km.

2° El tiempo de carguío y el tiempo de descarga están consideradas dentro del análisis de precio unitario de la subpartida Acarreo<1Km, entonces, el tiempo para transportar 1 m³ de material para el primer Kilómetro según la subpartida Acarreo<1Km es de 0.0214 horas.

3° El tiempo para transportar 1 m³ de material para los siguientes Kilómetros según la subpartida Acarreo>1Km es de 0.0084 horas.

4° La capacidad de un camión volquete Volvo es que 15 m³, se consideró para el análisis de precio unitario de la partida de transporte de material en general con camión volquete un factor de esponjamiento de 1.25, por lo tanto, el factor de carga es de 80%, entonces la capacidad efectiva del camión volquete Volvo es de 12 m³.

5° Por lo tanto, el tiempo de ciclo para un camión volquete desde el quinto carguío hacia el depósito Cerro Negro será:

$$\text{Tiempo de ciclo}_{\text{5to. Carguío - Cerro Negro}} = 12 \times (0.0214 \times 1 + 0.0084 \times (3.21 - 1))$$

$$\text{Tiempo de ciclo}_{\text{5to. Carguío - Cerro Negro}} = 0.48 \text{ horas} = 28.80 \text{ minutos.}$$

Finalmente, se calcula el tiempo de ciclo máximo de cada camión volquete desde cada frente de trabajo hacia los dos depósitos autorizados por la compañía Minera Yanacocha SRL, teniendo el siguiente cuadro:

Cuadro N° 21.- Tiempo de ciclo del camión volquete por Frente de Trabajo

| | | DESTINOS | |
|-----------------|------------------|--------------|-------------------|
| | | Cerro Negro | Desmorte Norte LQ |
| ORIGEN | CICLOS - Minutos | | |
| | Primera Entrega | 37.30 | 92.78 |
| | Segunda Entrega | 36.27 | 89.71 |
| | Tercera entrega | 35.79 | 88.27 |
| | Cuarta entrega | 33.01 | 79.96 |
| | Quinta Entrega | 28.80 | 67.32 |
| | Sexta Entrega | 30.29 | 71.84 |
| Séptima entrega | 29.80 | 70.39 | |

Fuente: Plano de Distancias de acarreo (Ver Anexo 8)

Rendimiento del Camión Volquete en las partidas analizadas del proyecto:

En el ítem 2.5.1 Rendimiento de la excavadora en terreno saturado (Cuadro N° 6.- Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado), se tiene que el tiempo

de ciclo promedio del camión volquete es de 62.01 minutos hacia el depósito de Desmoste Norte La Quinoa, comparado con el tiempo de ciclo máximo que es 67.32 minutos, estamos asegurando que no hay pérdida en esta partida de transporte de material.

En el ítem 2.5.3 Rendimiento de la excavadora en terreno no saturado (Cuadro N° 13.- Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado), se tiene que el tiempo de ciclo promedio del camión volquete es de 24.50 minutos hacia el depósito de Cerro Negro, comparado con el tiempo de ciclo máximo que es 28.80 minutos, estamos asegurando que no hay pérdida en esta partida de transporte de material.

En el ítem 2.5.4 Rendimiento de la excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura (Cuadro N° 16.- Rendimiento de Excavadora en roca fragmentada por voladura), se tiene que el tiempo de ciclo promedio del camión volquete es de 27.07 minutos hacia el depósito de Cerro Negro, comparado con el tiempo de ciclo máximo que es 28.80 minutos, estamos asegurando que no hay pérdida en esta partida de transporte de material.

En el ítem 2.5.5 Rendimiento de la excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer (Cuadro N° 19.- Rendimiento de Excavadora en roca blanda removida por tractor buldózer), se tiene que el tiempo de ciclo promedio del camión volquete es de 34.51 minutos hacia el depósito de Cerro Negro, comparado con el tiempo de ciclo máximo que es 28.80 minutos, observamos que estamos sobre el máximo y según los resultados obtenidos determinaremos la causa y en el Capítulo III se mencionarán las propuestas de mejora para cumplir con el tiempo de ciclo máximo en cada frente de trabajo.

2.5.7 Rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados

Según el Presupuesto para la ejecución del proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A se tiene un rendimiento previsto para la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados de 1,600 m³/día con Tractor Buldózer. El análisis de precio unitario de esta partida es como se muestra a continuación:

| Explotación de Material en Cantera | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------|---|----------|------------|-------------|
| Partida | | | | | | |
| Rendimiento m ³ /DIA | MO. 1,340.00 | EQ. 1,340.00 | Costo unitario directo por : m ³ | | 0.82 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio USD | Parcial USD |
| Mano de Obra | | | | | | |
| 0101140014 | Ayudante Movimiento de Tierras | hh | 1.0000 | 0.0075 | 5.04 | 0.04 |
| 0102010001 | Capataz Movimiento de Tierras | hh | 1.0000 | 0.0075 | 8.80 | 0.06 |
| 0102020002 | Operador Pesado | hh | 1.0000 | 0.0075 | 7.78 | 0.06 |
| | | | | | | 0.16 |
| Equipos | | | | | | |
| 0301060006 | Tractor de Orugas D7R 240 hp | hm | 1.0000 | 0.0075 | 87.00 | 0.65 |
| 0321060001 | Torre de Iluminación 5 Kw | hm | 0.5000 | 0.0037 | 2.80 | 0.01 |
| | | | | | | 0.66 |

Figura N° 39.- Análisis de Precio Unitario de Explotación de material en cantera

Cálculo del rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados: según la situación encontrada en campo se tiene un Tractor CAT D7R (240 HP) realizando el empuje y abastecimiento de materia prima a un Cargador Frontal de ruedas CAT 966H.

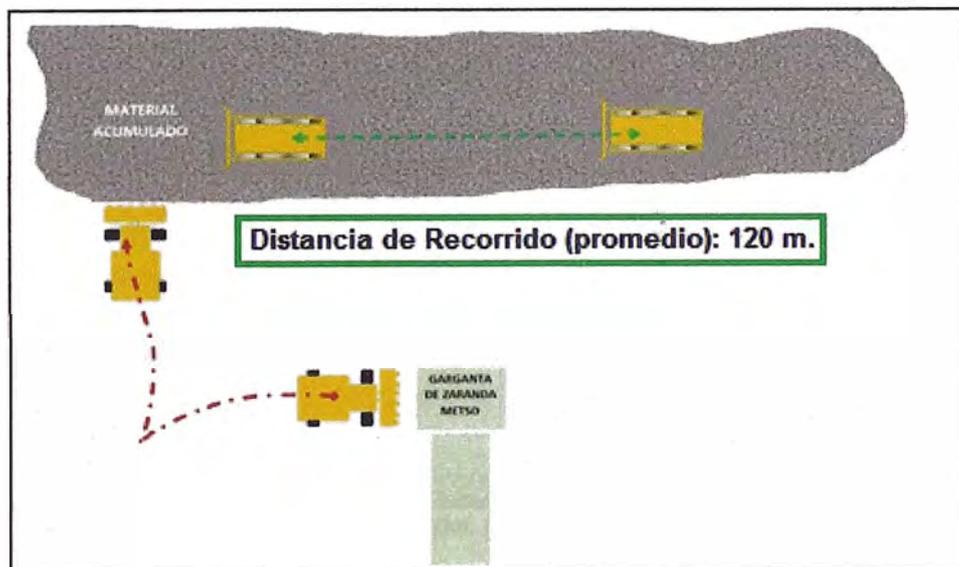


Figura N° 40.- Situación encontrada de explotación de material en cantera

Entonces, de acuerdo a los formatos diseñados para el cálculo del rendimiento por Observación Directa, se tomarán veintiséis tiempos con el cronómetro del empuje y retroceso del tractor CAT D7R (240 HP) para obtener el tiempo

promedio de empuje y el tiempo promedio de retroceso, realizando esta medición tres veces para determinar el tiempo promedio del ciclo del tractor.

Cuadro N° 22.- Tiempo de empuje del tractor en explotación en cantera

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| empuje | 21.48 | 29.34 | 24.69 |
| empuje | 26.55 | 26.58 | 29.68 |
| empuje | 21.62 | 19.12 | 27.38 |
| empuje | 26.30 | 30.82 | 28.55 |
| empuje | 30.53 | 25.67 | 24.39 |
| empuje | 27.10 | 20.44 | 28.44 |
| empuje | 26.34 | 23.98 | 24.38 |
| empuje | 25.79 | 20.51 | 27.73 |
| empuje | 25.33 | 20.10 | 27.93 |
| empuje | 24.83 | 21.85 | 21.58 |
| empuje | 26.59 | 25.40 | 24.31 |
| empuje | 21.87 | 25.82 | 27.84 |
| empuje | 28.39 | 21.12 | 28.40 |
| empuje | 26.44 | 20.79 | 26.92 |
| empuje | 25.74 | 26.37 | 24.70 |
| empuje | 22.28 | 24.91 | 20.27 |
| empuje | 26.79 | 27.23 | 28.54 |
| empuje | 24.74 | 30.95 | 23.42 |
| empuje | 28.97 | 22.93 | 22.85 |
| empuje | 23.16 | 26.26 | 25.23 |
| empuje | 27.54 | 27.25 | 20.81 |
| empuje | 24.98 | 21.33 | 21.96 |
| empuje | 23.27 | 25.11 | 29.58 |
| empuje | 25.11 | 27.10 | 20.41 |
| empuje | 24.28 | 26.70 | 19.63 |
| empuje | 28.63 | 24.12 | 23.54 |
| Promedio | 25.56 | 24.68 | 25.12 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Cuadro N° 23.- Tiempo de retroceso del tractor en explotación en cantera

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------|----------|----------|----------|
| retroceso | 20.55 | 17.62 | 15.37 |
| retroceso | 16.42 | 19.66 | 15.35 |
| retroceso | 17.21 | 18.54 | 16.24 |
| retroceso | 19.59 | 18.55 | 20.82 |

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| retroceso | 16.92 | 18.98 | 20.02 |
| retroceso | 15.37 | 16.14 | 18.68 |
| retroceso | 18.49 | 15.33 | 15.99 |
| retroceso | 20.22 | 19.99 | 17.70 |
| retroceso | 17.68 | 15.52 | 19.22 |
| retroceso | 17.80 | 19.27 | 18.66 |
| retroceso | 17.61 | 15.49 | 20.91 |
| retroceso | 20.99 | 17.58 | 18.62 |
| retroceso | 18.13 | 19.36 | 16.74 |
| retroceso | 18.69 | 16.92 | 16.59 |
| retroceso | 19.98 | 15.72 | 15.58 |
| retroceso | 15.57 | 17.68 | 16.16 |
| retroceso | 19.43 | 17.52 | 19.65 |
| retroceso | 15.76 | 15.30 | 16.58 |
| retroceso | 16.34 | 16.67 | 17.75 |
| retroceso | 15.93 | 18.41 | 15.10 |
| retroceso | 20.54 | 16.21 | 18.94 |
| retroceso | 15.69 | 17.72 | 20.56 |
| retroceso | 18.42 | 16.22 | 18.88 |
| retroceso | 17.38 | 17.48 | 20.57 |
| retroceso | 15.47 | 16.25 | 19.04 |
| retroceso | 17.58 | 16.66 | 18.69 |
| Promedio | 17.84 | 17.34 | 18.02 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Por lo tanto, el tiempo promedio del ciclo del Tractor CAT D7R (240 HP) para la partida de explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados es de 43.40 segundos.

Cuadro N° 24.- Tiempo de empuje y retroceso del Tractor en cantera

| Descripción | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Tiempo de empuje (segundos) | 25.56 | 24.68 | 25.12 |
| Tiempo de retroceso (segundos) | 17.84 | 17.34 | 18.02 |
| Tiempo de ciclo (segundos) | 43.40 | 42.02 | 43.14 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Además, el porcentaje de tiempo invertido en explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados es de 50%, es decir, el tiempo invertido en el

trabajo es del 50%, porque de un día de trabajo de 10 horas, 5 horas empuja y abastece con la materia prima al cargador frontal de ruedas CAT 966H para el zarandeo de agregados y 5 horas realiza la actividad complementaria de empujar y acomodar el material descargado por los camiones gigantes para dejar limpio la plataforma de descarga y tener espacio para seguir recibiendo más materia prima.

