



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS Y EJECUCIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN UNA OBRA EMPLEANDO EL DIAGRAMA DE CURVA MASA

Francisco Guevara-Martínez

Lima, mayo de 2015

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Guevara, F. (2015). *Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de curva masa*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.



Esta obra está bajo [una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA VIAL



**“ANÁLISIS Y EJECUCIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN UNA
OBRA EMPLEANDO EL DIAGRAMA DE CURVA MASA”**

Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Civil

Francisco Rafael Guevara Martínez

Asesor: Ing. Germán Gallardo Zevallos

Lima, mayo 2015

A mí familia por su apoyo y cariño

Resumen

En un proyecto de vía terrestre de comunicación, sea ésta un acceso minero, se establece un diseño que se adecúe a las necesidades de la Compañía Minera, en base a una serie de datos recopilados en campo. Una vez definido el proyecto bajo todos los parámetros necesarios y previos a la construcción, se procede a la determinación de volúmenes de material que serán removidos o reubicados con el fin de ajustar el nivel de sub rasante del terreno al diseño establecido. Este paso se conoce como “Movimiento de Tierras”, y es de vital importancia, pues de su correcta planificación depende la pérdida o ganancia de tiempo y dinero.

El movimiento de tierras comprende el grupo de actividades que producen las modificaciones necesarias para llegar al nivel de diseño de la sub rasante, mediante el empleo de maquinaria pesada tal como: excavadoras, cargadores frontales, tractores, volquetes, rodillos, motoniveladoras, etc, cuyas funciones y rendimientos serán analizados en la presente tesis.

Previo al movimiento de tierras, es necesario ejecutar una serie de trabajos en campo para poder indicar claramente a los Ingenieros de Producción y a los operadores de maquinarias los sitios por donde atraviesa la vía y los niveles a los cuales deben regirse para construir los rellenos o cortes.

El desarrollo de esta tesis se realiza de la siguiente manera:

- Detalle de las actividades en campo previas al movimiento de tierras, las cuales serán fundamentales para la correcta ejecución de los trabajos por parte del contratista.
- Diseño del movimiento de tierras mediante el uso del diagrama de masas, que comprende el cálculo de áreas de corte y relleno, de acuerdo a las secciones transversales, volúmenes y distancias de acarreo y sobreacarreo.
- Elección del tipo de maquinaria más adecuada de acuerdo al tipo de trabajo a realizar.
- Análisis del rendimiento de los equipos que intervienen en los movimientos de tierras.
- Proceso constructivo de la plataforma sobre el cual se colocara el material de afirmado incluyendo los equipos necesarios.
- Análisis de precios unitarios de las actividades ejecutadas, en base a ellos se determinará un presupuesto referencial del movimiento de tierras.

Prologo

El motivo de esta tesis es presentar el “Análisis y Ejecución de Movimiento de Tierras en una Obra Vial empleando el Diagrama de Curva Masa”; a fin de procurar aportar desde el punto de vista del Ingeniero de Producción criterios para la optimización de la ejecución de movimiento de tierras, a fin de prever, que los trabajos se realicen resguardando la seguridad, calidad y producción de la obra.

Entre los problemas presentados que originaron que la producción sea menos eficiente, se tiene la disponibilidad de una cantera con material a disposición para la ejecución de la obra vial, debido a que el Cliente disponía de esta cantera para varias obras que se estaban realizando en el Proyecto; las condiciones climáticas originaron que los trabajos se retrasaran, así como los problemas sociales y las modificaciones a los alcances de la ejecución de la obra vial.

Actualmente en el Perú se vienen desarrollando proyectos mineros que son de importancia para el crecimiento social, económico y ambiental principalmente de las localidades ubicadas en la zona del proyecto.

Índice

	Página
Introducción	
1. Capítulo 1	16
Movimiento de tierras	16
1.1. Definición.....	16
1.2. Estados de los materiales durante el proceso	17
1.2.1. Material en banco	17
1.2.2. Material suelto	17
1.2.3. Material compacto.....	17
1.3. Esponjamiento	18
1.4. Compresibilidad	18
1.5. Ecuación general de pesos unitarios y volúmenes	18
1.6. El suelo.....	19
1.7. Tipo de materiales geotécnicos	19
1.8. Clasificación según el suelo.....	21
1.8.1. El sistema AASHTO (<i>The American Association of State Highway and Transportation Officials</i>).....	21
1.8.2. El sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).....	21
1.9. Tipos de suelos	23
1.9.1. Suelos finos	23
1.9.2. Suelos plásticos.....	23
1.9.3. Suelos granulares.....	23
1.9.3.1. Suelos granulares sin finos.....	23
1.9.3.2. Suelos granulares con finos.....	24
1.9.4. Suelos permeables.....	24
1.9.5. Suelos impermeables	25

1.10.	Excavaciones	25
1.10.1.	Excavación para la explanación	25
1.10.2.	Excavación complementaria	26
1.10.3.	Excavación en zonas de préstamo	27
1.10.4.	Clasificación de las excavaciones.....	27
1.10.4.1.	Excavación en roca fija	27
1.10.4.2.	Excavación en roca suelta	28
1.10.4.3.	Excavación en material suelto	28
1.11.	Extendido.....	29
1.12.	Compactación	29
1.12.1.	Prueba Proctor Estándar	30
1.12.2.	Factores que afectan la compactación	30
1.12.2.1.	Efectos del tipo de suelo	30
1.12.2.2.	Efectos del esfuerzo de compactación	31
1.12.3.	La compactación según la estructura física y los parámetros de los suelos .	31
1.12.4.	Prueba Próctor Modificada	32
1.12.5.	Compactación en campo	32
1.12.5.1.	Compactador de rodillos de tambor liso	32
1.12.5.2.	Compactador de neumáticos de hule.....	32
1.12.5.3.	Compactador con rodillos de pata de cabra	33
1.12.5.4.	Compactador de rodillos vibratorios.....	33
1.13.	Terraplenes	33
1.14.	Pedraplenes	35
1.15.	Afirmado	36
2.	Capítulo 2	38
	Diagrama de curva masa	38
2.1.	Definición.....	38
2.2.	Objetivo de la curva masa	38
2.3.	Método de cálculo de los volúmenes de tierra.....	38
2.3.1.	Método de los perfiles consecutivos	38
2.4.	Trazo de perfiles	40
2.5.	Tipos de perfiles	40
2.5.1.	Perfiles longitudinales	40
2.5.2.	Perfiles transversales.....	42
2.6.	Método de perfiles transversales	45

2.7.	Determinación del movimiento de tierra entre perfiles	48
2.8.	Utilización del diagrama de masas.....	48
2.9.	Limitaciones del uso del diagrama de masas	49
2.10.	Procedimiento para el cálculo del diagrama de la curva masa	49
2.11.	Fórmulas a utilizar para el cálculo del diagrama de la curva masa	49
2.12.	Ordenadas de curva masa.....	50
2.13.	Propiedades del diagrama de curva masa	50
2.14.	Dibujo de diagrama de la curva masa	52
2.15.	Determinación de los acarrees.....	52
2.15.1.	Acarreo libre	52
2.15.2.	Distancia media de sobre acarreo	53
2.15.3.	Determinación del sobre acarreo	54
2.15.4.	Determinación del desperdicio	54
2.15.5.	Préstamo lateral.....	54
2.15.6.	Préstamo de banco.....	55
2.16.	Sub rasante económica	55
2.17.	Posición más económica de la compensadora	55
3.	Capítulo 3	56
	Aplicación al caso de la construcción de una obra vial en un proyecto minero	56
3.1.	Nombre de la obra	56
3.2.	Ubicación	56
3.3.	Descripción del proyecto	56
3.4.	Características técnicas	56
3.5.	Actividades previas al movimiento de tierras	57
3.5.1.	Replanteo de los puntos inicial y final de referencia	57
3.5.2.	Replanteo del eje de la vía.....	57
3.5.3.	Replanteo de curvas horizontales.....	57
3.5.4.	Progresivas en el eje de la vía	58
3.5.5.	Replanteo y trazado de la franja o ancho de la vía	58
3.5.6.	Desbroce y limpieza del terreno	58
3.5.7.	Replanteo de cotas de diseño	58
3.6.	Perfil longitudinal.....	59
3.7.	Secciones transversales	59
3.8.	Selección de factores de esponjamiento y contracción	59
3.9.	Cálculo de Ordenadas	59

3.10.	Diagrama de masas: gráfico	60
3.11.	Distancia de acarreo	60
3.11.1.	Acarreo libre	60
3.11.2.	Sobreacarreo	60
3.12.	Canteras de compensación y no compensadas.....	61
3.12.1.	Canteras de compensación (corte y relleno).....	61
3.12.2.	Canteras no compensadas (corte o relleno).....	61
3.13.	Centro de gravedad de una cantera no compensada	62
3.14.	Identificación de Canteras en el proyecto	63
4.	Capítulo 4	68
	Equipo pesado empleado en la construcción de la obra vial	68
4.1.	Operaciones básicas para un movimiento de tierras.....	68
4.1.1.	Desbroce	68
4.1.2.	Banqueos	69
4.1.3.	Excavaciones en zonas de préstamo.....	69
4.1.4.	Ejecución de terraplenes	69
4.1.5.	Transportes	69
4.2.	Descripción de los equipos	69
4.2.1.	Cargadores Frontales	69
4.2.2.	Excavadora.....	70
4.2.3.	Motoniveladora.....	71
4.2.4.	Rodillo liso.....	72
4.2.5.	Tractor de oruga.....	73
4.2.6.	Retroexcavadora.....	74
4.2.7.	Volquetes	74
4.3.	Procesos constructivos de los rubros de movimiento de tierras.....	75
4.3.1.	Explotación.....	75
4.3.2.	Transporte.....	76
4.3.3.	Relleno	76
4.4.	Grupos de maquinarias a utilizarse de acuerdo a la distancia de acarreo...77	
4.4.1.	Grupo 1.....	77
4.4.2.	Grupo 2.....	78
4.4.3.	Grupo 3.....	79
4.5.	Rendimiento de equipos	79
4.5.1.	Rendimiento individual de equipos.....	79

4.5.1.1.	Tiempo de ciclo	79
4.5.1.2.	Factor de eficiencia.....	80
4.5.1.3.	Cálculo del rendimiento	81
4.5.2.	Rendimiento por grupo de maquinarias	81
5.	Capítulo 5	84
	Presupuesto	84
5.1.	Listado de actividades	84
5.2.	Análisis de precios unitarios	84
5.3.	Presupuesto referencial.....	85
5.4.	Análisis de horas máquina de los equipos empleados en el proyecto.	86
5.4.1.	Escenario obra.	86
5.4.2.	Escenario curva masa.....	86
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXO I.....	95
1.1.	Plano de ubicación del proyecto	95
1.2.	Plano de planta del proyecto	96
1.3.	Plano de perfil longitudinal del proyecto	97
1.4.	Plano de secciones transversales	98
	ANEXO II.....	103
2.1.	Cálculo de ordenadas del diagrama de masas	103
	ANEXO III.....	119
3.1.	Gráfico del diagrama de curva masa.....	119
	ANEXO IV	120
4.1.	Análisis de precios unitarios	120
	ANEXO V.....	126
5.1.	Producción de una excavadora.....	126
5.2.	Producción de un tractor	128
5.3.	Producción de un cargador frontal.....	130
5.4.	Producción de los volquetes	131
5.5.	Producción de un rodillo.....	134

Introducción

En un proyecto de vía terrestre de comunicación, sea éste referido a un acceso minero, se establece un diseño que se adecúe a las necesidades de la compañía minera, basado en una serie de datos recopilados en campo. Una vez definido el proyecto bajo todos los parámetros necesarios y previos a la construcción, se procede a determinar qué volúmenes de material serán removidos o reubicados, con el fin de ajustar el nivel de sub rasante del terreno al diseño establecido. Este paso se conoce como “Movimiento de Tierras”, y es de vital importancia, pues de su correcta planificación depende la pérdida o ganancia de tiempo y dinero.

El movimiento de tierras, comprende el grupo de actividades que producen las modificaciones necesarias para llegar al nivel de diseño de la sub rasante, mediante el empleo de maquinaria pesada tal como: excavadoras, cargadores frontales, tractores, volquetes, rodillos, motoniveladoras, etc, cuyas funciones y rendimientos serán analizados en la presente tesis.

Previo al movimiento de tierras, es necesario ejecutar una serie de trabajos en campo para poder indicar claramente a los ingenieros de producción y a los operadores de maquinarias los sitios por donde atraviesa la vía y los niveles a los cuales deben regirse para construir los rellenos o cortes.

El desarrollo de esta tesis se realiza de la siguiente manera:

- Detalle de las actividades en campo previas al movimiento de tierras, las cuales serán fundamentales para la correcta ejecución de los trabajos por parte del contratista.
- Diseño del movimiento de tierras mediante el uso del diagrama de masas, que comprende el cálculo de áreas de corte y relleno, de acuerdo a las secciones transversales, volúmenes y distancias de acarreo y sobreacarreo.
- Elección del tipo de maquinaria más adecuada de acuerdo al tipo de trabajo a realizar.
- Análisis del rendimiento de los equipos que intervienen en los movimientos de tierras.
- Proceso constructivo de la plataforma sobre el cual se colocará el material de afirmado incluyendo los equipos necesarios.
- Análisis de precios unitarios de las actividades ejecutadas: en base a ellos se determinará un presupuesto referencial del movimiento de tierras.

Capítulo 1

Movimiento de tierras

1.1. Definición

Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realiza con los terrenos naturales a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles a las obras viales, de minería o de la industria.

El movimiento de tierras incluye las siguientes actividades:

- Excavación
- Carga
- Transporte (acarreo)
- Descarga
- Extendido
- Compactación

Tierras, es un término genérico, que denomina a todos los materiales que se necesita mover durante el proceso constructivo.

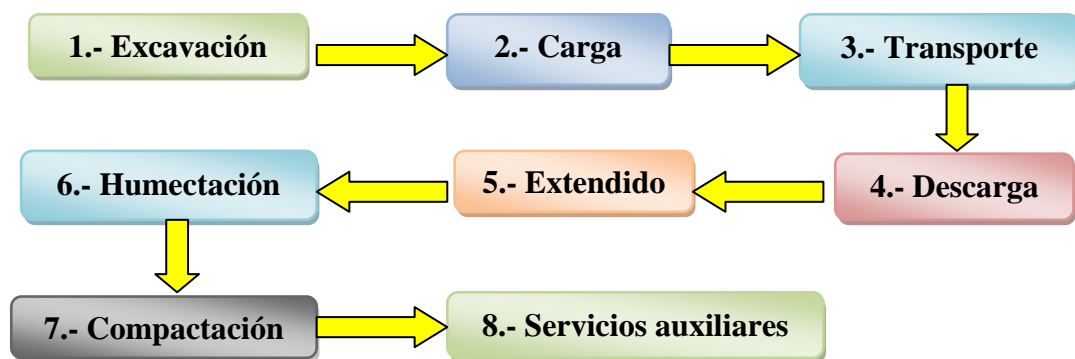


Diagrama de actividades

Figura 1.1 Operaciones de movimiento de tierra

1.2. Estados de los materiales durante el proceso

Durante el proceso de movimiento de tierras es necesario reconocer los siguientes estados de los materiales:

1.2.1. Material en banco

Volumen de material tal como se encuentra o en estado natural.

1.2.2. Material suelto

Volumen de material después de que ha sido perturbado por un proceso de carga.

1.2.3. Material compacto

Volumen de material en estado compactado.

La tabla 1.1 muestra las propiedades representativas de tierras y rocas.

Tabla 1.1 Propiedades representativas de tierras y rocas

MATERIA	PESO EN BANCO		PESO SUELTO		PORCENTAJE DE ESPONJAMIENTO	FACTOR DE ESPONJAMIENTO
	Lb/yd ³	Kg/m ³	Lb/yd ³	Kg/m ³		
Arcilla seca	2,700	1,600	2,000	1,185	36	0.74
Arcilla húmeda	3,000	1,780	2,200	1,305	35	0.74
Tierra seca	2,800	1,660	2,240	1,325	25	0.80
Tierra húmeda	3,200	1,895	2,580	1,528	25	0.80
Tierra y grava	3,200	1,895	2,600	1,575	20	0.83
Grava seca	2,800	1,660	2,490	1,475	12	0.89
Grava húmeda	3,400	2,020	2,980	1,765	14	0.88
Caliza	4,400	2,610	2,750	1,630	60	0.63
Roca, bien explotada	4,200	2,490	2,640	1,586	60	0.63
Arena seca	2,600	1,542	2,260	1,340	15	0.87
Arena húmeda	2,700	1,600	2,360	1,400	15	0.87
Esquisto	3,500	2,075	2,480	1,470	40	0.71

Fuente: *Construction Planning, Equipment and Methods*, Robert L. Peurifoy, Clifford J Schexnayder and Aviad Shapira (2011)

1.3. Esponjamiento

Es el incremento porcentual de volumen, entre los estados en banco y suelto, con relación al estado en banco. Este concepto, puede expresarse de la siguiente manera:

$$Esponjamiento(\%) = \frac{V_{suelto} - V_{banco}}{V_{banco}} \times 100$$

$$V_{suelto} = V_{banco} \times \left(1 + \frac{Esponjamiento(\%)}{100} \right)$$

Donde:

- V_{suelto} : volumen de material suelto (m^3)
- V_{banco} : volumen de material en banco (m^3)

En la anterior ecuación, al término entre paréntesis se le denomina factor de esponjamiento.

1.4. Compresibilidad

Es la reducción porcentual de volumen entre los estados en banco y compacto con relación al estado en banco. Este concepto puede expresarse de la siguiente manera:

$$Compresibilidad(\%) = \frac{V_{banco} - V_{compacto}}{V_{banco}} \times 100$$

$$V_{compacto} = V_{banco} \times \left(1 - \frac{Compresibilidad(\%)}{100} \right)$$

Donde:

- $V_{compacto}$: volumen del material compactado (m^3)
- V_{banco} : volumen de material en banco (m^3)

En la anterior ecuación al término entre paréntesis se le denomina factor de reducción.

1.5. Ecuación general de pesos unitarios y volúmenes

Bajo las dos hipótesis de desperdicios mínimos de material y humedad constante, que deben convertirse en objetivos durante el proceso, se puede definir la siguiente ecuación:

$$P_{suelto} = P_{banco} = P_{compacto}$$

Esta ecuación se puede escribir también de la siguiente manera:

$$\gamma_{suelto} \times V_{suelto} = \gamma_{banco} \times V_{banco} = \gamma_{compacto} \times V_{compacto}$$

La primera parte de la ecuación está relacionada con el esponjamiento y la segunda parte con la compresibilidad.

1.6. El suelo

Es el material suelto de la superficie de la corteza de la tierra, creado naturalmente de la desintegración de las rocas o la descomposición por la vegetación. El suelo puede ser excavado fácilmente con equipo pesado en el campo.

1.7 Tipos de materiales geotécnicos

Un constructor se ocupa principalmente de cinco tipos principales de suelos o sus combinaciones. Los siguientes límites de tamaño representan los establecidos por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM):

- **Grava:** está compuesta de partículas redondeadas o semiredondeadas de roca, que pasarán un tamiz de 3 pulgadas y serán retenidas en otro de 2.0 mm (tamiz No 10). Los tamaños mayores a 10 pulgadas se llaman comúnmente rocas.
- **Arena:** es roca desintegrada con partículas que varían en tamaño desde el límite inferior de grava (2.0 mm) hasta 0.074 mm (tamiz No. 200). Se clasifican como arena gruesa o fina, dependiendo del tamaño de grano. La arena es un material granular no cohesivo y sus partículas tienen una forma abultada.
- **Limo:** es un material más fino que la arena y por lo tanto sus partículas son menores de 0.074 mm, pero mayores de 0.005 mm. Es un material no cohesivo y tiene poca o ninguna resistencia. Los limos se compactan muy mal.
- **Arcilla:** es un material cohesivo cuyas partículas son inferiores a 0.005 mm. La cohesión entre las partículas le da alta resistencia cuando se seca al aire. Las arcillas pueden ser objeto de cambios considerables en el volumen, cuando ocurren variaciones en el contenido de humedad, exhiben plasticidad dentro de un rango de "contenidos de agua." y tienen forma de láminas delgadas, de ahí el uso del término laminar.
- **Materia orgánica:** es vegetación parcialmente descompuesta. Tiene una estructura esponjosa, inestable, que continuará descomponiéndose y es químicamente reactiva. Si se encontrara presente en el suelo que se utiliza para la construcción, la materia orgánica deberá ser eliminada y reemplazada con un suelo más adecuado.

La tabla 1.2 muestra las características de los suelos.

Tabla 1.2 Características de los suelos

SUELO	GRAVAS Y ARENAS	LIMOS	ARCILLAS
Tamaño de grano	De grano grueso. Se pueden ver los granos. Individuales a simple vista.	De grano fino. No se pueden ver los granos. Individuales a simple vista.	De grano fino. No se pueden ver los granos. Individuales a simple vista.
Características	Sin cohesión. No plástico. Granular.	Sin cohesión. No plástico. Granular.	Cohesión. Plástico.
Efecto del agua	Relativamente sin importancia (excepción: suelto y saturado, con cargas dinámicas)	Importante	Muy importante
Efecto de la distribución del tamaño del grano en las propiedades de ingeniería	Importante	Relativamente sin importancia	Relativamente sin importancia

Fuente: *Construction Planning, Equipment and Methods*, Robert L. Peurifoy, Clifford J Schexnayder and Aviad Shapira (2011).

