



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA EL
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE FLOTAS DE MOVIMIENTO
DE TIERRAS EN OBRAS CIVILES”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TESISTAS:

Bach. Carlos Alberto TORRES GAVIDIA

Bach. Kearney Hamilton VILLANUEVA VALDIVIEZO

ASESOR:

ING. Felipe VILLAVICENCIO GONZÁLEZ

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA EL
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE FLOTAS DE MOVIMIENTO
DE TIERRAS EN OBRAS CIVILES”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TESISTAS:

Bach. Carlos Alberto, TORRES GAVIDIA

Bach. Kearney Hamilton, VILLANUEVA VALDIVIEZO

REVISADO POR:

**ING. Felipe VILLAVICENCIO
GONZÁLEZ**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA EL
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE FLOTAS DE MOVIMIENTO
DE TIERRAS EN OBRAS CIVILES”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

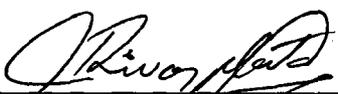
INGENIERO CIVIL

TESISTAS:

Bach. Carlos Alberto, TORRES GAVIDIA

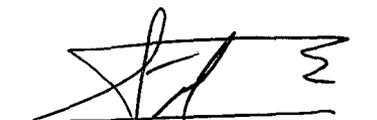
Bach. Kearney Hamilton, VILLANUEVA VALDIVIEZO

**SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO EL DIA 25 DE
ABRIL DEL 2014**



ING. Julio RIVAS PLATA DÍAZ

Presidente



ING. Felipe VILLAVICENCIO
GONZÁLEZ

Secretario



ING. Edgar SPARROW ALAMO

Integrante



DEDICATORIA

A **DIOS** por regalarme vida, proveerme de fuerzas en mis momentos de flaqueza, enviar bendiciones en mis momentos de escasez, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico este trabajo.

A **EUSEBIA** mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar las dificultades.

A **VICTOR** mi padre, a pesar de nuestra distancia siento que estás conmigo siempre y que este momento es tan especial para ti como lo es para mí.

A mis hermanos, **ZENIA, ELI, NEISON y JULIÑO** quienes con su apoyo y aliento constante me impulsaron a seguir y lograr culminar mi formación profesional.

A **CINTYA** mi novia, por brindarme su amor y apoyo constante para culminar esta etapa de mi vida.

Y a todos mis **AMIGOS**, con quienes comparto una gran amistad que llevare en el corazón por toda la eternidad.

Hamilton.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Cíviles"

DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme dado la vida, permitirme lograr día a día cada una de mis metas en mi formación personal y profesional permitiéndome alcanzar esta meta.

A mis **PADRES**, Por su amor incondicional, sus consejos, su disciplina y todo sacrificio que realizaron para forjarme y lograr mi formación. Los amo y agradezco al Señor por sus vidas.

A todos mis **AMIGOS** de la Universidad, por el apoyo que me mostraron en todo momento durante y fuera de la universidad, gracias por su amistad y muestras de cariño.

Carlos Alberto



AGRADECIMIENTO

A través de este trabajo exteriorizar nuestro sincero agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesto de manifiesto en las aulas enrumban con sus conocimientos con base científica a cada uno de nosotros durante nuestra formación profesional, lo cual nos servirá para desenvolvemos como tales en nuestra sociedad.

Un agradecimiento muy especial a nuestro asesor, el Ing. Felipe Villavicencio González, gran profesionalista y persona, quien desinteresadamente nos apoyó en todo momento en la realización y culminación de nuestro trabajo de investigación, logrando así nuestro gran objetivo.

Amigos son tantos los momentos especiales e inolvidables los que pasamos durante toda nuestra formación como profesionales, son ustedes las personas con las que convivimos día a día y en las cuales encontramos a verdaderos amigos, nuevos integrantes de nuestras familias, sencillamente siempre estarán presente en nuestras vidas. A todos ustedes van nuestros agradecimientos.

Hamilton y Carlos



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

1

CAPÍTULO I (ASPECTOS GENERALES)

2

1.1 ASPECTOS GENERALES.

3

1.1.1. Titulo

3

1.1.2. Tipo De Investigación

3

1.1.3. Ubicación Donde Se Desarrolla El Proyecto:

3

1.1.4. Institución donde se Desarrolla el Proyecto

3

1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN.

4

1.2.1. Antecedentes

4

1.2.2. Planteamiento del Problema

4

1.2.3. Justificación

5

1.2.4. Importancia

6

1.2.5. Objetivos

6

1.2.5.1 Objetivo General

6

1.2.5.2 Objetivos Específicos

6

1.2.6. Hipótesis

7

1.2.7. Variables

7

1.2.8. Diseño De Estudio

8

1.2.9. Estrategia de trabajo

8

1.2.9.1. Método de estudio

8

1.2.9.2. Población O Muestra

8

1.2.9.3. Unidad De Análisis

8



1.2.9.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	8
CAPITULO II (MARCO TEÓRICO)	10
2.1 MARCO TEÓRICO	11
2.1.1. Proyectos De Movimiento De Tierras	11
2.1.1.1. Generalidades	11
2.1.1.2. Evolución Histórica	15
2.1.1.3. Fases de desarrollo de un proyecto de movimiento de tierras	17
2.1.1.4. Condiciones y consideraciones básicas.	18
2.1.2 Análisis Del Acarreo Y Transporte	22
2.1.2.1 Análisis de áreas clave.	22
A. Proceso De Excavación – Carguío	23
B. Proceso Transporte	27
2.1.3 Proceso De Selección De Equipos Utilizada En Movimiento De Tierras	30
A. Determinar alcance o recorridos de transporte.	30
B. Calcular tiempo de ciclo.	30
C. Calcular capacidad.	31
D. Iterar para mejorar la productividad.	31
E. Calcular el tamaño de la flota de equipos.	32
F. Iterar para reducir costos de capital y de operación.	33
2.1.4 Maquinaria Utilizada En Movimiento De Tierras	33
2.1.4.1. Maquinaria de Excavación y Empuje	33
2.1.4.2. Maquinaria de Excavación y Carga	36
2.1.4.3. Maquinaria de Acarreo	42
2.1.4.4. Maquinaria de Compactación Histograma de frecuencias de transporte.	44
2.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO	46
Calidad de Vía	50
Densidad de Vehículos	51
2.2.1. Inclusión de la Densidad de Vehículos en el Cálculo del Factor de Acoplamiento	52
CAPITULO III (ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS)	55
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS EN EL QUE SE EFECTUÓ EL ESTUDIO	56
A.-Proyecto: Construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla	56
B.-Proyecto: Minado Breapampa	57



3.2. TOMA DE DATOS EN CAMPO Y EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS	
CICLO	58
A.- Proyecto: construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla	58
B.- Proyecto: Minado Breapampa	60
3.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	62
A.- Proyecto: construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla	62
B.- Proyecto: Minado Breapampa	72
3.4. BENEFICIO	80
3.5. RESULTADOS OBTENIDOS	81
A.- PROYECTO: CONTRUCION DE LA POZA N°06 –CAJAMARQUILLA	81
B.- PROYECTO: MINADO BREAPAMPA	82
CAPITULO IV (CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES)	83
CAPITULO V (REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS)	86
ANEXOS	88
ANEXO 01 (Formato de Tomas de Datos)	89
ANEXO 02 (Resultados – Mejora de Eficiencia Acumulada)	92
ANEXO 03 (Datos Resumen – Proyecto Construcción de la Poza N°06)	95
ANEXO 04 (Datos Resumen – Proyecto Minado Breapampa)	98
ANEXO 05 (Plano de Rutas - Proyecto Construcción de la Poza N°06)	101
ANEXO 06 (Plano de Rutas – Proyecto Minado Breapampa)	103



RESUMEN

La elección óptima de la flota (equipo de carguío y equipo de transporte) para movimientos de tierra es una tarea compleja, donde intervienen muchas variables técnicas, geométricas y económicas. El profesional que efectúa el dimensionamiento de la flota no tiene una herramienta apropiada que le permita evaluar y decidir por una mejor opción. Lo que se desarrolló se basó en un análisis de las operaciones en función del tiempo, desarrollando una herramienta que implemente un método de control y alternativa de solución para la mejora de la productividad a un mejor costo, llegando a la conclusión que el adecuado análisis de las condiciones reales del entorno de trabajo nos va a permitir dar lugar a optimizar de forma continua, viéndose reflejado en resultados satisfactorios en cuanto a una elección óptima para las actividades de excavación, carguío y acarreo en proyectos de movimientos de tierra, lo que tiende a variar según las condiciones iniciales en las que se encuentre, y así la correcta aplicación de la misma nos proporcionaría mayores márgenes de ganancia en el rubro, según quedo demostrado en los resultados finales de la presente investigación.



ABSTRACT

The optimal choice of the fleet (loading equipment and transport equipment for earthworks) is a complex task, where many techniques, geometric and economic variables are involved.

A professional who does the dimensioning of the fleet doesn't have an appropriate tool to evaluate and decide for a better option. It developed was based on analysis operations in function of time, developing a tool that implements a control method and alternative solution to improve productivity to a better value.

Concluding that, the proper analysis of the actual conditions of the work environment, will allow us to optimize continuously reflected in seeing satisfactory results, in terms of an optimum choice for excavation activities, loading and hauling projects earthworks, which tends to vary the initial conditions in which you are, and so the correct application of it would give us higher profit margins in the industry, as was demonstrated in the final results of this research.



INTRODUCCION

Dentro de los proyectos de Movimiento de Tierras se obtiene una alta incidencia del rubro de equipos respecto al costo, representando alrededor del 65% del total, por ello la óptima utilización de la maquinaria disponible representa montos considerables de ahorro y mejores resultados para este tipo de proyectos.

La presente investigación se orientó al análisis de las condiciones reales de operación de las flotas de carguío y transporte, considerando los parámetros de calidad de la vía, factor densidad y la posterior aplicación de la teoría del Factor de Acoplamiento en pos de disminuir tiempos improductivos y las paras dentro del flujo de producción.

En este caso se experimentó en dos proyectos de Movimiento de Tierras (Construcción de la Poza N°06- CAJARMAQUILLA y Minado Breapampa - AYACUCHO), en los cuales se recopiló información de campo, analizó los factores que influyen en los ciclos y desarrollando una herramienta para que los ingenieros de producción puedan llevar a cabo un dimensionamiento óptimo de sus flotas de equipos en cada uno de los respectivos frentes de trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES



1.1 ASPECTOS GENERALES.

1.1.1. Titulo

"Diseño Y Desarrollo De Una Herramienta Para El Dimensionamiento Óptimo De Flotas De Movimiento De Tierras En Obras Civiles"

1.1.2. Tipo De Investigación

Aplicativo-Experimental

1.1.3. Ubicación Donde Se Desarrolla El Proyecto:

"Construcción de la Poza N°06-Votorantim Metáis"

Distrito : Lurigancho - Chosica

Provincia : Lima Metropolitana

Departamento : Lima

"Movimiento de Tierra y Minado Breapampa"

Distrito : Chumpi y Coracora

Provincia : Parinacochas

Departamento : Ayacucho

1.1.4. Institución donde se Desarrolla el Proyecto

Institución : Universidad Nacional del Santa
Facultad de Ingeniería
Escuela Académica Profesional De Ingeniería Civil

Dirección : urb. Bellamar, Av. Universitaria s/n



1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN.

1.2.1. Antecedentes

La manera como se viene dando las operaciones de Movimientos de Tierra, está generando una gran perdida debido a la alta incidencia económica con respecto al presupuesto global, producto de la falta de análisis de factores ligados al dimensionamiento óptimo de flotas para movimientos de tierra.

Los mismos errores se suelen repetir en todas las obras, no hay una óptima eficiencia en los ciclos de carguío, ya sea por las condiciones mismas del lugar, capacidad del operador, densidad de flotas, factores externos, técnicos, económicos, entre otros.

1.2.2. Planteamiento del Problema

El problema principal es la inadecuada utilización de las flotas para la actividad de movimiento de tierras en las obras civiles originando altos costos en la adquisición de maquinarias como en el tiempos de traslado de carguío y descarga, viajes de ida y regreso, demoras y destreza del operador.

Algunos fabricantes han desarrollado su propio modelo de aplicación para sus equipos y hacen recomendaciones a sus clientes en base a la información entregada por cada usuario. No se encontró sin embargo una herramienta para el analista externo que le permita diferenciar las propuestas de los distintos equipos para el uso adecuado.

La presente investigación se orienta a dar una respuesta a la siguiente interrogante:



¿Se podrá desarrollar el Diseño Y Desarrollar Una Herramienta Para El Dimensionamiento Óptimo De Flotas En Movimiento De Tierras?

1.2.3. Justificación

La actividad de movimiento de tierras en obras civiles y la utilización de equipos intensivos de alto costo de inversión con una gran variedad de marcas, modelos y tamaños de equipos cuyos fabricantes o sus representantes tienen como meta vender y donde cada uno trata de convencer que es el mejor. Esto hace que el analista externo tenga que analizar con gran cuidado las propuestas recibidas para elegir la combinación óptima de equipos para su operación y los trabajos a realizar.

Para hacer frente a este reto, el analista externo necesita contar con herramientas propias que evalúen a los equipos de uno o más fabricantes o combinación de ellos. El método tradicional de selección de equipo de mina se efectúa basado en:

- a. La experiencia o información obtenida de un equipo operando en algún yacimiento sin pensar que tal equipo o flota podría estar trabajando en forma ineficiente.
- b. El temor a fracasar al cambiar un equipo por otro de tecnología poco o nada conocida en el medio.



1.2.4. Importancia

Con la realización de la presente investigación se trata de reducir al máximo ineficiencias y pérdidas en el flujo de trabajo.

Con esta herramienta se optimizará la cantidad de maquinarias para la actividad de movimiento de tierras el cual beneficia todos los analistas externo como entidades públicas como privadas bajando los costos de adquisición de maquinaria, y generar tiempos de carguío y descarga, viajes ida y vuelta.

1.2.5. Objetivos

1.2.5.1 Objetivo General

El objetivo general de la presente investigación es poner en práctica la optimización de procesos constructivos y demostrar que el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos de un estudio, respecto a cualquier actividad constructiva, representa una gran oportunidad de mejora de las condiciones iniciales; partiendo de la premisa de reducir al máximo ineficiencias y pérdida en el flujo de trabajo.

1.2.5.2 Objetivos Específicos

1. Demostrar que la eficiencia de un pull de equipos de movimientos de tierras depende directamente de factores como la calidad de vía sobre la cual transitan, los límites de velocidad permitidos y la cantidad de equipos (densidad) que se encuentren en el área de trabajo.
2. Incluir la densidad de equipos dentro del cálculo del Factor de Acoplamiento (entre equipos de carguío y de acarreo), a fin de obtener un resultado que se ajuste mucho mejor a las



condiciones reales y permita reflejar lo que sucede en campo.

3. Mejorar la productividad y eficiencia de los equipos utilizados en proyectos de movimientos de tierras, a través de la elección de una flota ideal que disminuya al máximo los tiempos muertos durante los ciclos de trabajo.
4. Cuantificar el potencial de beneficio económico, debido tanto a la reducción de costos asociados al proceso como al incremento del rendimiento de los equipos.

1.2.6. Hipótesis

Si se determina una herramienta para el dimensionamiento óptimo de flotas en movimiento de tierras, entonces nos permitirá la utilización frecuente de este material garantizando ventajas técnicas y económicas en las obras civiles de nuestro país.

1.2.7. Variables

A. Variables Independientes

Desarrollo de herramienta para dimensionamiento óptimo de flotas en movimientos de tierra.

B. Variables Dependientes

Estudio del factor de acoplamiento que busca la máxima reducción de los tiempos muertos durante la ejecución de obras.



1.2.8. Diseño De Estudio

Aplicativo-Experimental

1.2.9. Estrategia de trabajo

1.2.9.1. Método de estudio

Para la elaboración del presente trabajo se tomara como referencia la información bibliográfica movimiento de tierra, catálogos, rendimientos, costos de equipos, normas técnicas, tesis, entre otras fuentes necesarias.

1.2.9.2. Población O Muestra

Proyecto: "Construcción de la Poza N°06-Votorantim Metais"

Proyecto: "Movimiento de Tierra y Minado Breapampa".

1.2.9.3. Unidad De Análisis

-En la construcción de la Poza N°06, Sistema de los Ciclos de carguío de las zonas de corte a las zonas de conformación de dique de Poza, al igual que el proyecto de Minado Breapampa el sistema de ciclos del Tajo a las distintas zonas de botadero, chancadora y pad.

1.2.9.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

- ✓ Formatos para la medición de los tiempos de los ciclos de equipos de carguío y para los equipos de Aca-reo.



- ✓ Para la medición de los tiempos de acarreo cada operador se le proporciona un formato en el cual tendrán que colocar la hora de llegada al frente, el inicio de la carga, el fin de carga, los tiempos de espera que tuviese en los accesos, tiempo de llegada a frente de descarga, inicio de descarga, y retorno a punto de carguío.