Volumen de la Hoja Topadora del Tractor Buldózer: La capacidad nominal de la hoja topadora, es decir, la capacidad colmada de un Tractor D7R es de 6.86 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final del Tractor Buldózer en terreno no saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 25.- Rendimiento del Tractor en la explotación en cantera

| Tiempo del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados | |
|--|---------------|
| Tractor D7R | |
| Descripción del proceso | Empuje |
| Tiempo de ciclo por pasada (segundos) | 43.40 |
| Tiempo de Ciclo Total (minutos) | 0.72 |
| Rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 6.86 |
| Factor de Llenado de la Hoja Topadora (%) | 60% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 82.9 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 341.40 |
| Tiempo invertido en el trabajo (%) | 50% |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 100% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 130.35 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,304 |

Fuente: Elaboración Propia

Consideraciones para los factores que afectan el rendimiento:

- **Factor Humano:** se considera un 100% porque los tiempos obtenidos en campo por la metodología de observación directa dependieron de la habilidad y experiencia del operador, la administración de obra, la dirección de trabajo y la logística.
- **Factor Equipo:** los equipos de construcción en su mayoría son nuevos y del año 2011, por lo tanto, se considera el factor equipo por disponibilidad mecánica del 92%.
- **Factor Condición de Obra:** la altitud varía entre los 3,488 y 3,598 m.s.n.m. de la obra, por lo tanto, según el Manual del Rendimiento Caterpillar (Edición 42) el factor de reducción de potencia por altitud para el Tractor CAT D7R (310 HP) es de 100%.
- **Factor Eficiencia Horaria:** se considera la hora de 50 minutos, por lo tanto, el factor de eficiencia horaria en la obra es de 83%.

Nótese que el rendimiento para la partida de explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados en estas condiciones reales de operación del tractor CAT D7R (240 HP) es de 1,304 m³ por día. Según el análisis de precio unitario que el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,340 m³ por día, por lo tanto, en el Capítulo III se implementará las propuestas de mejora basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012) para cumplir y/o mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada y asegurar la rentabilidad.

CAPÍTULO III: PROPUESTAS DE MEJORA PARA ASEGURAR LA RENTABILIDAD Y RENDIMIENTOS ACTUALES DE OBRA

3.1 CRITERIOS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA PESADA

Se describirán los conceptos básicos y criterios para obtener el máximo desempeño y mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada en obras de movimiento de tierras, basado en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012). Estos conceptos básicos y criterios representan una situación ideal, en una obra determinada no es posible seguir todos los siguientes puntos considerados, pero si se siguen estos conceptos el efecto sobre la producción será muy positivo.

3.1.1 Excavación de material con tractor

a) **Distancia de operación:** Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) la producción de un tractor de orugas es inversamente proporcional a la distancia de empuje de un material; cien metros, es en promedio, la distancia más económica para la producción de un tractor de orugas.

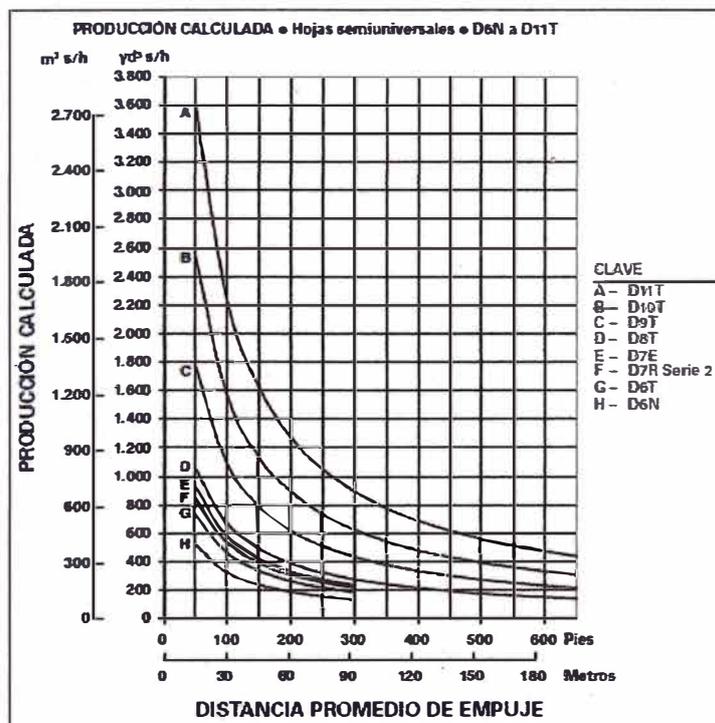


Figura N° 41.- Rendimiento vs. Distancia de empuje de un tractor

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

b) Trabajos en pendiente: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) es la condición óptima de trabajo, distribución uniforme de carga en el tren de rodaje teniendo una tracción máxima, patinaje mínimo y menor consumo de combustible por cada metro cúbico, por lo tanto, se debe trabajar en bajada siempre que sea posible ya que cada 1% de inclinación, mejora en 2% la producción del tractor sobre orugas.

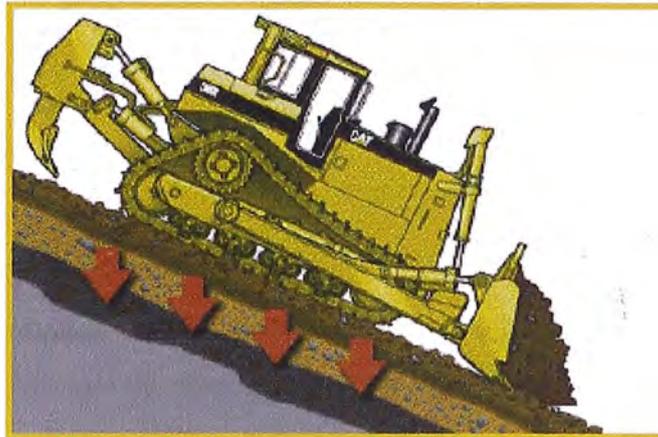


Figura N° 42.- Tractor sobre orugas trabajando en pendiente

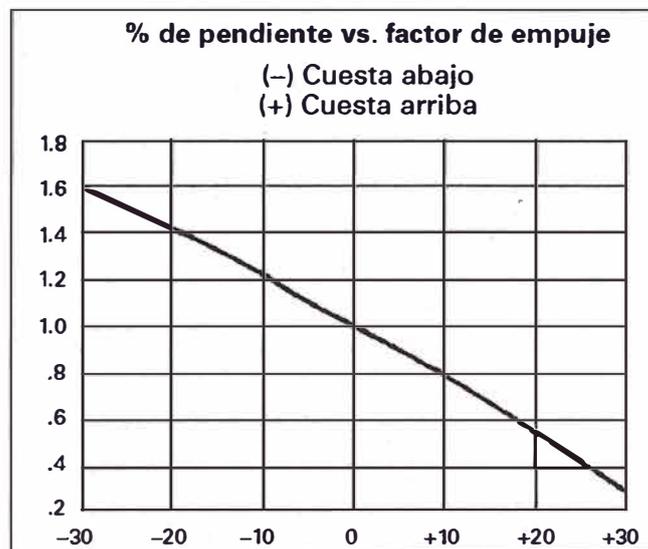


Figura N° 43.- Pendiente vs. Mejora en rendimiento del tractor
 Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

c) Corte y transporte de material: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) se debe transportar el material excavado una vez que la hoja topadora del tractor sobre orugas este llena y no continuar excavando y rodando

el material durante todo el ciclo, ya que esto causa derrame excesivo, deteriorando el rendimiento del tractor sobre orugas.

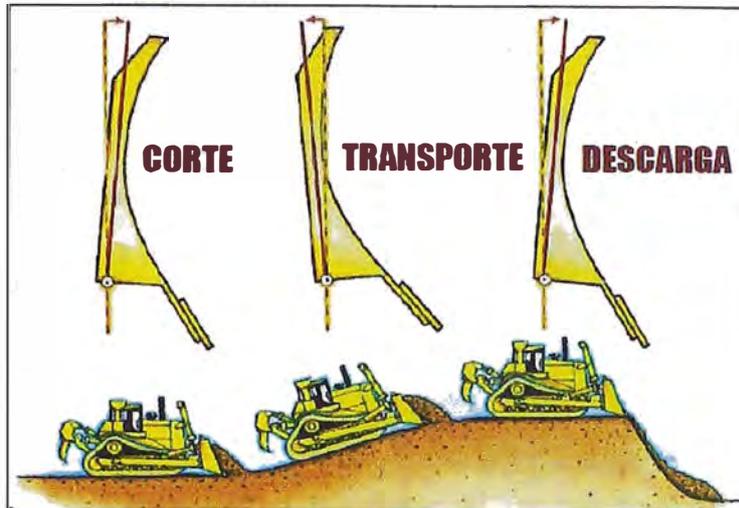


Figura N° 44.- Posición de la hoja topadora del tractor para cada operación

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

3.1.2 Carguío de material con Excavadora

a) **Altura del banco:** Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) cuando el material es estable, como es el caso del material inadecuado no saturado, material de roca que requiere voladura y material de roca que no requiere voladura; la altura del banco sobre el cual se encuentra la excavadora realizando el carguío debe ser aproximadamente igual a la longitud del brazo de la excavadora.

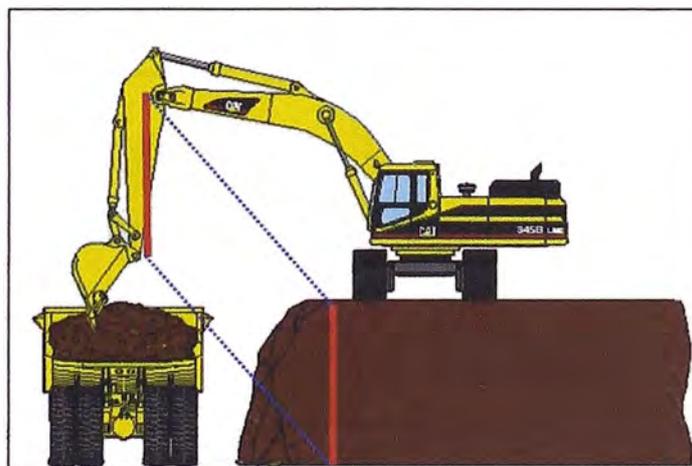


Figura N° 45.- Altura del banco durante el carguío con excavadora

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

b) Distancia al camión ideal: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) la posición ideal del equipo de acarreo es el lateral de la tolva situada debajo la articulación de la pluma con el brazo.

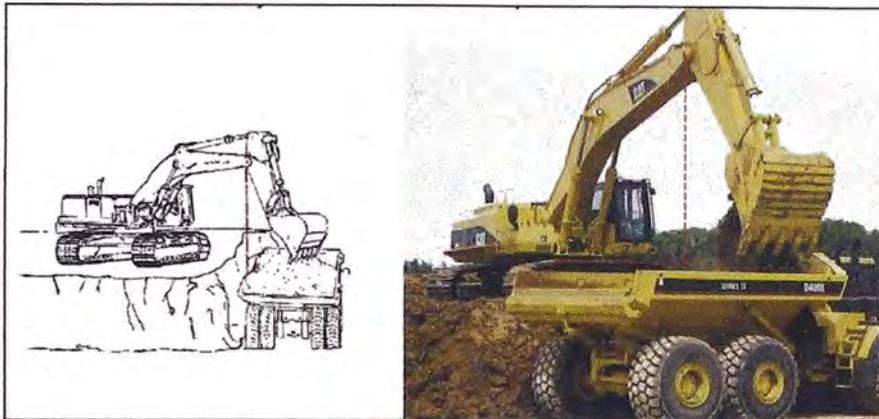


Figura N° 46.- Posición ideal del equipo de acarreo durante el carguío
Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

c) Zona de trabajo: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para obtener la máxima producción, la zona de trabajo debe estar limitada a 15° a cada lado del centro de la maquina o aproximadamente igual al ancho del tren de rodaje de la excavadora; la figura muestra dos alternativas posibles para la zona de trabajo de una excavadora.