La tabla 1.3 muestra los límites de tamaño de suelo desarrollado por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO) y por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) que ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

Tabla 1.3 Límite de tamaño de suelos

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DEL GRANO (MM)			
	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas < 0.075)	

Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, Braja M. Das (2001).

1.8 Clasificación del suelo

Es necesario considerar, en la clasificación, la plasticidad de los suelos, pues ésta nos da a conocer las principales características al suelo. Existen dos sistemas de clasificación comúnmente usados y ambos consideran tanto la granulometría como la plasticidad.

1.8.1 El Sistema AASHTO (*The American Association of State Highway and Transportation Officials*)

En su mayor parte es usado en la ingeniería de caminos. Fue desarrollado en 1929. Publicado como el *Road Administration Classification System* (ASTM D-3282). Clasifica al suelo en grupos: A-1 a A-7, como se puede observar en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Clasificación de materiales de suelos para caminos

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS DEL TOTAL PASA EL TAMIZ N° 200)						MATERIALES LIMO – ARCILLOSOS (MÁS DEL 35% DEL TOTAL PASA EL TAMIZ N°200)			
	A-1	A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz										
N° 10	50 máx.									
N° 40	30 máx. 50máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx. 25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40										
L Líquido LL			40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
I Plasticidad IP	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipo usual de material significativo constituyente	Fragmento de piedra arena gruesa	Fineza	Grava y arena arcillosa color plata				Suelo color plata		Suelo arcilloso	
Tasa general	Bueno, excelente						Pobre, justo			

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2001).

1.8.2 El sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Propuesto por Casagrande en 1942. Es el favorito para el uso en Geotecnia. ASTM lo designa D-2487, se presenta en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Sistema Unificado de Clasificación.

Divisiones primarias		Grupo símbolo	Nombres típicos	
Suelos granulares - gruesos más de 50% retenido en el tamiz N° 200	Gravas 50% o más de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas y mezcla grava - arena, con poco fino o sin finos
		Gravas con finos	GP	Gravas pobremente graduadas y mezcla grava - arena, con poco fino o sin finos
			GM	Gravas limosas, mezcla grava - arena - limo
		Arenas Más del 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N° 4	Arenas limpias	GC
	SW			Arenas bien graduadas y arenas gravosas, con poco fino o sin finos
	Arenas con finos	Arenas limpias	SP	Arenas pobremente graduadas y arenas gravosas con poco fino o sin finos
			SM	Arenas limosas, mezcla arena - arcilla
		Arenas con finos	SC	Arenas arcillosas, mezcla arena - limos
			Limos y Arcillas Limite líquido 50% o menos	ML
	CL	Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad, arcillas gravosas, arenosas o limosas, láminas de arcillas		
OL	Limites orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
Suelos granulares - finos 50% o más pasan el tamiz N° 200	Limos y arcillas Limite líquido mayor que 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas o limos finos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
		OH	Arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad	
Suelos altamente orgánicos		PT	Turba, estiércol y otros suelos orgánicos altamente orgánicos	

Clasificación en base al porcentaje de finos	GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Clasificación dudosa requiere doble simbología	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Mayor que } 4$ $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3	
		No cumple ninguno de los criterios para GW	
		Límites de Atterberg bajo la línea "A" o índice de plasticidad menor que 4	Límites de Atterberg dibujados en el área sombreada son de clasificación dudosa, requieren uso de doble simbología
		Límites de Atterberg sobre la línea "A" y el índice de plasticidad mayor que 7	
Clasificación en base al porcentaje de finos	Menos del 5% pasa el tamiz N° 200 Mas del 12% pasa el tamiz N° 200 5% a 12% pasa el tamiz N° 200	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Mayor que } 8$ $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3	
		No cumple ninguno de los criterios para SW	
		Límites de Atterberg bajo la línea "A" o índice de plasticidad menor que 4	Límites de Atterberg dibujados en el área sombreada son de clasificación dudosa, requieren uso de doble simbología
		Límites de Atterberg sobre la línea "A" y el índice de plasticidad mayor que 7	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2001).

1.9 Tipos de suelos

1.9.1 Suelos finos

Son aquellos en los que más de un porcentaje determinado, pasa por el tamiz ASTM N° 200 de 0.074 mm (50 % para la clasificación ASTM y 35 % para la AASHTO).

1.9.2 Suelos plásticos

Son los suelos con finos, donde más del 35% es de tamaño menor a 0.074 mm; cuanto mayor es la plasticidad menor es su permeabilidad y más difícil corregir su humedad natural en capas ya extendidas, siendo preferible en banco o perfil (más costoso reducir que aumentar).

Cuanto más plásticos, mayor es la cohesión y más difícil la compactación, requiriéndose más energía (mayor número de pasadas) o menor espesor.

Los suelos limosos, al ser más permeables, absorben más humedad que las arcillas después de las lluvias pero seorean mejor y es más fácil corregir la humedad.

Los suelos excesivamente plásticos son inadecuados para los terraplenes por la susceptibilidad a las variaciones de volumen con las variaciones de humedad (ya que una parte del agua de lluvia, pasa a través del afirmado, o puede penetrar en el terraplén, alterando el estado de tensiones).

La práctica actual es aprovechar al máximo los materiales existentes y al utilizarlos hay que considerar no sólo sus propiedades intrínsecas geotécnicas, sino la situación en que se van a encontrar una vez colocados y la influencia en la humedad *in situ* de las condiciones meteorológicas previsibles.

Si la plasticidad es elevada ($IP > 20$) serán necesarias rodillos pata de cabra o compactadores estáticos de alta velocidad con pisonos.

Los limos, que también son limos carentes de plasticidad, se compactan normalmente con compactadores vibratorios de tambor único.

1.9.3 Suelos granulares

1.9.3.1 Suelos granulares sin finos

Son aquellos en los que los tamaños inferiores a 0.074 mm (ASTM) son menores del 5%.

Son suelos de poca o nula cohesión donde los compactadores pesados tienden a hundirse. Por ello son preferibles los de menor carga axial, dando las pasadas iniciales sin vibración. Al aumentar el tamaño y porcentaje de los gruesos debe aumentar también la carga axial del compactador.

En los compactadores se utilizan frecuencias de vibración altas y amplitudes bajas.

1.9.3.2 Suelos granulares con finos

Cuando los tamaños inferiores a 0.074 mm están comprendidos entre el 5 y el 35% (ASTM).

La parte fina tiene más influencia en la humedad, ya que los gruesos (5-20mm) tienen poca absorción y por consiguiente la humedad óptima es más importante.

La tabla 1.6 describe las características de los suelos plásticos y granulares.

Tabla 1.6 Características de los suelos plásticos y granulares

CARACTERÍSTICAS	SUELOS PLÁSTICOS	SUELOS GRANULARES
Aspecto y tacto	Los granos no pueden verse; el suelo tiene un tacto uniforme y untuoso al cogerse con los dedos.	Los granos gruesos se ven; el suelo tiene un tacto granoso al cogerse con los dedos.
Movimiento de agua en los dedos vacíos	Mismo ensayo pero no hay indicio de agua saliendo de los huecos.	Se echa agua en la palma de la mano, se extiende una pequeña cantidad de suelo y se agita. Aparece agua en superficie. Al dejar de agitar, desaparece.
Plasticidad	Plástico y pegajoso. Puede formar rollos.	Muy poca o ninguna plasticidad.
Cohesión en estado seco	Elevada resistencia en seco. Se cuarteo con dificultad. Baja porosidad.	Poca o ninguna resistencia en estado seco. Se cuarteo y hace escamas rápidamente.
Sedimentación en agua	Se mantiene en suspensión en agua durante varias horas a menos que se flocule.	Se separa por sedimentación de forma rápida.

Fuente: *Movimiento de tierras*, Juan Cherné Tarilonte, Andrés González Aguilar (1987).

1.9.4 Suelos permeables

En ellos es fácil evacuar el agua, la cual actúa de lubricante de la fase sólida permitiendo disminuir el volumen de vacíos con la compactación. Un caso típico son las arenas.

1.9.5 Suelos impermeables

Presentan muy pocos vacíos. El agua no puede salir. No disminuye el volumen del conjunto, debido a la casi nula compresibilidad del agua; se está en un estado semifluido, que cede bajo la carga, desplazándose toda una masa.

No se puede compactar. Hay que eliminar el agua, oreando, o sustituir el material.

Si el porcentaje de humedad es muy pequeño la existencia de aire y agua establecen fuerzas de cohesión, entre los granos, debido a la tensión superficial del agua. Ello impide una compactación adecuada.

1.10 Excavaciones

Este trabajo consiste en el conjunto de las actividades para excavar, remover, cargar, transportar hasta el límite de acarreo libre y colocar en los sitios de desecho, los materiales provenientes de los cortes requeridos para la explanación y préstamos indicados en los planos y secciones transversales del proyecto, con las modificaciones aprobadas por el supervisor.

Comprende, además, la excavación y remoción de la capa vegetal y de otros materiales blandos, orgánicos y objetables, en las áreas donde se hayan de realizar las excavaciones de la explanación y terraplenes.



Fotografía 1.1 Excavaciones en el proyecto.

1.10.1 Excavación para la explanación

Es el conjunto de actividades de excavación y nivelación de las zonas comprendidas dentro del prisma donde se fundará la carretera, incluyendo taludes y cunetas; así como la escarificación, conformación y compactación del nivel subrasante en zonas de corte; además, excavaciones para el ensanche o modificación del alineamiento horizontal o vertical.



Fotografía 1.2 Excavación para la explanación

1.10.2 Excavación complementaria

Son las excavaciones necesarias para el drenaje de la obra vial, que pueden ser cunetas, badenes y alcantarillas, así como el mejoramiento de obras similares existentes y de cauces naturales.



Fotografía 1.3 Excavación complementaria

1.10.3 Excavación en zonas de préstamo

El trabajo comprende el conjunto de las actividades para explotar los materiales adicionales a los volúmenes provenientes de préstamos laterales o propios a lo largo de la obra vial, requeridos para la construcción de los terraplenes o pedraplenes.



Fotografía 1.4 Excavación en la cantera Tunshuruco del proyecto

1.10.4 Clasificación de las excavaciones

1.10.4.1 Excavación en roca fija

Comprende la excavación de masas de rocas mediana o fuertemente litificadas que, debido a su cementación y consolidación, requieren el empleo sistemático de explosivos.



Fotografía 1.5 Excavación en roca fija en la cantera Tunshuruco

1.10.4.2 Excavación en roca suelta

Comprende la excavación de masas de rocas cuyos grados de fracturamiento, cementación y consolidación, necesiten el uso de maquinaria y/o requieran explosivos, siendo el empleo de este último, en menor proporción que para el caso de roca fija. Comprende también, la excavación de bloques con volumen individual mayor a un metro cúbico (1 m^3), procedentes de macizos alterados, de masas transportadas o acumuladas por acción natural, que para su fragmentación requieran el uso de explosivos.



Fotografía 1.6 Excavación en roca suelta

1.10.4.3 Excavación en material suelto

Comprende la excavación de materiales, cuya remoción sólo requiere el empleo de maquinaria y/o mano de obra.



Fotografía 1.7 Excavación en material suelto.

1.11 Extendido

Las causas determinantes de los espesores de extendido pueden clasificarse en función de:

- Tipo del material (granulometría, plasticidad, grado de humedad)
- Energía de compactación
- Tipo de compactador y características
- Número de pasadas
- Velocidad



Fotografía 1.8 Extendido con el empleo de un tractor D7T

1.12 Compactación

Es la densificación del suelo por remoción de aire que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador a las partículas del suelo, que hacen que se deslice entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

La prueba de laboratorio usado generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba Próctor de compactación.



Fotografía 1.9 Compactación en la obra vial del proyecto minero

1.12.1 Prueba Próctor Estándar

En la prueba Próctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm^3 . El diámetro interno del molde es de 101.6 mm.

Durante la prueba de laboratorio, el molde se une a una placa de base en el fondo y a una extensión en la parte superior.

El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego se compacta en tres capas iguales por medio de un pisón que transmite 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 24.4 N y tiene una altura de caída de 304.8 mm

1.12.2 Factores que afectan la compactación

El contenido de agua tiene una gran influencia en el grado de compactación de un suelo. Además existen también otros factores importantes que afectan la compactación, como son el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación (energía por volumen unitario).

1.12.2.1 Efectos del tipo de suelo

El tipo de suelo, es decir su distribución granulométrica, la forma de los granos del suelo, la densidad de sólidos del suelo y la cantidad y tipo de minerales arcillosos presentes tienen una gran influencia en el peso específico seco máximo y en el contenido de agua óptima.

1.12.2.2 Efectos del esfuerzo de compactación

Conforme se incrementa el esfuerzo de compactación, el peso específico seco máximo de compactación también aumenta y el contenido de agua óptimo disminuye en alguna medida.

1.12.3 La compactación según la estructura física y los parámetros de los suelos

Cuando aumenta la humedad disminuye también los vacíos, es decir, el aire es expulsado por el agua hasta un punto determinado de humedad en que la densidad disminuye pues una parte del agua también desplaza los sólidos. Si la humedad aumenta la curva se acerca asintóticamente a la de saturación del suelo. La tabla 1.7 muestra las fases del suelo y sus relaciones.

Tabla 1.7 Fases del suelo y relaciones volumétricas y gravimétricas

FASES	COMPOSICIÓN	VOLÚMENES		PESOS	
Sólido	Esqueleto mineral	V_s	V	W_s	W
Líquido	Agua	V_w		W_w	
Gaseoso	Aire	V_v		0	
Relaciones volumétricas					
Porosidad		$n = V_v / V$			
Vacíos		$e = V_v / V_s$			
Grado de saturación		$S = V_w / V_v$			
Relaciones gravimétricas					
Contenido de humedad		$w = W_w / W_s$			
Peso específico		$\gamma = W / V$			
Peso específico seco		$\gamma_d = W_s / V$			
Densidad del suelo		$\rho = m / V$			
Densidad seca del suelo		$\rho_d = m_s / V$			

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2001)

Donde:

- V_v : volumen de vacíos (m^3)
- V_s : volumen de sólidos (m^3)
- V: volumen total (m^3)
- S: grado de saturación (%)
- w: contenido de humedad (%)
- W_w : peso del agua (kg)
- W_s : peso del sólido (kg)

W: peso del suelo (kg)
 ρ : densidad del suelo (kg/m^3)
 ρ_d : densidad seca del suelo (kg/m^3)
 m: masa total de la muestra del suelo (kg)
 m_s : masa de sólidos de suelo en la muestra (kg)

1.12.4 Prueba próctor modificada

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo, la prueba próctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A esta se le llama prueba próctor modificada (prueba D-1557 de la ASTM y prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba próctor modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm^3 , como en el caso de la prueba próctor estándar. Sin embargo el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N.

La caída del martillo es de 457.2 mm., el número de golpes de martillo por capa es 25 como en el caso de la prueba próctor estándar.

1.12.5 Compactación en campo

La mayor parte de las compactaciones de campo se hacen con compactadores de rodillos, de los cuales hay cuatro tipos:

- Compactador de rodillos de rueda lisa (o rodillos de tambor liso)
- Compactador de neumáticos de hule
- Compactador con rodillos de pata de cabra
- Compactador de rodillos vibratorios

1.12.5.1 Compactador de rodillos de tambor liso

Son apropiados para rodadas de prueba de subrasantes y para la operación final de rellenos con suelos arenosos y arcillosos, Estos cubre el 100% bajo las ruedas con presiones de contacto con el suelo de 310 hasta $380 \text{ Kn}/\text{m}^2$ y no son apropiados para producir altos pesos específicos de compactación al usarse en capas gruesas.

1.12.5.2 Compactador de neumáticos de hule

Son mejores en muchos aspectos que los rodillos lisos. Los primeros tienen varias hileras de neumáticos, que van colocados cerca uno de otro, cuatro a seis hileras en una fila. La presión de contacto bajo los neumáticos varía entre 600 y $700 \text{ kN}/\text{m}^2$ y su cobertura es aproximadamente de 70 a 80%.

Los rodillos con neumáticos se usan para la compactación de suelos arenosos y arcillosos.

La compactación se logra por una combinación de presión y acción de amasamiento.

1.12.5.3 Compactador con rodillos de pata de cabra

Son tambores con un gran número de protuberancias. El área de cada una de esas protuberancias varía entre 25 y 85 cm². Los rodillos pata de cabra tienen su mayor efectividad en la compactación de suelos arcillosos. La presión de contacto bajo las protuberancias varía entre 1380 y 6900 kN/m².

Durante la compactación en el campo, las pasadas iniciales compactan la porción inferior de una capa. Las porciones superior y media de una capa se comprimen en una etapa posterior.

1.12.5.4 Compactador de rodillos vibratorios

Los rodillos vibratorios son muy eficientes en la compactación de suelos granulares. Los vibradores se unen a los rodillos lisos, a los de neumáticos o a los rodillos patas de cabra para suministrar efectos vibratorios al suelo.

En el proyecto se empleó rodillos vibratorios modelo CS533E CAT.



Fotografía 1.10 Rodillo vibratorio CS533E CAT

1.13 Terraplenes

Este trabajo consiste en la escarificación, nivelación y compactación del terreno o del afirmado en donde haya de colocarse un terraplén nuevo. Previamente hay una ejecución de las obras de desmonte junto a limpieza, demolición, drenaje y sub drenaje, la colocación, el humedecimiento o secamiento, la conformación y compactación de los materiales apropiados, todo ello de acuerdo con la presente especificación, los planos y secciones transversales del proyecto así como las instrucciones del supervisor.

En los terraplenes se distinguirán tres partes o zonas constitutivas:

- Base es la parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno, que ha sido variada por el retiro de material inadecuado.
- Cuerpo es la parte del terraplén comprendida entre la base y la corona.
- Corona (capa subrasante) está formada por la parte superior del terraplén, construida en un espesor de treinta centímetros (30 cm) salvo que los planos del proyecto o las especificaciones, indiquen un espesor diferente.

En el caso que el terreno de fundación se considere adecuado la base no será necesaria.

La tabla 1.8 muestra los espesores máximos de cada estructura que conforma el terraplén según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 1.8 Terraplenes en carreteras según MTC

SITUACIÓN	ESPESOR MÁXIMO CM.	CAPAS
Corona	30	Una
Cuerpo	30	Varias
Base	30	Varias

Fuente: EG-2000.

En el caso de la obra vial del proyecto minero, la tabla 1.9 muestra los espesores máximos de cada estructura que conforma el terraplén según la ingeniería de detalle del proyecto.

Tabla 1.9 Terraplenes en la obra vial del proyecto minero

SITUACIÓN	MATERIAL	ESPESOR MÁXIMO CM.	CAPAS
Corona	Material Integral	20	Una
Cuerpo	<i>Rockfill B</i>	30	Varias
Base	<i>Rockfill A</i>	75	Varias

Fuente: *Technical Specification N° 000-GC-V-001 del Proyecto Minero.*

Todos los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas. Éstas deberán estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales y de ninguna manera se permitirá la construcción de terraplenes con materiales de características expansivas.

Si por algún motivo sólo existen en la zona material expansivos se deberá proceder a estabilizarlos antes de colocarlos en la obra.

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán cumplir los requisitos indicados en la Tabla 1.10.

Tabla 1.10 Requisitos de los materiales para terraplén según MTC

CONDICIÓN	PARTES DEL TERRAPLÉN		
	BASE	CUERPO	CORONA
Tamaño máximo (cm)	15	10	7.5
% Máximo de fragmentos de roca >7,62 cm	30	20	-
Índice de plasticidad (%)	< 11	< 11	< 10

Fuente: EG-2013.

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste de los ángeles: 60% máx. (MTC E 207)
- Tipo de material: A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

Los materiales que se emplearon en la obra vial del proyecto minero para la construcción de terraplenes deberán cumplir los requisitos indicados en la Tabla

Tabla 1.11 Requisitos de los materiales para terraplén de la obra vial del proyecto minero

CONDICIÓN	PARTES DEL TERRAPLÉN		
	BASE	CUERPO	CORONA
Tamaño máximo	500 mm	100 mm	75 mm
Proctor Modificado	95%	95%	100%

Fuente: *Technical Specification N° 000-GC-V-001* del Proyecto Minero.

1.14 Pedraplenes

Este trabajo consiste en la preparación de la superficie de apoyo del pedraplén y la colocación y compactación de materiales pétreos adecuados, de acuerdo con los planos y secciones transversales del proyecto y las instrucciones del supervisor.

En los pedraplenes se distinguirán tres partes o zonas constitutivas:

- Base, parte inferior del pedraplén, en contacto con el terreno natural (fundación).
- Cuerpo, parte del pedraplén comprendida entre la base y la transición.

- Transición, formada por la parte superior del pedraplén y con espesor igual a un metro (1 m), salvo que los planos o las especificaciones modifiquen dicha magnitud.
- Corona (capa subrasante) es la zona comprendida entre la transición del pedraplén y la superficie de la explanación. Sus dimensiones y características son las mismas que se establecen para la corona de los terraplenes.