- ✓ Asimismo para la medición de los tiempos de carguío se ubicara a un personal en cada frente y hacer la toma de datos, en donde tomaremos los tiempos de inicio de carga, ángulo de carga, fin de carga, acomodo de material, tiempo de espera a equipo de acarreo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



2.1 MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo el estudio de investigación es necesario conocer algunos conceptos y principios que permitan llevar a cabalidad la investigación a su vez cumplir con los objetivos planteados.

2.1.1. Proyectos De Movimiento De Tierras

2.1.1.1. Generalidades

Se conoce como movimiento de tierra a las operaciones y trabajos realizados en los procesos de construcción en los cuales esta involucrados el suelo o tierra en su forma natural; con la finalidad de modificar el relieve natural o de aportar materiales útiles en obras civiles de cualquier índole.

El movimiento de tierra debe considerarse con la importancia debida por el empleo de distintos tipos de recursos presentes en el proceso (planeación, ejecución y evaluación); personal administrativo y técnico, maquinaria y operadores; también y de fundamental importancia los recursos tiempo y dinero.

Una primera clasificación nos dice que podemos diferenciar las siguientes operaciones dentro de un Movimiento de Tierras:

- ✓ Excavación o arranque
- ✓ Carga
- ✓ Acarreo
- ✓ Descarga
- ✓ Extendido
- ✓ Humectación o desecación
- ✓ Compactación
- ✓ Refines, saneos, etc.



En la naturaleza podemos encontrar formaciones de muy diverso tipo, las cuales se denominan banco, en perfil cuando se encuentran en la traza de una carretera, y en préstamos fuera de ella. El proceso de excavación consiste en la extracción de porciones de material del banco; cada tipo de terreno posee características particulares, lo cual hace que la complejidad de la excavación varíe de acuerdo a ello, haciéndose necesaria la utilización de diversos medios para la realización del proceso.

El material resultado de la excavación es colocado en un medio de transporte a través de la actividad de carga, luego es acarreado hasta su lugar de destino, en el cual es descargado. Una segunda clasificación menciona que las operaciones en Movimiento de Tierras pueden ser dos:

A. Conformaciones

En este tipo de operaciones la modificación de la topografía no resulta ser sustancial, ya que por lo general se evitan los cambios bruscos, las oquedades, riscos, etc.

B. Explanaciones

En este caso, las modificaciones a la topografía sí son de gran índole, ya que representan el movimiento de grandes volúmenes de material.

Las explanaciones vienen a ser estructuras de tierra y/o roca, que no son más que rellenos debidamente compactados que permitan levantar sobre ellos obras viales y estructurales.

Dichas estructuras de tierra y/o roca se pueden clasificar a su vez en:



- a. **Terraplenes y Terrazas;** en los cuales se utiliza como material de relleno suelo natural de calidad adecuada.

Partes de un Terraplén

- ✓ **Coronación:** Capa de suelo con un espesor que generalmente varía entre 0.15 y 0.50 m., compuesto por material granular de muy buena calidad y grado de compactación.
- ✓ **Núcleo:** Zona compuesta por material de alta calidad debidamente seleccionado y compactado.
- ✓ **Cimiento:** Representa el soporte de la estructura, puede ser firme o pantanoso.
- ✓ **Berma:** Su función es la de estabilizar los taludes en relleno y proteger ante las inundaciones.

Fig. 01: En Relleno

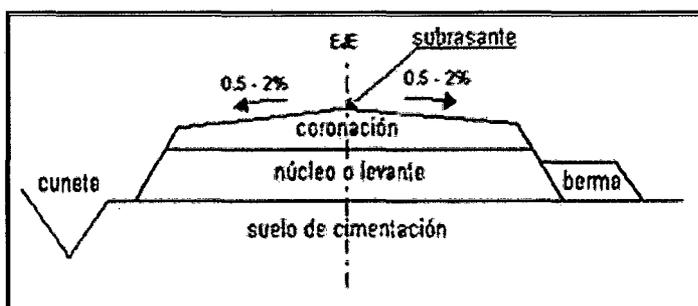




Fig. 02: En Corte

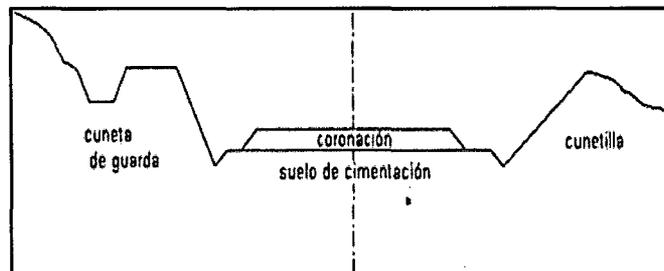
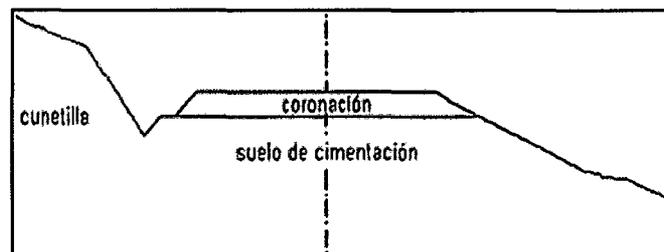


Fig. 03: Semi-Excavacion



- b. **Escolleras;** formadas por rocas de granulometría uniforme y de gran tamaño.
- c. **Pedraplenes;** Estructura mixta, formada por rocas de granulometría distribuida y suelo seleccionado.

Según su diseño, las explanaciones se pueden clasificar en:

- a. **Compensadas:** En este caso los volúmenes de corte y relleno son bastante similares, y el suelo excavado sirve perfectamente para el relleno, por lo que representa un caso ideal y que implica grandes ahorros.



- b. No Compensadas:** Si fuera el caso que el volumen de excavación sea mayor al de relleno, el material sobrante producto de la excavación debe ser depositado en un acopio o botadero cercano, por lo que los costos aumentan, así como el impacto a la topografía de la zona. Si caso contrario el volumen de relleno es mayor al de excavación, es necesario transportar material de préstamo desde un banco o cantera cercana.

2.1.1.2. Evolución Histórica

A continuación se muestra la evolución histórica que han venido experimentando las operaciones de Movimiento de Tierras desde sus inicios:

A. Etapa No Tecnológica (Hasta finales del siglo XIX)

- ✓ Se utilizaron todo tipo de materiales, asimismo el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos era bastante limitado.
- ✓ Deficiente calidad de los trabajos, y por ende corta vida útil de las obras.
- ✓ Trabajos realizados preponderantemente de forma manual, lo que traía como consecuencia baja productividad y alto empleo de mano de obra.
- ✓ Extensos plazos de ejecución de los proyectos.
- ✓ Se dieron los primeros pasos para la mecanización de la construcción.



B. Etapa Pre-Tecnología (Primera mitad del siglo XX)

- ✓ Se mejoró la utilización de materiales a partir del conocimiento de algunas propiedades de los suelos.
- ✓ Empieza la exigencia de una mejor calidad de los trabajos, y la obtención de la misma.
- ✓ Se dio un gran impulso a la puesta en marcha de la mecanización de los trabajos.
- ✓ Plazos de ejecución más cortos.

C. Etapa Tecnológica (Décadas del 50 al 80)

- ✓ Se exigen investigaciones geológicas previas a la ejecución.
- ✓ Se establecen especificaciones para los suelos, a partir de sus propiedades físico-mecánicas.
- ✓ Se establecen exigencias para el control de la compactación de las explanaciones, lo cual contribuye considerablemente a la mejora de su calidad.
- ✓ Amplio desarrollo de la mecanización de la construcción.
- ✓ Reducción significativa de los plazos de ejecución.

D. Etapa Moderna (De la década del 90 a la actualidad)

- ✓ Mayor rigurosidad en estudios geológicos previos, a través de métodos modernos.
- ✓ Se da un mejor aprovechamiento de los materiales locales y se utilizan también materiales reciclables.
- ✓ Apogeo de la mecanización de los trabajos, obteniendo los mejores rendimientos y cortos plazos de ejecución.
- ✓ Control riguroso de la calidad con equipamiento moderno.
- ✓ Orientación a una mínima afectación al ambiente.



2.1.1.3. Fases de desarrollo de un proyecto de movimiento de tierras

La correcta ejecución de un proyecto de Movimiento de Tierras requiere de la realización estricta y secuencial de las siguientes fases:

A. Investigaciones Previas

- ✓ Topografía
- ✓ Geología
- ✓ Hidrología
- ✓ Tránsito
- ✓ Climatología
- ✓ Impacto Ambiental

B. Diseño Geométrico de la Explanación.

- ✓ Comprende el diseño del trazo en planta, del perfil y secciones transversales; que aseguren en menor impacto ambiental posible.
- ✓ Diseño del sistema de drenaje.
 - a. Diseño y Revisión Geotécnica de la Explanación
 - b. Verificación de la estabilidad y resistencia de los taludes, determinación de asentamientos en secciones críticas, diseño y control de la compactación.

C. Preparación Técnica y Organización de la actividad

- ✓ Plan de ejecución del proyecto.
- ✓ Presupuesto



D. Ejecución del Proyecto

- ✓ Explanaciones y Sistema de Drenaje
- ✓ Control de calidad en la ejecución de los trabajos, control de avance y control de costos.

2.1.1.4. Condiciones y consideraciones básicas.

En primer lugar, es indispensable tomar en cuenta las siguientes condiciones básicas para la ejecución de un proyecto de Movimiento de Tierras:

A. Necesaria estabilidad y resistencia ante acciones externas.

- ✓ Correcta compactación de los rellenos.
- ✓ Oportuna realización de las obras y sistemas de drenaje superficial y subterráneo.
- ✓ Correcta construcción de taludes en corte y relleno.
- ✓ Disposición adecuada del suelo en las zonas de la explanación.

B. Para obtener una deformabilidad aceptable:

- ✓ Selección y disposición idónea del material a utilizar.
- ✓ Compactación adecuada.
- ✓ Determinación y control de asentamientos, así como su corrección en caso de ser necesario.

C. Para garantizar la factibilidad económica y constructivamente del proyecto:



- ✓ Selección de las técnicas constructivas más convenientes que aseguren la culminación del proyecto en el tiempo necesario y cumpliendo los requerimientos de calidad estipulados.
- ✓ Distribución óptima de las masas de suelo a mover.
- ✓ Selección y utilización de la maquinaria adecuada.
- ✓ Diminución máxima de los impactos al medio ambiente.

Para alcanzar satisfactoriamente las condiciones anteriormente mencionadas, es importante llevar a cabo las siguientes prácticas durante el proceso constructivo:

- ✓ Cumplimiento de las exigencias especificadas, referidas al material a utilizar, calidad y grados de compactación, selección adecuada de la maquinaria.
- ✓ Adecuado control de costos a fin de obtener la mayor rentabilidad posible, sin restar calidad al trabajo concluido.
- ✓ Cumplimiento o reducción del plazo pactado.
- ✓ Buscar siempre la máxima durabilidad, de acuerdo a las especificaciones técnicas proporcionadas.

Los principales problemas que pudiera suscitarse dentro de este tipo de proyectos son:

- ✓ Excesivos asentamientos.
- ✓ Inestabilidad ante cargas o acciones exteriores.
- ✓ Alto grado de erosión a causa de los agentes de intemperismo.
- ✓ Deficiencias constructivas.

Para contrarrestar dichas complicaciones, es importante asegurarse que:



- ✓ El trazado en planta sea adecuado, tomando en cuenta el tipo de material sobre el cual se asentará.
- ✓ Exista una correcta disposición de los suelos seleccionados.
- ✓ Se lleve a cabo una correcta compactación de las capas de suelo para los rellenos respectivos.
- ✓ El sistema de drenaje se encuentre adecuadamente diseñado y construido, a fin de minimizar los efectos de la erosión.

Durante la ejecución de un proyecto de MT, se pueden identificar las siguientes actividades constructivas:

A. Etapa Preliminar.

Contempla actividades de replanteo preliminar, limpieza y desbroce, construcción de caminos provisionales para el acceso al proyecto, a los préstamos y a los acopios o botaderos, apertura de préstamos laterales, entre otras.

B. Etapa Fundamental.

Comprende el replanteo definitivo, descortezado o eliminación de la capa vegetal correspondiente al área de influencia de la obra, también abarca las actividades de excavaciones para la construcción del sistema de drenaje, compensaciones longitudinales y transversales, eliminación de material orgánico, y la construcción de terraplenes.

C. Etapa Final.

Perfilado de taludes en corte, reapertura y perfilado de cunetas y canales que conforman el sistema de drenaje, perfilado de explanadas, de corona de terraplenes, cierre de botaderos,



recubrimiento de taludes con capa vegetal, restauración de afecciones al medio ambiente.

Es usual encontrar diferentes tipos de material durante la realización de un proyecto de MT, y por ello es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de éstos suelos; sin embargo también resulta importante el conocimiento de los estados del suelo, ya que de esto dependerá la metodología y equipos a usar para su excavación y/o utilización como relleno.

A. Estado Natural.

Corresponde a aquel suelo que se encuentra en su estado primitivo (antes de ser excavado, disgregado o removido). El volumen del suelo calculado en estas condiciones es llamado volumen natural o de sobre-desmonte, y es utilizado para la cuantificación y el pago del movimiento de tierra realizado. Es expresado en m³.

B. Estado Esponjado.

Aquel material que por efecto de la excavación ha sido disgregado, experimentando por ende un aumento de su volumen. El volumen del material que se encuentre en esta condición se le llama volumen esponjado, y se expresa en m³.

C. Estado Compactado

Es aquel sobre el cual se ha ejercido una presión tal que produce un incremento de su peso específico, y logra estar más compactado que su estado original. En general el volumen compactado es menor que el natural y mucho menor que el esponjado.



2.1.2 Análisis Del Acarreo Y Transporte

2.1.2.1 Análisis de áreas clave.

Todo diagnóstico situacional del proyecto presenta desafíos para elaborar el proceso de planeación, para esto se cuentan con indicadores claves de rendimiento. Los cuáles serán analizados mes a mes, a fin de que nos sirva como línea de base para elaborar de nuestra herramienta de dimensionamiento.

Así tenemos:

Productividad: La productividad y rendimiento de las operaciones, constituyen indicadores de éxito en las empresas.

A continuación se hará uso de herramientas de análisis externo empresarial para encontrar el o los procesos que más implicancia tienen en el rendimiento de la operación Movimiento de tierra.

El Diagnóstico tiene como objetivo primordial lo siguiente:

- ✓ Determinar el grado de eficiencia de la maquinaria;
- ✓ Determinar las causas de las deficiencias.

Los procesos principales a los cuales nos vamos a referir y estudiar son:

Excavación, Empuje, Carga, Acarreo y Transporte; a pesar de que solo se analizaran más profundamente el acareo y el transporte, es necesario precisar que las fases anteriores a estas tiene una gran influencia en el rendimiento de la operación, como vamos a poder observar.



Sistema de Trabajo

- a. Análisis de Resultados
- b. Principio del Pareto
- c. Diagramas de Tiempo
- d. Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP)

A. Proceso De Excavación – Carguío

El entendimiento y la aplicación de los principios de la Nueva Filosofía de Producción de Lean Construction nos permite aceptar la existencia de un TNP (trabajo no productivo) en la operación de excavación – carguío. La cuantificación del TNP y su distribución en el tiempo son importantes para la producción de la excavadora y su entendimiento.

✓ **Producción teórica de una excavadora**

Si se estudia una operación de excavación – carguío y se mide en minutos el tiempo (t_c) que se demora la excavadora en cargar un camión, entonces la cantidad teórica de camiones que la excavadora puede cargar por hora podría estar determinada por una relación sencilla y aparentemente válida:

$$\text{N}^\circ \text{ Camiones/hora} = 60 / t_c.$$

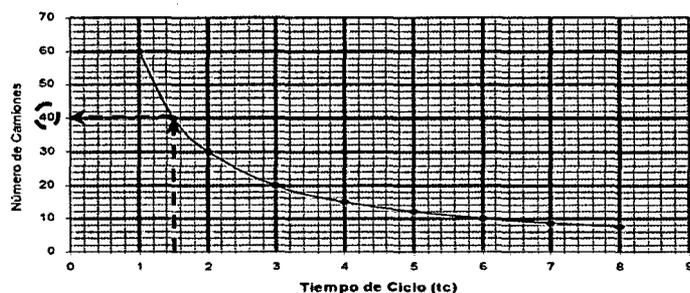


Con la cual obtenemos:

Cuadro 01: Tiempo de ciclo vs. Cantidad de camiones

tc	Nº de Camiones
1	60
1.5	40
2	30
3	20
4	15

Fig. 04: Gráfica Tiempo de ciclo vs. Cantidad de camiones



Pero, Esto evidentemente nos conduce al hecho que si, por ejemplo, nos demoramos 1.5 minutos en cargar un camión, entonces podríamos cargar 40 camiones por hora. La realidad de la experiencia nos dice que en cualquier operación balanceada y con carguío por un solo lado esto no se puede obtener.