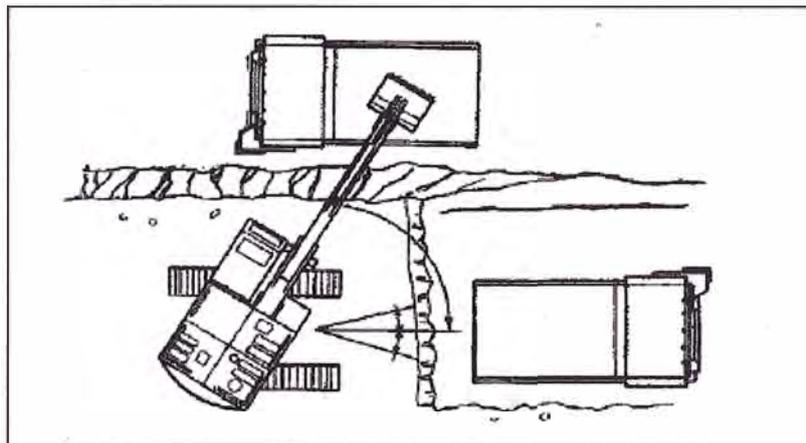


Figura N° 47.- Zona de Trabajo para la excavadora en carguío
Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

d) Ángulos de giro óptimos: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) los equipos de acarreo deben colocarse tan cerca como sea posible

de la línea central de la máquina, teniendo en la realidad ángulos de giro óptimos de 30° a 60° como máximo.

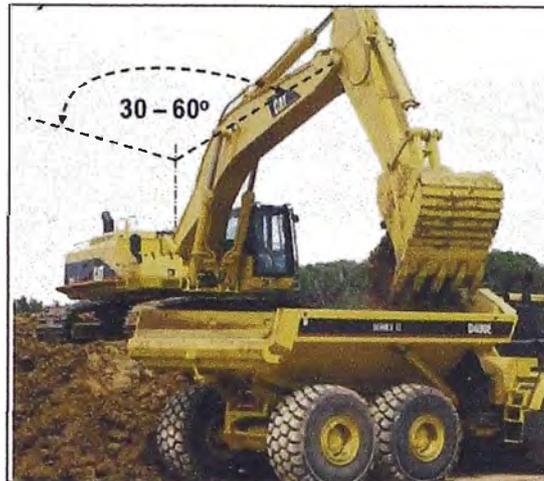


Figura N° 48.- Ángulo de giro óptimo de la excavadora en carguío

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

e) Distancia ideal desde el borde: Según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) la máquina debe colocarse de forma que el brazo esté vertical cuando el cucharón alcance su carga máxima. Si la máquina se encuentra a una distancia mayor, se reduce la fuerza de desprendimiento. Si se coloca más cerca del borde, es posible que no se obtenga el corte total esperado y se perderá tiempo al retroceder el brazo. Además, el operador debe comenzar a levantar la pluma cuando el cucharón haya recorrido el 75 % del ciclo de plegado. En ese momento el brazo estará muy cerca de la vertical.

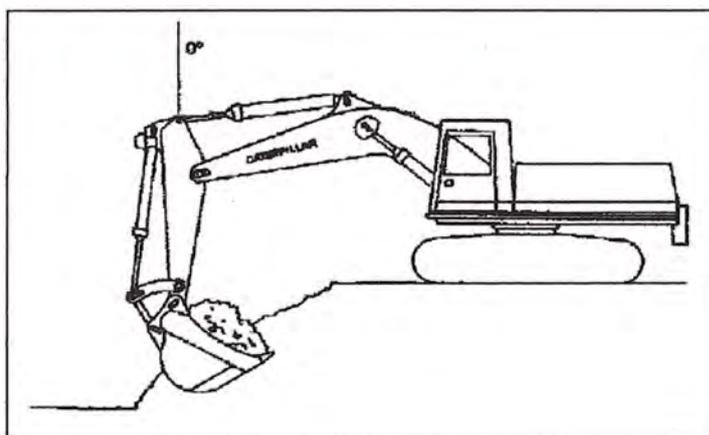


Figura N° 49.- Distancia ideal desde el borde de la excavadora

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012)

3.1.3 Transporte de Material en general con Camiones Volquete

El acoplamiento de flota es el número óptimo de camiones volquete para un determinado equipo de carguío, que en el caso del proyecto en estudio, se trata de una excavadora CAT 336 (247 HP) realizando el carguío de material en general.

Según el Ing. Walter Ibáñez en su libro “Costos y Tiempos en Carreteras”, el tiempo total de ciclo de viaje redondo de un equipo de acarreo es la suma de los siguientes tiempos: el tiempo de carguío, el tiempo de viaje de ida, el tiempo de descarga y el tiempo de viaje de retorno.

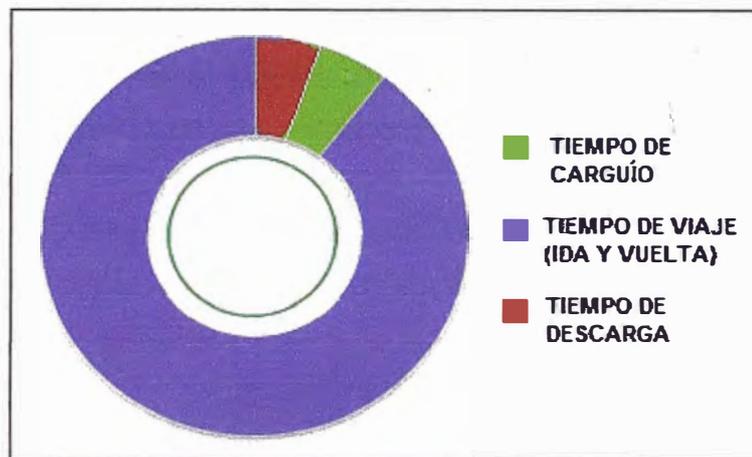


Figura N° 50.- Tiempo total de ciclo de viaje redondo de un camión

El tiempo total de la excavadora es la suma de los siguientes tiempos: el tiempo de maniobra, el tiempo de carguío y el tiempo de espera.

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right\}$$

Por lo tanto, el número óptimo de camiones volquete será la división entre el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete y el tiempo total de carguío, de donde:

$$\text{N° Óptimo Camiones} = \text{Tiempo Total Ciclo Camión} / \text{Tiempo Total Excavadora}$$

3.2 RENDIMIENTOS ACTUALES DE MAQUINARIA PESADA EN OBRA

3.2.1 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno saturado

Se aplicará los conceptos básicos y criterios para mejorar el rendimiento y desempeño de la maquinaria pesada según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42), por lo tanto, se implementará una situación aplicando las propuestas de mejora para aumentar el rendimiento de la maquinaria pesada.

De acuerdo a los resultados en el Capítulo II, según el Cuadro N° 6.- Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado, se tiene que el tiempo total de carguío es de 3.85 minutos y el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete es de 62.01 minutos. Por lo tanto, el número óptimo de camiones volquete será la división entre el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete y el tiempo total de carguío, de donde:

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 62.01 / 3.85 = 16.10$$

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 16 \text{ volquetes}$$

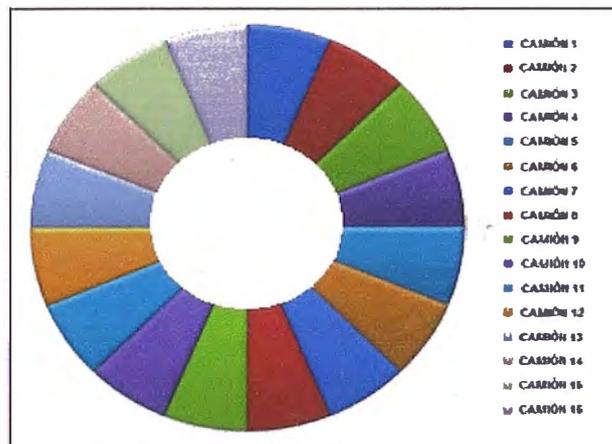


Figura N° 51.- Número óptimo de camiones - Excavadora en terreno saturado

Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno saturado: según la situación implementada en campo, las propuestas de mejora según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para la partida excavación y acarreo de material inadecuado saturado son las siguientes:

- Zona de trabajo (Véase ítem 3.1.2 - c)
- Ángulo de giro óptimo (Véase ítem 3.1.2 - d)



Figura N° 52.- Situación Implementada - Excavadora en terreno saturado

$$\text{Tiempo Total EXCAVADORA} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 26.- Tiempos de la Excavadora en terreno saturado (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-586 | 01:22:16 | 01:23:34 | 01:25:06 | 00:01:18 | 00:01:32 | 00:00:44 |
| 11-629 | 01:25:50 | 01:27:22 | 01:28:57 | 00:01:32 | 00:01:35 | 00:00:38 |
| 11-349 | 01:29:35 | 01:31:09 | 01:32:43 | 00:01:34 | 00:01:34 | 00:00:44 |
| 11-351 | 01:33:27 | 01:34:58 | 01:36:29 | 00:01:31 | 00:01:31 | 00:00:42 |
| 11-614 | 01:37:11 | 01:38:45 | 01:40:21 | 00:01:34 | 00:01:36 | 00:00:42 |
| 11-624 | 01:41:03 | 01:42:35 | 01:44:10 | 00:01:32 | 00:01:35 | 00:00:46 |
| 11-612 | 01:44:56 | 01:46:25 | 01:47:57 | 00:01:29 | 00:01:32 | 00:00:47 |
| 11-348 | 01:48:44 | 01:50:14 | 01:51:44 | 00:01:30 | 00:01:30 | 00:00:44 |
| 11-625 | 01:52:28 | 01:54:00 | 01:55:36 | 00:01:32 | 00:01:36 | 00:00:41 |
| 11-593 | 01:56:17 | 01:57:48 | 01:59:26 | 00:01:31 | 00:01:38 | 00:00:46 |
| 11-609 | 02:00:12 | 02:01:44 | 02:03:18 | 00:01:32 | 00:01:34 | 00:00:46 |
| 11-605 | 02:04:04 | 02:05:34 | 02:07:09 | 00:01:30 | 00:01:35 | 00:00:46 |
| 11-591 | 02:07:55 | 02:09:24 | 02:10:56 | 00:01:29 | 00:01:32 | 00:00:44 |
| 11-354 | 02:11:40 | 02:13:13 | 02:14:51 | 00:01:33 | 00:01:38 | 00:00:40 |
| 11-356 | 02:15:31 | 02:17:03 | 02:18:39 | 00:01:32 | 00:01:36 | 00:00:45 |
| 11-579 | 02:19:24 | 02:20:55 | 02:22:29 | 00:01:31 | 00:01:34 | 00:00:45 |
| 11-586 | 02:23:14 | 02:24:44 | 02:26:19 | 00:01:30 | 00:01:35 | 00:00:42 |
| 11-629 | 02:27:01 | 02:28:35 | 02:30:13 | 00:01:34 | 00:01:38 | 00:00:40 |
| 11-349 | 02:30:53 | 02:32:25 | 02:33:57 | 00:01:32 | 00:01:32 | 00:00:47 |
| 11-351 | 02:34:44 | 02:36:14 | 02:37:48 | 00:01:30 | 00:01:34 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 27.- Tiempos de la Excavadora en terreno saturado (II)

| Código | Factor de Llenado | Número de Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-586 | 95% | 6 | 01:25:06 | 02:23:02 | 00:57:56 |
| 11-629 | 95% | 6 | 01:28:57 | 02:26:49 | 00:57:52 |
| 11-349 | 95% | 6 | 01:32:43 | 02:30:41 | 00:57:58 |
| 11-351 | 95% | 6 | 01:36:29 | 02:34:33 | 00:58:04 |
| 11-614 | 95% | 6 | | | |
| 11-624 | 95% | 6 | | | |
| 11-612 | 95% | 6 | | | |
| 11-348 | 95% | 6 | | | |
| 11-625 | 95% | 6 | | | |
| 11-593 | 95% | 6 | | | |
| 11-609 | 95% | 6 | | | |
| 11-605 | 95% | 6 | | | |
| 11-591 | 95% | 6 | | | |
| 11-354 | 95% | 6 | | | |
| 11-356 | 95% | 6 | | | |
| 11-579 | 95% | 6 | | | |
| 11-586 | 95% | 6 | | | |
| 11-629 | 95% | 6 | | | |
| 11-349 | 95% | 6 | | | |
| 11-351 | 95% | 6 | | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 28.- Rendimiento Actual de la excavadora en terreno saturado

| Tiempo de la Excavadora en terreno saturado (Situación Implementada en Obra) | |
|---|---------------------|
| Excavadora 336DLME (247 HP) | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 1.52 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.57 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.73 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 3.82 |

| Tiempo de la Excavadora en terreno saturado (Situación Implementada en Obra) | |
|--|---------------|
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 57.96 |
| Distancia (Km) | 9.58 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 20.73 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 61.78 |
| Acoplamiento de Flota | |
| # Óptimo de Camiones | 16.18 |
| # Real de Camiones | 16 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | - |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno saturado (Situación Implementada en obra) | |
| Excavadora 336DLME | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 95% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 15.54 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 212.58 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 125 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,250 |

Fuente: Elaboración Propia

En el Capítulo II según el Cuadro N° 6, el rendimiento de la excavadora en terreno saturado resultó 931 m³/día, nótese que el rendimiento calculado en la situación implementada con las propuestas de mejora para la excavadora en terreno saturado es de 1,250 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 34%. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,200 m³ por día, por lo tanto, estamos cumpliendo y mejorando el rendimiento de la maquinaria pesada previsto para esta partida.