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes pueden proceder de la excavación de la explanación o de fuentes aprobadas y provendrán de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

1.15 Afirmado

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, de acuerdo con la presente especificación, los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos del proyecto.

Los agregados para la construcción del afirmado deberán ajustarse a la granulometría indicada en la tabla 1.12.

Tabla 1.12 Requisitos de los materiales para afirmado según MTC

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	A-1	A-2
50 mm (2")	100	---
37.5 mm (1½")	100	---
25 mm (1")	90 - 100	100
19 mm (¾")	65 - 100	80 - 100
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65 - 100
4.75 mm (N° 4)	30 - 65	50 - 85
2.0 mm (N° 10)	22 - 52	33 - 67
4.25 um (N° 40)	15 - 35	20 - 45
75 um (N° 200)	5 - 20	5 - 20

Fuente: AASHTO M-147

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste los ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de plasticidad: 4 - 9 (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)
- Equivalente de arena: 20% mín. (MTC E 114)

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm)

Capítulo 2

Diagrama de curva masa

2.1 Definición

La curva masa es solo válida para proyectos de tipo lineal y busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Los volúmenes, ya sean de corte o de préstamo, deben ser transportados para formar los terraplenes; sin embargo, en algunos casos, parte de los volúmenes de corte deben desperdiciarse, para lo cual se transportan a lugares convenientes fuera del camino.

2.2 Objetivo de la curva masa

Los objetivos principales de la curva masa son:

- Compensar volúmenes
- Fijar el sentido de los movimientos del material
- Fijar los límites de acarreo libre
- Calcular los sobre acarreos
- Controlar préstamos y desperdicios

2.3 Método de cálculo de los volúmenes de tierra

El método que se emplea para determinar los volúmenes de tierras es el siguiente:

2.3.1 Método de los perfiles consecutivos

Un perfil es la sección producida sobre unas superficies topográficas por una o varias superficies verticales sucesivas. Estas superficies pueden ser planas (recta directriz) o cilíndricas (curva directriz: circular, clotoidal, etc.).

A la proyección horizontal de dichas superficies se les denomina alineamiento, todos los alineamientos forman el trazo del perfil y a la proyección vertical se le denomina propiamente perfil longitudinal. El nombre de rasante se utiliza para definir la geometría de la obra vial que se realiza. Para dibujar dicha proyección vertical es preciso girar y/o

desarrollar todas las superficies que lo componen de forma que las longitudes se representen siempre en su verdadera magnitud.

La figura 2.1 muestra el alineamiento de la obra vial del proyecto desde la progresiva km 1+000 al km 1+900, mientras que la figura 2.2 detalla el perfil longitudinal de la obra vial del proyecto desde la progresiva km 1+100 al km 1+300.

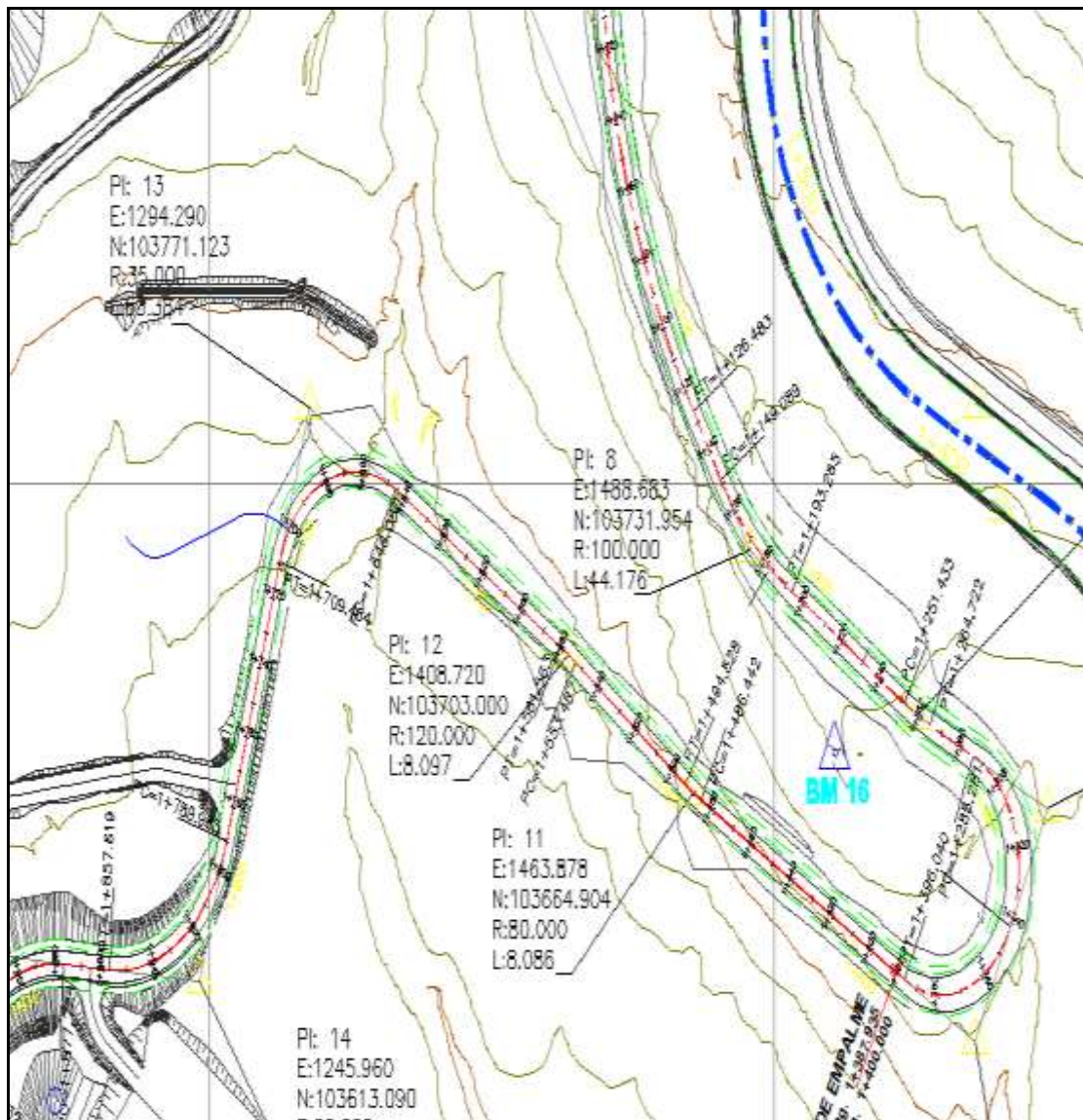


Figura 2.1 Alineamiento

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

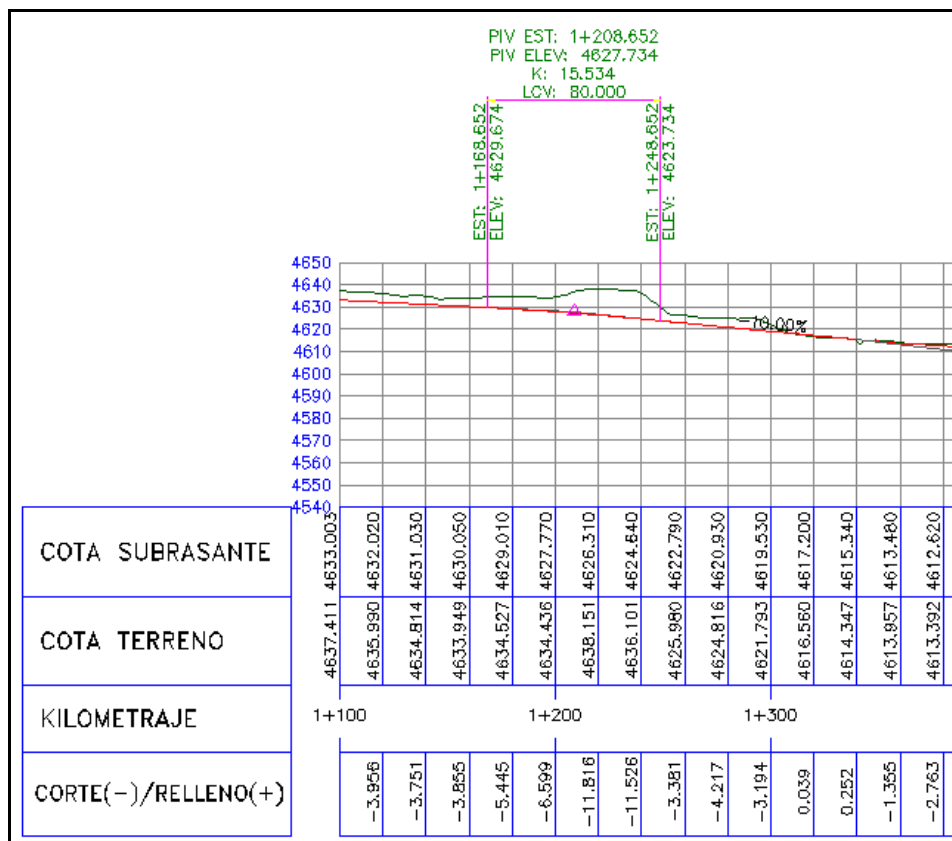


Figura 2.2 Perfil longitudinal

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012

2.4 Trazo de perfiles

El trazo de un perfil consiste en dibujar en planta su trazo y levantar verticales por los puntos de intersección del mismo con las curvas de nivel hasta interceptar los correspondientes planos de nivel. Es usual en perfiles longitudinales representar a distinta escala (ordinariamente diez veces de diferencia) el trazo horizontal y el vertical, ello es debido fundamentalmente al interés de obtener una representación gráfica más diferenciada. No ocurre lo mismo cuando se trata de perfiles transversales para la determinación de volúmenes de movimiento de tierras, en éstos se utiliza la misma escala en vertical y en horizontal a fin de evitar confusiones al momento de medir sobre ellos y hacer los metrados.

2.5 Tipos de perfiles

Los tipos de perfiles que se pueden trazar son: longitudinales y transversales.

2.5.1 Perfiles longitudinales

Es la sección producida por una serie de superficies verticales que siguen la trayectoria del eje de un proyecto longitudinal. Estos perfiles constan de los datos y la gráfica. Los datos que mencionamos son: alineamiento, kilómetros, perfiles transversales, distancias parciales, distancias al origen, ordenadas del terreno, ordenadas de la rasante y subrasante, cotas de corte y terraplén. Un perfil longitudinal se muestra en la figura 2.3.

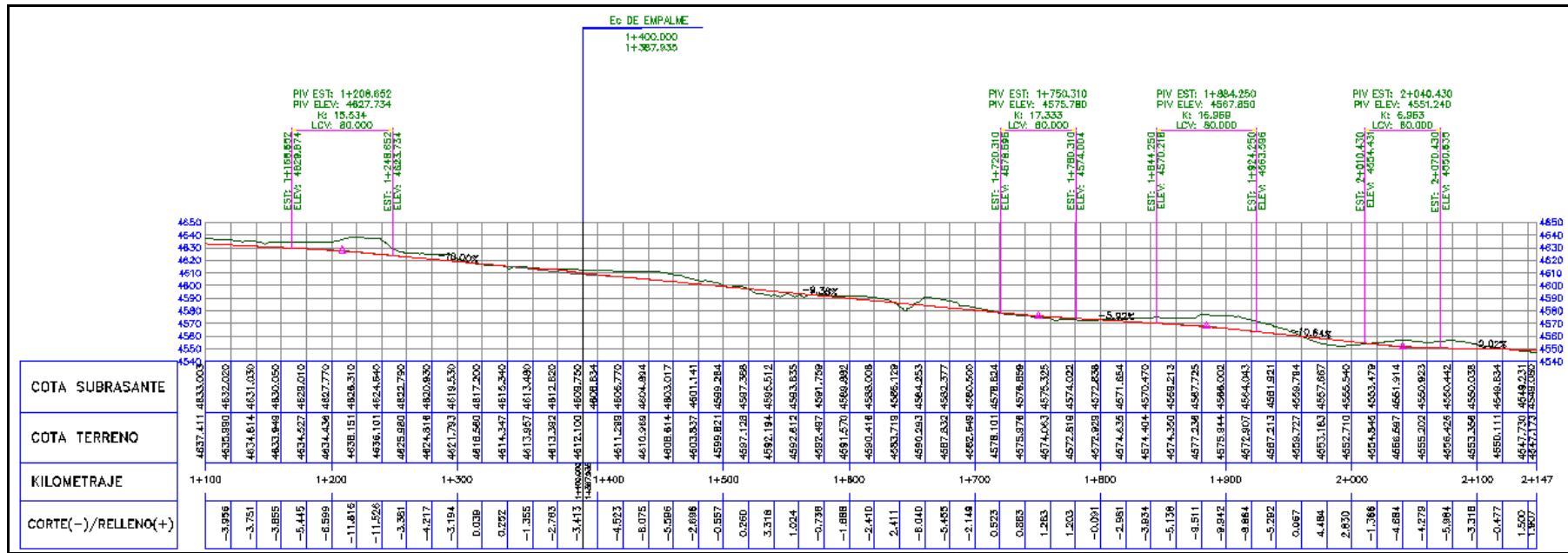


Figura 2.3 Plano perfil longitudinal

Fuente: *Construcción de la obra vial de un proyecto minero*, 2012.

La representación gráfica consta de dos partes: terreno y rasante.

El terreno es la representación gráfica en proyección vertical de la sección producida en el terreno por las superficies que lo definen, previo giro y/o desarrollo de las mismas. Los datos de partida para dibujar el perfil pueden ser un plano con curvas de nivel de la zona, o bien las cotas y distancias obtenidas por nivelación (trigonométrica o geométrica según la precisión requerida) de una serie de puntos característicos del trazo del perfil.

Generalmente en la fase de proyecto de una obra nos valemos del primer procedimiento y para ejecutar la obra nos valemos del segundo.

Hay que tener en cuenta que por la desproporción entre las longitudes y las altitudes generalmente se utilizan dos escalas: una horizontal y otra vertical; normalmente la escala vertical es diez veces mayor que la horizontal aunque, según el caso, pueden estar en otra proporción

La rasante representa la geometría de la obra que se realiza, es decir, los puntos representativos de la obra vial una vez concluida la obra. Esta rasante puede tener una pendiente constante (recta) o variable (curva: circular, parabólica, etc.) cuando la rasante es recta la dibujamos por los puntos extremos de cada tramo; en el caso de que sea curva la trazamos por puntos.

2.5.2 Perfiles transversales

Los perfiles transversales son secciones perpendiculares a la traza del perfil o concéntricos en el caso de alineaciones circulares. Estos perfiles nos dan una referencia sobre la forma del terreno en zonas laterales del trazo del perfil longitudinal. Su utilidad principal es para obtener el movimiento de tierras necesario para la realización de una obra.

También constan de dos partes: terreno y rasante.

La figura 2.4 muestra un plano de perfiles transversales de la obra vial de un proyecto minero.

La figura 2.5, 2.6 y 2.7 muestran los detalles de los perfiles transversales de la obra vial de un proyecto minero.

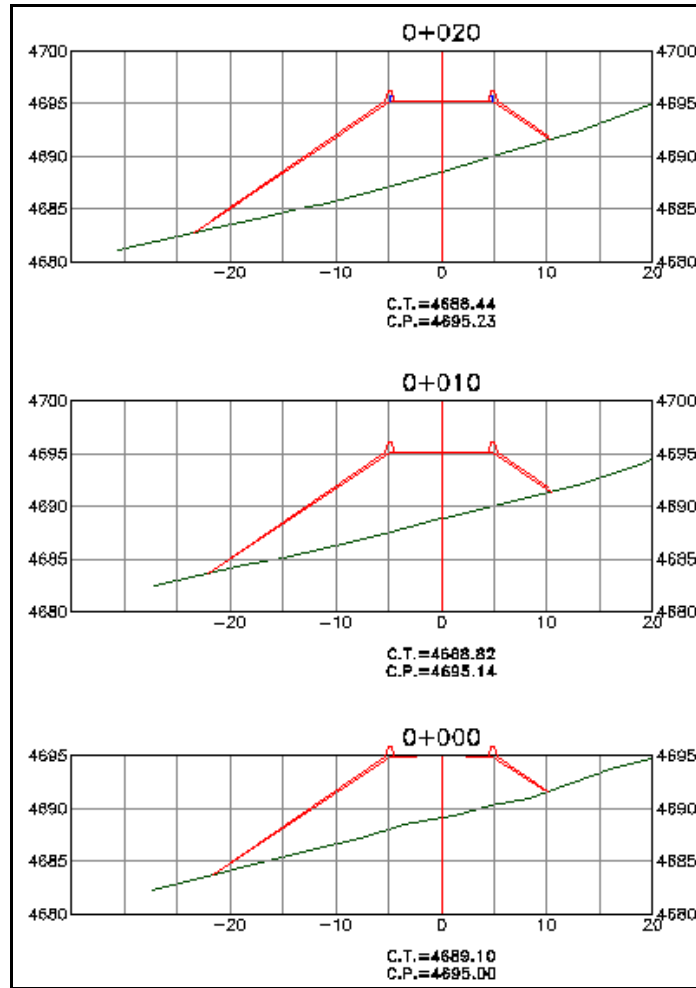


Figura 2.4 Plano de perfiles transversales

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

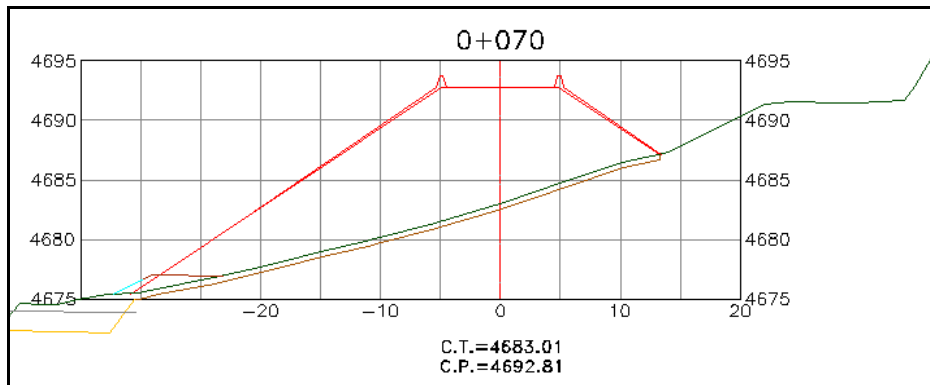


Figura 2.5 Detalle del perfil transversal en terraplén

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

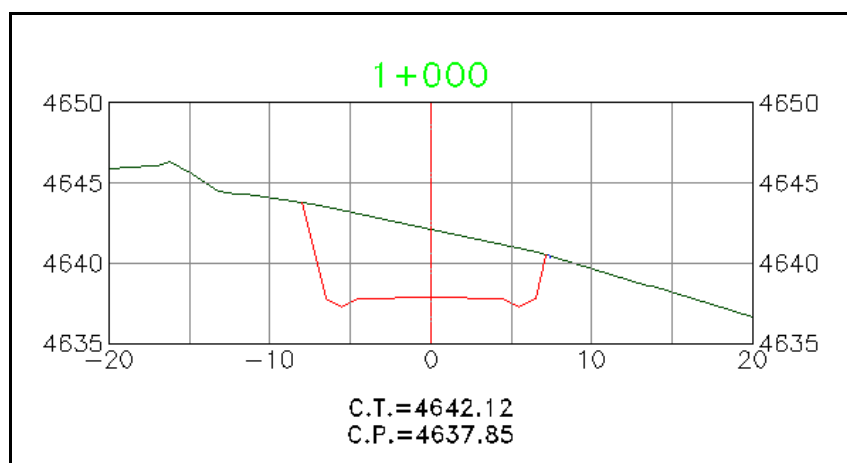


Figura 2.6 Detalle del perfil transversal en corte

Fuente: Construcción de la Obra vial de un Proyecto Minero, 2012.

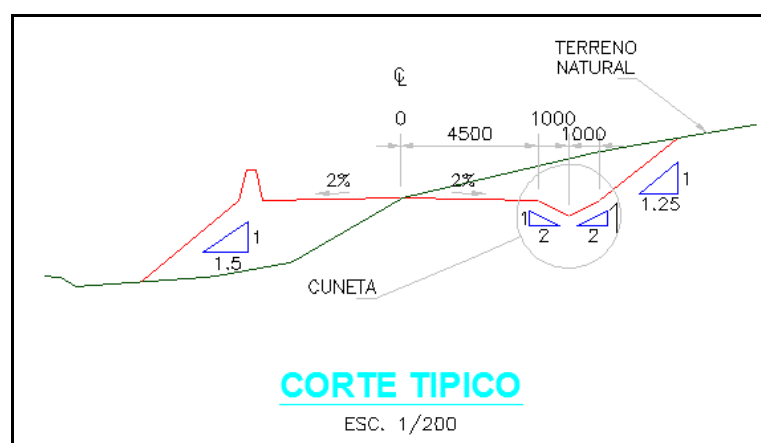


Figura 2.7 Detalle del perfil transversal en corte y relleno

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

Los perfiles transversales se representan verticalmente uno detrás de otro, teniendo el mismo eje vertical. Para llevar al terreno lo hacemos por medio de un sistema de coordenadas cartesianas en el cual se toma como origen el punto que representa el eje de la rasante, una vez determinado el origen de coordenadas del transversal se toman en planta las distancias de los puntos representativos del mismo a izquierda y derecha del trazo; estos puntos serán los de corte con las curvas de nivel, en el caso de que partamos de una nivelación estos puntos serán los correspondientes a la libreta de campo que se haya realizado en obra.