Debemos encontrar la causa de este efecto que es motivo de esta tesis.

Cuantificación del TP y TNP de una excavadora

Analizando aisladamente la operación de la excavadora y luego de muchas observaciones efectuadas a diferentes marcas y tamaños, excavando diferentes tipos y estado de material y cargando camiones de diversas capacidades netas, se ha podido determinar que el TP (tiem-



po productivo) óptimo de una excavadora es, en promedio, equivalente al 60% de su tiempo de trabajo y que el TNP equivale al 40% del mismo. Esto es válido para operaciones de carguío restringido, es decir, cuando sólo se permite un camión junto a la excavadora.

La definición de TP y TNP para el equipo de excavación – carguío es el siguiente:

TP: Comprende el tiempo empleado en excavar y cargar camiones

TNP: Comprende el acomodo de la excavadora, la acumulación de material, limpieza de piso, los traslados del equipo, necesidades fisiológicas del operador, paradas para recibir instrucciones, paradas imprevistas.

Aun cuando no nos guste, este es un tiempo que no podemos ni debemos pretender eliminar, tan sólo reducir y distribuirlo de la mejor manera para convertirlo en algo predecible y estadísticamente medible. Este tiempo así definido debe entenderse como distinto de aquel producto de las paralizaciones por mantenimientos programados.

La medición estadística también nos permitió determinar que el TNP requerido por una excavadora entre camión y camión era de una alta variabilidad, pues variaba entre cero minutos hasta varios de ellos.



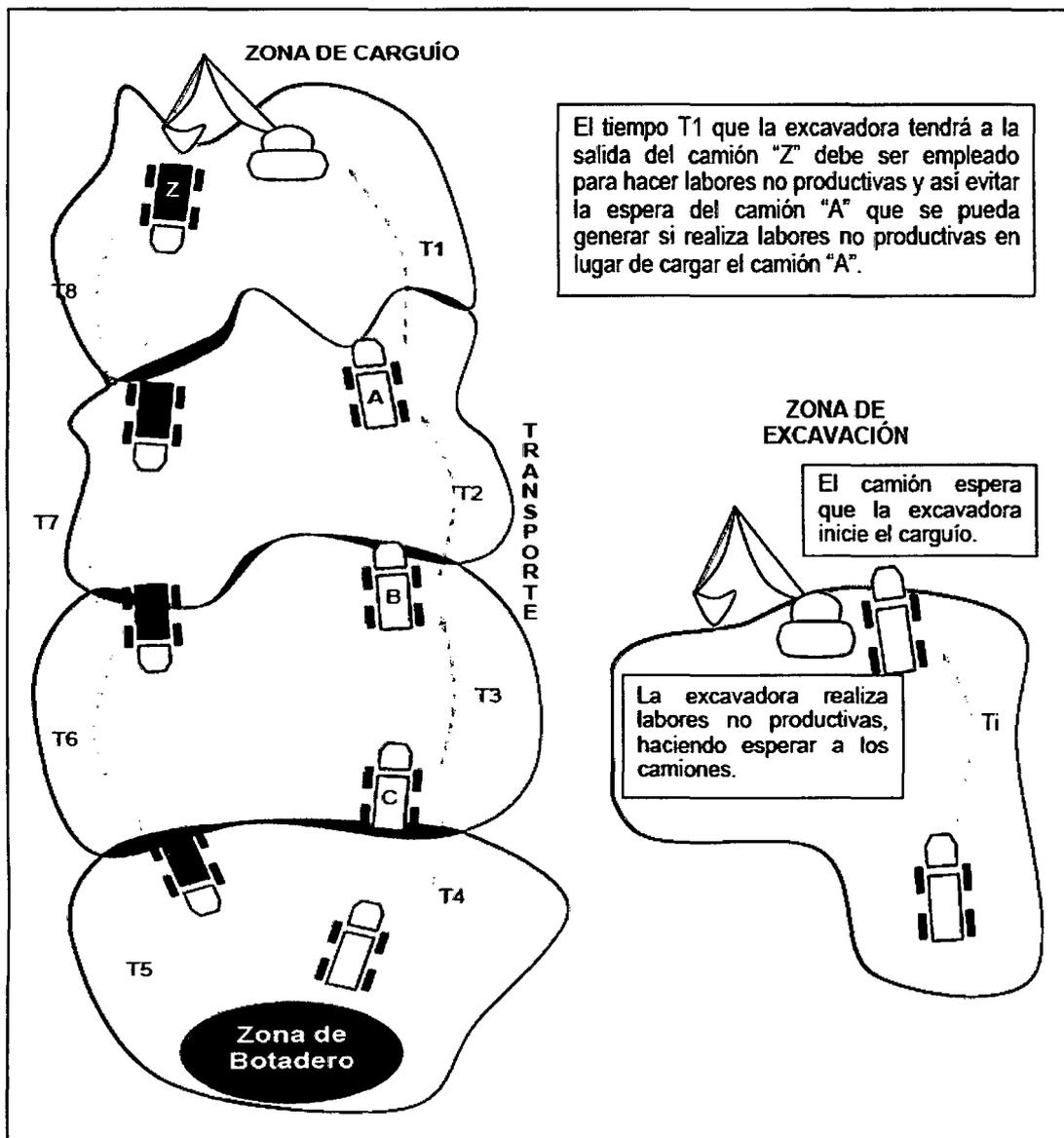
Distribución del TNP de una excavadora

Luego de instruir a los operadores y hacerles un seguimiento continuo, fue posible lograr que el TNP sea distribuido lo más equitativamente posible entre los camiones. Como resultado de lo anterior se logró operaciones con mayor fluidez y menos tiempo de espera de camiones originado por el TNP de la excavadora.

Cuando el TNP de la excavadora no es realizado entre la operación de carguío de 02 camiones consecutivos, entonces el TNP se acumula e inevitablemente se tendrá que realizar en algún momento y como tomará más tiempo originará esperas de camiones, introduciendo una variabilidad inducida, con los consiguientes efectos negativos en producción y por ende en costo por tonelada excavada – cargada y transportada.



Fig. 05: Distribución de la zona de Excavación, Carguío y Transporte.



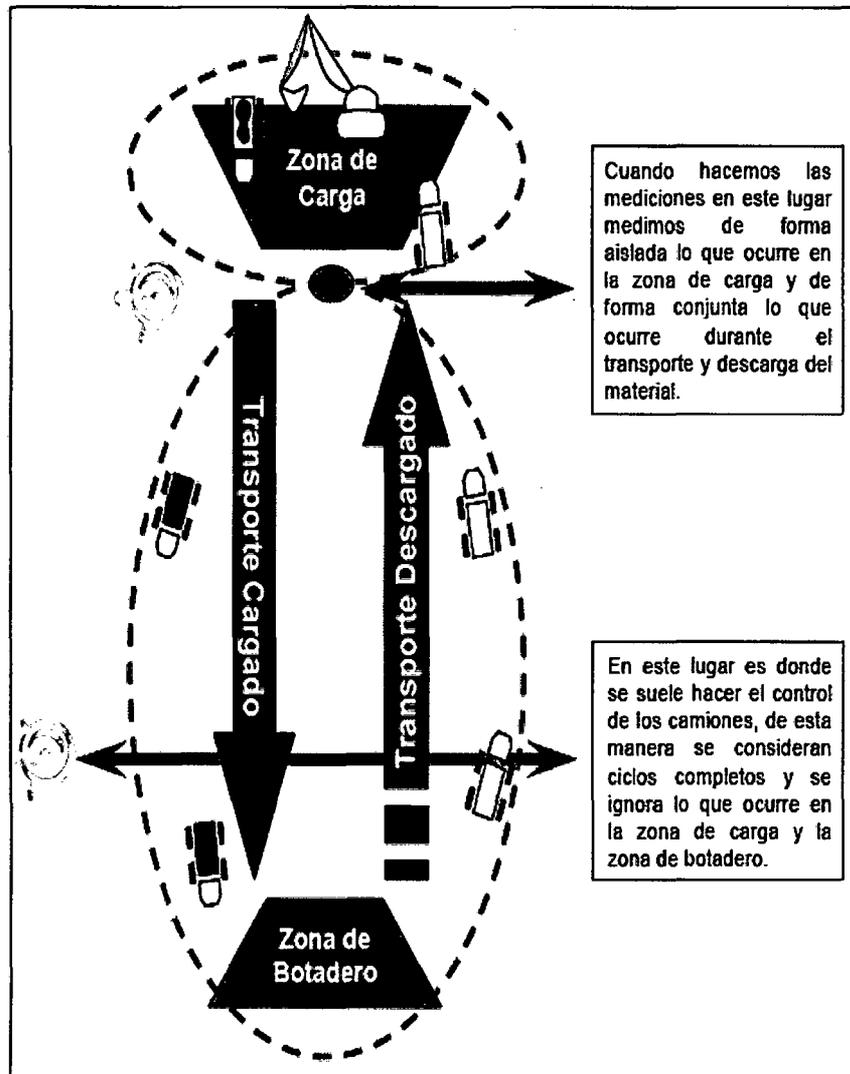
B. Proceso Transporte

Propuesta de medición para el transporte

Luego de estudiar los procesos de excavación - carguío y transporte observamos que la mayor variación ocurre en la zona de carga y que en la zona de botadero la variación en términos absolutos es mínima, por lo que aislamos lo que

ocurre en la zona de carga y consideramos mediciones únicas para lo ocurrido en el recorrido cargado, botadero y retorno vacío.

Fig. 06: Zona de Transporte.

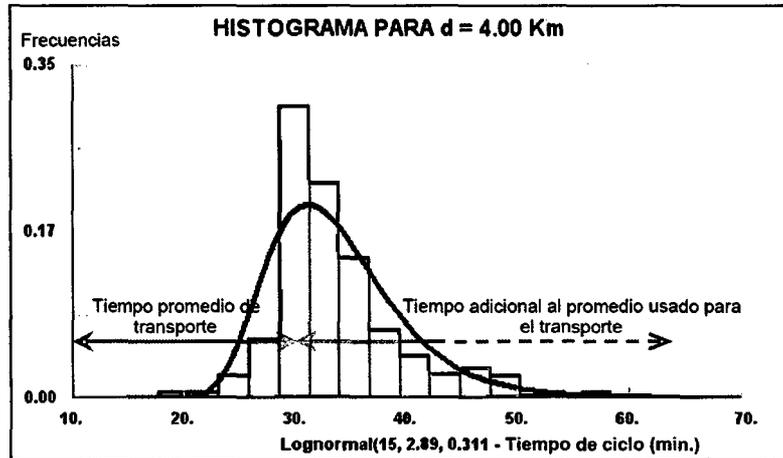


Histograma de frecuencias del transporte

Hemos comprobado que la curva que mejor representa el tiempo que toma a un camión ser cargado, transportar, descargar y retornar vacío es la que se muestra en el gráfico.



Fig. 07: Histograma de Frecuencia para $d=4.00\text{Km}$.



Como podemos observar, ésta es una curva positivamente asimétrica, lo cual es lógico por la siguiente razón: hacia la izquierda existe un límite físico, puesto que el tiempo mínimo a emplear es una función de la velocidad máxima determinada por la potencia del motor, la pendiente, el estado del camino, la carga y las restricciones de seguridad en la zona de trabajo; en cambio, hacia la derecha el camión tiene un rango mucho más amplio puesto que podría demorarse 3, 4, 5 ó más veces que el promedio por diversas causas.



2.1.3 Proceso De Selección De Equipos Utilizada En Movimiento De Tierras

Los pasos básicos de selección de equipos de carguío y transporte son los siguientes:

A. Determinar alcance o recorridos de transporte.

Equipos de base fija cargan en un punto y luego rotan en torno a su centro para descargar en otro punto. La máxima distancia horizontal sobre la cual un equipo puede cargar o botar el material se define como su alcance. La geometría del depósito a excavar es el factor primario para determinar el alcance requerido por el equipo.

Los recorridos de transporte se refieren a las distancias y pendientes que deben recorrer equipos móviles. Tanto para las unidades de transporte como para aquellas que combinan el carguío con el transporte, hay cierta distancia que debe ser recorrida para llegar al punto de descarga. Sin embargo, esta distancia no es necesariamente una línea recta. La configuración de las excavaciones determinará la distancia total a recorrer, aunque esto también puede verse afectado por factor principal de consideración es la topografía. Los límites de la propiedad y el derecho a vía legal pueden también afectar estas distancias.

B. Calcular tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo para una operación unitaria puede dividirse en dos componentes principales. La primera componente la constituyen todas aquellas operaciones que tienen una duración relativamente constante de una aplicación a la próxima: virar, cambiar de posición, descargar y cargar. Valores estimados del tiempo necesario para realizar cada una de estas funciones pueden obtenerse generalmen-



te de la documentación del fabricante del equipo. La componente variable del ciclo, está

asociada con el tiempo de viaje para equipos móviles y con el tiempo de giro en el caso de equipos de base fija.

C. Calcular capacidad.

La relación general entre tasa de excavación, duración del ciclo y capacidad es bastante simple y puede establecerse como:

Tasa de excavación = capacidad x (no. de ciclos / unidad de tiempo)

Cuando se han considerado todos los factores de eficiencia:

Productividad = tasa de excavación x factores de eficiencia

El cálculo de la capacidad requerida es bastante directo cuando los requerimientos de excavación han sido establecidos y se han estimado los tiempos de ciclo y los factores de eficiencia. Es importante recordar que los equipos están diseñados para manejar un cierto peso, por lo que en los cálculos finales se debe considerar la densidad del material, así como su esponjamiento, para asegurarse de que tiene la capacidad de manejar el material requerido.

D. Iterar para mejorar la productividad.

El tipo de maquinaria considerado puede no ser el adecuado y tras el cálculo de la capacidad requerida, puede ser necesario utilizar un tipo de maquinaria diferente. Al seleccionar un tipo diferente de equipos, los tiempos de ciclo deben ser re-estimados así como las capacidades y factores de eficiencia. El cálculo de la capacidad debe ser refinada nuevamente para determinar si el equipamiento propuesto puede satisfacerla. Varias iteraciones pueden ser necesarias antes de encontrar una solución satisfactoria. Sin embargo, puede haber



más de una solución al problema de carguío y transporte. Sabiendo que la tasa de producción es directamente proporcional a la capacidad e inversamente pro

porcional al tiempo de ciclo de la maquinaria seleccionada, el ingeniero puede hacer varias iteraciones de manera de definir un número de flotas de carguío y transporte para hacer comparaciones de costos.

E. Calcular el tamaño de la flota de equipos.

Hasta ahora, la discusión se ha centrado principalmente en la selección de un equipo específico de carga-transporte o en un equipo de carga asociado a otro de transporte, aunque en la realidad, se dispone de una flota de equipos que deben realizar esta labor (ya sea porque una unidad de carguío y una de transporte pueden no satisfacer los requerimientos de producción, o bien, porque no se quiere tener toda la producción dependiente de un solo equipo).

La posible economía de escala que se realiza al tener un solo equipo de gran tamaño debe sopesarse respecto a la incertidumbre asociada a la disponibilidad de este equipo. Mientras una flota de equipos puede seguir trabajando si alguno de sus componentes no estuviera disponible por razones mecánicas, la producción debe esperar si el único equipo de carguío o transporte sufre algún imprevisto y debe detener su operación para solucionar un problema mecánico.

Existen varios algoritmos que permiten calcular la disponibilidad de equipos en una flota. Así, el número total de equipos necesarios para satisfacer una producción dada, puede calcularse en base a la disponibilidad.



F. Iterar para reducir costos de capital y de operación.

La fase técnica del proceso de selección identificará cierto número de sistemas alternativos de carguío y transporte. Una comparación de costos debe realizarse, que considere el costo de capital, costo de operación y la vida de los equipos en años. Adicionalmente al análisis económico tradicional de ingeniería, se pueden realizar simulaciones de los distintos sistemas de carguío y transporte, lo que verificar algunas de las hipótesis que se asumieron para su selección.

2.1.4 Maquinaria Utilizada En Movimiento De Tierras

Tan importante como entender a cabalidad el desarrollo y características de un proyecto de Movimiento de Tierras, resulta el conocer los diversos tipos de equipos y el papel que juegan dentro del proceso; de esta manera se podrá obtener el máximo provecho de éstos en campo. A continuación se mencionan las principales característica de los equipos de MT.