3.2.2 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno no saturado

Se aplicará los conceptos básicos y criterios para mejorar el rendimiento y desempeño de la maquinaria pesada según el Manual de Rendimiento

Caterpillar (Edición 42), por lo tanto, se implementará una situación aplicando las propuestas de mejora para aumentar el rendimiento de la maquinaria pesada.

De acuerdo a los resultados en el Capítulo II, según el Cuadro N° 13.- Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado, se tiene que el tiempo total de carguío es de 2.95 minutos y el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete es de 24.50 minutos. Por lo tanto, el número óptimo de camiones volquete será la división entre el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete y el tiempo total de carguío.

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 24.50 / 2.95 = 8.51$$

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 9 \text{ volquetes}$$

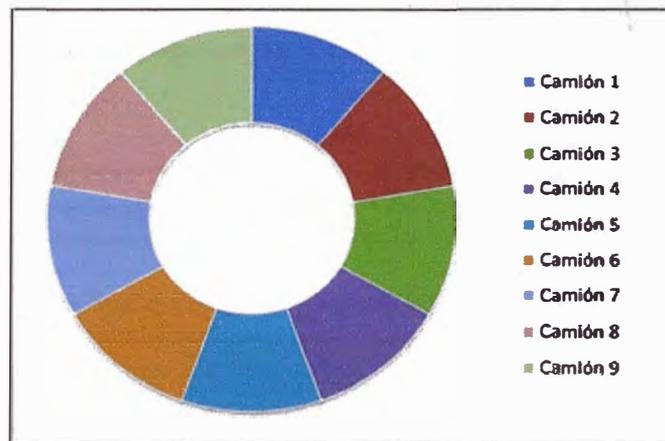


Figura N° 53.- Número óptimo de camiones Volquete para la Excavadora en terreno no saturado

Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno no saturado: según la situación implementada en campo, las propuestas de mejora según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para la partida excavación y acarreo de material en terreno no saturado son las siguientes:

- Altura del Banco (Véase ítem 3.1.2 - a)
- Zona de trabajo (Véase ítem 3.1.2 - c)
- Ángulo de giro óptimo (Véase ítem 3.1.2 - d)
- Distancia ideal desde el borde (Véase ítem 3.1.2 - e)



Figura N° 54.- Situación Implementada para excavadora en terreno no saturado

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right.$$

$$\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 29.- Tiempos de la excavadora en terreno no saturado (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-606 | 01:04:36 | 01:05:18 | 01:06:40 | 00:00:42 | 00:01:22 | 00:00:35 |
| 11-413 | 01:07:15 | 01:08:07 | 01:09:31 | 00:00:52 | 00:01:24 | 00:00:24 |
| 11-356 | 01:09:55 | 01:10:53 | 01:12:16 | 00:00:58 | 00:01:23 | 00:00:32 |
| 11-607 | 01:12:48 | 01:13:44 | 01:15:05 | 00:00:56 | 00:01:21 | 00:00:34 |
| 11-554 | 01:15:39 | 01:16:31 | 01:17:54 | 00:00:52 | 00:01:23 | 00:00:32 |
| 11-385 | 01:18:26 | 01:19:20 | 01:20:42 | 00:00:54 | 00:01:22 | 00:00:26 |
| 11-555 | 01:21:08 | 01:22:04 | 01:23:28 | 00:00:56 | 00:01:24 | 00:00:32 |
| 11-352 | 01:24:00 | 01:24:53 | 01:26:15 | 00:00:53 | 00:01:22 | 00:00:30 |
| 11-580 | 01:26:45 | 01:27:41 | 01:29:02 | 00:00:56 | 00:01:21 | 00:00:30 |
| 11-606 | 01:29:32 | 01:30:30 | 01:31:52 | 00:00:58 | 00:01:22 | 00:00:42 |
| 11-413 | 01:32:34 | 01:33:16 | 01:34:38 | 00:00:42 | 00:01:22 | 00:00:42 |
| 11-356 | 01:35:20 | 01:36:02 | 01:37:25 | 00:00:42 | 00:01:23 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 30.- Tiempos de la excavadora en terreno no saturado (II)

| Código | Factor de Llenado Promedio | N° Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|----------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-606 | 100% | 6 | 01:06:40 | 01:29:16 | 00:22:36 |
| 11-413 | 100% | 6 | 01:09:31 | 01:32:18 | 00:22:47 |
| 11-356 | 100% | 6 | 01:12:16 | 01:35:08 | 00:22:52 |
| 11-607 | 100% | 6 | 01:15:05 | 01:37:22 | 00:22:17 |
| 11-554 | 100% | 6 | 01:17:54 | 01:39:18 | 00:21:24 |
| 11-385 | 100% | 6 | 01:20:42 | 01:42:31 | 00:21:49 |
| 11-555 | 100% | 6 | 01:23:28 | 01:44:32 | 00:21:04 |
| 11-352 | 103% | 6 | 01:26:15 | 01:47:42 | 00:21:27 |
| 11-580 | 105% | 6 | 01:29:02 | 01:50:36 | 00:21:34 |
| 11-606 | 101% | 6 | 01:31:52 | | |
| 11-413 | 104% | 6 | 01:34:38 | | |
| 11-356 | 104% | 6 | 01:37:25 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de 2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012).

Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno no saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 31.- Rendimiento Actual de excavadora en terreno no saturado

| Tiempo de la Excavadora en terreno no saturado (Situación Implementada en Obra) | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 0.87 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.37 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.55 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 2.79 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 21.98 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 19.77 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 24.77 |

| Acoplamiento de Flota | |
|---|--------------|
| # Óptimo de Camiones | 8.9 |
| # Real de Camiones | 9 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | - |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado (Situación Implementada en Obra) | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 101% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 21.54 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m ³ /hora) | 313 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m ³ /hora) | 183.5 |
| Rendimiento Final (m ³ /día) | 1,835 |

Fuente: Elaboración Propia

En el Capítulo II según el Cuadro N° 13, el rendimiento de la excavadora en terreno no saturado resultó 1,026 m³/día, nótese que el rendimiento en la situación implementada con las propuestas de mejora para la excavadora en terreno no saturado es de 1,835 m³/día; se mejoró en rendimiento en un 78%. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³ por día. Actualmente en la obra se tiene un rendimiento promedio de 1,600 m³ por excavadora en cada punto de carguío de material inadecuado no saturado.

3.2.3 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura

Se aplicará los conceptos básicos y criterios para mejorar el rendimiento y desempeño de la maquinaria pesada según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42), por lo tanto, se implementará una situación aplicando las propuestas de mejora para aumentar el rendimiento de la maquinaria pesada.

De acuerdo a los resultados en el Capítulo II, según el Cuadro N° 16.- Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura, se

tiene que el tiempo total de carguío es de 3.58 minutos y el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete es de 27.07 minutos. Por lo tanto, el número óptimo de camiones volquete será la división entre el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete y el tiempo total de carguío.

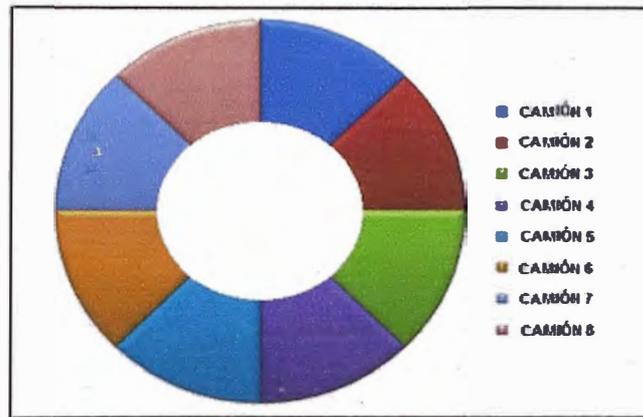


Figura N° 55.- Número óptimo de camiones - Excavadora en roca por voladura

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 27.07 / 3.58 = 7.60$$

$$\text{Número Óptimo de camiones volquete} = 8 \text{ volquetes}$$

Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura: según la situación implementada en campo, las propuestas de mejora según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para la partida excavación y acarreo de roca que requiere voladura, son las siguientes:

- Altura del Banco (Véase ítem 3.1.2 - a)
- Distancia al camión ideal (Véase ítem 3.1.2 - b)



Figura N° 56.- Situación Implementada para excavadora en roca por voladura

$$\text{Tiempo Total EXCAVADORA} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$$

Cuadro N° 32.- Tiempos de Excavadora en roca fragmentada por voladura (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-385 | 00:02:16 | 00:03:34 | 00:05:06 | 00:01:18 | 00:01:32 | 00:00:49 |
| 11-349 | 00:05:55 | 00:06:22 | 00:07:57 | 00:00:27 | 00:01:35 | 00:00:18 |
| 11-354 | 00:08:15 | 00:09:09 | 00:10:43 | 00:00:54 | 00:01:34 | 00:00:24 |
| 11-607 | 00:11:07 | 00:11:58 | 00:13:29 | 00:00:51 | 00:01:31 | 00:00:32 |
| 11-591 | 00:14:01 | 00:14:45 | 00:16:21 | 00:00:44 | 00:01:36 | 00:00:12 |
| 11-554 | 00:16:33 | 00:17:35 | 00:19:10 | 00:01:02 | 00:01:35 | 00:00:26 |
| 11-606 | 00:19:36 | 00:20:25 | 00:21:57 | 00:00:49 | 00:01:32 | 00:00:31 |
| 11-348 | 00:22:28 | 00:23:24 | 00:25:02 | 00:00:56 | 00:01:38 | 00:01:06 |
| 11-385 | 00:26:08 | 00:26:43 | 00:28:18 | 00:00:35 | 00:01:35 | 00:00:53 |
| 11-349 | 00:29:11 | 00:29:48 | 00:31:26 | 00:00:37 | 00:01:38 | 00:00:40 |
| 11-354 | 00:32:06 | 00:32:59 | 00:34:38 | 00:00:53 | 00:01:39 | 00:01:03 |
| 11-607 | 00:35:41 | 00:36:04 | 00:37:39 | 00:00:23 | 00:01:35 | 00:00:49 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el factor de llenado del cucharón y la cantidad de cucharadas con que se llena el camión volquete (pasadas):

Cuadro N° 33.- Tiempos de Excavadora en roca fragmentada por voladura (II)

| Código | Factor de Llenado | Número de Pasadas | Carga Volquete | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-385 | 75% | 5 | 9.0 | 00:05:06 | 00:26:08 | 00:21:02 |
| 11-349 | 75% | 5 | 9.0 | 00:07:57 | 00:29:11 | 00:21:14 |
| 11-354 | 75% | 6 | 10.8 | 00:10:43 | 00:32:06 | 00:21:23 |
| 11-607 | 75% | 5 | 9.0 | 00:13:29 | 00:35:41 | 00:22:12 |
| 11-591 | 75% | 6 | 10.8 | | | |
| 11-554 | 75% | 5 | 9.0 | | | |
| 11-606 | 75% | 6 | 10.8 | | | |
| 11-348 | 75% | 6 | 10.8 | | | |
| 11-385 | 75% | 5 | 9.0 | | | |
| 11-349 | 75% | 5 | 9.0 | | | |
| 11-354 | 75% | 6 | 10.8 | | | |
| 11-607 | 75% | 6 | 10.8 | | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de

2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012). Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen/Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 34.- Rendimiento Actual de Excavadora en roca por voladura

| Tiempo de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura (Situación Implementada en Obra) | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 0.78 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.58 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.59 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 2.95 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 21.46 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 20.32 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 24.42 |
| Acoplamiento de Flota | |
| # Óptimo de Camiones | 8.3 |
| # Real de Camiones | 8.0 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 0.10 |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura (Situación Implementada en Obra) | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 75% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 19.66 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 195 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 114 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,140 |

Fuente: Elaboración Propia

En el Capítulo II según el Cuadro N° 16, el rendimiento de la excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura resultó 819 m³/día. Nótese que el rendimiento en la situación implementada con las propuestas de mejora en la excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura es de 1,140 m³/día; se mejoró en rendimiento en un 39%, pero según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³/día, por lo tanto, se concluye que tal rendimiento es muy optimista. Actualmente en la obra se tiene un rendimiento promedio de 1,050 m³/día, teniendo una pérdida por cada m³ de carguío de roca que requiere voladura de \$ 0.13 de acuerdo al Presupuesto Meta, multiplicado por el metrado total de obra que es de 861,100 m³ se tiene una pérdida de \$ 111,943.