En los perfiles transversales la rasante está formada por la sección transversal de la obra terminada; la cual se compondrá de la rasante propiamente dicha (sub base, base, capa de rodadura, etc.) y por los taludes de excavación y de terraplén en su caso. Los taludes

son las superficies inclinadas que adaptan la rasante con el terreno; estos pueden ser de corte o de terraplén y su inclinación se determina en función de los ensayos correspondientes, los cuales determinan el valor de su inclinación en el caso de corte o de terraplén. Para representar la rasante debemos conocer la sección tipo de la obra en la cual se nos da información sobre el ancho del camino, taludes, espesor de las capas que la conforman (sub base, base, capa de rodadura, etc.) debemos tener en cuenta que en el caso de excavaciones debemos darle un sobre ancho para las cunetas.

2.6 Método de perfiles transversales

Es el método más usado y está especialmente indicado en obras de desarrollo lineal como caminos, canales, etc. Este método se basa en la fórmula de Simpson para el cálculo del volumen del prisma.

El prisma es un cuerpo comprendido entre dos bases planas paralelas y su volumen es:

$$V_p = \frac{L \times (A_1 + 4 \times A_m + A_2)}{6}$$

Si tenemos:

$$A_m = \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2)$$

Resulta:

$$V_p = \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times L$$

Donde:

- V_p : volumen del prisma
- A_1 : área uno
- A_2 : área dos
- A_m : área promedio

La figura 2.8 muestra el volumen de un prisma.

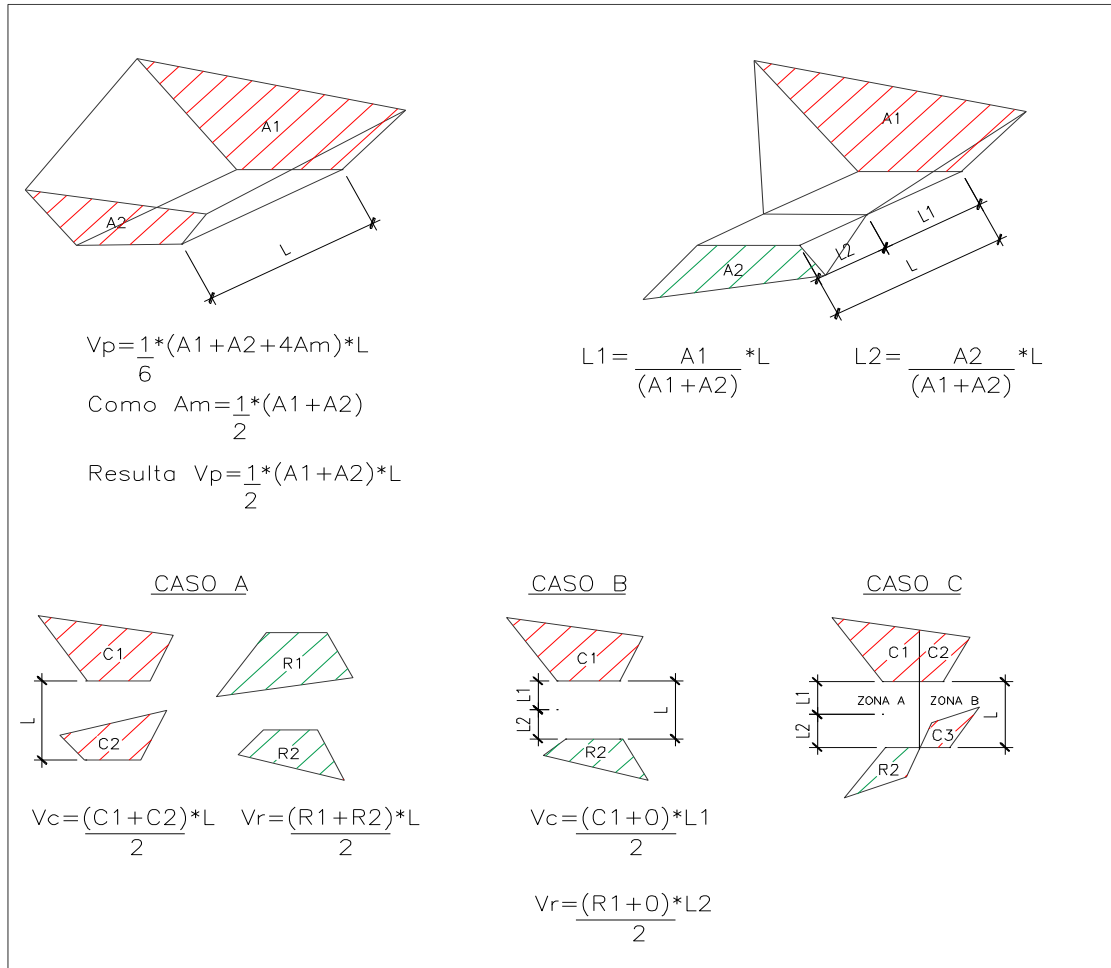


Figura 2.8 Volumen del prisma

Fuente: *Cálculo de movimiento de tierras*, Rafael M.G. Esteve Pardal y Rafael Esteve González, 2008

Estas bases planas paralelas son los perfiles transversales, que al ser previamente dibujados nos sirven para el cálculo de los sucesivos prismas en los que dividimos la obra. Al momento de dibujar los perfiles debe tenerse en cuenta la sección tipo de la obra a realizar y saber que metramos sólo la excavación y el relleno, ya que otras capas como sub-base, base, capa de rodadura etc, forman unidades de obra distintas y en consecuencia tienen otro precio.

Los perfiles transversales pueden ser de corte, terraplén y a media ladera y las distintas combinaciones entre ellos nos dan los siguientes casos:

- Caso perfiles homogéneos (corte - corte o terraplén - terraplén.): en estos casos el volumen comprendido entre los perfiles es la semisuma de sus áreas por la distancia entre ellos.

- Caso de perfiles contrapuestos (corte - terraplén o terraplén - corte), en estos casos se busca un perfil de paso (área nula) ficticio, que se sitúa a una distancia de los perfiles anterior y posterior proporcionales a sus áreas, en cuya perspectiva de una situación ideal en la que se perciben tanto el perfil de terraplén como el de corte y el perfil de paso o perfil de valor cero.
- Caso de perfiles a media ladera, en estos casos se subdividen los perfiles en zonas, con lo cual conseguimos simplificar el metrado a alguno de los casos uno o dos.

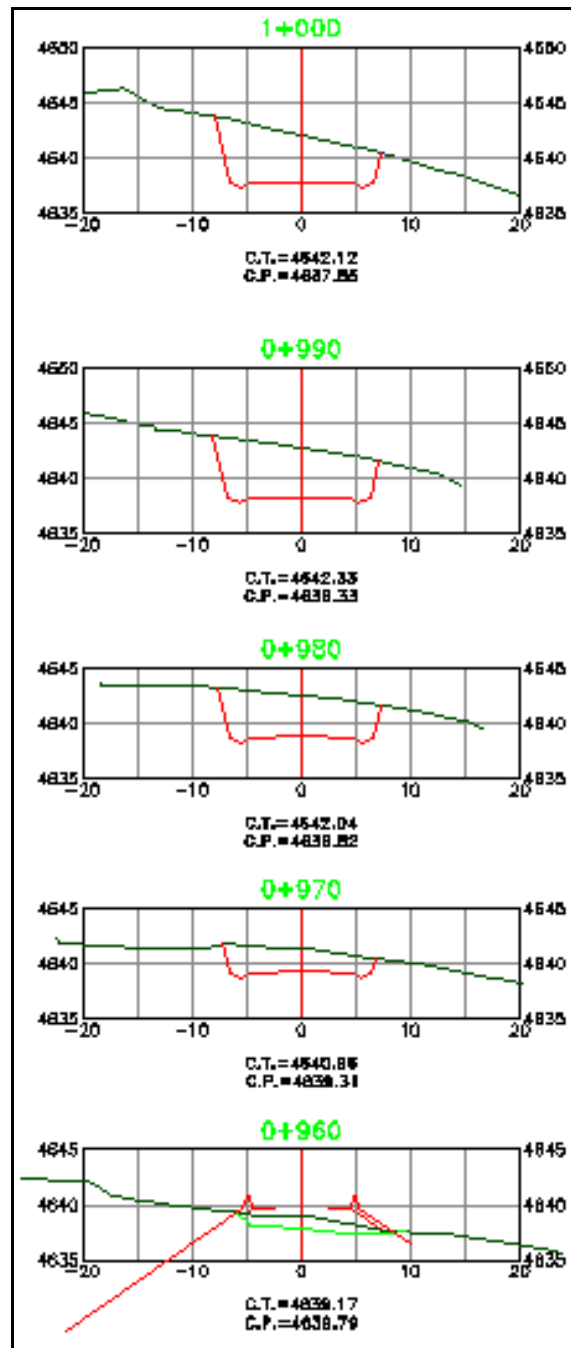


Figura 2.9 Método de perfiles transversales

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

2.7 Determinación del movimiento de tierra entre perfiles

Con el fin de llevar el metrado de una forma ordenada, los datos de áreas y distancias entre perfiles se colocan en una planilla de metrados.

En función de los datos indicados en la figura 2.10, se colocan los datos de la siguiente forma:

Estación (1)	Área Corte (m ²) (2)	Área Relleno (m ²) (3)	Volumen Corte (banco m ³) (4)	Volumen Relleno (comp m ³) (5)	Volumen Desbroce				Volumen Total Corte (banco m ³) (8)	Volumen Total Corte (banco m ³)		
					Área Corte (m ²)	Área Relleno (m ²)	Desbroce Corte (banco m ³) (6)	Desbroce Relleno (comp m ³) (7)		Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija
0+440	9.31	0.60	60.65	51.40	19.00		0.00	0.00	60.65	6.07	0.00	54.59
0+450	23.17	0.00	162.40	3.00	8.60		0.00	0.00	162.40	16.24	0.00	146.16
0+460	24.42	0.00	237.95	0.00	10.87		0.00	0.00	237.95	23.80	0.00	214.16
0+470	16.70	0.00	205.60	0.00	12.47		0.00	0.00	205.60	20.56	0.00	185.04
0+480	6.41	1.62	115.55	8.10	10.68		0.00	0.00	115.55	11.56	0.00	104.00
0+490	1.07	1.65	37.40	16.35	9.20		0.00	0.00	37.40	3.74	0.00	33.66
0+500	21.74	0.00	114.05	8.25	11.43		0.00	0.00	114.05	11.41	0.00	102.65
0+510	36.10	0.00	269.20	0.00	16.00		0.00	0.00	269.20	26.92	0.00	260.28
0+520	8.27	0.00	221.85	0.00	20.35		0.00	0.00	221.85	22.19	0.00	199.67
0+530	11.34	0.00	98.05	0.00	20.71		0.00	0.00	98.05	9.81	0.00	88.25
0+540	9.13	0.00	102.35	0.00	17.29		0.00	0.00	102.35	10.24	0.00	92.12
0+550	3.35	1.75	62.40	8.75	8.37		0.00	0.00	62.40	6.24	0.00	56.16
0+560	0.00	14.58	16.75	81.65		2.85	0.00	14.25	16.75	1.68	0.00	15.08
0+570	0.00	31.90	0.00	232.40		2.86	0.00	28.55	0.00	0.00	0.00	0.00
0+580	0.00	49.57	0.00	407.35		2.74	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+590	0.00	63.63	0.00	566.00		2.77	0.00	27.55	0.00	0.00	0.00	0.00
0+600	0.00	85.77	0.00	747.00		3.62	0.00	31.95	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 2.10 Planilla de metrados

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

2.8 Utilización del diagrama de masas

El proyectista lo utiliza para:

- Comparar alternativas y escoger la subrasante más económica
- Para seleccionar el equipo más económico
- Determinar los sobre acarreo y selección adecuada de los bancos de préstamo
- Determinar las distancias y pendientes de acarreo

El contratista lo utiliza para:

- Distribución de equipo
- Determinar el sentido de los movimientos
- Cuantificar los volúmenes movidos

2.9 Limitaciones del uso del diagrama de masas

El diagrama no puede ser aplicado o no es de mucha utilidad, cuando la subrasante está obligada a proyectarse en determinada forma por circunstancias especiales tales como:

- En terrenos planos en que la superficie natural se aproxima mucho a la subrasante, el diagrama presenta una pendiente negativa pronunciada demandando grandes volúmenes de préstamos. Así que le indica dónde buscar material de préstamo en lugar de utilizar acarreo muy largos.
- En terrenos en los que la subrasante debe tener cierta altura para quedar a salvo de las inundaciones o de la humedad que por capilaridad puede llegar a perjudicar los terraplenes.
- En terrenos donde es necesario alojar la carretera en afirmado.
- En aquellos tramos de la carretera con pendiente máxima sostenida; donde las excavaciones son excesivas y dificultosas.
- En los accesos a los puentes.
- En las intersecciones a nivel.

En la utilización del diagrama de masa, para el análisis de movimiento de tierra de determinado proyecto, se debe tener cuidado en considerar la capa de suelo natural ya que esto representa grandes volúmenes de corte; que generalmente no se toma en cuenta, convirtiéndose en una desventaja del método.

2.10 Procedimiento para el cálculo del diagrama de la curva masa

- i. Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
- ii. Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o terraplén.
- iii. Se dibuja las secciones transversales topográficas.
- iv. Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujada las secciones transversales del camino.
- v. Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino.
- vi. Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
- vii. Se dibuja la curva con los valores anteriores.

2.11 Fórmulas a utilizar para el cálculo del diagrama de la curva masa

$$i.- SD = \frac{\text{EstaciónSi guiente} - \text{EstaciónAnterior}}{2}$$

$$ii.- V_C = (A_{c1} - A_{c2}) * SD$$

$$iii.- V_R = (A_{r1} - A_{r2}) * SD$$

iv.- % = porcentaje de abundamiento o coeficiente de variabilidad

v.- Relleno abundado: $V_R \times \%$

vi.- Ordenada = $V_C - (V_R * \%) +$ ordenada de la estación anterior

vii.- Ordenada masa final = Ord. Inicial + $\sum V_C - \sum V_{Rabundado}$

2.12 Ordenadas de curva masa

La ordenada de curva masa en una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su coeficiente de variación volumétrica, considerados sus volúmenes desde su origen hasta esa estación; se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

El coeficiente de variación volumétrica a utilizar será el correspondiente para obtener volúmenes compactados, que generalmente es menor que la unidad, esto es:

$$C_{nc} = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{dc}}$$

$$V_c = V_n \times C_{nc}$$

Donde:

- C_{nc} : Coeficiente de variación volumétrica
- γ_{dn} : Peso volumétrico seco del suelo sin compactar
- γ_{dc} : Peso volumétrico seco del suelo compactado
- V_c : Volumen compactado del suelo
- V_n : Volumen del suelo sin compactar

2.13 Propiedades del diagrama de curva masa

Las principales propiedades del diagrama de curva masa son las siguientes:

i.- El diagrama es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente en caso contrario.

ii.- Cuando después de un tramo ascendente en el que predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto del diagrama en el que empiezan a preponderar los volúmenes de terraplén, se dice que se forma un máximo. Inversamente, cuando después de un tramo descendente en el cual han sido mayores los volúmenes de terraplén se llega a un punto en que comienzan a prevalecer los volúmenes de corte, se dice que se forma un mínimo.

iii.- La diferencia entre las ordenadas de la curva masa, en dos puntos cualesquiera, expresa un volumen que es igual a la suma algebraica de todos los volúmenes de corte, positivos, con todos los volúmenes de terraplén, negativos, comprendidos en el tramo limitado por esos dos puntos.

iv.- Si en un diagrama de masas se dibuja una línea horizontal en tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán la misma ordenada y por consecuencia, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de corte y los volúmenes de terraplén, o sea que estos dos puntos son los extremos de un tramo compensado.

v.- Esta horizontal se llama línea compensadora. La distancia entre los dos puntos se llama abertura del diagrama y es la distancia máxima de acarreo al llevar el material del corte al terraplén.

vi.- Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la compensadora queda arriba de esta, el sentido del acarreo es hacia adelante. Contrariamente, cuando el contorno cerrado queda abajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás, teniendo cuidado que la pendiente del camino lo permita.

vii.- Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama de masas y la compensadora, representan los acarreos, por lo tanto, si se tiene un contorno cerrado tomado por el diagrama de masas y por una compensadora, bastará con determinar el área, para que, considerando las escalas respectivas, se encuentre el valor del acarreo de ese tramo compensado.

viii.- La diferencia de ordenada entre dos puntos indicará la diferencia de volúmenes entre ellos.

ix.- El área comprendida entre la curva y una horizontal cualquiera, representa el volumen por la longitud media de acarreo.

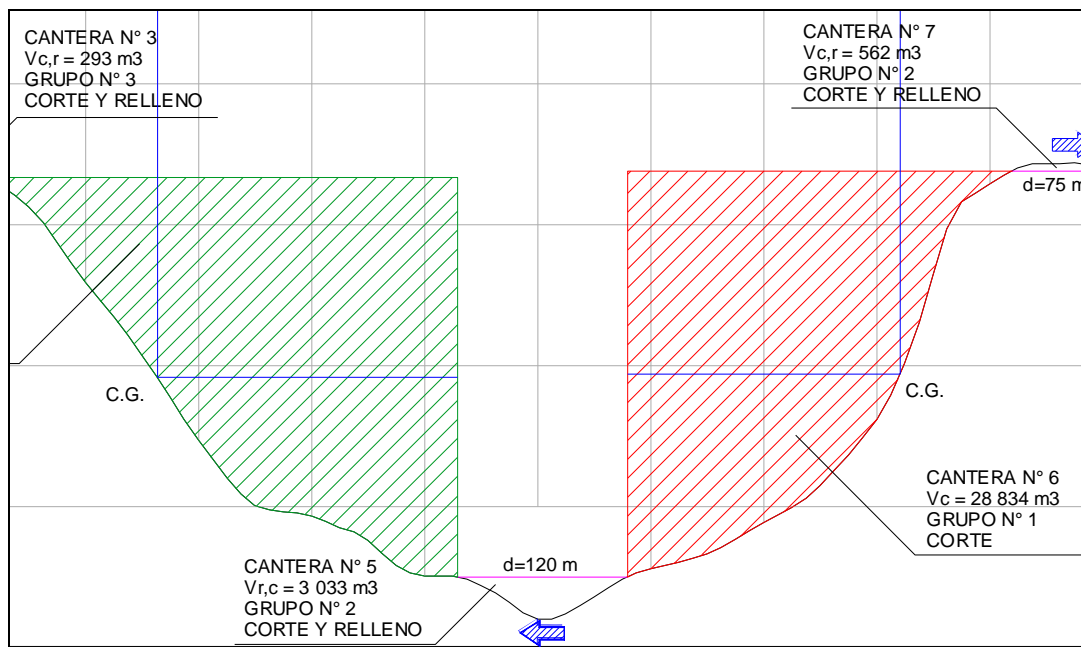


Figura 2.11 Propiedades del diagrama de curva masa

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

2.14 Dibujo de diagrama de la curva masa

Se dibuja la curva masa con las ordenadas en el sentido vertical y las abscisas en el sentido horizontal utilizando el mismo dibujo del perfil.

Cuando está dibujada la curva se traza la compensadora que es una línea horizontal que corta la curva en varios puntos.

Podrá dibujarse diferentes alternativas de línea compensadora para mejorar los movimientos, teniendo en cuenta que se compensan más los volúmenes cuando la misma línea compensadora, corta más veces la curva; pero algunas veces, el querer compensar demasiado los volúmenes, provoca acarreos muy largos que resultan más costosos que otras alternativas.

En el dibujo de diagrama de masas se presentan dos casos de discontinuidad:

- Cerca de las proximidades de un puente, el material de corte si lo hubiera, no puede ser transportado hacia el otro lado del río a menos que hubiera un puente provisional o un desvío, en este caso la ordenada de la curva queda en el aire, así es que si no hay compensación, este material tendría que eliminarse y tomarse como un desperdicio extra.

En el caso de la curva si se ha dibujado en un tramo largo y posteriormente se detecte que en un tramo intermedio no hay balance de suelo y se tenga que subir o bajar la subrasante, se deja un corte en la curva en el sitio hasta donde no hay perturbación, se efectúa de nuevo los cálculos y se hace el balance. Si se logra el balance en un nuevo tanteo se coloca la ordenada de la última estación perturbada y se coloca una ecuación de masas.

2.15 Determinación de los acarreos

2.15.1 Acarreo libre

Es la distancia máxima a la que puede ser transportado un material, estando el precio de esta operación incluida en el de la excavación. En consecuencia, para no encarecer el precio de la excavación, el acarreo libre debe ser la distancia mínima requerida por el equipo que lleva a cabo la extracción, carga y descarga del material.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la EG-2000 ha adoptado una distancia de acarreo libre de 120 m, ésta se representa por medio de una horizontal en la zona inmediata a los máximos o mínimos del diagrama de masas.