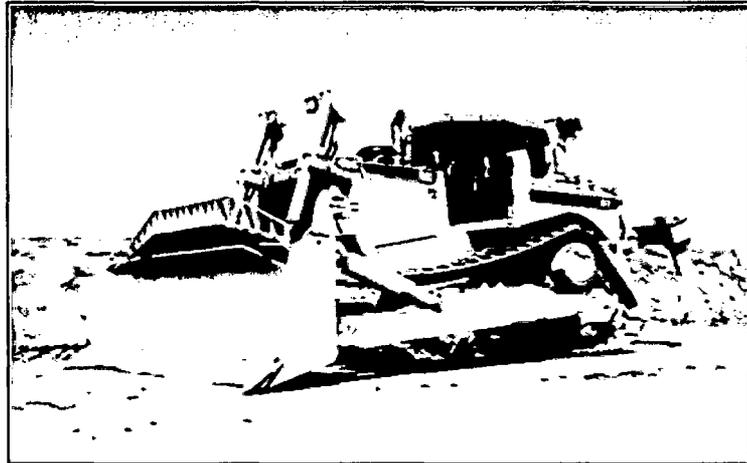
2.1.4.1. Maquinaria de Excavación y Empuje

A. El tractor.

Es una maquina con una gran potencia y robustez, en su estructura está diseñada especialmente para el trabajo de corte y al mismo tiempo empuje con la hoja. Son utilizados durante el proyecto de construcción en operaciones como: limpieza del terreno de árboles y maleza, apertura de brechas en terrenos rocosos, cortes carreteros y otros.



Fig. 08: Tractor.



Esquema de Tractores

Cuadro 02: Especificaciones técnicas generales de un Tractor.

ESPECIFICACION TECNICA		
PEQUEÑOS	Potencia (Hp)	78 a 100
	Cilindrada (m3)	4,998
	Peso (Kg)	7,640 a 8,821
MEDIANOS	Potencia (Hp)	110 a 140
	Peso (Kg)	13,100 a 27,776
GRANDES	Potencia (Hp)	305 a 850
	Peso (Kg)	37,580 a 111,590

Aplicaciones:

- ✓ Grandes excavaciones a cielo abierto
- ✓ Excavación en banco de préstamo
- ✓ Limpieza y desbroce
- ✓ Apertura de vías

En cuanto al equipo de trabajo los tractores pueden estar provistos de hoja de empuje recta (bulldozer) y escarificador (ripper)



Tipos de tractores:

Tractor sobre orugas

Su combustible mayormente es el diesel, con equipos de mayor potencia y baja velocidad (entre 7 y 15 Km/h). El sistema de transmisiones es mecánico y posee capacidad de remontar pendientes de hasta 45°.

Tractor sobre ruedas

Producen menos compactación en el suelo, y por ello son más utilizados en agronomía. Poseen tracción en las cuatro ruedas y puede alcanzar velocidades entre 16 y 60 Km/h. El sistema de transmisiones puede ser mecánico o eléctrico.

B. La motoniveladora.

Es una máquina que ha sido concebida especialmente para refinar superficie de explanadas y sub rasantes en las carreteras. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que se trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial.

Fig. 09: Motoniveladora.





Cuadro 03: Especificaciones técnicas de una Motoniveladora.

ESPECIFICACION TECNICA					
MODELO	POTENCIA NETA AL VOLANTE (Kw.)	MODELO MOTOR	VELOCIDAD MÁXIMA DE AVANCE (Km./h)	VELOCIDAD MAXIMA DE RETROCESO (Km./h)	RADIO MÍNIMO DE GIRO (m.)
120 G	93	SS04	40,9	S8,S	6,7
130 G	101	SS04	39,4	36,9	7,3
12 G	101	3406	39,4	39,4	7,3
14 G	49	3406	43	50,1	7,9
16 G	205	3406	43,6	43,6	8,2

Aplicaciones

- ✓ Extensiones de materiales descargados por camiones (nivelación y refine).
- ✓ Mezcla de materiales descargados.
- ✓ Estabilización de suelos in situ.
- ✓ Nivelación de taludes
- ✓ Limpieza de terrenos
- ✓ Refino de fondos de excavaciones en desmonte.

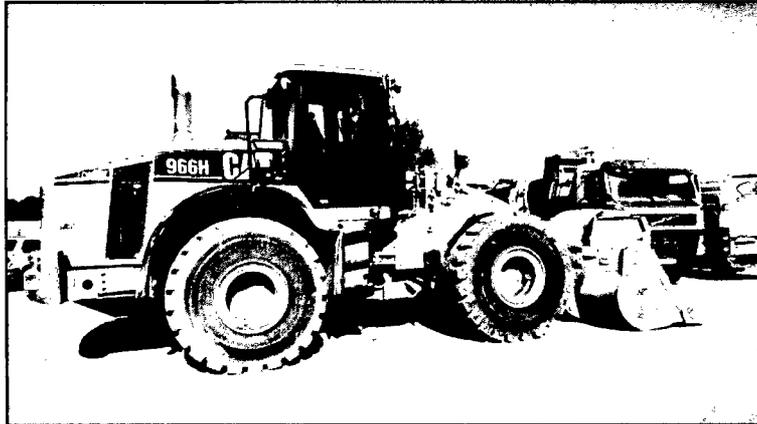
2.1.4.2. Maquinaria de Excavación y Carga

A. Cargador Frontal

Es un equipo de tipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal. Los cargadores son equipos de carga, acarreo, cortes y eventualmente excavación, en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas.



Fig. 10: Cargador Frontal.



Cuadro 04: Especificaciones Técnicas de un Cargador Frontal.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
Potencia al volante	73.1 Kw.
Modelo del motor	3114 T
Velocidad máxima de avance	37 Km./h
Velocidad máxima de retroceso	24.5 Km./h
Altura total máxima	4.66 m
Tamaño del cucharón	0.19 a 19.1 m ³
Profundidad máxima de excavación	90 mm.
Longitud total	6.42 m.

Aplicaciones:

- ✓ Carguío de materiales
- ✓ Mezcla de materiales
- ✓ Excavación de terreno (suelo blando)
- ✓ Apilado de material y carguío de material suelto
- ✓ Depositar material suelto



B. Excavadora.

Es una máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas, con una superestructura capaz de efectuar una rotación de 360°, que excava, carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de una cuchara fija a un conjunto de pluma y balance.

Fig. 11: Excavadora.



Cuadro 05: Especificaciones Técnicas generales de Excavadora.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
Potencia al volante	96 Kw.
Modelo del motor	3060 T
Cilindrada	6.4 L
Velocidad máxima de desplazamiento	4455mm. /min
Ancho de la zapata estándar	2380
Capacidad de tanque de combustible	310 L

Aplicaciones:

- ✓ Excavación de zanjas de mediano y gran tamaño
- ✓ Peinado de taludes encima del plano de sustentación del equipo.



- ✓ Excavación para estructuras
- ✓ Excavación en bancos de préstamo o excavación de material.

A continuación se muestran los principales tipos de excavadoras:

Excavadora Normal de cuchara

Para llevar a cabo la descarga, la cuchara gira alrededor de un eje vertical y se baja hasta colocar en un punto de vertido. El giro corresponde a un tiempo improductivo y este debe ser reducido al mínimo, es por tal motivo que las unidades de transporte (camiones) deben situarse lo más cerca posible del punto de carguío.

Excavadora o pala cargadora con ruedas

Equipo de gran capacidad de carga y potencia, idóneo para las labores de excavación y carguío en MT. Su diseño con ruedas la hace apta para terrenos uniformes.

Excavadora de Mordazas

Tiene la particularidad de utilizar un accesorio que trabaja a peso propio, con un mecanismo que permite excavar material que se encuentre apilado. Este tipo de equipos tiene muy poca aplicación en MT, y son más utilizados en construcción de edificios ya que transporta material suelto.

Gran Excavadora de Minería

Esta máquina está diseñada especialmente para la excavación de áridos en minería a cielo abierto, aunque también son empleadas en grandes movimientos de tierras durante la construcción de obras civiles de gran envergadura. Es una máquina que aunque está dotada de cadenas, no suele realizar desplazamientos continuos durante su actividad. El



volumen y capacidad tanto de la máquina como de su pala, son capaces de cargar en pocos movimientos grandes dumper.

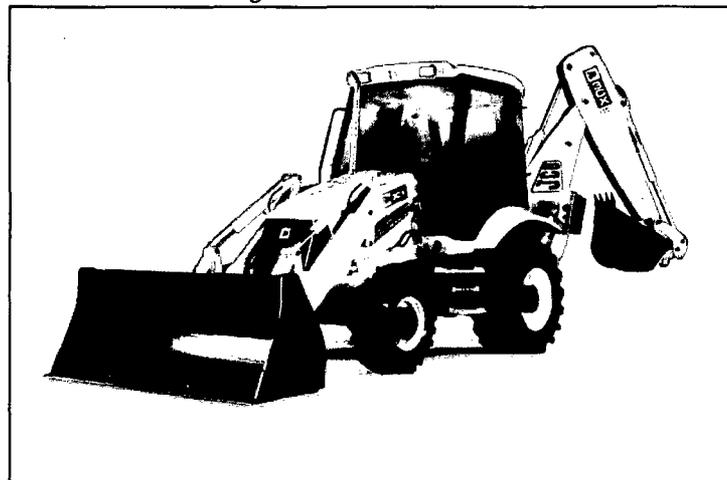
Pequeñas excavadoras

Existen equipos de pequeñas dimensiones ideales para la excavación en espacios reducidos. Entre éstos equipos tenemos mini-cargadores, mini excavadoras, etc.

C. Retroexcavadora

Esta máquina está diseñada para portar a la vez, un equipo de carga frontal y otro de retroexcavación trasero, de forma que pueden ser utilizados para trabajos de excavación y carga de materiales.

Fig. 12: Retroexcavadora.





Cuadro 06: Especificaciones Técnicas Generales de Retroexcavadora.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
Potencia al volante	91 Kw.
Velocidad máxima de avance	33.2 Km./h
Velocidad máxima de retroceso	33.5 Km./h
Radio mínimo de giro	7.88 m
Profundidad máxima de excavación	4721 mm.
Altura total de operación	5752 mm.
Altura de carga	3815 mm.
Alcance de carga	17711 mm.

Aplicaciones:

- ✓ Excavación de zanjas con taludes verticales, roca dura disgregada previamente
- ✓ Excavaciones de cimientos
- ✓ Excavación de canales
- ✓ Limpieza y nivelación
- ✓ Desmonte, carga y descarga de materiales
- ✓ Relleno de cimientos y zanjas
- ✓ Escarificado

Entre los principales tipos de retroexcavadoras tenemos:

Retroexcavadora Mixta.

Muy práctica debido a que por un lado dispone de una pala ancha capaz de mover volúmenes considerables de material, y por otro lado cuenta con una pala con brazo articulado utilizada para la excavación de zanjas, perfilado de taludes, desescombros, etc. El reducido volumen de este equipo lo hace capaz de moverse en terrenos difíciles y en espacios reducidos. Su utilización es muy usual en activida-



des de desbroce, desescombro para el inicio de la construcción de edificios, limpieza de terrenos, excavaciones de zanjas y pozos.

2.1.4.3. Maquinaria de Acarreo

A. Dumper.

Son muy semejantes a los camiones de volteo pero de grandes dimensiones y enormes capacidades de carga, ya que se ha comprobado que el rendimiento es superior para cualquier distancia, si se compara con los de menor capacidad. Su caja de volteo es más forzada y sus velocidades más bajas.

Fig. 13: Camión Volquete.



Cuadro 07: Especificaciones técnicas Generales Dumper.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
Ancho	Superior 2.5 m
Peso máximo	Superior 75 tn.
Capacidad de carga	Superan 20 m3
Amortiguación y sistema de rodaje	Todo terreno
Caja frente posterior	Forma V



Aplicaciones:

- ✓ Transporte de material excedente
- ✓ Transporte de escombros
- ✓ Sobre acarreo.

Entre las unidades de transporte y acarreo más utilizadas tenemos:

Camión Dumper.

Se denomina camión dumper, al vehículo autopropulsado sobre grandes ruedas, con caja abierta y muy resistente. Se utiliza para transportes de grandes volúmenes de acarreo de tierra o roca. Consta de tres, ejes, dos traseros de tracción y uno delantero de dirección. Puede circular por pistas de obra en mal estado y por carretera.

Camión Volquete.

Caracterizado por su gran movilidad, rapidez y adaptabilidad para trabajos fuera de carretera y en suelos vírgenes.

Camiones Articulados.

Este equipo tiene la posibilidad de efectuar un movimiento relativamente independiente de la cabina de mandos del camión, con la finalidad de facilitar el giro de la máquina.

Puede tener una tolva con descarga hacia atrás o descarga hacia los lados.



Camiones fuera de carretera.

Equipos diseñados para el acarreo de material y el tránsito en obra o por caminos no bien nivelados; existen de diversas capacidades o modelos.

Cuadro 08: Especificaciones técnicas Generales Camiones.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
Velocidad de rotación	1000 – 2500 rpm
Peso	1.7 – 5.5 tn.
Ancho	1.52 – 2.07 m
Presión con el suelo	310 – 380 Kn/m ²

2.1.4.4. Maquinaria de Compactación Histograma de frecuencias de transporte.

A. Rodillo Liso O Shifoot

Son apropiados para la operación final de rellenos con suelos arenosos y arcillosos. Éstos cubren el 100% bajo las ruedas con presiones de contacto con el suelo de 310 a 380 KN/m², y no son apropiados para producir altos pesos específicos de compactación al usarse en capas gruesas.

Fig. 14: Rodillo Liso.





Aplicaciones:

- ✓ Compactación de suelos de diferentes tipos
- ✓ Construcción de todo tipo de explanaciones
- ✓ Para la compactación de hormigón asfáltico caliente.

Entre las unidades de compactación más utilizadas tenemos:

Rodillo Liso Tandem.

Cuenta con un rodillo vibratorio extra en la parte posterior para ganar eficiencia en el proceso, pues por cada pasada se obtiene, para pesos equivalentes, el doble de energía de compactación. La forma de densificar no es sustancialmente distinta a la del vibro compactador visto anteriormente.

Rodillo Liso Neumático.

Tienen una hilera de neumáticos, que van cerca uno del otro. La presión de contacto bajo los neumáticos varía entre 600 y 700 KN/m², y su cobertura es aproximadamente de 70 y 80%. Este tipo de rodillos se usan para la compactación de suelos arenosos y arcillosos, lográndose una combinación de presión y acción de amasamiento.

Rodillo Pata De Cabra.

Éstos utilizan tambores con un gran número de protuberancias. El área de cada una de las protuberancias varía entre 25 y 85 cm², conteniendo mayor efectividad en la compactación de suelos arcillosos. La presión de contacto bajo las protuberancias varía entre 1380 y 6900 KN/m².



2.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO

La adecuada coordinación entre equipos de carga y transporte de material representa una consideración muy importante dentro de los trabajos de MT, siendo el número de elementos y las dimensiones de los equipos los factores esenciales a determinar dentro del proceso de optimización. Líneas abajo se expondrá la teoría del Factor de Acoplamiento que busca la máxima reducción de los tiempos muertos durante la ejecución.

Un proyecto de Movimiento de Tierras implica la ejecución de una serie de actividades, las cuales son realizadas con distintos tipos de equipos y/o maquinarias. Para llegar al grado deseado de eficiencia, es indispensable una buena interacción entre los equipos, sobre todo para las actividades de carga y transporte de material.

Para conseguir lo anteriormente mencionado, es necesario atender los siguientes factores:

- Adecuación entre las dimensiones de los equipos tanto de carga como de acarreo, de tal forma que no se originen paras en el ciclo ni aumentos excesivos en los tiempos del mismo.
- Elección de la cantidad de equipos de transporte y carga necesarios. Esto debe efectuarse una vez conocidos los modelos de los mismos, el tipo o tipos de material a transportar, y las distancias y vías por las que se efectuará el acarreo.

Con el cálculo del FA2 se busca determinar la cantidad óptima de unidades de transporte asociadas a un equipo de carguío respectivo. En líneas generales, podemos definir el Factor de Acoplamiento de la siguiente manera:

$$FA = \frac{\text{Producción del Equipo de Carguío}}{\text{Producción del Equipo de Transporte}}$$



Debido a que en proyectos de MT los equipos de carguío son de algún modo fijos para determinado frente de trabajo, se puede calcular, a través del FA, la cantidad de equipos de acarreo que deben trabajar con la máquina de carga establecida; esta cantidad de equipos será la necesaria para poder absorber la producción del equipo de carguío asociado.

$$FA = \frac{\text{Tiempo de Ciclo de Transporte} * N^{\circ} \text{ de Equipos de Carguío}}{\text{Tiempo del Ciclo de Carguío} * N^{\circ} \text{ de Equipos de Transporte}} * D$$

$$FA = \frac{T * n}{N * y * t}$$

N : Número total de transportadores

n : Número total de cargadores

T : Ciclo de cada unidad de transporte. Numero aproximadamente constante.

t : Ciclo de cada unidad de carguío. Numero aproximadamente constante.

z : Número de transportadores por unidad de carguío. Cifra entera y constante.

y : Número de pases (paladas), requeridos para llenar la tolva del transportador.

Se establece que:

$$z = \frac{T}{(y * t)}$$

Multiplicando esta expresión por n se tiene:

$$n * z = \frac{T * n}{y * t}$$

Pero $(n * z) = N$

Entonces:

$$N * y * t = T * n$$

$$\frac{N * y * t}{T * n} \text{ ó } \frac{T * n}{N * y * t} = FA = \text{Factor de Acoplamiento}$$



La producción requerida decide el número de cargadores para lo cual debe conocerse el modelo y tamaño de cada cargador y las producciones aproximadas.