3.2.4 Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer

Se aplicará los conceptos básicos y criterios para mejorar el rendimiento y desempeño de la maquinaria pesada según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42), por lo tanto, se implementará una situación aplicando las propuestas de mejora para aumentar el rendimiento de la maquinaria pesada.

De acuerdo a los resultados en el Capítulo II, según el Cuadro N° 19.- Rendimiento de la excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer, se tiene que el tiempo total de carguío es de 3.76 minutos y el tiempo total de un ciclo de viaje redondo de un camión volquete es de 34.51 minutos.

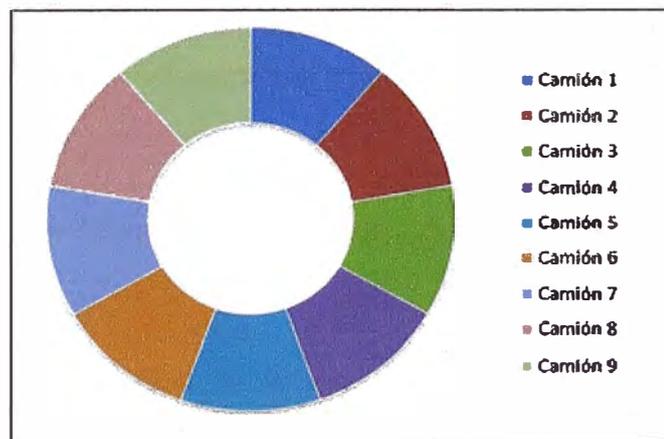


Figura N° 57.- Número óptimo de camiones para la excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer

Número Óptimo de camiones volquete = $34.51 / 3.76 = 9.2$

Número Óptimo de camiones volquete = 9 volquetes

Rendimiento Actual de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer: según la situación implementada en campo, las propuestas de mejora según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para la partida excavación y acarreo de roca que no requiere voladura, son las siguientes:

- Altura del Banco (Véase ítem 3.1.2 - a)
- Zona de Trabajo (Véase ítem 3.1.2 - c)
- Ángulos de giro óptimos (Véase ítem 3.1.2 - d)



Figura N° 58.- Situación Implementada para excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer

$$\text{Rendimiento Excavadora} = \text{Función} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tiempo de Maniobra} \\ \text{Tiempo de Carguío} \\ \text{Tiempo de Espera} \end{array} \right\}$$

Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno saturado será calculado de la siguiente manera:

| |
|--|
| $\text{Tiempo Total}_{\text{EXCAVADORA}} = \text{T. de Maniobra} + \text{T. de Carguío} + \text{T. de Espera}$ |
|--|

Cuadro N° 35.- Tiempos de Excavadora en roca blanda removida por Tractor (I)

| Código | Inicio de maniobra | Inicio del carguío | Fin del carguío | Tiempo de maniobra | Tiempo de carguío | Tiempo de Espera |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 11-415 | 00:05:21 | 00:05:55 | 00:07:33 | 00:00:34 | 00:01:38 | 00:00:34 |
| 11-386 | 00:08:07 | 00:08:36 | 00:10:13 | 00:00:29 | 00:01:37 | 00:00:18 |
| 11-397 | 00:10:31 | 00:11:28 | 00:12:52 | 00:00:57 | 00:01:24 | 00:00:14 |
| 11-355 | 00:13:06 | 00:14:07 | 00:15:42 | 00:01:01 | 00:01:35 | 00:00:51 |
| 11-570 | 00:16:33 | 00:17:25 | 00:19:14 | 00:00:52 | 00:01:49 | 00:00:55 |
| 11-352 | 00:20:09 | 00:20:56 | 00:22:43 | 00:00:47 | 00:01:47 | 00:00:19 |
| 11-414 | 00:23:02 | 00:23:45 | 00:25:15 | 00:00:43 | 00:01:30 | 00:01:05 |
| 11-406 | 00:26:20 | 00:27:10 | 00:28:52 | 00:00:50 | 00:01:42 | 00:00:23 |
| 11-535 | 00:29:15 | 00:30:05 | 00:31:33 | 00:00:50 | 00:01:28 | 00:00:33 |
| 11-415 | 00:32:06 | 00:32:49 | 00:34:24 | 00:00:43 | 00:01:35 | 00:00:26 |
| 11-386 | 00:34:50 | 00:36:03 | 00:37:46 | 00:01:13 | 00:01:43 | 00:01:01 |
| 11-397 | 00:38:47 | 00:39:44 | 00:41:22 | 00:00:57 | 00:01:38 | 00:00:28 |
| 11-355 | 00:41:50 | 00:43:05 | 00:44:41 | 00:01:15 | 00:01:36 | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Se determina el porcentaje del factor de llenado de acuerdo a la cantidad de material cargado en el cucharón de la excavadora durante cada pasada (P):

Cuadro N° 36.- Tiempos de Excavadora en roca blanda removida por Tractor (II)

| Código | Factor de Llenado | Número de Pasadas | Hora Salida | Hora Llegada | Tiempo viaje |
|--------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 11-415 | 98% | 6 | 00:07:33 | 00:31:59 | 00:24:26 |
| 11-386 | 98% | 6 | 00:10:13 | 00:34:42 | 00:24:29 |
| 11-397 | 102% | 6 | 00:12:52 | 00:38:41 | 00:25:49 |
| 11-355 | 98% | 6 | 00:15:42 | 00:41:28 | 00:25:46 |
| 11-570 | 98% | 6 | 00:19:14 | | |
| 11-352 | 99% | 6 | 00:22:43 | | |
| 11-414 | 100% | 6 | 00:25:15 | | |
| 11-406 | 103% | 6 | 00:28:52 | | |
| 11-535 | 103% | 6 | 00:31:33 | | |
| 11-415 | 103% | 6 | 00:34:24 | | |
| 11-386 | 99% | 6 | 00:37:46 | | |
| 11-397 | 104% | 6 | 00:41:22 | | |
| 11-355 | 105% | 6 | 00:44:41 | | |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Volumen del Cucharón de la Excavadora: la capacidad nominal del cucharón, es decir, la capacidad colmada de una Excavadora CAT 336DL (247 HP) es de

2.4 m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012). Finalmente, el rendimiento final de la excavadora en terreno saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen}/\text{Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 37.- Rendimiento Actual de Excavadora en Roca Blanda

| Tiempo de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer (Situación Implementada en Obra) | |
|--|---------------------|
| Excavadora 336DLME | |
| Descripción del proceso | Carguío de camiones |
| Tiempo de maniobra (minutos) | 0.87 |
| Tiempo de carguío (minutos) | 1.62 |
| Tiempo de espera (minutos) | 0.60 |
| Tiempo Total de la Excavadora (minutos) | 3.09 |
| Tiempo de ida y vuelta del Camión (minutos) | 25.13 |
| Distancia (Km) | 3.21 |
| Velocidad Promedio (Km/hora) | 18.25 |
| Tiempo Total del Ciclo del Camión (minutos) | 28.22 |
| Acoplamiento de Flota | |
| # Óptimo de Camiones | 9.1 |
| # Real de Camiones | 9.0 |
| Tiempo de espera del Camión (minutos) | - |
| Tiempo de espera de la excavadora (minutos) | 0.04 |
| Rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer (Situación Implementada en Obra) | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 2.4 |
| Factor de Llenado del Cucharón (%) | 101% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 19.14 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 278 |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Factor de Carga)(%) | 80% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 96% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 163 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,630 |

Fuente: Elaboración Propia

En el Capítulo II según el Cuadro N° 19, el rendimiento de la excavadora en terreno blando removido por Tractor Buldózer resultó 1,308 m³/día. Nótese que el rendimiento en la situación implementada con las propuestas de mejora en la excavadora en terreno blando removido por Tractor Buldózer es de 1,630 m³/día; se mejoró en rendimiento en un 24%. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo para esta partida es de 1,350 m³/día, por lo tanto, estamos cumpliendo y mejorando el rendimiento de la maquinaria pesada previsto para esta partida.

3.2.5 Rendimiento Actual del Camión Volquete en el transporte de material

Para el desarrollo del presente informe de suficiencia, los trabajos de excavación se están realizando en el frente de trabajo de la Quinta Entrega, por lo tanto, el transporte de material en general se está transportando a los depósitos o botaderos de Cerro Negro y Desmonte Norte La Quinua desde la quinta entrega.

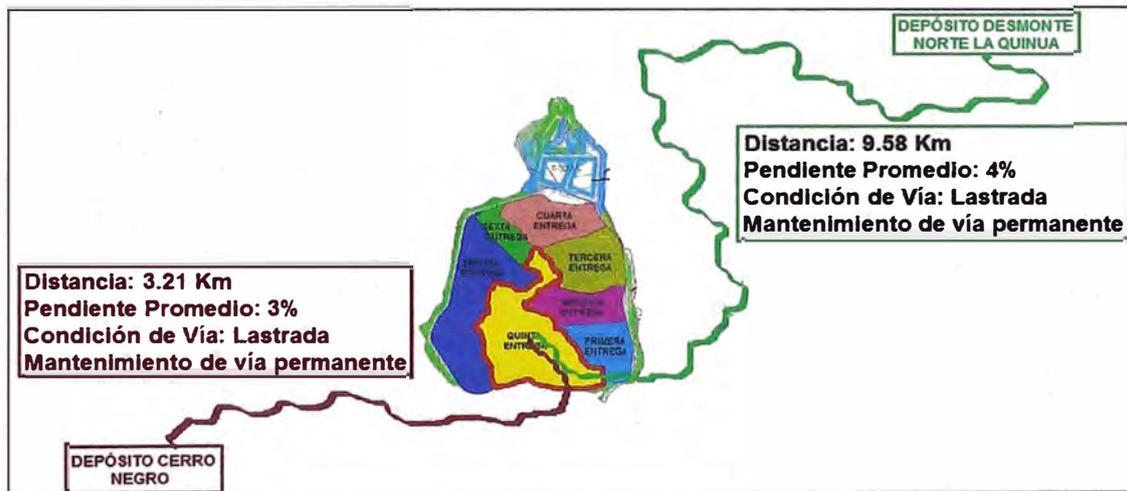


Figura N° 59.- Distancia del Proyecto a los Depósitos

Rendimiento Actual del Camión Volquete en el transporte de material de roca blanda removida por tractor buldózer: En el ítem 3.2.1 Rendimiento Actual de la excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer, se tiene que el tiempo de ciclo promedio del camión volquete es de 28.22 minutos hacia el depósito de Cerro Negro, comparado con el tiempo de ciclo máximo que es 28.80 minutos, estamos asegurando que no hay pérdida en esta partida de transporte de material.

3.2.6 Rendimiento Actual del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados

Se aplicará los conceptos básicos y criterios para mejorar el rendimiento y desempeño de la maquinaria pesada según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42), por lo tanto, se implementará una situación aplicando las propuestas de mejora para aumentar el rendimiento de la maquinaria pesada.