Para determinar el acarreo libre se corre horizontalmente la distancia de acarreo libre, de tal manera que toque dos puntos de la curva, la diferencia de la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva, es el volumen.

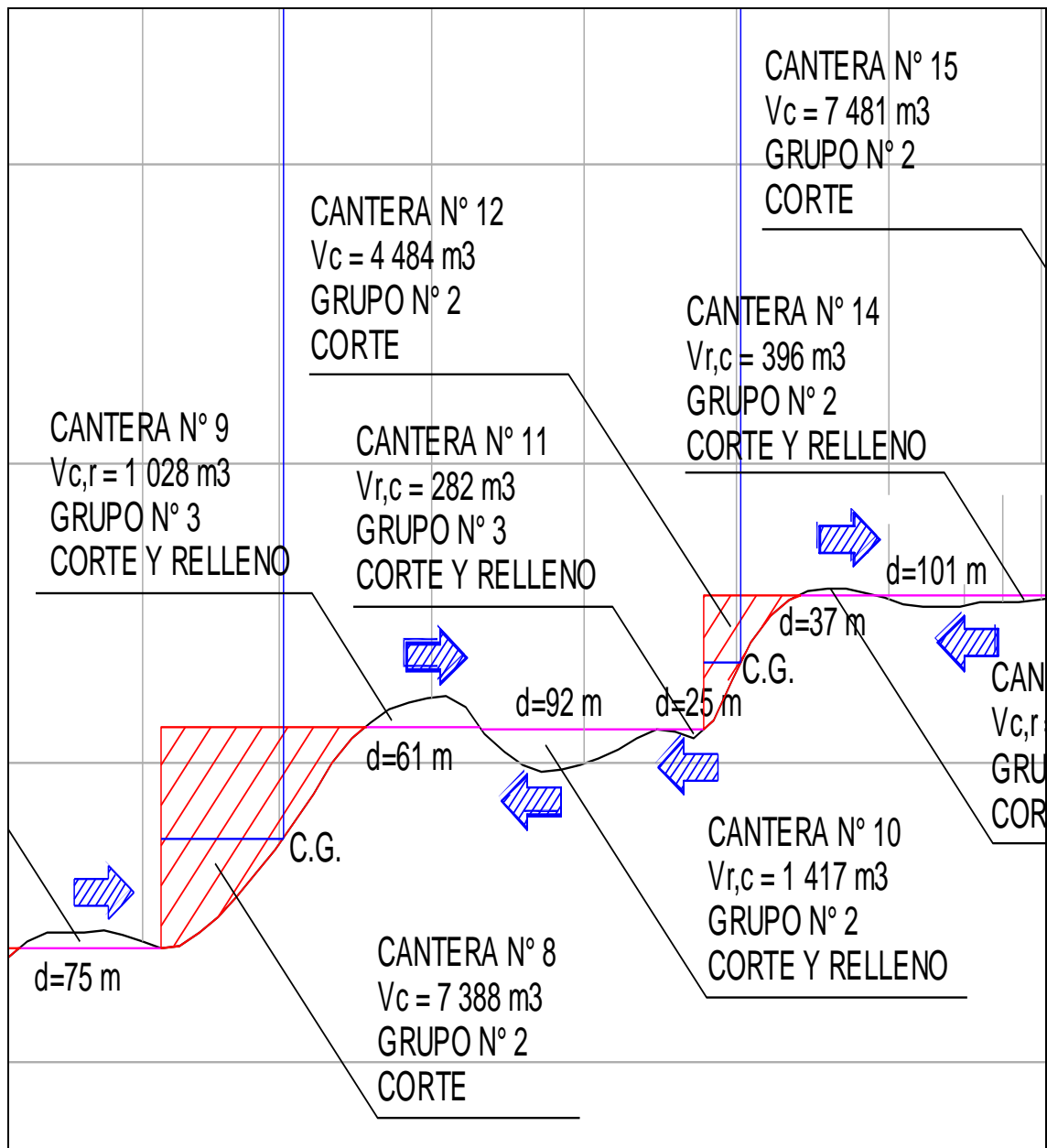


Figura 2.12 Determinación de los acarrees

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

2.15.2 Distancia media de sobre acarreo

Para poder cuantificar los movimientos de tierras, es necesario establecer la distancia de sobre acarreo y el volumen que hay que transportar más allá del límite establecido por el acarreo libre.

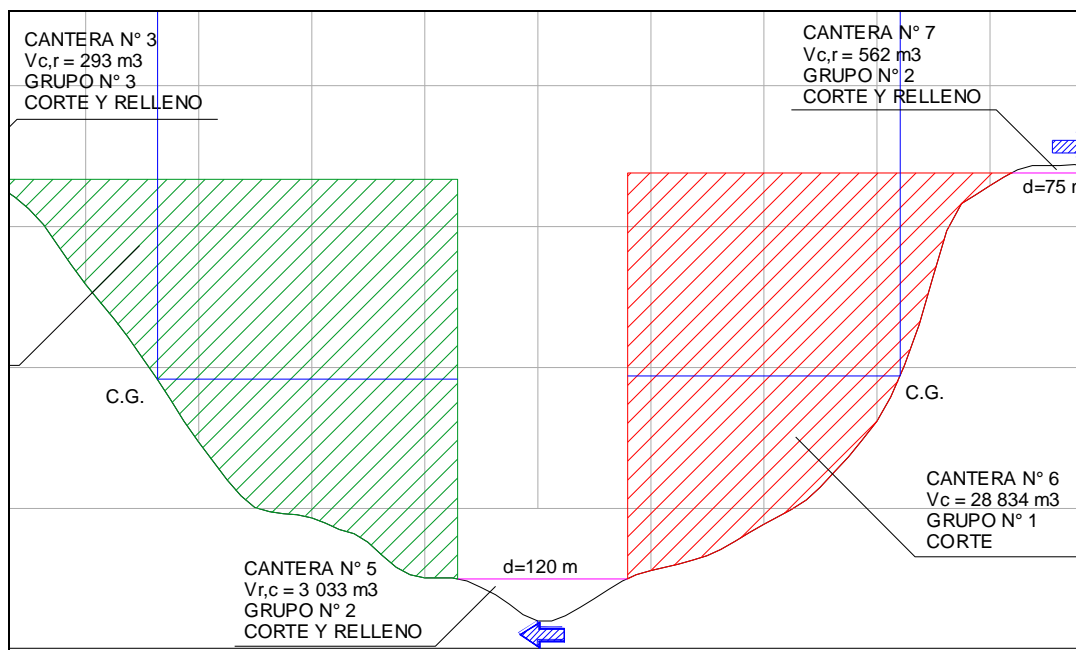


Figura 2.13 Distancia media de sobre acarreo

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

2.15.3 Determinación del sobre acarreo

Es el transporte de los materiales a una distancia mayor a la del acarreo libre que se obtiene multiplicando el volumen a mover, por la distancia que hay del centro de gravedad del corte al centro de gravedad del terraplén.

De acuerdo a la distancia que se tenga que mover se puede hacer con volquete o equipo pesado.

Para determinar el sobre acarreo se traza una línea en la parte media de la línea horizontal compensadora y la línea horizontal de acarreo libre

2.15.4. Determinación del desperdicio

Cuando la línea compensadora no se puede continuar y existe la necesidad de iniciar otra habrá una diferencia de ordenadas.

Si la curva masa se presenta en el sentido de la progresiva en forma ascendente la diferencia indicará el volumen del material que tendrá que desperdiciarse lateralmente al momento de la construcción, por lo regular resultan muy costosos.

2.15.5 Préstamo lateral

La diferencia que se necesita para formar un terraplén al no compensarlo con un corte, requerirá de un volumen adicional, denominado préstamo, que se obtendrá de la parte lateral del camino.

2.15.6 Préstamo de banco

Se presentará en las mismas condiciones que el anterior, sólo que por la calidad del material o por no encontrarlo sobre el camino, se utilizará de un lugar especial según convenga, por lo general este acarreo se realiza con volquetes.

2.16 Subrasante económica

Es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose ésta como la suma de los pagos en efectivo ocasionados durante la construcción y por la operación y conservación del camino, una vez abierto el tránsito.

2.17 Posición más económica de la compensadora

En un tramo, la compensadora que corta el mayor número de veces el diagrama de masas y que produce los movimientos de tierras más económicas recibe el nombre de compensadora general.

Es conveniente obtener una sola compensadora general para un tramo de gran longitud; sin embargo, la economía buscada, obliga la mayor parte de las veces a que la compensadora no sea una línea continua, sino que debe interrumpirse en ciertos puntos para reiniciarla en otros situados arriba o abajo de la anterior, lo que origina tramos que no están compensados longitudinalmente y cuyos volúmenes son la diferencia de las ordenadas de las compensadoras.

En estos tramos no compensados se presentan los préstamos por exceso de volúmenes de terraplén y desperdicios por exceso de volúmenes de corte.

En otras situaciones pueden coexistir préstamos y desperdicios, por ejemplo, cuando la suma de los costos del acarreo del material excavado al llevarlo al terraplén y de la compactación requerida, sea mayor que la suma de los costos de excavación, de acarreo y de compactación del material producto de préstamo y del acarreo del desperdicio, o bien, cuando el material de corte debe emplearse en la construcción del camino.

Capítulo 3

Aplicación al caso de la construcción de una obra vial en un proyecto minero

3.1 Nombre de la obra

“Construcción de una Obra Vial en un Proyecto Minero”

3.2 Ubicación

- Región: Junín
- Provincia: Oroya
- Distrito: Morococha
- Localidades: Morococha

3.3 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de una obra vial para un proyecto minero, el cual tiene interacción en la progresiva 0+000 con la faja transportadora, 0+600 con el grifo, 0+700 con el acceso 11, 1+700 con el acceso 13, 1+750 con el acceso 14 y 2+147 con la sub estación del proyecto, esta obra vial es de suma importancia por qué comunica a varios sectores del proyecto.

3.4 Características técnicas

Se ha adoptado las siguientes características técnicas:

- Índice Medio Diario (IMD): > 30 veh./día
- Velocidad directriz: 25.00 km/h
- Ancho de superficie de rodadura: 9.00 m
- Bermas laterales: 0.50 m
- Cunetas Triangulares: de 2.00 x 0.50 m
- Radio mínimo: 30.00 m
- Pendiente máxima: 12.00 %
- Pendiente mínima: 0.50%
- Bombeo: 2.00 %
- Peralte mínimo: 2.00 %
- Número de carriles: 2.00

- Espesor de la superficie de rodadura: 0.20 m
- Talud en relleno: 1.50:1 (H:V)
- Talud en corte: 2.50:1 (V:H) material suelto
3.00:1 (V:H) material compacto
4.00:1 (V:H) roca suelta
8.00:1 (V:H) roca fija.

3.5 Actividades previas al movimiento de tierras

Para poder efectuar los trabajos necesarios es imprescindible estudiar el antes del inicio de la construcción. Con toda la información del proyecto horizontal y vertical, podemos realizar las siguientes actividades:

3.5.1 Replanteo de los puntos inicial y final de referencia

En primer lugar se procede a ubicar los puntos inicial y final del acceso, los cuales están referenciados con algún punto fijo conocido.

Estos dos puntos deben quedar referenciados por dos hitos auxiliares que estén en la misma línea pero en una distancia mayor a la acción del equipo de movimiento de tierras. La distancia debe ser redonda y de fácil medida.

3.5.2 Replanteo del eje de la vía

El equipo de trabajo topográfico comienza a replantear el eje de la carretera; es recomendable hacerlo, replanteando los puntos de intersección (PI) cuando ellos son accesibles. Esto se consigue empleando una estación total, marcando las distancias entre los PI y los ángulos de deflexión de las curvas.

A medida que se ejecuta esta actividad, se realiza el desbroce manual de maleza, con una cuadrilla, quienes van abriendo camino para que el equipo topográfico avance.

3.5.3 Replanteo de curvas horizontales

Una vez que se ha comprobado todo el eje de la vía, se puede realizar el replanteo de las curvas horizontales. Es importante recalcar que esta actividad debe ejecutarse después de las correcciones, pues en caso de que los alineamientos estén mal y se haya replanteado la curva primero, el trabajo realizado quedaría inservible.

En primer lugar, se replantean los P_c y P_t de las curvas, colocando referencias mediante hitos tal como el punto inicial y final de la vía. Esto con el objetivo de volver a ubicar fácilmente los puntos en caso de que la maquinaria con su paso quite las señales del P_c y P_t .

Para replantear los puntos intermedios de la curva, debemos guiarnos por la información indicada en la libreta de curvas horizontales, para cada punto habrá dos datos básicos: distancia y ángulo de deflexión, medido con respecto al PI. Con el equipo topográfico se procede a establecer estos puntos. Suele ocurrir que el último punto no coincide con el P_t de la curva, que fue replanteado inicialmente con el equipo topográfico ubicado en el PI. En este caso, será necesario repartir el error entre todos los puntos intermedios.

3.5.4 Progresivas en el eje de la vía

Una vez que se ha replanteado el eje de la vía y las curvas horizontales se procede a seccionar cada 20 metros con cintas en el eje, incluyendo las curvas horizontales, y marcando notoriamente todos los puntos, con un color de pintura fácil de encontrar y visualizar por el personal de piso que entrará a continuación a realizar las actividades.

3.5.5 Replanteo y trazado de la franja o ancho de la vía

Luego de haber realizado el colocado en progresivas del eje cada 20 metros, incluyendo los Pc y Pt de cada curva horizontal, se procede a obtener el ancho de la superficie de rodadura de la sección típica. A esto se le suma el ancho del terraplén, el cual debe ser estimado como un promedio de los terraplenes de las secciones transversales de la vía. En este ancho operará la maquinaria para realizar el movimiento de tierras.

En cada progresiva del eje, el topógrafo procederá a abrir hacia la derecha e izquierda el ancho recomendado y estimado anteriormente, colocando las balizas de un color llamativo a lo largo de todo el tramo de carretera que se quiera trabajar.

3.5.6 Desbroce y limpieza del terreno

Una vez señalados el eje y el ancho de la vía, se inician los trabajos de limpieza con maquinaria. Se empleará para ello un tractor, el cual acumulará el material lateralmente. En su primer paso, el tractor realizará el desbroce, y en su segunda pasada, clavará la cuchilla de 15 a 30 centímetros para sacar las raíces de plantas.

Durante esta actividad los puntos o estacas del eje pueden ser destruidos, se debe volver a replantar, comenzando desde las curvas horizontales, los Pc y Pt, a partir de las referencias establecidas. Luego se continúa con los demás puntos de la vía, las progresivas cada 20 metros tanto de tramos rectos como curvos.

3.5.7 Replanteo de cotas de diseño

A continuación, luego de haber limpiado el terreno, se procede a colocar las marcas o cintas, en el centro y lados de la vía, en las cuales se indicará la cantidad de corte o relleno que debe ejecutar el operador de maquinaria. De preferencia se utiliza color rojo para corte y verde para relleno.

La información necesaria de corte y relleno del eje se obtiene del perfil longitudinal de la vía del proyecto vertical, en cuya cartilla inferior se indicará si es corte o relleno. Los datos para los lados de la vía se obtienen a partir de las secciones transversales, y esto dependerá del diseño del pavimento, bombeos, peraltes y sobreechamientos. Las marcas o cintas se colocarán en un ancho que corresponda al ancho de corona, no al ancho de franja de desbroce.

Para el replanteo de curvas verticales se procede de igual manera que al replantar la vía, a partir de las secciones transversales, con la diferencia de que la cota de la subrasante es obtenida de la cartilla o libreta de curvas verticales.

3.6 Perfil longitudinal

Se refiere básicamente al proyecto vertical, en el cual están indicadas: las progresivas de la vía; las cotas del terreno natural; cotas del proyecto, ésta última por lo general se define como el nivel de la subrasante; y zonas de la vía donde hay corte y relleno.

3.7 Secciones transversales

Generalmente, se dibujan secciones transversales cada 20 metros, pero esto puede variar de acuerdo a la configuración del terreno natural. En caso de ser un terreno más abrupto, será necesario dibujar perfiles transversales cada 5, 10 o 15 metros, para obtener un cálculo más preciso del volumen de tierra. En el presente proyecto las secciones transversales están determinadas cada 20 metros, y en casos particulares en que el perfil del terreno es muy variable, existen perfiles a menor distancia entre sí.

La implantación de la sección típica del pavimento se realizará en todas las secciones transversales de la vía, en las cuales se detallará el perfil del terreno natural y el perfil de la sección típica, pudiendo obtener secciones de corte, de relleno y corte y relleno.

3.8 Selección de factores de esponjamiento y contracción

Para la presente tesis será necesario determinar qué factores corresponden al material del sitio para calcular los volúmenes para compensación y los costos unitarios.

3.9 Cálculo de ordenadas

Las ordenadas del diagrama de masas representan los volúmenes acumulados a lo largo de la vía. Para obtener estas ordenadas, es necesario tener en cuenta:

- Volúmenes de corte: son positivos (+).
- Volúmenes de relleno: son negativos (-).

Los volúmenes de relleno determinados a partir de las áreas de perfiles transversales son volúmenes compactados, por ello es necesario considerar el coeficiente de contracción con el cual se establezca el volumen suelto para hacer un terraplén compactado. Este volumen se refleja en la tabla como el volumen corregido, que resulta de multiplicar el volumen obtenido por el coeficiente de contracción, que en el presente proyecto es 1.1.

Si la última ordenada del diagrama de masas es positiva, hay material sobrante (exceso de corte), si es negativa; falta material para relleno.

Para poder calcular las ordenadas del diagrama de masas, es necesario conocer las áreas de las secciones transversales en cada progresiva de la vía. Luego con estas áreas, se calcula los volúmenes.

Estos datos se tabulan de la siguiente manera:

Tabla 3.1 Planilla de metrados

Estación (1)	Área Corte (m ²) (2)	Área Relleno (m ²) (3)	Volumen Corte (banco m ³) (4)	Volumen Relleno (comp m ³) (5)	Volumen Desbroce				Volumen Total Corte (banco m ³) (8)	Volumen Total Corte (banco m ³)		
					Área Corte (m ²)	Área Relleno (m ²)	Desbroce Corte (banco m ³) (6)	Desbroce Relleno (comp m ³) (7)		Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija
0+440	9.31	0.60	60.65	51.40	19.00		0.00	0.00	60.65	6.07	0.00	54.59
0+450	23.17	0.00	162.40	3.00	8.60		0.00	0.00	162.40	16.24	0.00	146.16
0+460	24.42	0.00	237.95	0.00	10.87		0.00	0.00	237.95	23.80	0.00	214.16
0+470	16.70	0.00	205.60	0.00	12.47		0.00	0.00	205.60	20.56	0.00	185.04
0+480	6.41	1.62	115.55	8.10	10.68		0.00	0.00	115.55	11.56	0.00	104.00
0+490	1.07	1.65	37.40	16.35	9.20		0.00	0.00	37.40	3.74	0.00	33.66
0+500	21.74	0.00	114.05	8.25	11.43		0.00	0.00	114.05	11.41	0.00	102.65
0+510	36.10	0.00	289.20	0.00	16.00		0.00	0.00	289.20	28.92	0.00	260.28
0+520	8.27	0.00	221.85	0.00	20.35		0.00	0.00	221.85	22.19	0.00	199.67
0+530	11.34	0.00	98.05	0.00	20.71		0.00	0.00	98.05	9.81	0.00	88.25
0+540	9.13	0.00	102.35	0.00	17.29		0.00	0.00	102.35	10.24	0.00	92.12
0+550	3.35	1.75	62.40	8.75	8.37		0.00	0.00	62.40	6.24	0.00	56.16
0+560	0.00	14.58	16.75	81.65		2.85	0.00	14.25	16.75	1.68	0.00	15.08
0+570	0.00	31.90	0.00	232.40		2.86	0.00	28.55	0.00	0.00	0.00	0.00
0+580	0.00	49.57	0.00	407.35		2.74	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+590	0.00	63.63	0.00	566.00		2.77	0.00	27.55	0.00	0.00	0.00	0.00
0+600	0.00	85.77	0.00	747.00		3.62	0.00	31.95	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012

Los cálculos completos de las ordenadas del diagrama de masas se encuentran en el Anexo 2.1.

3.10 Diagrama de masas: gráfico

Una vez determinadas las ordenadas correspondientes a cada abscisa, se procede a graficar el diagrama de masas. Ver anexo 3.1.

3.11 Distancia de acarreo

Es la distancia a la que es transportado el material en un movimiento de tierras, y sus unidades serán de volumen en longitud (m³ km).

De acuerdo a la magnitud de la distancia, se clasifica en dos tipos:

3.11.1 Acarreo libre

Es la distancia de transporte de un material, cuyo costo se incluye en el precio unitario del corte, es decir que no se pagará ningún extra por el acarreo a menos que se estipule lo contrario.

Para el presente proyecto se considerará una distancia de acarreo libre de 120 metros, bajo esta premisa se han elaborado las respectivas compensaciones en el diagrama de masas.