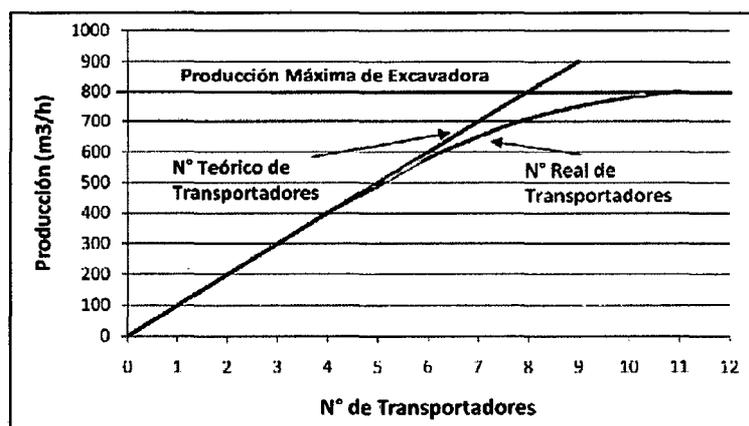
El número óptimo de transportadores se obtiene cuando:

$$FA = 1 = \frac{N * y * t}{T * n}$$

$$N = \frac{T * n}{y * t}$$

La **Figura N° 15** muestra el número óptimo teórico de transportadores que cumplen la producción estimada por el equipo de carguío. La producción real está por debajo de la teórica requiriendo más transportadores para alcanzar la máxima producción del cargador debido a factores como distinto estado de conservación de transportadores, interferencias en las zonas de carguío, descarga y en las vías de acarreo, espaciamiento diferente entre transportadores, destreza variable de los conductores.

Fig. 15: Curvas de Producción Teórica y Real.



El objetivo de la flota de transporte es minimizar costo por unidad de peso y/o maximizar producción por unidad de tiempo. Estos dos fines generalmente no son coincidentes como puede verse en la **FIGURA N° 16**.



La FIGURA N° 17 muestra que la eficiencia es función del grado de acoplamiento.

Fig. 16: Máxima Producción y Mínimo Costo no Coincidentes

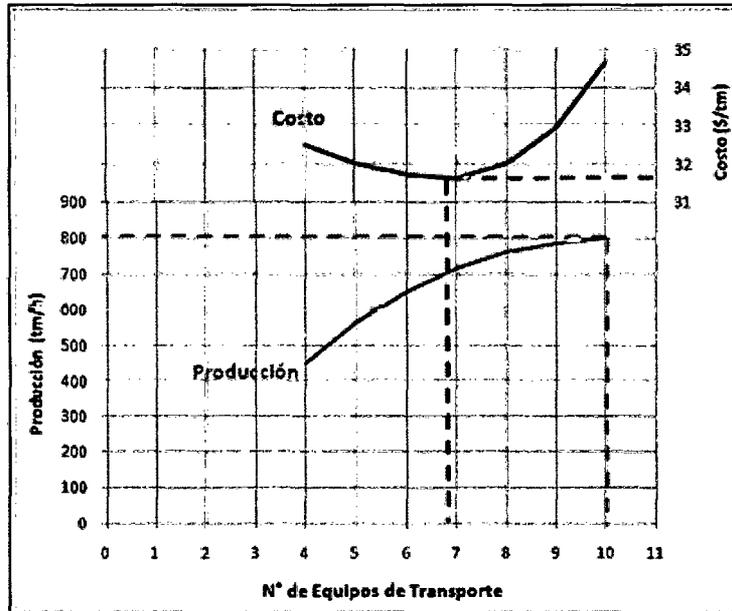
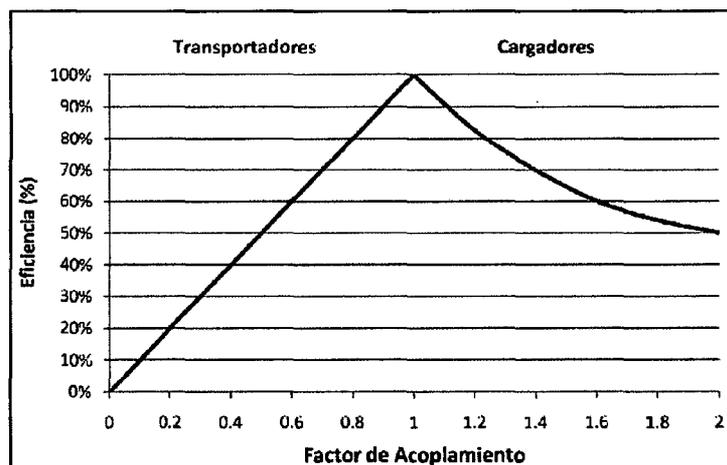


Fig. 17: Eficiencia vs Factor de Acoplamiento.





FA > 1 cuando hay exceso de cargadores y la eficiencia del transporte es 100%.

FA < 1 cuando hay exceso de transportadores y la eficiencia del carguío es 100%.

FA = 1 cuando el acoplamiento es perfecto.

Con el cálculo del Factor de Acoplamiento se busca determinar la cantidad óptima de unidades de transporte asociadas a un equipo de carguío respectivo. En líneas generales, podemos definir el Factor de Acoplamiento de la siguiente manera:

$$FA = \frac{\text{Producción del equipo de carguío}}{\text{Producción del equipo de transporte}}$$

La presente investigación hace hincapié en el cálculo adecuado del tiempo de ciclo de transporte, ya que existe una serie de factores que influyen directamente, como son la calidad de la vía por la que transitan los equipos y la densidad de vehículos (cantidad de equipos que circulan dentro de una misma área de trabajo).

Calidad de Vía

El estado de conservación en el que se encuentren las vías por las que circulan los equipos durante el transporte de material, ya sea de un punto de carguío a un botadero o de una cantera a una zona de relleno, influye directamente en la duración del ciclo real. Para determinar la magnitud de dicha influencia se evalúa los tiempos ideales en función a la velocidad promedio alcanzada por el vehículo, que en teoría es la que podría mantenerse constante durante todo su recorrido, y se contrasta versus los tiempos de ida y vuelta (sin considerar paradas), obtenida a partir de los datos recopilados en campo.

$$T_I = \frac{d}{v}$$

Dónde:

T_I : Tiempo ideal de ciclo

d : Distancia de recorrido de transporte

v : Velocidad de tránsito en el recorrido



Luego:

$$C = \frac{T_I}{T_{SP}}$$

Dónde:

T_{SP} : Tiempo de ciclo ida y vuelta sin paradas
 C : Factor de Calidad de Vía

Densidad de Vehículos

El otro factor considerado es la cantidad de equipos distribuido en la área de trabajo, mientras mayor número exista en una zona más pequeña, estos se obstaculizaran más frecuentemente, incrementando su ciclo considerablemente; al igual que en la calidad de vía, la forma de evaluar su influencia es relacionando el tiempo del ciclo sin paradas versus los tiempos de paradas debido a la obstrucción de otros vehículos que se encuentren transitando por la vía.

Para el cálculo de la densidad se procedió de la siguiente manera:

$$D = \frac{(T_P + T_{SP})}{T_{SP}}$$

Dónde:

T_P : Tiempo total de paradas en ciclos de ida y vuelta
 D : Factor de densidad de equipos en el frente de trabajo

Con todos estos datos recopilados y procesados se calcula el tiempo de ciclo, de la siguiente manera:

$$T_T = \frac{T_I}{C} + T_C + T_D$$



Dónde:

T_T : Tiempo total del ciclo

T_I : Tiempo ideal del ciclo

C : Factor de calidad de vía

T_C : Tiempo de carga del equipo de transporte

T_D : Tiempo de descarga del equipo de transporte

2.2.1. Inclusión de la Densidad de Vehículos en el Cálculo del Factor de Acoplamiento

Para determinar la influencia de la Densidad de Vehículos sobre las cantidades reales de producción, partimos de la siguiente premisa:

$$N_o = \frac{N_v}{D} \dots (I)$$

Dónde:

N_o : Número óptimo de vehículos

N_v : Número de vehículos sin considerar densidad

Por otro lado definimos la producción de la flota de transporte y la producción del equipo de carguío.

Para la flota de transporte tenemos:

$$P_T = \frac{60}{T_T} * N_v * V$$

Dónde:

P_T : Producción horaria de la flota de transporte

V : Volumen de carga promedio de la flota de transporte

Si:

$$P_{T/U} = \frac{P_T}{N_v} \dots (II)$$



Dónde:

$P_{T/U}$: Producción de transporte por cada unidad de transporte

Para el equipo de carguío tendremos:

$$P_C = \frac{P}{H}$$

Dónde:

P : Producción diaria del equipo de transporte

H : Horas efectivas de trabajo

$$N_O = \frac{P_C}{P_{T/U}} \dots (III)$$

Reemplazando (II) en (III) tenemos:

$$N_O = \frac{P_C}{P_T/N_V}$$

$$\frac{N_O}{N_V} = \frac{P_C}{P_T} \dots (IV)$$

Ahora reemplazando (I) en (IV) obtenemos:

$$\frac{N_V/D}{N_V} = \frac{P_C}{P_T}$$

$$\frac{1}{D} = \frac{P_C}{P_T}$$

$$P_C = \frac{P_T}{D}$$

De esta manera, el factor de densidad afecta directamente al factor de acoplamiento, con lo que al aproximarse éste a la unidad, se tiene una mayor aproximación a la realidad en campo. Que en teoría puede resumirse de la siguiente manera:



$$FA = \frac{\text{Producción del equipo de carguío}}{\text{Producción del equipo de transporte}} * D$$

Se llega a la conclusión que la producción del equipo de acarreo se ve disminuida a causa del factor de densidad anteriormente establecido. Para poder contrarrestar dicho efecto la solución es dar paso a un diseño iterativo en base a volúmenes de producción adecuados (según el equipo de carguío a utilizar), a fin de determinar la flota de acarreo ideal que permita obtener un factor de acoplamiento aceptable.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

CAPITULO III

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS EN EL QUE SE EFECTUÓ EL ESTUDIO

A.-Proyecto: Construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla

Votorantim Metaís es una empresa refinadora de metales, siendo su principal producción el Zinc, producto de estos procesos de refinado se tiene desechos (lodo Líquido) perjudiciales para el medio ambiente, por lo que hace necesaria el tratamiento de los mismos, en grandes pozas de almacenamiento.

La construcción de pozas implica gran movimiento de Tierra, por ende un despliegue basto de equipos de minería,

Datos del Proyecto

Propietario/Cliente	: VOTORANTIM METAIS S.A.
Ejecuta	: MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ubicación	: Cajamarquilla- Huachipa.
Alcance del proyecto	:Movimiento de Tierras y Revestimiento de Poza.
Tipo de contrato	: A Precios Unitarios.
Monto Contractual	: \$ 19'520,860 (Sin IGV).
Fecha de Inicio	: 05 – Febrero – 2013.
Fecha de Fin	: 02 – Setiembre – 2013.
Plazo	: 210 días.
Forma de pago	: Valorizaciones mensuales.

Alcance de obra

- Ejecución de accesos y caminos temporales
- Limpieza y escarpe de plataformas
- Transporte a depósitos autorizados a partir del punto de extracción de material excedente
- Preparación, transporte y suministro de material de relleno masivo y estructural, de empréstito o excavaciones
- Excavaciones para fundaciones y plataformas
- Estabilización temporal de taludes de excavación
- Suministro y colocación de emplantillados para protección de sellos de fundación
- Preparación de subrasante de caminos
- Colocación de carpetas granulares de rodadura en caminos
- Toda la topografía necesaria para el control de avance
- Los ensayos y control de calidad necesarios para alcanzar el grado de calidad especificado para el proyecto
- Planos "As Built"



B.-Proyecto: Minado Breapampa

Datos del Proyecto

Propietario/Cliente	: MINERA BUENAVENTURA S.A.A.
Ejecuta	: MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ubicación	: Ayacucho.
Alcance del proyecto	: Movimiento de Tierras y Minado-Breapampa
Tipo de contrato	: A Precios Unitarios.
Monto Contractual	: \$ 27'843,106 (Sin IGV).
Fecha de Inicio	: 01 – Febrero – 2012.
Fecha de Fin	: 22 – Marzo – 2014.
Plazo	: 26 Meses.
Forma de pago	: Valorizaciones mensuales.

Alcance de obra

- Ejecución de accesos y caminos temporales
- Limpieza y escarpe de plataformas
- Transporte de mineral y desmonte de voladura.
- Perforación y Voladura en el tajo.
- Mantenimiento de Pad , botaderos , vías , drenaje de mina.
- Corte y Carguío de Mineral y desmonte (Top Soil)



3.2. TOMA DE DATOS EN CAMPO Y EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS CICLO

Para llevar a cabo el diseño y desarrollo de un mecanismo de optimización de las flotas de movimiento de tierra, se realizó una toma de información correspondiente a los tiempos de ciclo de carguío y transporte, las cuales se exponen a continuación:

A.- Proyecto: construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla

En el caso de los equipos de carguío, la toma de información consistía en obtener los siguientes tiempos (ver Anexo 01):

- Tiempo de carga de cucharón: lapso de tiempo utilizado por el equipo de carguío para llevar su cucharón con el material excavado.
- Tiempo de giro con carga: intervalo de tiempo necesario para que el equipo mueva el cucharón cargado hasta el punto de entrega al equipo de transporte.
- Tiempo de descarga del cucharón: tiempo necesario para que el cucharón del equipo se descargue al 100% sobre el equipo de acarreo correspondiente.
- Tiempo de giro sin carga: tiempo del giro del cucharón desde el punto de entrega hasta el punto de acopio, para luego dar inicio nuevamente a la carga.
- Tiempo del ciclo sin demoras: representado por la suma de los tiempos de carga de cucharón, tiempo de giro con carga, tiempo de descarga del cucharón y tiempo de giro sin carga.
- Tiempo de acopio: tiempo invertido por el equipo para acumular adecuadamente el material antes de su disposición en las unidades de transporte correspondientes.
- Tiempo de espera: tiempo en el que la unidad de carguío se encuentra en stand by debido a la falta de equipos de transporte para su alimentación.



- Tiempo total del ciclo: suma de los tiempos del ciclo sin demoras, tiempo de acopio y tiempo de espera.

Para los equipos de transporte, la información necesaria era básicamente la siguiente (ver Anexo 02):

- Tiempo de ciclo: tiempo invertido para el transporte del material hasta su disposición final y el retorno al punto de acopio.
- Tiempo de espera: periodo de tiempo en el que el equipo de transporte se encuentra parado por diversas circunstancias, esperando su turno para ser alimentado por el equipo de carguío correspondiente.
- Tiempo de carga: tiempo necesario para que el equipo de carguío pueda abastecer (a un nivel adecuado de capacidad) al equipo de transporte.
- Tiempo de demora: tiempo consumido por el equipo luego de la carga para poder salir del frente hacia el punto de entrega o botadero.

Al hacer una nueva lectura del instante en el que el equipo regresa al frente, se obtiene el tiempo de ciclo (carguío, ida, descarga y vuelta) correspondiente.

De esta manera se llegaron a obtener los siguientes datos (ver Anexo 03):

Cuadro 09: Tiempos de Carga por Equipo.

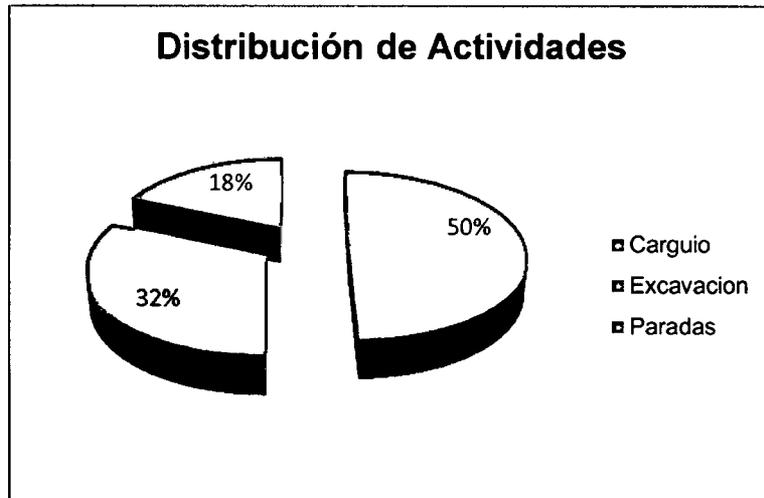
Item	Equipo	Tiempo de Carga (min)
1	Excavadora Komatsu PC-350 LC	1.75
2	Cargador Frontal Caterpillar 966H	1.64

FUENTE: elaboración propia

Asimismo se obtuvo una distribución de las actividades de excavación y carguío (realizadas por la excavadora) bajo los siguientes porcentajes:



Fig. 18: Distribución de Actividades.