Según la situación implementada en campo, las propuestas de mejora según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42) para la partida explotación de material en cantera son las siguientes:

- Distancia de Operación (Véase ítem 3.1.1 - a)
- Trabajos en Pendiente (Véase ítem 3.1.1 - b)
- Corte y Transporte de material (Véase ítem 3.1.1 - c)

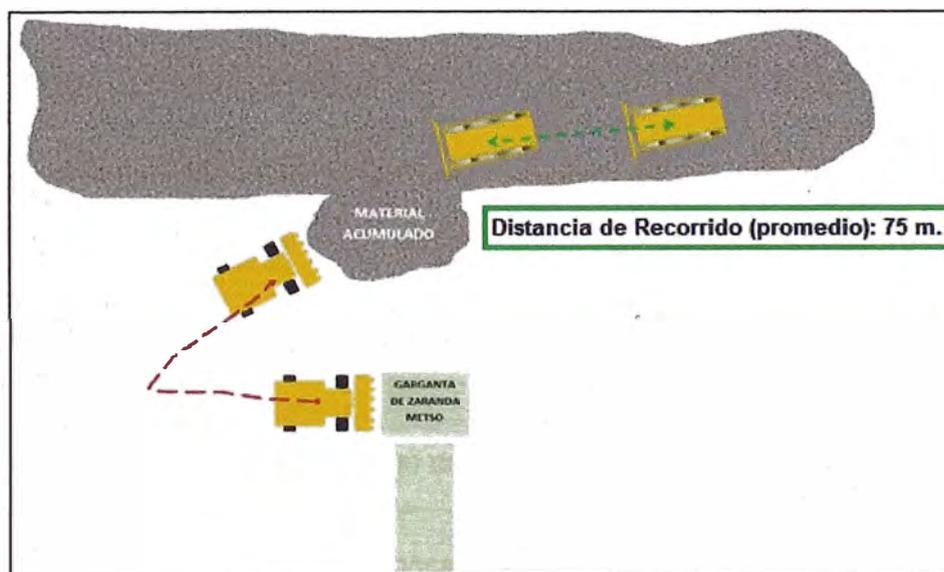


Figura N° 60.- Situación Implementada del Tractor en explotación en cantera

Entonces, de acuerdo a los formatos diseñados para el cálculo del rendimiento por Observación Directa, se tomarán veintiséis tiempos con el cronómetro del empuje y retroceso del tractor CAT D7R (240 HP) para obtener el tiempo promedio de empuje y el tiempo promedio de retroceso, realizando esta medición tres veces para determinar el tiempo promedio del ciclo del tractor CAT D7R (240 HP) para la subpartida explotación de material en cantera.

Cuadro N° 38.- Tiempos de empuje del tractor para la explotación en cantera

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| empuje | 18.25 | 21.98 | 21.47 |
| empuje | 19.25 | 20.50 | 23.60 |
| empuje | 21.50 | 19.50 | 19.73 |
| empuje | 14.55 | 21.60 | 20.36 |
| empuje | 21.56 | 20.58 | 20.88 |
| empuje | 20.94 | 20.30 | 22.34 |
| empuje | 19.56 | 19.50 | 20.36 |
| empuje | 20.78 | 18.95 | 18.26 |
| empuje | 19.85 | 21.69 | 25.51 |
| empuje | 20.50 | 21.54 | 21.56 |
| empuje | 20.46 | 20.56 | 21.25 |
| empuje | 25.63 | 20.84 | 19.60 |
| empuje | 13.58 | 19.65 | 22.50 |
| empuje | 19.57 | 21.12 | 22.60 |
| empuje | 18.23 | 19.53 | 22.65 |
| empuje | 12.53 | 22.45 | 16.21 |
| empuje | 19.70 | 19.56 | 15.07 |
| empuje | 18.57 | 19.56 | 27.69 |
| empuje | 19.54 | 19.87 | 18.55 |
| empuje | 18.56 | 18.85 | 20.78 |
| empuje | 22.16 | 20.02 | 20.36 |
| empuje | 22.50 | 18.35 | 19.85 |
| empuje | 21.26 | 21.56 | 21.50 |
| empuje | 19.56 | 21.60 | 18.52 |
| empuje | 20.36 | 17.65 | 19.56 |
| empuje | 19.56 | 21.54 | 21.11 |
| Promedio | 19.56 | 20.34 | 20.84 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Cuadro N° 39.- Tiempos de retroceso del tractor para explotación en cantera

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------|----------|----------|----------|
| retroceso | 16.23 | 16.66 | 16.70 |
| retroceso | 14.60 | 16.01 | 12.57 |
| retroceso | 12.30 | 15.77 | 11.01 |
| retroceso | 9.01 | 17.38 | 18.80 |
| retroceso | 14.52 | 13.73 | 10.57 |
| retroceso | 13.25 | 12.26 | 12.02 |
| retroceso | 12.60 | 15.18 | 9.68 |
| retroceso | 16.70 | 20.67 | 11.09 |

| TAREA | TIEMPO 1 | TIEMPO 2 | TIEMPO 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| retroceso | 15.78 | 16.61 | 10.34 |
| retroceso | 10.30 | 13.46 | 12.80 |
| retroceso | 15.93 | 12.85 | 11.74 |
| retroceso | 14.34 | 10.59 | 12.72 |
| retroceso | 12.45 | 12.56 | 11.66 |
| retroceso | 14.23 | 18.04 | 11.34 |
| retroceso | 11.50 | 15.28 | 18.66 |
| retroceso | 10.39 | 12.56 | 15.88 |
| retroceso | 11.58 | 12.98 | 15.25 |
| retroceso | 13.83 | 14.23 | 10.92 |
| retroceso | 14.56 | 11.63 | 16.05 |
| retroceso | 12.56 | 16.24 | 11.11 |
| retroceso | 15.23 | 12.60 | 15.28 |
| retroceso | 14.40 | 14.85 | 13.62 |
| retroceso | 12.31 | 12.25 | 12.47 |
| retroceso | 15.20 | 10.54 | 15.59 |
| retroceso | 12.56 | 13.93 | 15.26 |
| retroceso | 16.25 | 12.85 | 14.63 |
| Promedio | 13.56 | 14.30 | 13.38 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Por lo tanto, el tiempo promedio del ciclo del Tractor CAT D7R (240 HP) para la partida de explotación de material en cantera es de 34.64 segundos.

Cuadro N° 40.- Tiempo de empuje y retroceso - Tractor explotación en cantera

| Descripción | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Tiempo de empuje (segundos) | 19.56 | 20.34 | 20.84 |
| Tiempo de retroceso (segundos) | 13.56 | 14.3 | 13.38 |
| Tiempo de ciclo (segundos) | 33.12 | 34.64 | 34.22 |

Fuente: Formato para el cálculo del rendimiento por Observación Directa

Además, el porcentaje de tiempo invertido en abastecer con materia prima al cargador frontal sobre ruedas durante la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados es de 50%; utilizando el otro 50% del tiempo en la actividad complementaria de empujar y acomodar el material en cantera.

Volumen de la Hoja Topadora del Tractor Buldózer: La capacidad nominal de la hoja topadora, es decir, la capacidad colmada de un Tractor D7R es de 6.86

m³, según el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012). Finalmente, el rendimiento final del Tractor Buldózer en terreno no saturado será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento}_{\text{FINAL}} = (\text{Volumen/Tiempo}) \times \text{Factor}_{\text{Equipo}} \times \text{Factor}_{\text{Obra}} \times \text{Factor}_{\text{Horario}}$$

Cuadro N° 41.- Rendimiento Actual del Tractor en explotación de cantera

| Tiempo del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados (Situación Implementada en el proyecto) | |
|--|--------------|
| Tractor CAT D7R (240 HP) | |
| Descripción del proceso | Empuje |
| Tiempo de ciclo por pasada (segundos) | 34.64 |
| Tiempo de Ciclo Total (minutos) | 0.58 |
| Rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados (Situación Implementada en el proyecto) | |
| Capacidad Nominal (m ³) | 6.86 |
| Factor de Llenado de la Hoja Topadora (%) | 60% |
| Ciclos de Carga (ciclos/hora) | 103.9 |
| Rendimiento al 100% eficiencia (m³/hora) | 428 |
| Tiempo invertido en el trabajo (%) | 50% |
| Factor Humano (%) | 100% |
| Factor Equipo (Disponibilidad mecánica) (%) | 92% |
| Factor Condición de Obra (Altitud)(%) | 100% |
| Factor Eficiencia Horaria (%) | 83% |
| Rendimiento Final (m³/hora) | 163.3 |
| Rendimiento Final (m³/día) | 1,633 |

Fuente: Elaboración Propia

En el Capítulo II según el Cuadro N° 25, el rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material de cantera para el zarandeo de agregados resultó 1,304 m³/día. Nótese que el rendimiento calculado en la situación implementada con las propuestas de mejora (Véase ítem 3.2.6.b) es de 1,633 m³/día. Se mejoró el rendimiento en un 25%. Según el análisis de precio unitario el rendimiento mínimo de 1,340 m³/día, por lo tanto, estamos cumpliendo y mejorando el rendimiento previsto para esta partida.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La conclusión principal de este Informe de suficiencia es que la aplicación de la metodología de Observación Directa basada en el Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 – 2012) ha sido beneficioso al proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A, ya que esta herramienta ha permitido mejorar y elevar los rendimientos de la maquinaria pesada, en función a la disminución del tiempo de las operaciones y una adecuada utilización de la maquinaria pesada, y así asegurar la rentabilidad de la obra.
- El rendimiento de la Excavadora en terreno saturado previsto según el presupuesto es de 1,200 m³ por día, en el Capítulo II según las condiciones reales en campo el rendimiento resultó 931 m³/día y en el Capítulo III implementando las propuestas de mejora el rendimiento resultó 1,250 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 34%.
- El rendimiento de la Excavadora en terreno no saturado previsto según el presupuesto es de 1,350 m³ por día, en el Capítulo II según las condiciones reales en campo el rendimiento resultó 1,026 m³/día y en el Capítulo III implementando las propuestas de mejora el rendimiento resultó 1,835 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 78%.
- El rendimiento de la Excavadora en terreno de roca fragmentada por voladura previsto según el presupuesto es de 1,350 m³ por día, en el Capítulo II según las condiciones reales en campo el rendimiento resultó 819 m³/día y en el Capítulo III implementando las propuestas de mejora el rendimiento 1,140 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 39%. Actualmente en la obra se tiene un rendimiento promedio de 1,050 m³/día para esta partida, teniendo una pérdida por cada m³ de carguío de roca que requiere voladura de \$ 0.13 de acuerdo al Presupuesto Meta, multiplicado por el metrado total de obra que es de 861,100 m³ se tiene una pérdida de \$ 111,943.
- El rendimiento de la Excavadora en terreno de roca blanda removida por Tractor Buldózer previsto según el presupuesto es 1,350 m³ por

día, en el Capítulo II según las condiciones reales en campo el rendimiento resultó 1,308 m³/día y en el Capítulo III implementando las propuestas de mejora el rendimiento resultó 1,630 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 24%.

- El rendimiento del Tractor Buldózer en la explotación de material en cantera para el zarandeo de agregados previsto según el presupuesto es 1,340 m³ por día, en el Capítulo II según las condiciones reales en campo el rendimiento resultó 1,304 m³/día y en el Capítulo III implementando las propuestas de mejora el rendimiento resultó 1,633 m³/día; se mejoró el rendimiento en un 25%.
- El Acoplamiento de flota, es decir, el número óptimo de camiones volquete de acuerdo a las condiciones dadas en el carguío de material en general en un proyecto de movimiento de tierras, es un factor clave para que los rendimientos mejoren considerablemente, esto se ve reflejado en una mejor utilización de la maquinaria pesada y en la disminución de tiempos improductivos.
- Una correcta evaluación de las condiciones reales en las que operan los equipos de construcción dentro del proyecto, permite la toma de acciones adecuadas para corregir el proceso productivo y mejorar el rendimiento de la maquinaria pesada.
- En una obra de movimiento de tierras, los recursos determinantes para asegurar la rentabilidad de la obra son los equipos de construcción que se utilizan por su alto costo, por lo tanto, de los resultados obtenidos se concluye que los tiempos de espera de la maquinaria pesada afectan negativamente al rendimiento de la maquinaria pesada.
- El mejoramiento de los rendimientos de la maquinaria pesada en obras de movimiento de tierras se refleja directamente en la rentabilidad de la empresa constructora, haciéndola más competitiva a otras empresas; lo cual crea un precedente para la aplicación de esta metodología en futuros proyectos como una herramienta sencilla para asegurar la rentabilidad.

4.2. RECOMENDACIONES

- Debemos de conocer las características y el funcionamiento de la maquinaria pesada, tales como la excavadora, tractor bulldózer y camiones volquete los cuales fueron analizados en el presente proyecto y poder entender de una mejor manera las propuestas de mejora del Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 -2012)
- Debemos de conocer el régimen de producción de cada partida para tener la capacidad de analizar todas las operaciones de manera detallada con el fin de detectar todos los factores que afectan el rendimiento de la maquinaria pesada de manera positiva y negativa.
- El tiempo de ciclo redondo de los camiones volquete se encuentra en función de la distancia y de la velocidad de los camiones. Para poder disminuir este tiempo es necesario aumentar la velocidad de los camiones, por lo que las condiciones de la vía deben ser buenas (mantenimiento de vías permanente y cunetas para el drenaje de las aguas superficiales), los equipos de acarreo deben estar en buen estado y que los operadores conozcan la ruta a la perfección.