3.11.2 Sobreacarreo

Es la distancia de transporte adicional al acarreo libre por el cual se establece un precio adicional, es decir, si un material se debe transportar más allá de los 120 metros, deberá

pagarse un precio adicional. Es importante señalar que dentro de la etapa de estudio se establecerá hasta donde puede ser el sobreacarreo, es decir, cuál será el máximo de sobreacarreo conveniente en este proyecto y qué regirá para las negociaciones de construcción.

3.12 Canteras de compensación y no compensadas

3.12.1 Canteras de compensación (corte y relleno)

Son aquellas en las que la línea compensadora del diagrama de masas tiene una longitud máxima de 120 m, la cual limita los acarrees de volúmenes que pasan de corte a relleno o viceversa. El acarreo en estos casos será considerado únicamente como acarreo libre, y la maquinaria a emplearse dependerá del volumen a transportar.

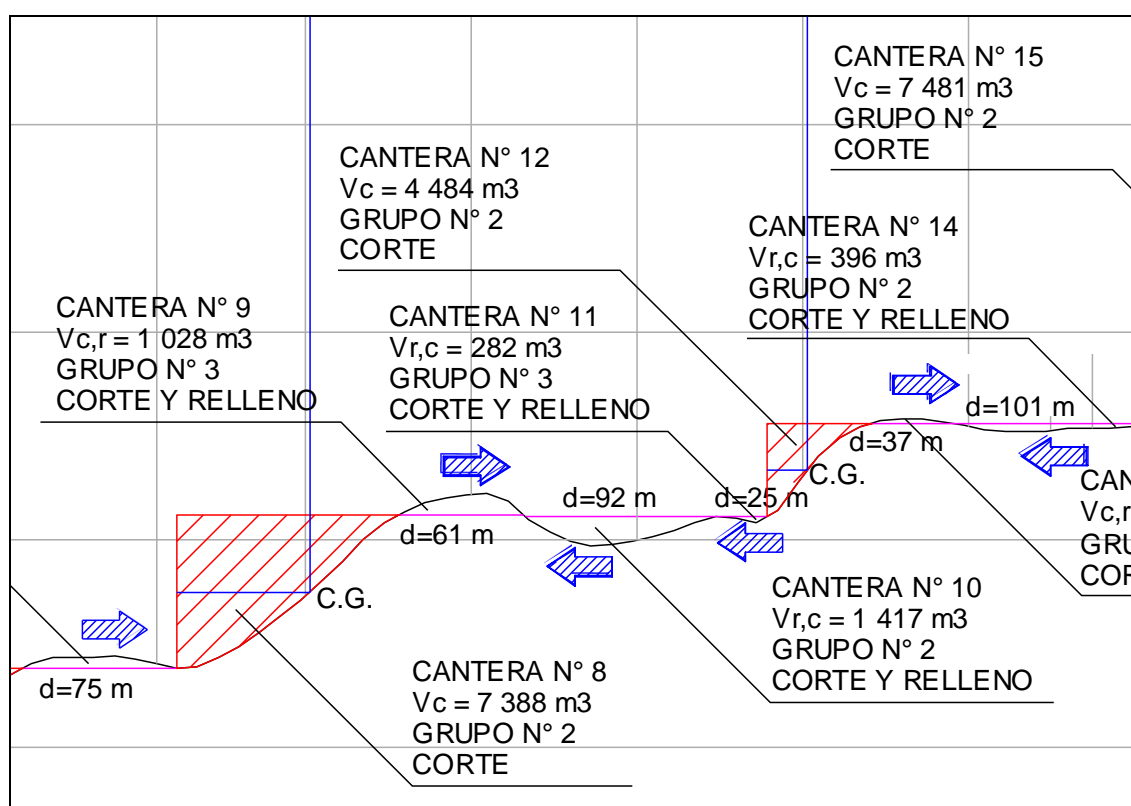


Figura 3.1 Cantera de compensación

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012

3.12.2 Canteras no compensadas (corte o relleno)

Son aquellas que presentan volúmenes solo de corte o solo de relleno, el cual no ha podido utilizarse en un tramo consecutivo de la vía. El material sobrante de corte deberá, de ser posible, ser transportado a una cantera de relleno no compensada. Es aquí donde intervienen las distancias de acarreo libre y/o sobreacarreo.

En caso de que sobre material de corte y no pueda ser utilizado como relleno en ningún otro sitio, se determinará la ubicación de este material fuera de la vía, con el fin de estimar la distancia máxima de transporte para el presupuesto referencial.

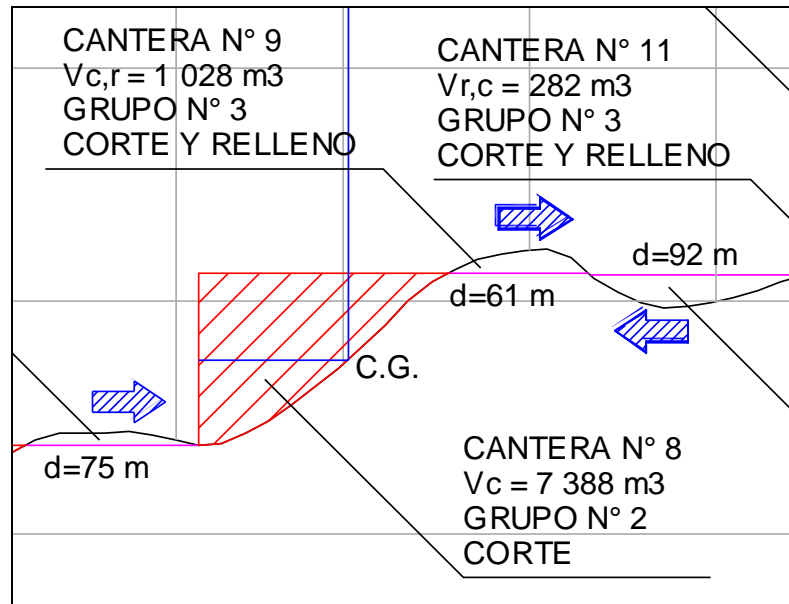


Figura 3.2 Cantera de corte

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

Si la línea que define el diagrama de masas es ascendente, la cantera será de corte, si es descendente, será de relleno.

3.13 Centro de gravedad de una cantera no compensada

Para determinar las distancias de acarreo entre dos canteras no compensadas se debe establecer el centro de gravedad de la cantera de la siguiente forma:

Se halla la media altura de la cantera, se prolonga una línea, y el punto de intersección de la curva con esta línea se lo proyecta en las abscisas. Esta abscisa denota el centro de gravedad de la cantera.

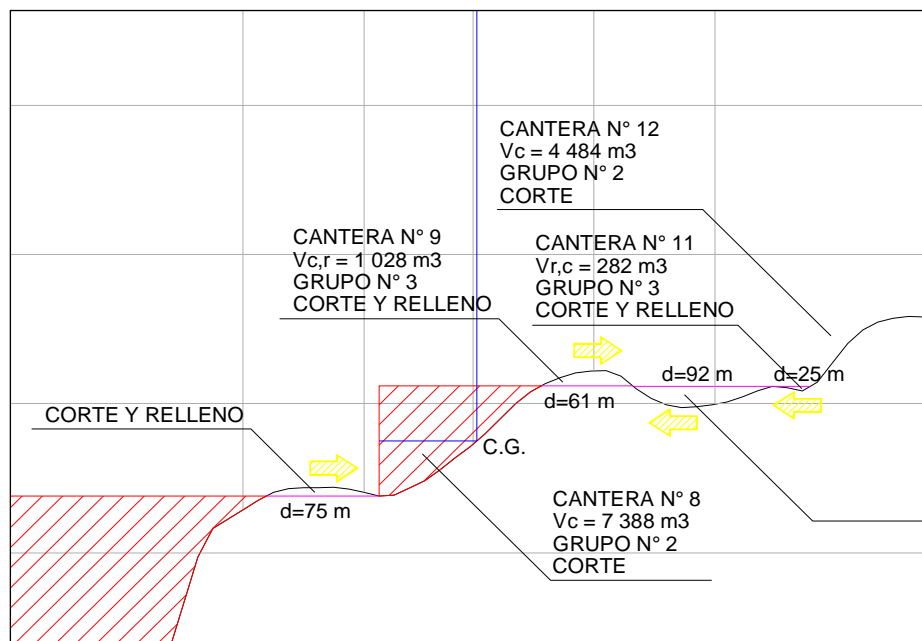


Figura 3.3 Centro de gravedad de una cantera

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

Para hallar las distancias de acarreo, se resta los centros de gravedad de las canteras, y si sobrepasa la distancia de acarreo libre, se aplica el concepto de sobreacarreo expuesto anteriormente.

3.14 Identificación de canteras en el proyecto

En este proyecto tenemos 18 canteras y se ha tomado como acarreo libre 120 m, a continuación se detalla el resumen de las canteras:

Tabla 3.2 Cuadro general de cantidades en canteras definidas en el proyecto

N° CANTERA	TIPO	VOLUMEN (M ³)	DISTANCIA DE ACARREO (M)
1	CNCSR	106680	***
2	CC	533	96
3	CC	293	57
4	CNCSR	28349	***
5	CC	3033	120
6	CNCSC	28834	***
7	CC	562	75
8	CNCSC	7388	***
9	CC	1028	61
10	CC	1417	92
11	CC	282	25
12	CNCSC	4484	***
13	CC	213	37
14	CC	396	101
15	CNCSC	7481	***
16	CC	1537	71
17	CC	1581	64
18	CNCSC	3651	***

Simbología:

- CC : Cantera de Compensación
- CNCSC : Cantera No Compensada solo CORTE
- CNCSR : Cantera No Compensada solo RELLENO
- *** : Distancia que será determinada en función de la reubicación del material de compensación necesario

A continuación se tabulan las abscisas de los centros de gravedad de las canteras no compensadas.

Tabla 3.3 Centros de gravedad de canteras no compensadas

N° CANTERA	TIPO	VOLUMEN (M ³)	CENTRO DE GRAVEDAD (X)
1	CNCSR	106680	0+216.72
4	CNCSR	28349	0+690.63
6	CNCSC	28834	1+216.60
8	CNCSC	7388	1+434.66
12	CNCSC	4484	1+674.75
15	CNCSC	7481	1+892.06
18	CNCSC	3651	2+078.32

De acuerdo a esta información, las canteras N° 1 y N° 4 son las canteras que requieren material de relleno, éstas serán compensadas con material de la cantera del proyecto denominada cantera Tunshuruco ($106680 * 1.10 = 117348 \text{ m}^3$) y de la cantera 6 y 8 ($28349 * 1.10 = 31183.9 \text{ m}^3$) con unas distancias de acarreo de 2216.72 m, considerando que la cantera Tunshuruco se ubica a 2000 m de la cantera 1 y con una distancia de acarreo de 525.97 m para la cantera 6 y 744.07 m para la cantera 8, en todos los casos se descuentan los 120 m que se consideran como acarreo libre (es decir dentro del costo del corte) y las distancias restantes corresponde al sobre acarreo.

Tabla 3.4 Distancias de acarreo, acarreo libre y sobreacarreo

N° CANTERA	TIPO	VOLUMEN (M ³)	CENTRO DE GRAVEDAD (X)	DISTANCIA DE ACARREO (M)	ACARREO LIBRE (M)	SOBRE ACARREO (M)	TIPO DE MATERIAL
TUNSHURUCO	PRÉSTAMO	120000	2+000.00	2216.72	120	2096.72	Corte roca fija
1	CNCSR	106680	0+216.72				Relleno con roca fija
4	CNCSR	28349	0+690.63				Relleno con roca suelta
6	CNCSC	28834	1+216.60	525.97	120	405.97	Corte roca suelta
8	CNCSC	7388	1+434.66	744.03	120	624.03	
12	CNCSC	4484	1+674.75	1972.25	120	1852.25	CORTE EN MATERIAL SUELTO
15	CNCSC	7481	1+892.06	1754.94	120	1634.94	
18	CNCSC	3651	2+078.32	1568.68	120	1448.68	
DMEE	ELIMINACIÓN	30000	3+647.00				

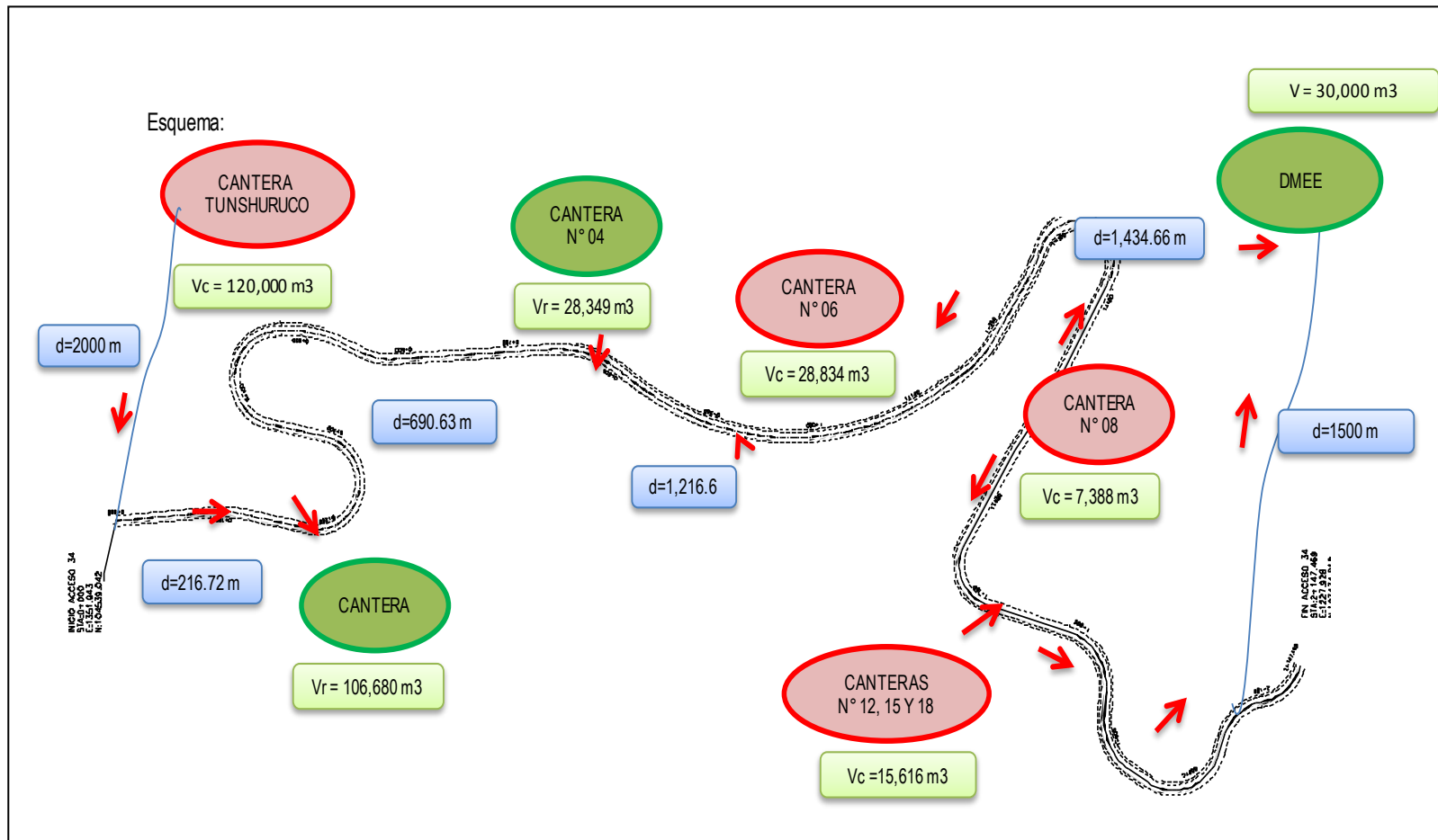


Figura 3.4 Esquema de movimiento de tierras y transporte

De acuerdo al presupuesto los costos para cada actividad son los siguientes:

Tabla 3.5 Costos de movimiento de tierras y transporte

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO S/.
MOVIMIENTO DE TIERRAS			
1	Corte en material suelto	M3	5.94
2	Corte en roca suelta	M3	15.18
3	Corte en roca fija	M3	39.78
4	relleno con material excedente de corte	M3	20.97
5	Relleno con material de préstamo	M3	31.32
TRANSPORTE			
6	Transporte de material suelto d =< 1 km	M3K	5.07
7	Transporte de material suelto d > 1 km	M3K	1.45
8	Transporte de material de corte d =< 1 km	M3K	7.6
9	Transporte de material de corte d > 1 km	M3K	2.28

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

Para este caso, los costos serán determinados de la siguiente manera:

Tabla 3.6 Costos de movimiento de tierras para el proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	PU S/.	VOL. (M3)	PP S/.	OBSERVACIONES
MOVIMIENTO DE TIERRAS						
1	Corte en material suelto	M3	5.94		92,759.04	Se presenta en la cantera n° 12, 15 y 18
	Cantera 12			4,484.00	26,634.96	
	Cantera 15			7,481.00	44,437.14	
	Cantera 18			3,651.00	21,686.94	
2	Corte en roca suelta	M3	15.18		549,849.96	Se presenta en la cantera n° 6 y 8
	Cantera 6			28,834.00	437,700.12	
	Cantera 8			7,388.00	112,149.84	
3	Corte en roca fija	M3	39.78		4,773,600.00	Se presenta en la cantera Tunshuruco
	Cantera Tunshuruco			120,000.00	4,773,600.00	
4	Relleno con material excedente de corte	M3	20.97		921,946.05	Se presenta en la cantera n° 4 y en el DMEE
	Cantera 4			28,349.00	594,478.53	
	DMEE			4,484.00	94,029.48	
				7,481.00	156,876.57	
5	Relleno con material de préstamo	M3	31.32		2,237,079.60	Se presenta en la cantera n° 1
	Cantera 1			106,680.00	2,237,079.60	
TOTAL EN COSTO					8,575,234.65	

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

Tabla 3.7 Costos de transporte de materiales para el proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	PU S/.	VOL. (M3)	DIS T. (K M)	VOL. X DIST.(M3 K)	PP S/.	OBSERV.
	TRANSPORTE							
6	Transporte de material suelto d \leq 1 km	M3K	5.07			No se tiene		No se tiene
7	Transporte de material suelto d > 1 km	M3K	1.45				37,447.13	Se presenta en la cantera n° 12, 15 y 18
	Cantera 12			4,484.00	1.85	8,305.49	12,042.96	
	Cantera 15			7,481.00	1.63	12,230.99	17,734.93	
	cantera 18			3,651.00	1.45	5,289.13	7,669.24	
8	Transporte de material de corte d \leq 1 km	M3K	7.6				124,002.15	Se presenta en la cantera n° 6 y 8
	Cantera 6			28,834.00	0.41	11,705.74	88,963.62	
	Cantera 8			7,388.00	0.62	4,610.33	35,038.54	
9	Transporte de material de corte d > 1 km	M3K	2.28				1,912,208.64	Se presenta en Tunshuruco
	Cantera Tunshuruco			120,000.00	2.10	251,606.40	1,912,208.64	
TOTAL EN COSTO							2,073,657.92	

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

Capítulo 4

Equipo pesado empleado en la construcción de la obra vial

El ingeniero de producción responsable de la construcción de una carretera debe planificar con anticipación el grupo de equipos que debe tener en obra para realizar las diferentes actividades que intervienen en la ejecución de la construcción de la vía. Este equipo debe ser adquirido o alquilado y ha de estar en condiciones óptimas para las diferentes actividades. Para realizar esta planificación, el ingeniero contará con la lista de actividades que intervienen en cada una de las etapas del proyecto y conocerá para qué sirve cada una de las maquinarias.

Además, tendrá que conocer los rendimientos individuales de las máquinas, capacidad de operación, radio de acción del equipo, uso, estado mecánico, operador (su eficiencia, años de servicio, experiencia de trabajo), combustibles que utilizan el equipo, aceites y filtros.

Con esta información es posible mantener un control del equipo. También es importante que se conozcan los rendimientos individuales de cada máquina y en grupo de distintas máquinas en el mismo rubro, para optimizar el rendimiento de cada uno de ellos.

4.1 Operaciones básicas para un movimiento de tierras

Respecto a la elección y utilización de maquinaria para el movimiento de tierra, es posible agrupar las siguientes operaciones:

4.1.1. Desbroce

Es la remoción de tierras desechables en la base de terraplenes, que incluyen los trabajos de remoción, transporte y desalojo de los suelos que no son propios para construir la fundación de los terraplenes. El equipo recomendado para realizar esta operación consiste en tractores.

4.1.2 Banqueos

Por banqueo se entiende todos los trabajos de excavación con maquinaria y con explosivos. Requiere un equipo a base de compresores, tractores, excavadoras, volquetes, equipos especiales de perforación y voladura.

4.1.3 Excavaciones en zonas de préstamo

La excavación en zonas de préstamo comprende todos los trabajos de excavación a máquina o con explosivos en sitios de préstamo, con el fin de proveer materiales para la construcción de terraplenes. Usará maquinarias excavadoras, tractores, cargadores frontales, volquetes, equipos especiales de perforación y voladura.