FUENTE: Elaboración Propia

Finalmente, con la evaluación de los tiempos de ciclo de los equipos de transporte se obtuvo el siguiente valor promedio de calidad de vía.

Cuadro 10: Factor de Calidad de Vía.

CALIDAD DE VIA			
	Conf. Norte	Conf. Oeste	Conf. Suroeste
Zona de Corte A	76%	86%	-
Zona de Corte B	-	95%	95%
Zona de Corte C	-	89%	96%

FUENTE: Elaboración Propia

B.- Proyecto: Minado Breapampa

Posterior a la experiencia en el Proyecto Construcción de la Poza N°06 en Cajamarquilla, se replicó lo ejecutado en el Minado Breapampa. La toma de información se empleó el mismo mecanismo que el anterior proyecto.



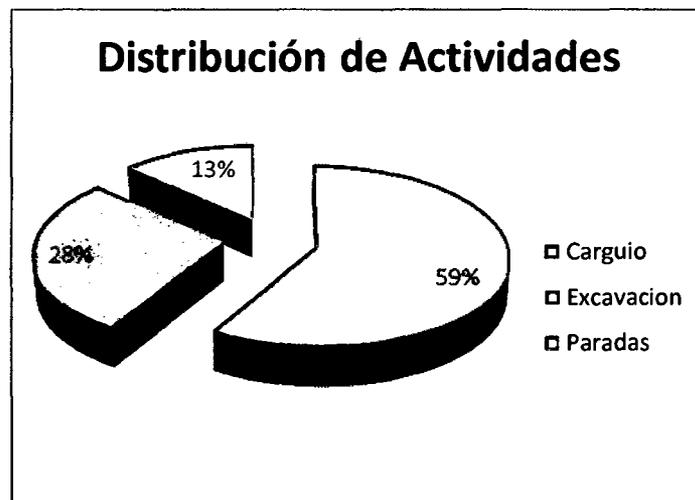
Cuadro 11: Tiempos de Carga por Equipo.

Item	Equipo	Tiempo de Carga (min)
1	Excavadora Komatsu PC 600	2.05
2	Cargador Frontal Caterpillar 966H	1.91

FUENTE: Elaboración Propia

Asimismo se obtuvo una distribución de las actividades de excavación y carguío (realizadas por la Excavadora y Cargador Frontal) bajo los siguientes porcentajes:

Fig. 19: Distribución de Actividades.



FUENTE: Elaboración Propia

Finalmente, con la evaluación de los tiempos de ciclo de los equipos de transporte se obtuvo el siguiente valor promedio de calidad de vía (los cuales se redondearon a un múltiplo de 10).

Cuadro 12: Factor de Calidad de Vía.

CALIDAD DE VIA	
	Tajo
Botadero	70%
Chancadora	60%
Pad	63%

FUENTE: Elaboración Propia



3.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

A.- Proyecto: construcción de la Poza N°06 –Cajamarquilla

Con toda la información recopilada de campo se desarrolló una herramienta en el sistema operativo Excel, para que los ingenieros de producción efectúen el dimensionamiento de la flota y puedan realizar su mejor elección.

Cuadro 13: Herramienta para el Diseño de Flotas.

DISEÑO DE FLOTAS PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS													
Proyecto:		CONSTRUCCIÓN DE LA POZA N° 06						Codigo:					
Frente:		Corte y Conformación de Material						Fecha: 01/02/2013					
Origen:		Destino:		Tipo de Material:		Ubicación Geográfica:							
Zona de Corte C		Conf Oeste		Material Común		Costo							
Viajes de Ida		Viajes de Retorno		% de Actividades:		Jornada (hrs):							
Tramo 1:		Tramo 1:		Producción Diaria:		Calidad de Via:							
Distancia 1: 30 Velocidad 1: 15		Distancia 1: 30 Velocidad 1: 25		3500 m³		5							
Tramo 2:		Tramo 2:		Capacidad del Volquete:		Angulo de Carga:							
Distancia 2: 70 Velocidad 2: 0		Distancia 2: 70 Velocidad 2: 0		15 m³		90							
Tramo 3:		Tramo 3:		Capacidad del Volquete:		Densidad Compactada (kg/m³):							
Distancia 3: 100 Velocidad 3: 0		Distancia 3: 90 Velocidad 3: 0		23 Tn		1,770.00							
						Densidad Suelta (kg/m³): 1,650.00							
		N° Óptimo de Volquetes		Costo de Carguo Optimo									
1		T. Carguo	3.50 min	5	Prod. Horaria Carguo	245.39 m³	4	Costo Horario de Flota	258.20	Costo Horario de Flota	206.56		
		T. Acarreo Ida - Vuelta	10.15 min		Prod. Jornada	4,907.74 m³		Costo Horario Eq. Carguo	62.37	Costo Horario Eq. Carguo	62.37		
		T. Acomodo - Descarga	2.24 min		N° de Vejes	3.78		Costo Horario Total	320.57	Costo Horario Total	268.93		
		Producción Requerida/Hora	175.00 m³		Prod. Horaria Acarreo	196.31		Viajes Flota/Hora	18.88	Viajes Flota/Hora	15.11		
		Producción Camion/Hora	49.08 m³		Producción/Hora	245.39		Producción/Hora	245.39	Producción/Hora	196.31		
Tiempo Total del Ciclo	15.89 min	Producción Camion/Hora	49.08 m³	F.A.	80.0%	Tiempo Requerido (Horas)	14.26	Tiempo Requerido (Horas)	17.83	Costo Total USD	4,572.34	Costo Total USD	3,721.74
2		T. Carguo	4.71 min	4	Prod. Horaria Carguo	182.42 m³	4	Costo Horario de Flota	206.56	Costo Horario de Flota	206.56		
		T. Acarreo Ida - Vuelta	10.15 min		Prod. Jornada	3,648.32 m³		Costo Horario Eq. Carguo	39.56	Costo Horario Eq. Carguo	39.56		
		T. Acomodo - Descarga	2.24 min		N° de Vejes	3.51		Costo Horario Total	246.12	Costo Horario Total	246.12		
		Producción Requerida/Hora	175.00 m³		Prod. Horaria Acarreo	182.42		Viajes Flota/Hora	14.04	Viajes Flota/Hora	14.04		
		Producción Camion/Hora	45.60 m³		Producción/Hora	182.42		Producción/Hora	182.42	Producción/Hora	182.42		
Tiempo Total del Ciclo	17.10 min	Producción Camion/Hora	45.60 m³	F.A.	100.0%	Tiempo Requerido (Horas)	19.19	Tiempo Requerido (Horas)	19.19	Costo Total USD	4,722.29	Costo Total USD	3,721.74
3		T. Carguo	2.64 min	6	Prod. Horaria Carguo	311.32 m³	4	Costo Horario de Flota	309.84	Costo Horario de Flota	206.56		
		T. Acarreo Ida - Vuelta	10.15 min		Prod. Jornada	6,226.35 m³		Costo Horario Eq. Carguo	111.93	Costo Horario Eq. Carguo	111.93		
		T. Acomodo - Descarga	2.24 min		N° de Vejes	3.99		Costo Horario Total	421.77	Costo Horario Total	318.49		
		Producción Requerida/Hora	175.00 m³		Prod. Horaria Acarreo	207.55		Viajes Flota/Hora	23.96	Viajes Flota/Hora	15.97		
		Producción Camion/Hora	51.89 m³		Producción/Hora	311.32		Producción/Hora	207.55	Producción/Hora	207.55		
Tiempo Total del Ciclo	15.03 min	Producción Camion/Hora	51.89 m³	F.A.	66.7%	Tiempo Requerido (Horas)	11.24	Tiempo Requerido (Horas)	16.86	Costo Total USD	4,741.76	Costo Total USD	3,291.76

FUENTE: Elaboración Propia

Como punto de partida, la herramienta guarda un registro de los tiempos promedio de carga (obtenidos de la toma de datos), las tarifas promedio de los equipos, los tramos existentes dentro del proyecto y sus respectivas distancias.



Cuadro 14: Distancia por Ruta.

DISTANCIAS PROMEDIO			
	Conf. Norte	Conf. Oeste	Conf. Suroeste
Zona de Corte A	0.40	0.75	-
Zona de Corte B	-	0.65	1.10
Zona de Corte C	-	1.30	0.90

FUENTE: Elaboración Propia

Para su utilización se ingresa el origen y destino de la flota de acarreo y con ayuda de la base de datos cargada, se obtienen las distancias respectivas. Luego se ingresan las velocidades de operación correspondientes:

Cuadro 15: Elección de Ruta e ingreso de Velocidades.

Origen:	Zona de Corte C	Destino:	Conf. Oeste
Viajes de Ida		Viajes de Retorno	
Tramo 1:		Tramo 1:	
Distancia 1:	1.30	Distancia 1:	1.30
Velocidad 1:	15	Velocidad 1:	25

FUENTE: Elaboración Propia

Como siguiente paso se ingresa la ubicación geográfica de la obra (costa, sierra y selva), el tipo de material a transportar (densidad suelta y densidad compactada), el ángulo de carga del volquete, la producción estimada durante la jornada de trabajo y la cantidad de horas efectivas, capacidad del volquete (en peso y volumen). Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de distribución de las actividades de excavación y carguío y el factor de calidad de vía, se obtienen de la información procesada.

Cuadro 16: Ingreso de Información Complementaria.

Tipo de Material:	Material Común	Ubicación Geografica:	Costa
% de Actividades:	32% Excavación 50% Carguío	Jornada (Hrs):	20
Producción Diaria:	3500 m ³	Calidad de Vía:	82%
Capacidad del Volquete:	15 m ³	Angulo de Carga:	90
Capacidad del Volquete:	23 Tn	Densidad Compactada (kg/m³):	1,770.00
		Densidad Suelta (kg/m³):	1,650.00

FUENTE: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Cíviles"

Con estos datos de entrada se obtiene una evaluación inicial de la flota adecuada para dicha labor. En primer lugar se aprecia un número óptimo de volquetes, obtenido a partir del tiempo total del ciclo de transporte y el tiempo de carga del volquete:

Cuadro 17: Primer Cálculo del Número de Volquetes.

				N° Óptimo de Volquetes	
1		T. Carguio	3.50	min	
		T. Acarreo Ida - Vuelta	10.15	min	
		T. Acomodo - Descarga	2.24	min	5
		Tiempo Total del Ciclo	15.89	min	
2		T. Carguio	4.71	min	
			10.15	min	
		T. Acomodo - Descarga	2.24	min	4
		Tiempo Total del Ciclo	17.10	min	
3		T. Carguio	2.64	min	
		T. Acarreo Ida - Vuelta	10.15	min	
		T. Acomodo - Descarga	2.24	min	6
		Tiempo Total del Ciclo	15.03	min	

FUENTE: Elaboración Propia

En segundo lugar se obtiene una nueva aproximación (correspondiente a la cantidad necesaria de volquetes) en este caso el resultado se obtiene a partir de las metas de producción establecidas para el punto de carguío en evaluación. Además es aquí donde se puede apreciar el Factor de Acoplamiento obtenido, tomando en cuenta que el primer cálculo corresponde a la producción del equipo de carguío y el segundo a la producción de la flota de acarreo sin considerar el factor de densidad de la vía.



Cuadro 18: Cálculo del Número de Volquetes a partir del FA Obtenido.

1		Excavadora Komatsu PC 350 LC	Prod. Horaria Carguio	245.39	m3	
		Prod. Jornada	4,907.74	m3		
		Nº de Viajes	3.78			
		Prod. Horaria Acarreo	196.31			
		Produccion Requerida/Hora	175.00	m3	4	
		Produccion Camion/Hora	49.08	m3	F.A. 80.0%	
2		Excavadora Caterpillar 336D	Prod. Horaria Carguio	182.42	m3	
		Prod. Jornada	3,648.32	m3		
		Nº de Viajes	3.51			
		Prod. Horaria Acarreo	182.42			
		Produccion Requerida/Hora	175.00	m3	4	
		Produccion Camion/Hora	45.60	m3	F.A. 100.0%	
3		Excavadora Komatsu PC 600	Prod. Horaria Carguio	311.32	m3	
		Prod. Jornada	6,226.35	m3		
		Nº de Viajes	3.99			
		Prod. Horaria Acarreo	207.55			
		Produccion Requerida/Hora	175.00	m3	4	
		Produccion Camion/Hora	51.89	m3	F.A. 66.7%	

FUENTE: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que la flota actual empleada en el proyecto de MT es la Excavadora Komatsu PC 350 LC, esta herramienta también nos permite comparar el desempeño de otras flotas y así obtener con cuál de ellas obtendríamos mejores beneficios.

Con La flota conformada por la Excavadora Caterpillar 336D se obtuvo un valor adecuado de FA (alrededor del 100%), para la meta de producción diaria proyectada, alcanzando esta una mayor eficiencia en cuanto a desempeño.

Finalmente la herramienta permite comparar tres flotas distintas bajo una misma meta de producción diaria (3,500 m3/día/flota), en este caso los parámetros de tiempo y costo resultan decisivos para la elección correcta.



Elección de la Flota Óptima en Base a Parámetros de Tiempo y Costo.

Cuadro 19: Opción de Flota 01.

OPCION DE FLOTA 01	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 350 LC
Actividad	Excavacion y Carguio
Flota Máxima	5
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	80.00%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	196.31
Produccion Equipo de Carguio/Hr	245.39
Origen	Zona de Corte C
Destino	Conf. Oeste
Distancia	2.60
Calidad de la Via	82%
Tipo de Material	Material Común
Costo Optimo de Carguio	\$ 4,572.34
Costo Optimo de Acarreo	\$ 4,794.74
Ratio Carguio Óptimo (\$/m3)	\$ 1.31
Tiempo de Culminacion (Hrs)	14.26
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m3)	\$ <input checked="" type="checkbox"/> X 1.37
Tiempo de Culminacion (Hrs)	<input checked="" type="checkbox"/> X 17.83

FUENTE: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Cuadro 20: Opción de Flota 02.

OPCION DE FLOTA 02	
Equipo de Carguio	Excavadora Caterpillar 336D
Actividad	Excavacion y Carguio
Flota Máxima	4
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	100.00%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	182.42
Produccion Equipo de Carguio/Hr	182.42
Origen	Zona de Corte C
Destino	Conf. Oeste
Distancia	2.60
Calidad de la Via	82%
Tipo de Material	Material Común
Costo Optimo de Carguio	\$ 4,722.29
Costo Optimo de Acarreo	\$ 4,722.29
Ratio Carguio Óptimo (\$/m3)	\$ 1.35
Tempo de Culminacion (Hrs)	19.19
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m3)	\$ <input checked="" type="checkbox"/> 1.35
Tiempo de Culminacion (Hrs)	<input checked="" type="checkbox"/> 19.19

FUENTE: Elaboración Propia



Cuadro 21: Opción de Flota 03.

OPCION DE FLOTA 03	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 600
Actividad	
Flota Máxima	6
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	67%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	207.55
Produccion Equipo de Carguio/Hr	311.32
Origen	Zona de Corte C
Destino	Conf. Oeste
Distancia	2.60
Calidad de la Via	82%
Tipo de Material	Material Común
Costo Optimo de Carguio	4,741.76
Costo Optimo de Acarreo	5,370.95
Ratio Carguio Óptimo (\$/m ³)	\$ 1.35
Tiempo de Culminación	11.24
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m ³)	\$ X 1.53
Tiempo de Culminación	☑ 16.86

FUENTE: Elaboración Propia

Para efectos prácticos de comparación entre la Flota 01 y la Flota 03, en cuanto a la obtención de valores adecuados de Factor de Acoplamiento, efectuamos un reajuste de las metas de producción diarias.

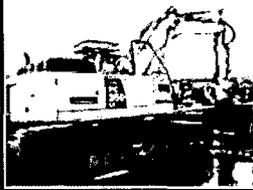


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Cíviles"

Cuadro 22: Modificando la Producción para obtener un nuevo FA.

Producción Diaria: 4900 m³

1		Excavadora Komatsu PC 350 LC	Prod. Horaria Carguio	245.39	m ³	
		Prod. Jornada	4,907.74	m ³		
		N° de Viajes	3.78			
		Prod. Horaria Acarreo	245.39			
		Produccion Requerida/Hora	245.00	m ³	5	
		Produccion Camion/Hora	49.08	m ³	F.A. 100.0%	
3		Excavadora Komatsu PC 600	Prod. Horaria Carguio	311.32	m ³	
		Prod. Jornada	6,226.35	m ³		
		N° de Viajes	3.99			
		Prod. Horaria Acarreo	259.43			
		Produccion Requerida/Hora	245.00	m ³	5	
		Produccion Camion/Hora	51.89	m ³	F.A. 83.3%	

FUENTE: Elaboración Propia



Elección de Flota Optima con un Factor de Acoplamiento más eficiente.

Cuadro 23: Opción de Flota 01.