BIBLIOGRAFÍA

- CAT. Manual de Rendimiento Caterpillar (Performance Handbook – PHB). Edición N° 42. E.E.U.U., 2012.
- CAT. Catálogos de Maquinaria Pesada Caterpillar. E.E.U.U., 2009.
- Ibáñez, Walter. “Costos y Tiempos en Carreteras”. Edición N° 1, Editorial Macro. Lima – Perú, 2010.
- INEI. Información Económica. Perú, 2012. <http://www.inei.gob.pe>
- MVCS. Norma Técnica de Metrados. Perú, 2010.
- PMBOK. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Edición N° 4. E.E.U.U., 2008.
- Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A. “Oferta Técnica y Económica de la Licitación”. Cajamarca – Perú, 2011.
- Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A. Contrato de Obra. Cajamarca – Perú, 2011.
- Ríos Segura, Juan. Apuntes de Clase FIC – UNI. Lima – Perú, 2012.

ANEXOS

ANEXO 1

Tasa de Crecimiento del Sector Construcción en el Perú

Fuente: Estadísticas Oficiales del INEI y del BCRP



ANEXO 2

Planilla de Metrados - Proyecto Plataforma de Lixiviación 8A

| Código | Descripción / Actividad | Unidad | Cantidad |
|-----------------|--|--------------------|------------|
| 01.00.00 | ACTIVIDADES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN | | |
| 01.01.01 | Movilización | sa | 1 |
| 01.01.02 | Movilización de plantas de zarandeo y chancado (incluye la movilización de todos los equipos móviles asociados) | sa | 1 |
| 01.01.03 | Movilización Interna de Zarandas | sa | 1 |
| 01.01.04 | Desmovilización | sa | 1 |
| 01.01.05 | Desmovilización de plantas de zarandeo y chancado (incluye la desmovilización de todos los equipos móviles asociados) | sa | 1 |
| 01.01.06 | Mantenimiento de estructuras contra erosión, sedimentos y control de agua de lluvias durante la construcción | sa | 1 |
| 01.01.07 | Construcción y mantenimiento de accesos temporales para las actividades de construcción | sa | 1 |
| 01.01.08 | Remover y relocalizar estructuras existente (tuberías de agua, campamento oficinas, cercos, sedimentadores, pozas, toma de agua, etc.) | sa | 1 |
| 01.01.09 | Mantenimiento y rehabilitación de área de acumulación de suelos orgánicos | m ³ | 1,188,019 |
| 01.01.10 | Mantenimiento y rehabilitación de botadero de desmonte durante la construcción | m ³ | 2,789,461 |
| 01.01.11 | Mantenimiento y reclamación de pilas de argílico durante la construcción | m ³ | 377,300 |
| 02.00.00 | PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN (incluye canales de derivación, accesos perimetrales y pozas) | | |
| 02.01.00 | Movimiento de Tierras para la Plataforma de Lixiviación | | |
| 02.01.01 | Excavación de suelos orgánicos (topsoil) | m ³ | 908,019 |
| 02.01.03 | Acarreo de suelos orgánicos (topsoil) a la nueva área de acumulación | m ³ | 713,000 |
| 02.01.05 | Acarreo Adicional de suelo orgánico (1 km libre de acarreo incluido, 4.0 km previstos de acarreo) | m ³ xkm | 2,139,000 |
| 02.01.06 | Excavación y acarreo de Material en terreno no saturado a botadero | m ³ | 856,661 |
| 02.01.07 | Acarreo Adicional de material inadecuado no saturado (1 km libre de acarreo incluido, 4.2 km previstos de acarreo) | m ³ xkm | 4,645,200 |
| 02.01.08 | Excavación y acarreo de Material en terreno saturado a botadero | m ³ | 1,172,000 |
| 02.01.09 | Acarreo Adicional de material inadecuado saturado (1 km libre de acarreo incluido, 12.5 km previstos de acarreo) | m ³ xkm | 13,012,830 |
| 02.01.10 | Excavación y acarreo de suelo argílico saturado | m ³ | 304,100 |

| | | | |
|----------|---|--------------------|-----------|
| 02.01.11 | Excavación y acarreo de material argílico (desgarrable, no requiere voladura) a botadero | m ³ | 219,300 |
| 02.01.13 | Acarreo Adicional de argílico (1 km libre de acarreo incluido, 4.2 km previstos de acarreo para la Etapa 8A) | m ³ xkm | 4,327,450 |
| 02.01.14 | Preparación de la Superficie de Fundación | m ² | 1,036,600 |
| 02.01.15 | Excavación y transporte de roca blanda removido por Tractor para relleno común o área de acumulación | m ³ | 737,550 |
| 02.01.16 | Excavación y transporte de roca fragmentada por voladura para relleno común o área de acumulación | m ³ | 861,100 |
| 02.01.17 | Excavación y Acarreo de Material Común para relleno | m ³ | 526,306 |
| 02.01.18 | Excavación y Acarreo de Material Común para eliminación al botadero de material inadecuado (material común no apto para relleno) | m ³ | 131,800 |
| 02.01.19 | Excavación y Acarreo de Roca para eliminación al botadero de material inadecuado (material común no apto para relleno) | m ³ | 146,100 |
| 02.01.20 | Acarreo Adicional de Material Común o Roca para eliminación al botadero de material inadecuado (1 km libre de acarreo incluido, 4.0 km previstos de acarreo para la Etapa 8A) | m ³ xkm | 833,700 |
| 02.01.21 | Desarrollo del Área de préstamo de Material de Relleno Común | sa | 1 |
| 02.01.22 | Importar relleno común de canteras de préstamo | m ³ | 250,000 |
| 02.01.24 | Transporte de Material en general | m ³ | 7,362,581 |
| 02.01.25 | Conformar y compactar Material de Relleno Común | m ³ | 919,900 |
| 02.01.26 | Conformar y compactar Material de Relleno Masivo | m ³ | 419,500 |
| 02.01.30 | Instalación de subdrenes para la plataforma de lixiviación (tubería perforada CPT, incluye drenaje y geotextil) | m | 19,300 |
| 02.01.31 | Instalación de Dren Francés en quebrada | m ³ | 77,100 |
| 02.01.32 | Instalación del material de transición sobre el drén francés | m ³ | 36,000 |
| 02.02.00 | Instalación de Geosintéticos para la Plataforma de Lixiviación | | |
| 02.02.01 | Instalación de geomembrana simple texturada VFPE/LLDPE de 2.0 mm (80 mil) en la plataforma de lixiviación | m ² | 880,725 |
| 02.02.02 | Instalación de geomembrana simple texturada HDPE de 2.0 mm (80 mil) en el perímetro de la plataforma de lixiviación | m ² | 31,626 |
| 02.02.03 | Instalación de lámina de geomembrana simple texturada HDPE de 2.0 mm (80 mil) de protección en banquetas para tuberías de proceso | m ² | 16,806 |
| 02.02.04 | Instalación de rainflaps de geomembrana para agua de lluvia (incluye tuberías CPT) | m | 13,356 |
| 02.02.05 | Instalación de geotextil | m ² | 50,002 |
| 02.02.09 | Instalación de geoceldas para canal de derivación | m ² | 59,217 |
| 02.02.12 | Instalación de elementos para control de erosión en taludes de corte/relleno (biomantas, etc.) | m ² | 69,670 |
| 02.02.13 | Instalación de GCL en canales construidos sobre | m ² | 25,200 |

| | | | |
|-----------------|---|----------------|---------|
| | relleno | | |
| 02.03.00 | Instalación de Tuberías de Solución e Instrumentación Geotécnica para la Plataforma de Lixiviación | | |
| 02.03.01 | Instalación de tuberías de colección de solución (CPT perforadas) | m | 24,708 |
| 02.03.02 | Instalación de Tuberías de Solución HDPE (SDR 17) sólida de 600 mm diám. | m | 55 |
| 02.03.03 | Instalación de tuberías de monitoreo SMCP (CPT perforadas, incluye excavación, geotextil, drenaje) | m | 2,887 |
| 02.04.00 | Chancado y Zarandeo para la Plataforma de Lixiviación | | |
| 02.04.01 | Chancado y zarandeo de material de drenaje para sub-drenes | m ³ | 9,383 |
| 02.04.02 | Chancado y Zarandeo de capa de protección | m ³ | 269,200 |
| 02.04.03 | Chancado y Zarandeo de capa de material de drenaje sobre la capa de protección, tuberías de colección de solución y perímetro del pad | m ³ | 324,300 |
| 02.04.04 | Zarandeo para empedrado (d50 = 225, espesor 450 mm) | m ³ | 3,780 |

ANEXO 3

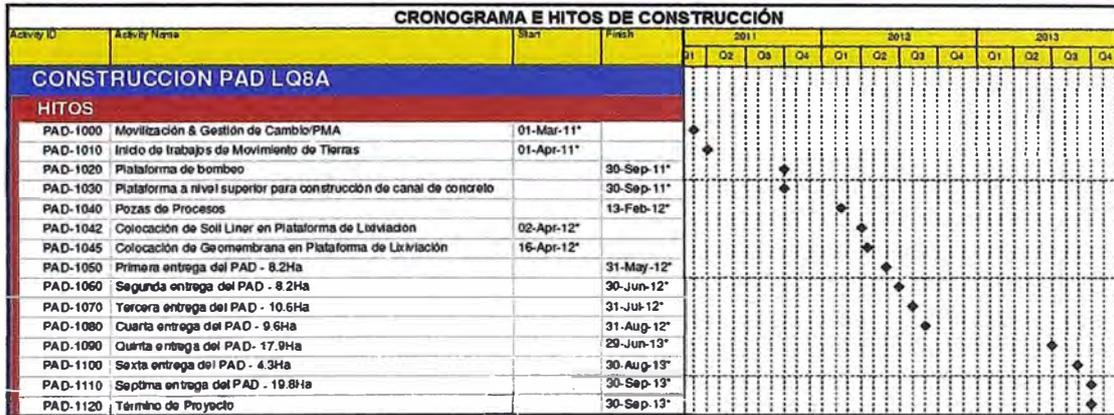
Licitación privada por invitación por la Compañía Minera Yanacocha SRL
Proyecto Plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A

| | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------------------|
|  | REGISTRO | | GyM.PPT.SP.03 |
| | PROPUESTAS Y PRESUPUESTOS | | Revisión: 0 |
| | EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA APROBACIÓN DE SELECCIÓN Y APLICABILIDAD DE PROCESOS | | Fecha: 22/11/10 |
| | | | Página: 1 de 2 |
| DATOS DE LA PROPUESTA | | | |
| ARBOL DE DECISIONES | | | |
| INTERES COMERCIAL | ALTO | PRIORIDAD (*): | 1 EXTREMO |
| OPORTUNIDAD DE GANAR | ALTO | | PROPUESTA |
| CAPACIDAD INTERNA | NORMAL | | |
| INFORMACIÓN GENERAL | | | |
| Solicitud N°: | CIV-059-10 | Tipo de Licitación: | Licitación Privada por Invitación |
| División: | OBRAS CIVILES | N° Concurso del Cliente: | MYSRL 2010-03 |
| Fecha: | 04/11/2010 | | |
| ESPECIALIDAD | Mineria | | |
| RUBRO | De Superficie (tajo abierto) | | |
| DISCIPLINA | Proyecto completo | | |
| Nombre de Proyecto (Cliente): | PAD LA Quinoa Etapa 8 Proyecto "Western Oxides I" | | |
| Nombre de Proyecto (GyM): | PAD La Quinoa 8A | | |
| Propietario: | Cia Minera Yanacocha SRL | | |
| Cliente: | Cia Minera Yanacocha SRL | | |
| Ubicación : | Cajamarca | | |
| Responsable Comercial: | Herbozo, Jorge | | |
| Líder Presupuestador: | W.DeLaCruz | | |
| Monto (MMD): | 80 | Validez Precios: | No precisa |
| Plazo (días): | 944 | | |
| Moneda del Concurso: | Dólares Americanos | T. Cambio: | N/A |
| Modalidad de Contrato: | Precios Unitarios | | |
| Empresa de Ingeniería: | N/A | | |
| Asociación: | No | Part. %: | N/A |
| Asesor 1: | | | |
| Asesor 2: | | | |