4.1.4 Ejecución de terraplenes

La ejecución de terraplenes se refiere a los trabajos requeridos para la construcción y compactación de terraplenes, se realiza con tractores de oruga con cuchilla para extender los materiales, camiones cisternas y compactadores vibratorios.

4.1.5 Transportes

El transporte comprende todo el traslado de los materiales relativos al movimiento de tierras y se lleva a cabo con volquetes, aunque en ciertos casos, en que los volúmenes y las distancias son pequeñas, se puede hacer uso del tractor. Si las distancias son menores a 120 m el costo de transporte se incluye dentro de la actividad de excavación (corte), de ser mayor a esta distancia, se considera sobreacarreo.

4.2 Descripción de los equipos

4.2.1 Cargadores frontales

Las cargadoras frontales son tractores equipados con un cucharón sobre brazos articulados sujetos al tractor, los cuales son accionados por medio de dispositivos hidráulicos. Estas máquinas están diseñadas especialmente para trabajos de carguío, también se puede emplear en la excavación de materiales suaves o previamente aflojados.

Sirve para retirar objetos pesados del terreno de construcción y mover grandes cantidades de material en poco tiempo. Entre las funciones del cargador frontal, tenemos las siguientes:

- Nivelación (empleando el cucharón)
- Carga material
- Transporta el material siempre y cuando la distancia sea corta



Fotografía 4.1 Cargador frontal

4.2.2 Excavadora

Los trabajos que realiza mejor la excavadora, son: la excavación en altura; por encima de la zona de asentamiento de la máquina y el carguío del material en esta zona. Su función es:

- Corte y carguío en una cantera.
- Carguío y descarga de grandes bloques.
- Carguío en volquetes, ubicados al mismo nivel que la pala, como por debajo.
- Excavación en una ladera en uno o varios pisos.
- Excavación y descarga con alcance normal, con carguío del material y transporte a corta distancia.



Fotografía 4.2 Excavadora

4.2.3 Motoniveladora

La motoniveladora es una maquinaria utilizada para excavar, desplazar y nivelar la tierra. Su elemento principal es la cuchilla de perfil curvo, cuya longitud determina el modelo y la potencia del aparato.

Esta cuchilla, colocada en el centro de un bastidor de cuatro ruedas, puede tomar las posiciones más diversas, por giro en el plano horizontal formando un ángulo de 0° a 180°, con el eje longitudinal de la máquina (es decir, con la dirección del remolque) y en el plano vertical en el que se puede fijar en cualquier inclinación; hasta la perpendicular al suelo, en la parte lateral del aparato.

Puede perfilar taludes en terraplenes y desmontes, así como también cunetas de caminos, con el grado de inclinación que se necesite, ya que la cuchilla central puede inclinarse a derecha o izquierda, verticalmente casi a 90 grados y girar horizontalmente.

Es una de las máquinas más completas. Su manejo requiere de un alto grado de especialización debido a sus múltiples funciones, tales como:

- Extender el material.
- Nivelar.
- Escarificar (empleando el riper).
- Cortar capas de poco espesor de roca blanda.
- Perfilar.
- Dar un correcto acabado a una superficie (ya sea de subrasante, base o sub-base).
- Mezcla de materiales en la superficie.



Fotografía 4.3 Motoniveladora

4.2.4 Rodillo liso

Los rodillos son necesarios para que un relleno o talud de tierra alcancen el grado deseado de compactación. De esta manera, se intenta reducir este lapso de tiempo comprimiendo las capas de tierra por medios mecánicos.

La compactación es la operación que consiste en apisonar con rodillo, para asentar un suelo y darle un mayor espesor.

En la construcción de una carretera se debe procurar reducir cualquier asentamiento o hinchamiento y en general, obtener una resistencia más elevada para los cimientos.

Pero si se trata de un relleno que debe ser compactado, este tendrá que compactarse en capas de espesor adecuado para permitir la expulsión del aire y del agua. El espesor de las capas está en función de la porosidad del material esparcido. Una arcilla deberá depositarse en capas más delgadas que una arena. Por otra parte, para cada clase de suelo existe un porcentaje óptimo de agua, que puede obtenerse por el peso de aparato apisonador, el número de pasadas del rodillo etc.

La experiencia muestra que un suelo con un bajo porcentaje de agua es poco compresible. Sin embargo, la densidad es baja y se presentan grandes vacíos de aire.

Entonces entran en juego el fenómeno de capilaridad. Por el contrario, cuando aumenta el porcentaje de agua se constata que el suelo se hace más maleable y más compresible, como si el agua actuara de lubricante.



Fotografía 4.4 Rodillo liso

Entre las funciones principales del rodillo podemos indicar las siguientes:

- Compactar: con o sin vibración del tambor.
- Apretar el material: si se realizan pocas pasadas, el material se “aprieta”, más no se compacta.

- Acabado y sellado de la superficie.
- Amasar el material humedecido.

La compactación debe acercar las partículas hasta que el aire y el agua que quedan en el suelo sean reducidos hasta un punto tal que cualquier compresión suplementaria no produzca un cambio de volumen importante.

4.2.5 Tractor de oruga

Un tractor de oruga es un dispositivo de transporte utilizado principalmente en vehículos pesados, como tanques y tractores, u otro tipo de vehículos.

Consiste en un conjunto de eslabones modulares que permiten un desplazamiento estable aún en terrenos irregulares.



Fotografía 4.5 Tractor de oruga

Los tractores con una pala delante son los denominados *bulldozers*, los tipos de trabajos a los que se adaptan son:

- Los trabajos de escarificación, desbroce, eliminación de escombros y de empuje de tierras con pocas o mediana velocidad de avance.
- También realiza operaciones de remolque, con o sin excavación, a poca velocidad, en largas y pronunciadas pendientes, en terrenos desfavorables, en los lugares en que se está limitado por la capacidad de sostenimiento del suelo, por ejemplo, en el barro, en suelos disgregados, en la tierra recién acarreada, etc.
- Puede acumular material que se halla en el sitio de trabajo.
- Traslada material a poca distancia.
- Puede cortar roca blanda, de origen sedimentario.
- Con la cuchilla puede nivelar el material, más no darle el acabado final.
- Extiende el material suelto en la superficie.

4.2.6 Retroexcavadora

Una retroexcavadora se utiliza en una amplia variedad de trabajos de excavación, donde el material a excavar se encuentra bajo el nivel del piso en el que se apoya la máquina, tiene un rango de acción bastante amplio en el cual se puede mover económica y eficientemente.

El neumático, cuyas ventajas son bien conocidas, presenta por su adherencia al suelo, una inferioridad notable frente a la oruga.

Es casi siempre destinada a un aparato de transporte o de excavación que le ha sido exactamente adaptado por el constructor.



Fotografía 4.6 Retroexcavadora

4.2.7 Volquetes

Para este proyecto se emplearon volquetes con un volumen de 15 m^3 , son vehículos de transporte, montados sobre ruedas neumáticas.

Cualquiera que sea el dispositivo de vaciado, todos los volquetes comprenden piezas móviles (caja basculante, compuerta de vaciado, tolva, etc.) cuya maniobra necesita la intervención de una fuerza. Por este motivo y solo para su desplazamiento, el remolque depende siempre de un tractor y particularmente, de los dispositivos auxiliares ya citados, tales como la bomba hidráulica, el torno o el compresor de aire o de generador eléctrico.

Sus funciones básicas son:

- Transportar material.
- Apretar material que se encuentra suelto en la superficie.



Fotografía 4.7 Volquetes

4.3 Procesos constructivos de los rubros de movimiento de tierras

En el presente proyecto tenemos varias canteras compensadas, es decir, en ellas el material de corte pasa a formar parte de un relleno que se encuentra adyacente.

Para el caso de canteras no compensadas, en las cuales sea necesario realizar trabajos de relleno, se tomará material de préstamo de la cantera Tunshuruco, en este caso, el procedimiento y maquinarias a usar son distintos. Para la conformación de un terraplén se siguen básicamente los siguientes pasos:

4.3.1 Explotación

Se procede a realizar la explotación o corte de material de las canteras determinadas en el diagrama de masas. Para ello, se debe hacer uso de un tractor y su tamaño será determinado en función del volumen a cortar.



Fotografía 4.8 Esquema de corte realizado por un tractor



Fotografía 4.9 Corte de un talud realizado por un tractor

4.3.2 Transporte

Luego de la explotación, con un cargador frontal, excavador y tractor, se carga el material a un volquete para ser transportado. Para ello se determinará la distancia de acarreo, de manera que se pueda establecer si el pago se reconocerá como acarreo libre dentro del costo del rubro o como sobre acarreo.



Fotografía 4.10 Carga de material en volquete

4.3.3. Relleno

El material transportado será descargado en los sitios adyacentes al relleno, este material deberá ser tendido para proceder a la conformación del terraplén.



Fotografía 4.11 Colocación de material en área de relleno

El terraplén deberá realizarse por capas. Mediante el uso de un tractor se procede a tender el material para cada capa, dejando el material suelto.

Luego se debe apretar el material, no compactarlo, este proceso se realiza únicamente para que el éste sea lo suficientemente estable para soportar el paso del camión cisterna para hidratación. Una vez que el material ha sido hidratado, se debe esperar un tiempo prudencial, aproximadamente 2 horas, para que el agua penetre en el espesor del material. A continuación, un rodillo deberá pasar de 2 a 3 veces, para realizar el trabajo de compactación.

Este procedimiento se sigue para cada capa excepto la capa final. La última capa debe ser realizada de acuerdo a la secuencia anteriormente descrita, con la diferencia de que al momento de tender el material, el tractor deberá dejar la inclinación del bombeo, luego de la compactación, la motoniveladora procederá a dar el acabado necesario para que este bombeo sea el más exacto posible.

4.4 Grupos de maquinarias a utilizarse de acuerdo a la distancia de acarreo

Para los trabajos a ejecutarse en el presente proyecto, se agrupará la maquinaria de acuerdo a la distancia de acarreo entre canteras.

4.4.1 Grupo 1

Se utilizará para los casos en que haya canteras de compensación, en las cuales el volumen de corte y relleno es grande, o cuando la distancia es mayor a 120 (canteras no compensadas que necesitan material de préstamo). El equipo de trabajo estará conformado por:

Corte (producción de material) y transporte

Para los casos en que se necesite excavar roca suelta y fija:

- Excavadora: para excavar el material de las áreas donde se indique corte, la cual a su vez carga el material en los volquetes.
- Cargador frontal: para cargar en los volquetes el material apilado.
- Tractor: con el “*riper*” desgarrar el material. Luego, con la cuchilla, lo acumula o apila para su posterior transporte.
- Volquetes: para transporte del material al sitio donde será usado como relleno

Este grupo de equipos se emplea cuando se excava el material y se carga directamente en los volquetes, pero hay situaciones en que la configuración del terreno impide a los volquetes colocarse en un sitio estratégico para cargar directamente el material. En estos casos, el material se apila y luego, mediante el uso de un cargador frontal, se carga el material a los volquetes para su posterior transporte.

Para los casos en que se quiera excavar en roca fija, pero sin la necesidad de usar explosivos, si se da el caso de que la roca es extremadamente dura, se determinará la factibilidad de emplear explosivos. Una vez suelto el material, se procede a apilar y las acciones subsecuentes antes detalladas.

Para este proyecto se considerará que el material es roca suelta, por ende, se hará empleo de la opción 1.

Relleno

- Tractor: para tender el material sobre el sitio de relleno.
- Camión cisterna de agua: para humedecer el material para su correcta compactación.
- Rodillo: para apretar el material, antes del paso del camión cisterna de agua y luego de su paso, el rodillo cumple las funciones de compactación.
- Motoniveladora: para dar el acabado final a la superficie de subrasante, con su respectivo bombeo de diseño.

4.4.2 Grupo 2

Se empleará en los casos en que la distancia de acarreo sea menor a los 120 metros y que el volumen de corte y relleno sean pequeños. El equipo a utilizar será:

Corte (producción de material) y transporte:

- Tractor: con el “*riper*” desgarrar el material. Luego, con la cuchilla, lo acumula o apila para su posterior transporte.
- Cargador frontal: para cargar en los volquetes el material apilado.
- Volquetes: para transporte.

Relleno:

- Camión cisterna de agua: para humedecer el material para su correcta compactación.
- Tractor: para tender el material sobre el sitio de relleno.
- Rodillo: para apretar el material, antes del paso del camión cisterna de agua y luego de su paso, el rodillo cumple las funciones de compactación.

- Motoniveladora: para dar el acabado final a la superficie de subrasante, con su respectivo bombeo de diseño.

4.4.3 Grupo 3

Se utilizará cuando las distancias y volúmenes de corte y relleno en canteras de compensación sean pequeños y la distancia sea menor que 60 m. El equipo a utilizar será:

Corte (producción de material) y transporte:

- Tractor: corta el material y lo traslada hacia la zona de relleno

Relleno:

- Rodillo
- Camión cisterna de agua
- Motoniveladora

4.5 Rendimiento de equipos

4.5.1 Rendimiento individual de equipos

La producción o rendimiento de una máquina es el número de unidades de trabajo que realiza en la unidad de tiempo, generalmente una hora:

$$\text{Rendimiento} = \text{Unidades de trabajo} / \text{hora}$$

Para determinar el rendimiento es necesario además considerar dos factores importantes: tiempo de ciclo y factor de eficiencia. El rendimiento de un equipo puede ser expresado de la siguiente manera:

$$R = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Ciclo}} \times \frac{N^{\circ}\text{Ciclos}}{\text{Hora}} \times \text{Eficiencia}$$

A continuación se procederá a explicar los parámetros que intervienen en el rendimiento, así como también se determinará los rendimientos individuales para una excavadora, tractor, cargador frontal, volquetes y rodillo, para lo cual se escogerá un modelo en particular, ya que el rendimiento es función de su capacidad.

4.5.1.1 Tiempo de ciclo

Es el tiempo necesario que invierte una máquina en hacer el trabajo completo en un viaje de ida y vuelta.

En este tiempo de demora están incluidas todas las operaciones necesarias para realizar el trabajo correspondiente, por una vez, por ejemplo, en el caso del volquete carguío, acarreo, descarga y retorno al lugar original. Entonces, el ciclo es el tiempo invertido por la máquina en realizar todas estas operaciones completas cada vez.

Durante la ejecución de una obra, es fácil averiguar este tiempo de ciclo mediante observaciones prácticas, de las cuales se obtendrá los promedios respectivos. Pero cuando aún no se inicia una obra es necesario determinar este ciclo basándose en la capacidad de la máquina, requerimientos de potencia, limitaciones de obra, etc, a fin de idear el plan más adecuado para la utilización del equipo.

El “tiempo de ciclo” se compone de dos partes: tiempo fijo y tiempo variable.

- Tiempo fijo: es el que invierte una máquina en todas las operaciones del ciclo, que no sean acarreo y retorno. Estos tiempos de carga, descarga y maniobras son casi iguales para un mismo material en cualquier operación, aún cuando la distancia de acarreo varíe.
- Tiempo variable: es el que se necesita para el acarreo (viaje de ida y regreso) y es variable dependiente de la distancia hasta la zona de descarga, la pendiente del camino y la velocidad.

Es así como podemos considerar constante el tiempo fijo, asumiendo el mismo para todas las unidades iguales en trabajo, de esta manera, sólo nos resta calcular el tiempo variable para cada caso.

Además, se tiene como referencia para apreciación de rendimientos los “tiempos fijos promedios dados por los fabricantes, obtenidos en condiciones óptimas de planeamiento y desarrollo”. Sin embargo, el mejor sistema es calcular en obra los tiempos fijos que servirán para nuevos trabajos.

En definitiva, el tiempo total de un ciclo determinará el número de ciclos o viajes completos por hora, y éste número de operaciones completas por unidad de tiempo será el factor básico para el cálculo de la producción. Por consiguiente:

$$\frac{N^{\circ}Ciclos}{Hora} = \frac{60'}{TiempoCiclo}$$

Para cualquier tipo de máquina habrá estos dos factores de la producción que pueden ser estimados por varios sistemas y en ellos radica en definitiva el cálculo del rendimiento de los equipos. Debido a esto, es necesario tenerlos en cuenta porque son valores variables de los cuales están dependiendo en forma directa los costos unitarios de producción de los rubros de trabajo.

De esta manera, podemos obtener los máximos rendimientos acortando los tiempos de ciclo, para lo cual habrá que preocuparse de los sistemas de trabajo en cada caso y de usar y mantener los mejores caminos de acarreo.

4.5.1.2 Factor de eficiencia

Es necesario puntualizar que la “producción teórica” obtenida en la forma antes descrita, deberá ser corregida en todos los casos por “factores de eficiencia” relacionados a las condiciones verdaderas del trabajo, factores que constituyen un elemento complicado porque dependen a su vez del elemento humano (experiencia, dedicación, habilidad, control, entre otros), de las condiciones del trabajo (tiempo atmosférico, clase de material), de la clase de organización (disponibilidad de repuestos

y mantenimiento) que afectarán y los harán variar considerablemente en cada caso. En consecuencia, tendremos que obtener cada vez la producción más cercana en lo posible a la realidad, y el cual equivaldrá a:

$$\text{Producción efectiva} = \text{Producción teórica} * \text{factores de eficiencia}$$

Este factor de eficiencia se refiere al tiempo de trabajo, ya que en ninguna circunstancia se puede conseguir una eficiencia de trabajo de 60%/h y en consecuencia se acostumbra tomar ciertos tiempos de trabajo producto de la experiencia.

4.5.1.3 Cálculo del rendimiento

A continuación procederemos a determinar el rendimiento de los equipos que intervienen en la obra: excavadora, cargador frontal, tractor, volquetes, rodillo y motoniveladora. Dado que existe una inmensa gama de equipos, de variadas marcas, modelos y capacidades, para el presente análisis se ha tomado como referencia un modelo en particular para cada tipo de equipo, de la marca Caterpillar.

Cabe mencionar que los tiempos de ciclo de cada equipo son valores estimados, pues éste depende de varios factores tales como la configuración del terreno en cuanto a su topografía, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, eficiencias de los operadores, eficiencia de la maquinaria entre otros. Para determinar valores más aproximados se puede realizar una medición de tiempos en campo de los ciclos del equipo, una vez sometido a los factores antes mencionados.

Tabla 4.1 Rendimiento de equipos

Equipo	Unidad de producc..	Rendimiento por hora	Observaciones
Excavadora	m3	220	CAT 336DL
Tractor	m3	245	CAT D7G
Cargador Frontal	m3	140	CAT 962H
Volquete	m3	230	VOLVO 440 FMX
Rodillo	m3	420	CAT CS-533E

Fuente: *Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero*, 2012.

4.5.2 Rendimiento por grupo de maquinarias

Cuando los equipos de construcción para movimiento de tierras trabajan en conjunto, es necesario determinar un nuevo rendimiento, pues además de las características y limitaciones mencionadas anteriormente, cada equipo se ve supeditado a las acciones de los demás que conforman el grupo de trabajo.

Aquí es necesario redefinir el concepto de tiempo de ciclo como el tiempo necesario que invierte el grupo de máquinas en hacer el trabajo completo en un viaje de ida y vuelta.

Para cada caso en particular existe un rendimiento distinto, ya que la combinación de equipos difiere para cada obra.

Como referencia para el presente estudio se analizará el Grupo 1 de equipos. De cada grupo de maquinarias existe un “eje de grupo”, el cual se podría indicar como el más importante de todos los equipos, pues de no cumplir sus funciones, los demás equipos no pueden trabajar.

Para la ejecución de corte (producción de material) y transporte se requiere:

- Excavadora
- Cargador frontal
- Volquetes

De estos equipos, el eje de grupo es la excavadora, ya que si ésta no produce material, el cargador frontal y el volquete no pueden realizar ningún trabajo de acuerdo al análisis individual de rendimientos:

- 01 Excavadora: 220 m³/h
- 06 Volquetes: 230 m³/h
- 01 Cargador frontal: 140 m³/h
- 03 Volquetes: 141.01 m³/h

Entonces, serán necesarias 01 excavadora más 01 cargador frontal más 09 volquetes, para poder transportar el material producido en una hora y que éste no se acumule.

$$\text{Rendimiento grupal} = 361 \text{ m}^3/\text{h}$$

Relleno

- Tractor
- Rodillo
- Camión cisterna de agua
- Motoniveladora

De estos equipos, el eje de grupo es el tractor, ya que si éste no tiene el material, el rodillo no puede compactar, el cisterna de agua no puede hidratar la capa de material y no habrá superficie a la cual darle acabado con la motoniveladora.

De acuerdo al análisis individual de rendimientos:

- 01 Tractor: 245 m³/h. Si la capa es de 0.50 m se tiene 490 m²
- 01 Rodillo: 420 m³/h. Si la capa es de 0.50 m se tiene 840 m²
- 01 Cisterna de Agua: 900 m²/h
- 01 Motoniveladora: 790 m²/h

Por lo tanto, si el tractor tiene la capacidad de tender 490 m²/h, necesitaré aproximadamente una hora de trabajo del rodillo, media hora de la cisterna de agua y media hora de la motoniveladora para esta área. El rendimiento grupal será:

$$\text{Rendimiento grupal} = 245 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabla 4.2 Relación de equipos

Equipo	Marca.	Serie	Cantidad
Excavadora	CAT	336DL	2
Tractor	CAT	D6T	2
Tractor	CAT	D8T	1
Cargador frontal	CAT	962H	1
Rodillo	CAT	CS-533E	1
Volquete	-	-	12

Fuente propia

Capítulo 5

Presupuesto

En todo proyecto es importante realizar un diseño que además de funcional sea económico. Es por esto que el presupuesto es una parte fundamental, pues es aquí donde se estiman los precios que va a tener la obra. En construcciones viales, es de extrema importancia, ya que el costo de la maquinaria es elevado. Por lo general, el rubro más abultado de la construcción es el movimiento de tierras, aún si solamente se considera material de préstamo del sitio sin importación de material.