OPCION DE FLOTA 01	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 350 LC
Actividad	Excavacion y Carguio
Flota Máxima	5
Volumen Programado	4900
Flota Requerida	5
Factor de Acoplamiento	100.00%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	245.39
Produccion Equipo de Carguio/Hr	245.39
Origen	Zona de Corte C
Destino	Conf. Oeste
Distancia	2.60
Calidad de la Via	82%
Tipo de Material	Material Común
Costo Optimo de Carguio	\$ 6,401.28
Costo Optimo de Acarreo	\$ 6,401.28
Ratio Carguio Óptimo (\$/m ³)	\$ 1.31
Tiempo de Culminacion (Hrs)	19.97
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m ³)	\$ <input checked="" type="checkbox"/> 1.31
Tiempo de Culminacion (Hrs)	<input checked="" type="checkbox"/> 19.97

FUENTE: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Cuadro 24: Opción de Flota 03.

OPCION DE FLOTA 03	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 600
Actividad	
Flota Máxima	6
Volumen Programado	4900
Flota Requerida	5
Factor de Acoplamiento	83%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	259.43
Produccion Equipo de Carguio/Hr	311.32
Origen	Zona de Corte C
Destino	Conf. Oeste
Distancia	2.60
Calidad de la Via	82%
Tipo de Material	Material Común
Costo Optimo de Carguío	6,638.47
Costo Optimo de Acarreo	6,990.81
Ratio Carguío Óptimo (\$/m³)	\$ 1.35
Tiempo de Culminacion	15.74
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m ³)	\$ <input type="checkbox"/> 1.43
Tiempo de Culminacion	<input checked="" type="checkbox"/> 18.89

FUENTE: Elaboración Propia



B.- Proyecto: Minado Breapampa

La herramienta desarrollada en el proyecto Minado Breapampa sufrió una modificación sustancial respecto a la precedente, consistente en la inclusión del factor de Densidad de equipos dentro de la zona de trabajo.

A continuación se muestra la base de datos de rutas ida y vuelta del proyecto.

Cuadro 25: Distancia por Ruta.

Tramo	Distancia (km)
Tajo - Botadero	1.30
Tajo - Chancadora	1.00
Tajo - Pad	1.80

FUENTE: Elaboración Propia

Asimismo los tiempos de carga y tarifas promedio de los equipos también se registraron dentro de la base de datos de la herramienta.

Cuadro 26: Tiempos de Carga y Tarifa Promedio.

Ítem	Equipo	Tiempo de Carga (min)	Tarifa Promedio (\$/HM)
1	Excavadora Komatsu PC 600	2.06	111.73
2	Cargador Frontal Caterpillar 966H	1.82	50.30

FUENTE: Elaboración Propia

Adicionalmente se registraron los factores de densidad obtenidos a través del estudio anteriormente mencionado.(3.2. Inclusión de la Densidad de Equipos)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Cíviles"

Cuadro 27: Densidad Obtenida por Ruta.

DENSIDAD	
ORIGEN: →	Tajo
DESTINO	
Botadero	1.30
Chancadora	1.80
Pad	1.00

FUENTE: Elaboración Propia.

La utilización de esta nueva versión de la herramienta es similar, sin embargo, la aparición del factor de Densidad afecta directamente el cálculo del factor de acoplamiento.

Cuadro 28: Inclusión del Factor de Densidad.

Tipo de Material:	Mineral	Ubicación Geográfica:	Sierra
% de Actividades:	25% Excavación 59% Carguo	Jomada (Hrs):	22
Factor de Densidad:	118%	Calidad de Vía:	64%
Producción Diaria:	3500 m3	Angulo de Carga:	90

FUENTE: Elaboración Propia.

Se ingresa el origen y destino de la flota de acarreo, para las cuales es necesario ingresar la respectiva velocidad promedio alcanzada.

Cuadro 29: Elección de Ruta, distancia de tramos e ingreso de Velocidad.

Origen:	TAJO	Destino:	CHANCADORA
Viajes de Ida		Viajes de Retorno	
Tramo 1:		Tramo 1:	
Distancia 1:	1.80	Distancia 1:	1.80
Velocidad 1:	20	Velocidad 1:	30

FUENTE: Elaboración Propia.

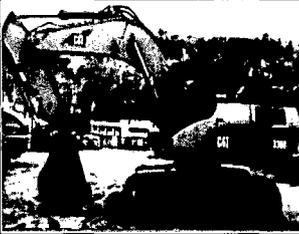
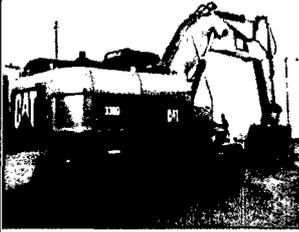
Del mismo modo, el primer cálculo nos muestra un número estimado de volquetes, obtenido a partir del tiempo total del ciclo de acarreo y el tiempo de carga del volquete:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Cíviles"

Cuadro 30: Cantidad de Volquetes en base a producción de equipo de carguío.

				N° Óptimo de Volquetes
	T. Carguío (Tc)	2.43	min	 7
	T. Acarreo Ida - Vuelta (TSP)	14.10	min	
	T Acomodo - Descarga (TD)	1.57	min	
	Tiempo Total del Ciclo (Tt)	18.11	min	
	T. Carguío	3.15	min	 6
	T. Acarreo Ida - Vuelta	14.10	min	
	T Acomodo - Descarga	1.57	min	
	Tiempo Total del Ciclo	18.82	min	
	T. Carguío	2.27	min	 8
	T. Acarreo Ida - Vuelta	14.10	min	
	T Acomodo - Descarga	1.57	min	
	Tiempo Total del Ciclo	17.95	min	

FUENTE: Elaboración Propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

La segunda aproximación es también obtenida a partir de las metas diarias de producción, e igualmente se muestra un factor de acoplamiento, sin embargo en este caso dicho factor de acoplamiento es afectado por el parámetro de densidad, obteniendo un resultado mucho más próximo a la realidad del frente de trabajo.

Cuadro 31: Cantidad de Volquetes en base a producción de flota de acarreo y FA obtenido.

	Excavadora Komatsu PC 600	Prod. Horaria Carguio	301.40	m3		
		Produc. Jornada	6,630.85	m3		
		Nº de Viajes	3.31			
		Prod. Horaria Acarreo	172.23	m3		
		Produccion Requerida/Hora	159.09	m3		4
		Produccion Camion/Hora	43.06	m3		F.A. 67.5%
	Excavadora Komatsu PC 350 LC	Prod. Horaria Carguio	248.54	m3		
		Produc. Jornada	5,467.85	m3		
		Nº de Viajes	3.19			
		Prod. Horaria Acarreo	165.69	m3		
		Produccion Requerida/Hora	159.09	m3		4
		Produccion Camion/Hora	41.42	m3		F.A. 78.7%
	Excavadora Caterpillar 365C L	Prod. Horaria Carguio	347.56	m3		
		Produc. Jornada	7,646.36	m3		
		Nº de Viajes	3.34			
		Prod. Horaria Acarreo	173.78	m3		
		Produccion Requerida/Hora	159.09	m3		4
		Produccion Camion/Hora	43.45	m3		F.A. 59.1%

FUENTE: Elaboración Propia.



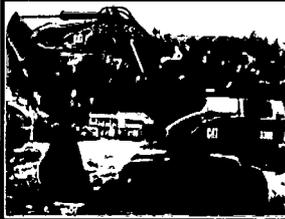
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Un reajuste de las cantidades de producción requerida permitirá obtener factores de acoplamiento más próximos a la unidad y por ende flotas más eficientes.

Cuadro 32: Reajuste de Producción Diaria.

Producción Diaria: m³

1		Excavadora Komatsu PC 600	Prod. Horaria Carguio	301.40	m ³	
		Prod. Jornada	6,630.85	m ³		
		Nº de Viajes	3.31			
		Prod. Horaria Acarreo	215.29	m ³		
		Produccion Requerida/Hora	204.55	m ³	5	
		Produccion Camion/Hora	43.06	m ³	F.A. 84.4%	
2		Excavadora Komatsu PC 350 LC	Prod. Horaria Carguio	248.54	m ³	
		Prod. Jornada	5,467.85	m ³		
		Nº de Viajes	3.19			
		Prod. Horaria Acarreo	207.12	m ³		
		Produccion Requerida/Hora	204.55	m ³	5	
		Produccion Camion/Hora	41.42	m ³	F.A. 98.4%	
3		Excavadora Caterpillar 365C L	Prod. Horaria Carguio	347.56	m ³	
		Prod. Jornada	7,646.36	m ³		
		Nº de Viajes	3.34			
		Prod. Horaria Acarreo	217.23	m ³		
		Produccion Requerida/Hora	204.55	m ³	5	
		Produccion Camion/Hora	43.45	m ³	F.A. 73.8%	

FUENTE: Elaboración Propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Finalmente, se efectúa la comparación entre dos flotas distintas para la elección respectiva.

Cuadro 33: Opción de Flota 01.

OPCION DE FLOTA 01	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 600
Actividad	Excavacion y Carguio
Flota Máxima	7
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	68.00%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	172.23
Produccion Equipo de Carguio/Hr	301.40
Origen	TAJO
Destino	CHANCADORA
Distancia	3.60
Calidad de la Via	64%
Densidad de Via	118%
Tipo de Material	Mineral
Costó Optimo de Carguio	\$ 6,493.62
Costo Optimo de Acarreo	\$ 6,472.25
Ratio Carguio Óptimo (\$/m3)	\$ 1.86
Tiempo de Culminacion (Hrs)	18.72
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m3)	\$ 1.85
Tiempo de Culminacion (Hrs)	20.32

FUENTE: Elaboración Propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Cuadro 34: Opción de Flota 02.

OPCION DE FLOTA 02	
Equipo de Carguio	Excavadora Komatsu PC 350 LC
Actividad	Excavacion y Carguio
Flota Máxima	6
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	79.00%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	165.69
Produccion Equipo de Carguio/Hr	248.54
Origen	TAJO
Destino	CHANCADORA
Distancia	3.60
Calidad de la Via	64%
Densidad de Via	118%
Tipo de Material	Mineral
Costo Optimo de Carguio	\$ 6,191.42
Costo Optimo de Acarreo	\$ 5,680.74
Ratio Carguio Óptimo (\$/m3)	\$ 1.77
Tiempo de Culminacion (Hrs)	16.63
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m3)	\$ <input checked="" type="checkbox"/> 1.62
Tiempo de Culminacion (Hrs)	<input checked="" type="checkbox"/> 21.12

FUENTE: Elaboración Propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Cuadro 35: Opción de Flota 03.

OPCION DE FLOTA 03	
Equipo de Carguio	Excavadora Caterpillar 365C L
Actividad	
Flota Máxima	8
Volumen Programado	3500
Flota Requerida	4
Factor de Acoplamiento	60%
Produccion Flota de Acarreo/Hr	173.78
Produccion Equipo de Carguio/Hr	347.56
Origen	TAJO
Destino	CHANCADORA
Distancia	3.60
Calidad de la Via	64%
Densidad de Via	
Tipo de Material	Mineral
Costo Optimo de Carguio	6,285.79
Costo Optimo de Acarreo	6,482.76
Ratio Carguio Óptimo (\$/m³)	\$ 1.80
Tiempo de Culminación	11.89
Ratio Acarreo Óptimo (\$/m ³)	\$ 1.85
Tiempo de Culminación	<input checked="" type="checkbox"/> 20.14

FUENTE: Elaboración Propia.



3.4. BENEFICIO

Mediante una simulación ya sea determinística y/o probabilística se puede modelar el ciclo de excavación y transporte del sistema de manipuleo de materiales de un proyecto de movimiento de tierras. Conociendo el ciclo se calcula la flota o equipos requeridos a mínimo costo unitario y/o máxima producción en la unidad de tiempo.

Así mismo el carguío y transporte constituyen los componentes más gravitantes en el costo de proyectos de movimiento de tierras, la simulación puede manejar gran parte de estos dos factores constituyéndose en la herramienta básica de análisis del sistema.



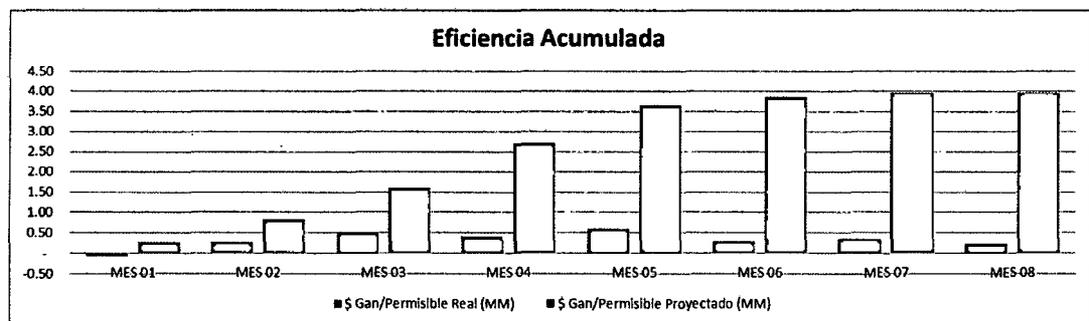
3.5. RESULTADOS OBTENIDOS

A.- PROYECTO: CONTRUCCION DE LA POZA N°06 –CAJAMARQUILLA

Se efectuó una evaluación de los valores de eficiencia reales mensuales obtenidos, determinándose que dicha eficiencia tenía una tendencia promedio del 105%.

De haberse implementado las mejoras respectivas, se hubiera dado un incremento de la eficiencia, hasta alcanzar un valor acumulado del 140%. Dicho resultado fue comparado contra un escenario en el que la eficiencia mensual se mantenía en un 105% en promedio (de acuerdo a la tendencia original), y a partir de ello se determinó el impacto económico del mencionado proceso de optimización (Ver Anexo 03).

Fig. 20: Eficiencia Acumulada – Proyecto Poza N°06.



FUENTE: Elaboración Propia.

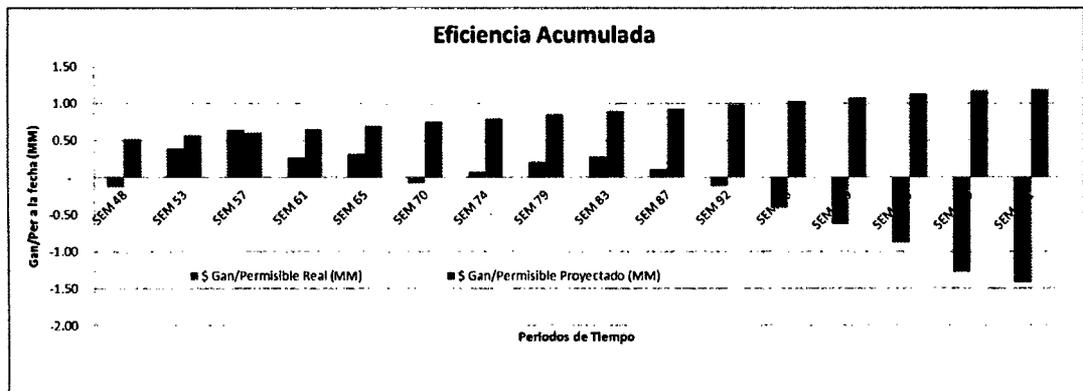


B.- PROYECTO: MINADO BREAPAMPA

En este caso al igual que en el anterior también se determinó el valor de la eficiencia mensual cuya tendencia estaría alrededor del 100% en promedio.

De haberse implementado la herramienta de Dimensionamiento de Flotas, los valores de eficiencia se incrementarían dentro del proyecto, hecho que se sostendría hasta el cierre del mismo. Se registraría una eficiencia acumulada de 115%. (Ver Anexo 04).

Fig. 21: Eficiencia Acumulada – Proyecto Minado Breapampa.



FUENTE: Elaboración Propia.



CAPITULO IV:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



4.1. CONCLUSIONES

- Queda demostrado que un adecuado análisis de las condiciones reales en que se desarrollan actividades constructivas con un correcto muestreo de las mismas, permite dar lugar a la optimización y ofrece ventajas de mejora continua.
- Factores como la calidad de vía, la velocidad de operación y la cantidad de equipos en tránsito influyen directamente sobre la eficiencia y el grado de sincronización del pull, por lo que su inclusión en los procesos de optimización resulta determinante para la obtención de los buenos resultados.
- La inclusión de la densidad de equipos en campo dentro del cálculo del Factor de acoplamiento permitió que en ambos proyectos analizados se refleje de mejor manera la necesidad de equipos de acarreo dentro de los frentes de trabajo, y así evite el sub o sobre-dimensionamiento de las flotas.
- La elección de la flota óptima para las actividades de excavación, carguío y acarreo dentro de un proyecto de MT, varía de acuerdo a las condiciones en las que se desarrolle el mismo, es por ello que se efectuó un análisis diferente en los dos proyectos.
- Se determinó que el potencial del beneficio económico están asociados en tanto a la reducción de los costos que involucra al proceso, así como también el incremento del rendimiento, en ambos proyectos, quedo demostrado que habiendo aplicado de forma correcta la herramienta de dimensionamiento de flotas, se hubiera obtenido mejoras en la eficiencia, a la par de un incremento en las ganancias.