ANEXO 4

Cronograma e Hitos de Construcción

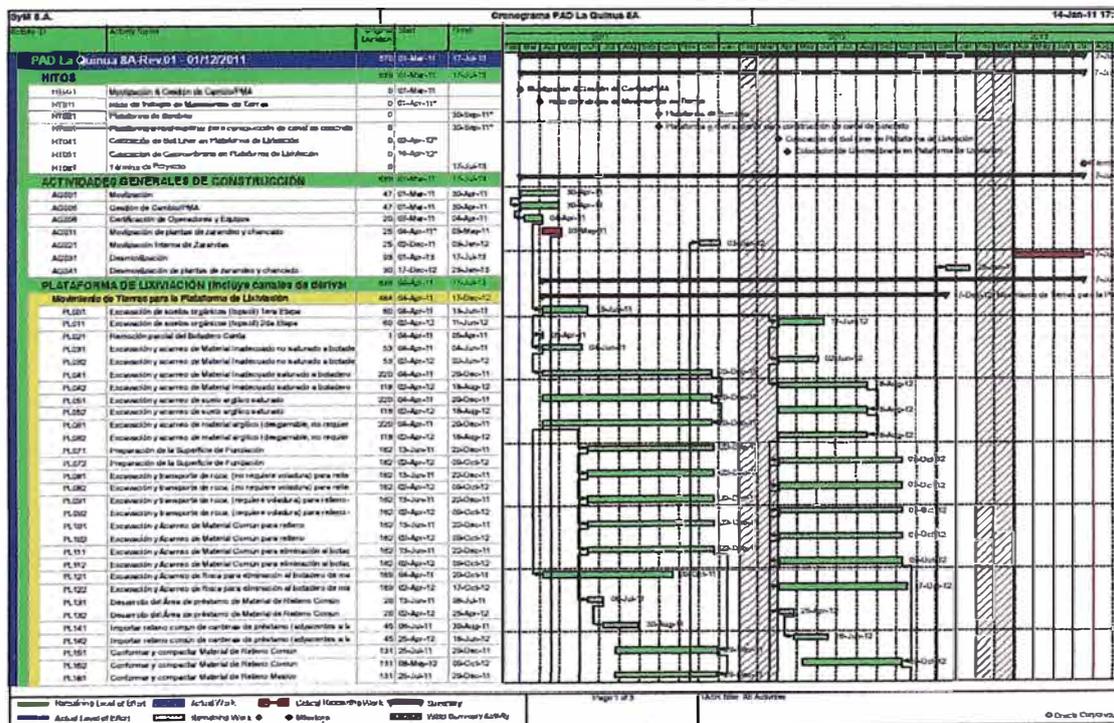
Proyecto Plataforma de Lixiviación LA Quinua 8A



ANEXO 5

Cronograma de Construcción

Proyecto Plataforma de Lixiviación LA Quinua 8A



ANEXO 6

Factor de Carga

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012)

| PESO* DE LOS MATERIALES | SUELTO | | EN BANCO | | FACTORES DE CARGA |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | kg/m ³ | lb/yd ³ | kg/m ³ | lb/yd ³ | |
| Basalto | 1.960 | 3.300 | 2.970 | 5.000 | 0,67 |
| Bauxita, Caolín | 1.420 | 2.400 | 1.900 | 3.200 | 0,75 |
| Carbón | 1.250 | 2.100 | 2.260 | 3.800 | 0,55 |
| Carnotita, mineral de uranio | 1.630 | 2.750 | 2.200 | 3.700 | 0,74 |
| Concreto | 580 | 950 | 860 | 1.450 | 0,68 |
| Arcilla - en su lecho natural | 1.660 | 2.800 | 2.020 | 3.400 | 0,82 |
| seca | 1.480 | 2.500 | 1.840 | 3.100 | 0,81 |
| mojada | 1.660 | 2.800 | 2.080 | 3.500 | 0,80 |
| Arcilla y grava - secas | 1.420 | 2.400 | 1.660 | 2.800 | 0,85 |
| mojadas | 1.540 | 2.600 | 1.840 | 3.100 | 0,85 |
| Carbón - antracita en bruto | 1.190 | 2.000 | 1.600 | 2.700 | 0,74 |
| lavada | 1.100 | 1.850 | - | - | 0,74 |
| ceniza, carbón bituminoso | 530-650 | 900-1.100 | 590-980 | 1.000-1.500 | 0,93 |
| bituminoso en bruto | 950 | 1.600 | 1.280 | 2.150 | 0,74 |
| lavado | 830 | 1.400 | - | - | 0,74 |
| Roca descompuesta - | | | | | |
| 75 % roca, 25 % tierra | 1.960 | 3.300 | 2.790 | 4.700 | 0,70 |
| 50 % roca, 50 % tierra | 1.720 | 2.900 | 2.280 | 3.850 | 0,75 |
| 25 % roca, 75 % tierra | 1.570 | 2.650 | 1.980 | 3.300 | 0,80 |
| Tierra - Apisonada y seca | 1.510 | 2.550 | 1.900 | 3.200 | 0,80 |
| estivada y mojada | 1.600 | 2.700 | 2.020 | 3.400 | 0,79 |
| limo | 1.250 | 2.100 | 1.540 | 2.600 | 0,81 |
| Gravito fragmentado | 1.660 | 2.800 | 2.730 | 4.600 | 0,81 |
| Grava - como sale de canchales | 1.930 | 3.250 | 2.170 | 3.650 | 0,89 |
| seca | 1.510 | 2.550 | 1.690 | 2.850 | 0,89 |
| seca 6-50 mm (1/4" - 2") | 1.690 | 2.850 | 1.900 | 3.200 | 0,88 |
| mojada 6-50 mm (1/4" - 2") | 2.020 | 3.400 | 2.250 | 3.800 | 0,89 |
| Yeso - fragmentado | 1.810 | 3.050 | 3.170 | 5.350 | 0,57 |
| triturado | 1.600 | 2.700 | 2.790 | 4.700 | 0,57 |
| Hematita, mineral de hierro | 1.810-2.450 | 4.000-5.400 | 2.130-2.900 | 4.700-6.400 | 0,85 |
| Piedra caliza - fragmentada | 1.540 | 2.600 | 2.610 | 4.400 | 0,58 |
| triturada | 1.540 | 2.600 | - | - | - |
| Magnetita, mineral de hierro | 2.790 | 4.700 | 3.250 | 5.500 | 0,85 |
| Pirita, mineral de hierro | 2.580 | 4.350 | 3.030 | 5.100 | 0,85 |
| Arena - seca y suelta | 1.420 | 2.400 | 1.600 | 2.700 | 0,89 |
| húmeda | 1.690 | 2.850 | 1.900 | 3.200 | 0,89 |
| mojada | 1.840 | 3.100 | 2.080 | 3.500 | 0,89 |
| Arena y arcilla - suelta | 1.600 | 2.700 | 2.020 | 3.400 | 0,79 |
| compactada | 2.400 | 4.050 | - | - | - |
| Arena y grava - seca | 1.720 | 2.900 | 1.930 | 3.250 | 0,89 |
| mojada | 2.020 | 3.400 | 2.230 | 3.750 | 0,91 |
| Arenisca | 1.510 | 2.550 | 2.520 | 4.250 | 0,60 |
| Pizarra bituminosa | 1.250 | 2.100 | 1.680 | 2.800 | 0,75 |
| Escorias fragmentadas | 1.750 | 2.950 | 2.940 | 4.950 | 0,60 |
| Niave - seca | 130 | 220 | - | - | - |
| mojada | 520 | 860 | - | - | - |
| Piedra triturada | 1.600 | 2.700 | 2.670 | 4.500 | 0,60 |
| Taconita | 1.630-1.900 | 3.600-4.200 | 2.360-2.700 | 5.200-6.100 | 0,58 |
| Tierra vegetal | 950 | 1.600 | 1.370 | 2.300 | 0,70 |
| Roca fragmentada | 1.750 | 2.950 | 2.610 | 4.400 | 0,67 |
| Vitrificadas de madera** | - | - | - | - | - |

ANEXO 7

Factor de Reducción de Potencia debido a la Altitud

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar (Edición 42 - 2012)

| REDUCCIÓN DE POTENCIA DEBIDA A LA ALTITUD | | | | | | |
|---|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PORCENTAJE DE LA POTENCIA EN EL VOLANTE DISPONIBLE A DIVERSAS ALTITUDES | | | | | | |
| MODELO | 0-760 m (0-2.500') | 760-1.500 m (2.500-5.000') | 1.500-2.300 m (5.000-7.500') | 2.300-3.000 m (7.500-10.000') | 3.000-3.800 m (10.000-12.500') | 3.800-4.600 m (12.500-15.000') |
| D3K XL | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D3K LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D4K XL | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D4K LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D5K XL | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D5K LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 85 |
| D5N XL & LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| D6K XL & LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | N/D | N/D |
| D6N XL & LGP | 100 | 100 | 100 | 100 | N/D | N/D |
| D6N XL & LGP** | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| D6G | 100 | 100 | 100 | 100 | 94 | 87 |
| D6G Serie 2 XL | 100 | 100 | 100 | 94 | 87 | 80 |
| D6G Serie 2 LGP | 100 | 100 | 100 | 94 | 87 | 80 |
| D6R | 100 | 100 | 100 | 100 | 92 | 84 |
| D6R Serie 3 (Todos) | 100 | 100 | 100 | 100 | 92 | 84 |
| D6T (Tier 4 Interim/Stage IIIB) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 |
| D7E | 100 | 100 | 100 | 98 | 95 | 88 |
| D7G | 100* | 100* | 100* | 94 | 86 | 80 |
| D7G Serie 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 94 |
| D7R Serie 2 (Todos) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96 |
| D8R | 100 | 100 | 100 | 93 | 85 | 77 |
| D8T | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93 |
| D9R | 100 | 100 | 100 | 93 | 85 | 77 |
| D9T | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93 |
| D10T | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 | 89 |
| D11T/D11T CD | 100 | 100 | 100 | 93 | 85 | 77 |

| REDUCCIÓN DE POTENCIA DEBIDA A LA ALTITUD (continúa) | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| MODELO | 0-760 m (0-2.500') | 760-1.500 m (2.500-5.000') | 1.500-2.300 m (5.000-7.500') | 2.300-3.000 m (7.500-10.000') | 3.000-3.800 m (10.000-12.500') | 3.800-4.600 m (12.500-15.000') |
| 320D/320D RR/323D | 100 | 100 | 90 | 87 | 83 | * |
| 320D L/320D LRR/323D L | 100 | 100 | 90 | 87 | 83 | * |
| 320C N | 100 | 100 | 90 | 87 | 83 | * |
| 320C FM | 100 | 100 | 90 | 87 | 83 | * |
| 321D LCR | 100 | 100 | 90 | 87 | 83 | * |
| 322C | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |
| 324D L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100-96 |
| 322C LN | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |
| 322C FM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |
| 325C | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 325C FM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 328D LCR | 100 | 100 | 100 | 100 | 100-96 | 96-92 |
| 329D L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100-96 | 96-92 |
| 329D LN | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 330C | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 330C FM | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 336D L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100-93 | 93-86 |
| 336D LN | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 345D | 100 | 100-96 | 96 | 96-89 | 89-82 | 82-74 |
| 345D L | 100 | 100-96 | 96 | 96-89 | 89-82 | 82-74 |
| 365C L | 100 | 100 | 100 | 100 | 95 | 88 |
| 385C/385C L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |
| 385C FS | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |

ANEXO 8

Plano de Distancias de Acarreo Plataforma de Lixiviación La Quinua 8A



| PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN LA QUINUA 8A | | |
|--|--------------------------|----------------|
| RUTA | DESTINO | DISTANCIA (Km) |
| 1 | DEPÓSITO CANTA | 2.61 |
| 2 | CANTERA CERRO NEGRO | 4.49 |
| 3 | DEPÓSITO CERRO NEGRO | 4.17 |
| 4 | DEPÓSITO NORTE LA QUINUA | 12.45 |
| 5 | CANTERA MAJU | 10.32 |
| 6 | DEPÓSITO NOEMÍ | 3.96 |

RUTA DEPÓSITO CANTA
 RUTA CANTERA CERRO NEGRO
 RUTA DEPÓSITO CERRO NEGRO
 RUTA DEPÓSITO NORTE LA QUINUA
 RUTA CANTERA MAJU
 RUTA DEPÓSITO NOEMÍ
 RUTA TAJO CERRO NEGRO