4.2. RECOMENDACIONES

No necesariamente si nuestros resultados aplicando esta herramienta sean buenos, no se debe tener una postura conformista, muy por el contrario; no se debe de bajar la guardia y proseguir con la mejora continua basándonos en programas y evaluaciones constantes mediante la retroalimentación y tomando como experiencia previa las obras pasadas como el proyecto Las Bambas, donde hay mucho que aprender y corregir.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

CAPITULO V:

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



- Ortiz, O.; Canchari, G.; Iglesias, S.; Gonzales, M. "Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG".
- Sturgal John R. (2000). Optimización y simulación de operaciones mineras. UNI, 2000-II. Ciclo de Charlas de Planeamiento Minero.
- Galabru, P. (1977) "Maquinarias general en obras y movimientos de tierra" de Ed. Reverte S.A.
- Berlijn, J. (1999) "Desmonte y Movimiento de Tierras"
- Cross Bu Raúl (1999). "Simulación .Un enfoque Práctico" Editorial Limusa S.A., Mexico.
- Ramani R.V. (1990). Haulage systems simulation analysis. Surface Mining, 2nd. Edition, Kennedy A. Bruce Editor, SME, Littleton, Colo., USA.
- Caterpillar Inc (1990). Fleet production and cost analysis. Caterpillar tractor Co., Peoria, Illinois.



ANEXOS



ANEXO 01

FORMATO DE TOMAS DE DATOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Formato de Toma de Datos para Equipos de Carguío

		PROGRAMA START@ME											
		FORMULARIO								Revision: 0			
		ESTUDIO DE TIEMPO DEL CICLO DE CARGUIO								Pagina 1 de 1			
		FRENTE DE TRABAJO:				N° FORMULARIO:				Equipo: EXCAVADORA			
		MUESTREADOR:				FECHA:				TIPO DE MATERIAL:			
		PROYECTO:								TURNO:			
ANGULO DE CARGA	TOMA	TIEMPOS REGISTRADOS (Seg) - CICLO CARGUIO					TIEMPOS REGISTRADO (Min) - EXCAVACION						
		Inicio Carga Cucharon	Fin Carga de Cucharon	Fin Giro con Carga	Fin Descarga de Cucharon	Fin Giro sin Carga	Inicio Excavacion	Inicio Carguio	Inicio Excavacion	Inicio Carguio	Inicio Excavacion	Inicio Carguio	
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												



ANEXO 02

RESULTADOS - MEJORA DE EFICIENCIA ACUMULADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Mejora De Eficiencia Acumulada- Poza N°06 Cajamarquilla

FECHA	28/02/2013	31/03/2013	30/04/2013	31/05/2013	30/06/2013	31/07/2013	31/08/2013	30/09/2013
SEMANA	MES 01	MES 02	MES 03	MES 04	MES 05	MES 06	MES 07	MES 08
\$ Acumulados Previstos	876,297.26	1,909,794.92	4,598,033.71	8,514,358.58	12,025,271.88	13,560,200.61	13,939,360.00	13,939,360.00
\$ Acumulados Real	1,051,240.00	2,633,580.35	5,071,981.23	9,095,607.15	12,527,608.69	13,361,839.59	13,586,058.59	13,693,051.11
\$ Gan/Permisible Real (MM)	-0.17	-0.72	-0.47	-0.58	-0.50	0.20	0.35	0.25
Eficiencia Acumulada Real	83.4%	72.5%	90.7%	93.6%	96.0%	101.5%	102.6%	101.8%

\$ Acumulados Proyectados	625,926.61	1,364,139.23	3,284,309.79	6,081,684.70	8,589,479.91	9,685,857.58	9,956,685.71	9,956,685.71
\$ Gan/Permisible Proyectado (MM)	0.25	0.55	1.31	2.43	3.44	3.87	3.98	3.98
Eficiencia Acumulada Proyectada	140%	140%	140%	140%	140%	140%	140%	140%

Ganancia Real - Ganancia Proyectada	-0.43	-1.27	-1.79	-3.01	-3.94	-3.68	-3.63	-3.74
-------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

El cuadro expuesto muestra una comparación entre un escenario real (anaranjado) en el cual la eficiencia acumulada se mantiene alrededor del 105% (obtenida de los datos reales de control de obra), y el escenario proyectado (verde) en el cual se mantiene una eficiencia del 140%, de haberse aplicado la herramienta de mejora para el dimensionamiento de flotas, se hubiese alcanzado al cierre del proyecto un incremento de las ganancias alrededor de 3.74 millones de Dólares Americanos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Mejora De Eficiencia Acumulada- Minado Breapampa

FECHA	31/12/2012	31/01/2013	28/02/2013	31/03/2013	30/04/2013	31/05/2013	30/06/2013	31/07/2013	31/08/2013	30/09/2013	31/10/2013	30/11/2013	31/12/2013	31/01/2014	29/02/2014	11/03/2014
SEMANA	SEM 48	SEM 53	SEM 57	SEM 61	SEM 65	SEM 70	SEM 74	SEM 79	SEM 83	SEM 87	SEM 92	SEM 96	SEM 100	SEM 105	SEM 109	SEM 111
\$ Acumulados Previstos	3,951,360.00	4,362,960.00	4,692,240.00	5,021,520.00	5,350,800.00	5,762,400.00	6,091,680.00	6,503,280.00	6,832,560.00	7,161,840.00	7,573,440.00	7,902,720.00	8,232,000.00	8,643,600.00	8,972,880.00	9,137,520.00
\$ Acumulados Real	4,076,543.72	3,969,662.64	4,051,595.17	4,747,696.19	5,029,874.77	5,835,062.80	6,008,303.92	6,289,634.77	6,549,196.95	7,042,607.41	7,687,514.17	8,319,523.01	8,860,484.24	9,525,795.25	10,252,301.54	10,557,208.30
\$ Gan/Permisible Real (MM)	-0.13	0.39	0.64	0.27	0.32	-0.07	0.08	0.21	0.28	0.12	-0.11	-0.42	-0.63	-0.88	-1.28	-1.42
Eficiencia Acumulada Real	96.9%	109.9%	115.8%	105.8%	106.4%	98.8%	101.4%	103.4%	104.3%	101.7%	98.5%	95.0%	92.9%	90.7%	87.5%	86.6%
\$ Acumulados Proyectados	3,435,965.22	3,793,878.26	4,080,208.70	4,366,539.13	4,652,869.57	5,010,782.61	5,297,113.04	5,655,026.09	5,941,356.52	6,227,686.96	6,585,600.00	6,871,930.43	7,158,260.87	7,516,173.91	7,802,504.35	7,945,669.57
\$ Gan/Permisible Proyectado (MM)	0.52	0.57	0.61	0.65	0.70	0.75	0.79	0.85	0.89	0.93	0.99	1.03	1.07	1.13	1.17	1.19
Eficiencia Acumulada Proyectada	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%
Ganancia Real - Ganancia Proyectada	-0.64	-0.18	0.03	-0.38	-0.38	-0.82	-0.71	-0.63	-0.61	-0.81	-1.10	-1.45	-1.70	-2.01	-2.45	-2.61

Para el análisis de los resultados obtenidos en el Minado Breapampa, se efectuó una evaluación de la eficiencia mensual de todo el proyecto (anaranjado) y se hizo la proyección de la misma(verde) estimando como resultado de eficiencia 115% , de haberse aplicado la herramienta de dimensionamiento de flotas, al cierre del mismo se hubiese conseguido un incremento en las ganancias un monto alrededor del 2.61 millones de dólares, y no haber obtenido una pérdida de 1.42 millones de dólares en el rubro de equipos, tal como podemos apreciar en el cuadro de los reales.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

ANEXO 03

DATOS RESUMEN – PROYECTO CONSTRUCCION DE LA POZA N°06, CAJAMARQUILLA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Tabla: Distancias Promedios ida y Vuelta- Poza N°06

DISTANCIAS PROMEDIO IDA Y VUELTA			
	Conf. Norte	Conf. Oeste	Conf. Suroeste
Zona de Corte A	0.40	0.75	-
Zona de Corte B	-	0.65	1.10
Zona de Corte C	-	1.30	0.90

Tabla: Tiempo de Ciclo Promedio por Ruta - Poza N°06

Etiquetas de fila	Promedio de Tiempo de Ciclo (min)	Promedio de tiempo IDA y VUELTA (Tsp)	Promedio de Tiempo de Viaje (IDA)	Promedio de Tiempo de Viaje (vuelta)	Promedio de Tiempo de Parada (Tp)	Tiempo de Acomodo y descarga. (Td)	Tiempo de Carga. (Tc)
Zona de Corte A - Conformación Norte	7.92	3.38	2.18	1.20	0.58	2.24	1.72
Zona de Corte A - Conformación Oeste	10.11	5.55	3.75	1.80	0.60	2.24	1.72
Zona de Corte B - Conformación Oeste	8.95	4.39	3.00	1.39	0.60	2.24	1.72
Zona de Corte B - Conformación Suroeste	12.21	7.40	4.40	3.00	0.85	2.24	1.72
Zona de Corte C - Conformación Oeste	15.87	10.11	6.40	3.71	1.80	2.24	1.72
Zona de Corte C - Conformación Suroeste	11.67	6.26	4.10	2.16	1.45	2.24	1.72



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Tabla: Factor de Densidad y Calidad de Vía - Poza N°06

	Zona de Corte A	Zona de Corte A	Zona de Corte B	Zona de Corte B	Zona de Corte C	Zona de Corte C
	-->	-->	-->	-->	-->	-->
	Conf. Norte	Conf. Oeste	Conf. Oeste	Conf. Suroeste	Conf. Oeste	Conf. Suroeste
Dist. 01 (d)	0.40	0.75	0.65	1.10	1.3	0.9
Dist. 02 (d)	0.40	0.75	0.65	1.10	1.3	0.9
Veloc. 01 (v)	15	15	15	15	15	15
Veloc. 02 (v)	25	25	25	25	25	25
Tiempo Ideal Ciclo (Ti)	2.56	4.80	4.16	7.04	8.32	5.76
Factor Calidad de Vía (Q)	76%	86%	95%	95%	82%	92%
Densidad (D)	117%	111%	114%	111%	118%	123%

- TP: Tiempo total de paradas en ciclos de ida y vuelta (por obstrucción de otros vehículos dentro del tramo)
- Ti: Tiempo ideal de Ciclo.
- d: Distancia de Punto de Carguio a Botadero.
- v: Velocidad de Transito del Vehículo.
- TSP: Tiempo de Ciclo ida y vuelta sin paradas.
- Q: Factor de Calidad de la Vía.
- D: Factor de Densidad de equipos en el frente de trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

ANEXO 04

DATOS RESUMEN – PROYECTO MINADO BREAPAMPA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Tabla: Distancias Promedios ida y Vuelta- Minado Breapampa

DISTANCIAS PROMEDIO IDA Y VUELTA				
	BOTADERO	CHANCADORA	PAD	
TAJO	1.30	1.80	1.00	
CHANCADORA			0.90	

Tabla: Tiempo de Ciclo Promedio por Ruta - Minado Breapampa

Etiquetas de fila	Promedio de Tiempo Ciclo (min)	Promedio de tiempo IDA y VUELTA(T_{SP})	Promedio de Tiempo de Viaje	Promedio de Tiempo de Viaje (vuelta)	Promedio de Tiempo de Parada (T_p)	Tiempo de Acomodo y descarga.(T_d)	Tiempo de Carga (T_c)
Chancadora - Pad	15.41	10.47	4.71	5.81	0.23	1.57	3.37
BOTADERO	13.75	8.81	3.43	5.40	2.23	1.57	3.37
CHANCADORA	12.78	7.84	6.48	7.39	1.42	1.57	3.37
PAD	18.33	13.39	6.66	7.29	2.10	1.57	3.37



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

Tabla: Factor de Densidad y Calidad de Vía - Minado Breapampa

	Chancadora Pad	TAJO	TAJO	TAJO
		-->	-->	-->
		BOTADERO	CHANCADORA	PAD
Dist. 01 (d)		1.30	1.00	1.80
Dist. 02 (d)		1.30	1.00	1.80
Veloc. 01 (v)		20	20	20
Veloc. 02 (v)		30	30	30
Tiempo Ideal Ciclo (Ti)		6.50	5.00	9.00
Factor Calidad de Vía (Q)		74%	64%	67%
Densidad (D)		125%	118%	116%

- TP: Tiempo total de paradas en ciclos de ida y vuelta (por obstrucción de otros vehículos dentro del tramo)
- Ti: Tiempo ideal de Ciclo.
- d: Distancia de Punto de Carguio a Botadero.
- v: Velocidad de Transito del Vehículo.
- TSP: Tiempo de Ciclo ida y vuelta sin paradas.
- Q: Factor de Calidad de la Vía.
- D: Factor de Densidad de equipos en el frente de trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

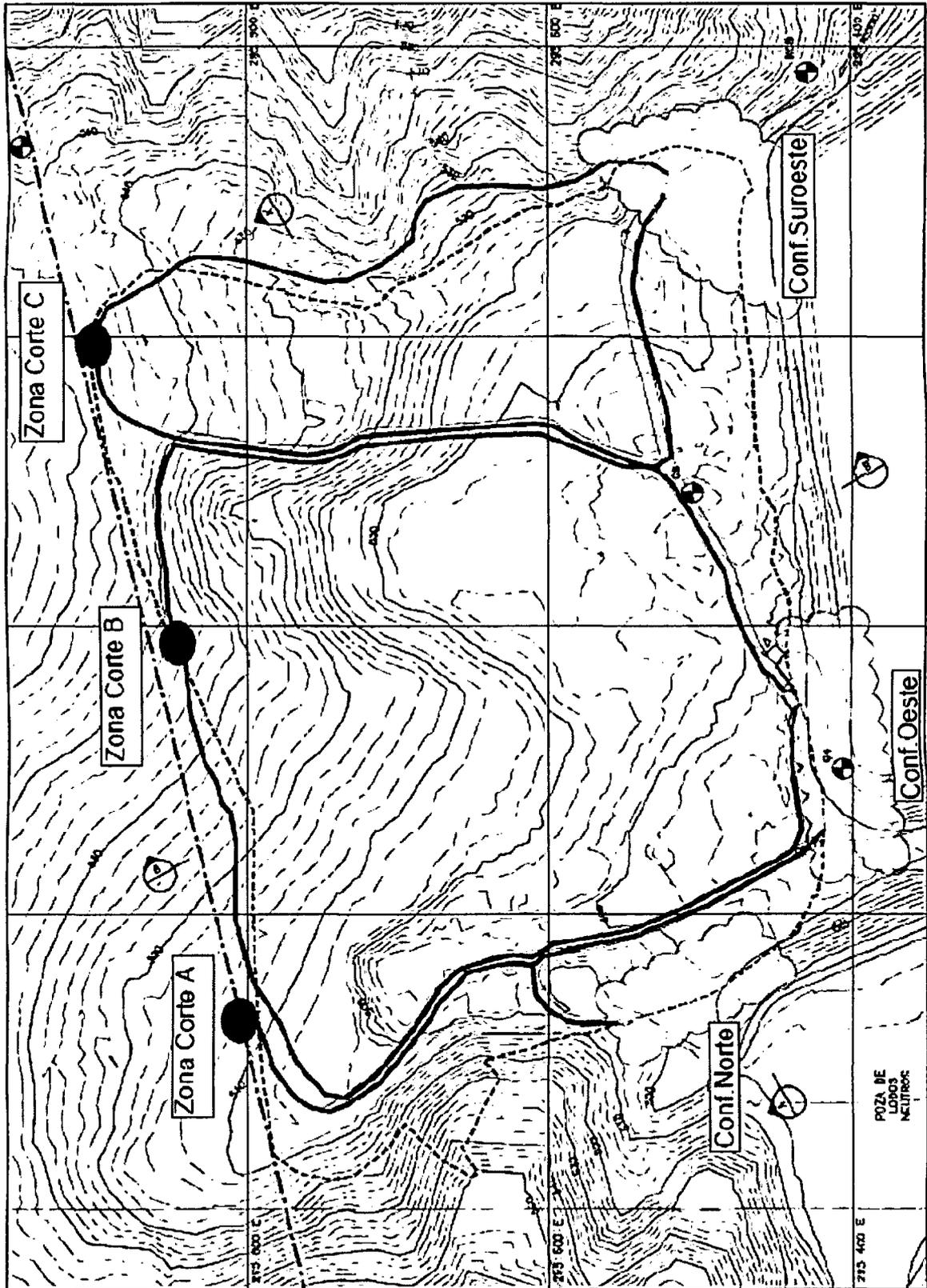
ANEXO 05

PLANO DE RUTA – PROYECTO CONSTRUCCION DE LA POZA N°06, CAJAMARQUILLA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

ANEXO 06

PLANO DE RUTA – PROYECTO MINADO BREAPAMPA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Diseño y Desarrollo de una Herramienta para el Dimensionamiento Óptimo de Flotas de Movimiento de Tierras en Obras Civiles"