A continuación detallaremos los rubros que intervienen en la conformación de la plataforma (corte y relleno) y su respectivo análisis de precios unitarios.

5.1 Listado de actividades

Las actividades básicas para el movimiento de tierras de la vía son:

- Corte: incluye únicamente el corte del material excedente y su apilamiento para su posterior reubicación, además el transporte del material hacia una cantera de relleno.
- Relleno: comprende la colocación y compactación del material extraído de una cantera de préstamo.
- Transporte: se considerará este rubro en aquellos casos en que la distancia de acarreo de material sobrepase los 120 metros establecidos como acarreo libre en el presente proyecto.

5.2 Análisis de precios unitarios

Para evaluar los precios unitarios de las actividades, se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- Excavación: se refiere a los cortes de material. El equipo a utilizar será una excavadora, la cual excavará el material y lo dejará apilado para su transporte, para el cual serán necesarios los volquetes.
- Relleno: aquí se considerará la compactación del material obtenido de una cantera de corte de la misma vía. Para el relleno: tractor, cisterna de agua y rodillo.
- Transporte por sobreacarreo: se considerará un cargador frontal y volquetes, los cuales dejarán el material en los sitios de desalojo, sin necesidad de compactación o tratamiento alguno.

Los análisis de precios unitarios se encuentran en el anexo 4.1. En resumen, los costos calculados para el proyecto son:

Tabla 5.1 Costos de movimiento de tierras y transporte

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO S/.
MOVIMIENTO DE TIERRAS			
1	CORTE EN MATERIAL SUELTO	M3	5.94
2	CORTE EN ROCA SUELTA	M3	15.18
3	CORTE EN ROCA FIJA	M3	39.78
4	RELLENO CON MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE	M3	20.97
5	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO	M3	31.32
TRANSPORTE			
6	TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D =< 1 KM	M3K	5.07
7	TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D > 1 KM	M3K	1.45
8	TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D =< 1 KM	M3K	7.6
9	TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D > 1 KM	M3K	2.28

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

5.3 Presupuesto referencial

Para este caso, los costos serán determinados de la siguiente manera:

Tabla 5.2 Costos de movimiento de tierras para el proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	PU S/.	VOL. (M3)	PP S/.	OBSERV.
MOVIMIENTO DE TIERRAS						
1	CORTE EN MATERIAL SUELTO	M3	5.94		92,759.04	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 12, 15 Y 18
	CANTERA 12			4,484.00	26,634.96	
	CANTERA 15			7,481.00	44,437.14	
	CANTERA 18			3,651.00	21,686.94	
2	CORTE EN ROCA SUELTA	M3	15.18		549,849.96	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 6 Y 8
	CANTERA 6			28,834.00	437,700.12	
	CANTERA 8			7,388.00	112,149.84	
3	CORTE EN ROCA FIJA	M3	39.78		4,773,600.00	SE PRESENTA EN LA CANTERA TUNSHURUCO
	CANTERA TUNSHURUCO			120,000.00	4,773,600.00	
4	RELLENO CON MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE	M3	20.97		921,946.05	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 4 Y EN EL DMEE
	CANTERA 4			28,349.00	594,478.53	
	DMEE			4,484.00	94,029.48	
				7,481.00	156,876.57	
				3,651.00	76,561.47	
5	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO	M3	31.32		2,237,079.60	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 1
	CANTERA 1			106,680.00	2,237,079.60	
TOTAL EN COSTO					8,575,234.65	

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

Tabla 5.3 Costos de transporte de materiales para el proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN D	PU S/.	VOL. (M3)	DIST. (KM)	VOL. X DIST.(M3 K)	PP S/.	OBSERV.	
	TRANSPORTE								
6	TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D =< 1 KM	M3K	5.07			NO SE TIENE		NO SE TIENE	
7	TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D > 1 KM	M3K	1.45				37,447.13	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 12, 15 Y 18	
	CANTERA 12			4,484.00	1.85	8,305.49	12,042.96		
	CANTERA 15			7,481.00	1.63	12,230.99	17,734.93		
	CANTERA 18			3,651.00	1.45	5,289.13	7,669.24		
8	TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D =< 1 KM	M3K	7.6				124,002.15	SE PRESENTA EN LA CANTERA N° 6 Y 8	
	CANTERA 6			28,834.00	0.41	11,705.74	88,963.62		
	CANTERA 8			7,388.00	0.62	4,610.33	35,038.54		
9	TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D > 1 KM	M3K	2.28				1,912,208.64	SE PRESENTE EN TUNSHURUCO	
	CANTERA TUNSHURUCO			120,000.00	2.10	251,606.40	1,912,208.64		
	TOTAL EN COSTO							2,073,657.92	

Fuente: Construcción de la Obra Vial de un Proyecto Minero, 2012.

5.4 Análisis de horas máquina de los equipos empleados en el proyecto

Para este caso, se realizó el análisis de los siguientes escenarios:

5.4.1 Escenario obra

En este escenario se analizan los equipos que se tuvieron en el proyecto considerando las horas máquinas trabajadas y las horas máquinas en *stand by*, desde el 26/03/2012 al 09/04/2012, las tarifas de hora máquina son las que se acordaron en el contrato.

5.4.2 Escenario curva masa

En este escenario se analizan los equipos que se estimaron de acuerdo al análisis del diagrama de curva masa, considerando las horas máquinas trabajadas y las horas máquinas en *stand by* de los equipos que estuvieron en obra, desde el 26/03/2012 al 09/04/2012. Las tarifas de hora máquina son las que se acordaron en el contrato.

Tabla 5.4 Cuadro de horas trabajadas y stand by – Escenario obra

**PROYECTO: MOV. TIERRAS TOROMOCHO
CONTROL DE EQUIPOS
COSTO ESCENARIO OBRA**

Item	Equipo	Modelo	Código	Frente de Trabajo	DÍA 26/03/2012-09/04/2012			Costo S/.		Costo S/.	
					Horas Trabajadas	Horas stand by	Total Horas diarias	H-M		Total	
								Horas Trabajadas	Total Horas diarias	Horas Trabajadas	Total Horas diarias
1	Excavadora s/orugas	336 DL	01-310	Acceso34	73.50	20.00	93.50	397.00	200.03	S/. 29,179.50	S/. 4,000.60
2	Excavadora s/orugas	336 DL	01-312	Acceso34	80.10	22.70	102.80	481.32	259.60	S/. 38,553.73	S/. 5,892.92
3	Excavadora s/orugas	329 DL	01-313	Acceso34	13.20	60.80	74.00	637.79	359.05	S/. 8,418.83	S/. 21,830.24
4	Excavadora s/orugas	336 DL	01-36	Acceso34	22.80	51.90	74.70	637.79	359.05	S/. 14,541.61	S/. 18,634.70
5	Tractor sobre oruga 145 HP	D6T	03-614	Acceso34	81.90	21.30	103.20	317.11	181.84	S/. 25,971.31	S/. 3,873.19
6	Tractor sobre oruga 145 HP	D6T	03-615	Acceso34	69.40	16.60	86.00	317.11	181.84	S/. 22,007.43	S/. 3,018.54
7	Tractor sobre oruga 310 HP	D8T	03-83	Acceso34	72.40	22.20	94.60	618.15	328.09	S/. 44,754.06	S/. 7,283.60
8	Tractor sobre oruga 310 HP	D8T	03-85	Acceso34	5.50	64.40	69.90	618.15	328.09	S/. 3,399.83	S/. 21,129.00
9	Tractor Oruga	D8T	DZRP0014	Acceso34	9.40	62.50	71.90	618.15	328.09	S/. 5,810.61	S/. 20,505.63
10	Cargador frontal	962H	05-47	Acceso34	13.00	59.20	72.20	263.59	154.01	S/. 3,426.67	S/. 9,117.39
11	Rodillo Vibratorio	CS533E	06-612	Acceso34	14.50	65.30	79.80	187.33	121.13	S/. 2,716.29	S/. 7,909.79
12	Rodillo Vibratorio	CS533E	06-620	Acceso34	38.00	53.80	91.80	187.33	121.13	S/. 7,118.54	S/. 6,516.79
13	Volquete 15 m³ (Alquilado)		A1T -864	Acceso34	59.00	23.50	82.50	155.51	98.04	S/. 9,175.09	S/. 2,303.94
14	Volquete 15 m³ (Alquilado)		BC9-871	Acceso34	61.10	21.00	82.10	155.51	98.04	S/. 9,501.66	S/. 2,058.84
15	Volquete 15 m³ (Alquilado)	Scania	WGE-610	Acceso34	52.10	30.40	82.50	155.51	98.04	S/. 8,102.07	S/. 2,980.42
16	Volquete 15 m³ (Alquilado)		D3U-828	Acceso34	25.10	33.75	58.85	155.51	98.04	S/. 3,903.30	S/. 3,308.85
17	Volquete 15 m³		COD-837	Acceso34	8.00	41.50	49.50	155.51	98.04	S/. 1,244.08	S/. 4,068.66
18	Volquete 15 m³	Trakker	36-212	Acceso34	54.00	21.40	75.40	155.51	98.04	S/. 8,397.54	S/. 2,098.06
19	Volquete 15 m³	Trakker	36-214	Acceso34	38.00	25.50	63.50	155.51	98.04	S/. 5,909.38	S/. 2,500.02
20	Volquete 15 m³	Trakker	36-219	Acceso34	60.56	22.90	83.46	155.51	98.04	S/. 9,417.69	S/. 2,245.12
21	Volquete 15 m³	IVECO	36-221	Acceso34	8.50	37.40	45.90	155.51	98.04	S/. 1,321.84	S/. 3,666.70
22	Volquete 15 m³	Trakker	36-222	Acceso34	72.90	20.70	93.60	155.51	98.04	S/. 11,336.68	S/. 2,029.43

					DÍA 26/03/2012-09/04/2012			Costo S/.		Costo S/.	
					Total			H-M		Total	
Item	Equipo	Modelo	Código	Frente de Trabajo	Horas Trabajadas	Horas stand by	Total Horas diarias	Horas Trabajadas	Total Horas diarias	Horas Trabajadas	Total Horas diarias
23	Volquete 15 m³	IVECO	36-224	Acceso34	59.00	19.00	78.00	155.51	98.04	S/. 9,175.09	S/. 1,862.76
24	Volquete 15 m³	CA3256	36-228	Acceso34	22.50	33.00	55.50	155.51	98.04	S/. 3,498.98	S/. 3,235.32
25	Volquete 15 m³	GU813E	36-238	Acceso34	8.00	41.00	49.00	155.51	98.04	S/. 1,244.08	S/. 4,019.64
26	Volquete 15 m³	GU813E	36-250	Acceso34	9.00	40.50	49.50	155.51	98.04	S/. 1,399.59	S/. 3,970.62
27	Volquete 15 m³	IVECO	36-29	Acceso34	8.50	41.40	49.90	155.51	98.04	S/. 1,321.84	S/. 4,058.86
28	Volquete 15 m³	IVECO	C36-22	Acceso34	15.00	40.50	55.50	155.51	98.04	S/. 2,332.65	S/. 3,970.62
29	Volquete 15 m³	IVECO	C36-25	Acceso34	62.00	21.20	83.20	155.51	98.04	S/. 9,641.62	S/. 2,078.45
30	Volquete 15 m³	Trakker	C36-27	Acceso34	9.20	40.60	49.80	155.51	98.04	S/. 1,430.69	S/. 3,980.42
31	Volquete 15 m³	Trakker	C36-28	Acceso34	63.20	23.90	87.10	155.51	98.04	S/. 9,828.23	S/. 2,343.16
Fuente: propia										S/. 314,080.49	S/. 186,492.25
											S/. 500,572.74

Tabla 5.5 Cuadro de horas trabajadas y *stand by* – Escenario curva masa

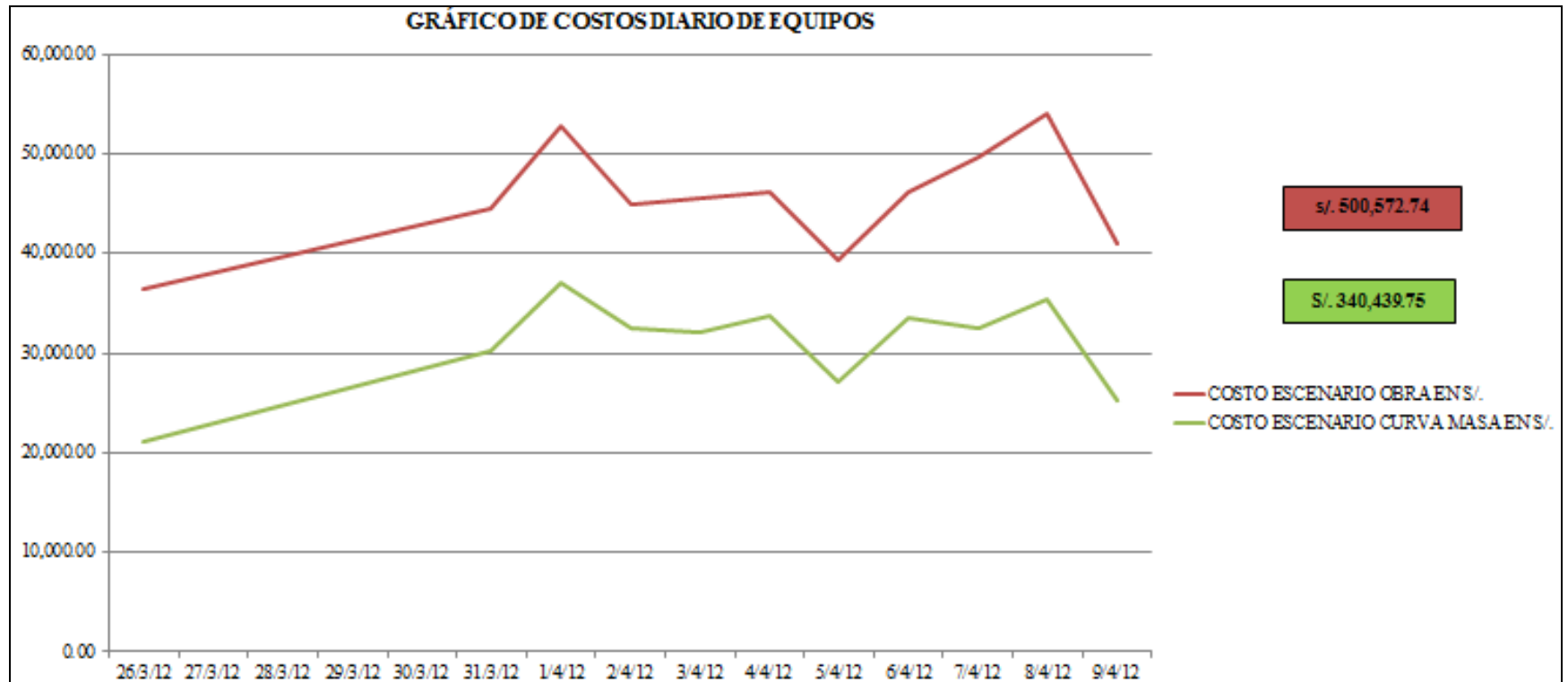
**PROYECTO: MOV. TIERRAS TOROMOCHO
CONTROL DE EQUIPOS
COSTO ESCENARIO CURVA MASA**

Item	Equipo	Modelo	Codigo	Frente de Trabajo	DÍA 26/03/2012-09/04/2012			Costo S/.		Costo S/.	
					Horas Trabajadas	Horas <i>stand by</i>	Total Horas diarias	H-M		Total	
								Horas Trabajadas	Total Horas diarias	Horas Trabajadas	Total Horas diarias
1	Excavadora s/orugas	336 DL	01-310	Acceso34	81.20	16.30	97.50	397.00	200.03	S/. 32,236.40	S/. 3,260.49
3	Excavadora s/orugas	336 DL	01-36	Acceso34	80.10	22.70	102.80	397.00	200.03	S/. 31,799.70	S/. 4,540.68
4	Tractor sobre oruga 145 HP	D6T	03-614	Acceso34	81.90	21.30	103.20	317.11	181.84	S/. 25,971.31	S/. 3,873.19
4	Tractor sobre oruga 145 HP	D6T	03-614	Acceso34	69.40	16.60	86.00	317.11	181.84	S/. 22,007.43	S/. 3,018.54
5	Tractor sobre oruga 310 HP	D8T	03-83	Acceso34	72.40	22.20	94.60	618.15	328.09	S/. 44,754.06	S/. 7,283.60
8	Cargador frontal	962H	05-47	Acceso34	13.00	59.20	72.20	263.59	154.01	S/. 3,426.67	S/. 9,117.39
10	Rodillo Vibratorio	CS533E	06-612	Acceso34	42.00	53.80	95.80	187.33	121.13	S/. 7,867.86	S/. 6,516.79
11	Volquete 15 m ³		COD-837	Acceso34	72.00	16.50	88.50	155.51	98.04	S/. 11,196.72	S/. 1,617.66
12	Volquete 15 m ³	Trakker	36-212	Acceso34	61.10	21.00	82.10	155.51	98.04	S/. 9,501.66	S/. 2,058.84
13	Volquete 15 m ³	Trakker	36-214	Acceso34	66.10	26.90	93.00	155.51	98.04	S/. 10,279.21	S/. 2,637.28
14	Volquete 15 m ³	Trakker	36-219	Acceso34	75.10	19.15	94.25	155.51	98.04	S/. 11,678.80	S/. 1,877.47
15	Volquete 15 m ³	IVECO	36-221	Acceso34	60.40	23.40	83.80	155.51	98.04	S/. 9,392.80	S/. 2,294.14
16	Volquete 15 m ³	Trakker	36-222	Acceso34	61.00	20.40	81.40	155.51	98.04	S/. 9,486.11	S/. 2,000.02
17	Volquete 15 m ³	IVECO	36-224	Acceso34	52.00	19.80	71.80	155.51	98.04	S/. 8,086.52	S/. 1,941.19
18	Volquete 15 m ³	CA3256	36-228	Acceso34	60.56	22.90	83.46	155.51	98.04	S/. 9,417.69	S/. 2,245.12
19	Volquete 15 m ³	GU813E	36-238	Acceso34	25.00	30.90	55.90	155.51	98.04	S/. 3,887.75	S/. 3,029.44
20	Volquete 15 m ³	GU813E	36-250	Acceso34	72.90	20.70	93.60	155.51	98.04	S/. 11,336.68	S/. 2,029.43
21	Volquete 15 m ³	IVECO	36-29	Acceso34	59.00	19.00	78.00	155.51	98.04	S/. 9,175.09	S/. 1,862.76
22	Volquete 15 m ³	IVECO	C36-22	Acceso34	30.50	30.50	61.00	155.51	98.04	S/. 4,743.06	S/. 2,990.22
Fuente: propia										S/. 276,245.52	S/. 64,194.24
											S/. 340,439.76

Tabla 5.6 Escenario Obra vs escenario curva masa

RESUMEN	DIAS											TOTAL
	26/3/12	31/3/12	1/4/12	2/4/12	3/4/12	4/4/12	5/4/12	6/4/12	7/4/12	8/4/12	9/4/12	
COSTO ESCENARIO OBRA EN S/.	36,465.38	44,558.78	52,849.28	45,026.05	45,460.48	46,086.53	39,435.60	46,075.47	49,757.45	53,960.84	40,896.90	500,572.74
COSTO ESCENARIO CURVA MASA EN S/.	21,046.71	30,141.16	37,009.83	32,544.55	32,148.19	33,696.69	27,195.23	33,571.62	32,507.91	35,391.31	25,186.55	340,439.76

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Conclusiones

1. A partir del diagrama de curva masas, se realizó un análisis del equipo necesario para optimizar su uso en la construcción de un proyecto vial, ya que al no planificar correctamente, el contratista podría alquilar mayoritariamente equipos adecuados para relleno, cuando lo predominante son los cortes de material. Esto lleva a una paralización de la maquinaria y dado su elevado costo-horario, se refleja en una pérdida económica para el contratista, además del retraso en la entrega de los trabajos.
2. El diagrama de curva masas nos permite evaluar en forma certera los volúmenes a mover y en base a él, también es posible determinar la maquinaria más adecuada para los trabajos, de acuerdo a los grupos de maquinarias establecidos y en función de su rendimiento estándar determinamos un costo unitario.
3. El factor de esponjamiento es determinante al momento de calcular movimientos de tierras en la fase previa a la ejecución, pues si no se considera al elaborar el presupuesto, se estará omitiendo la necesidad de mayor cantidad de equipos, tal como volquetes, y al momento de la construcción, se reflejará la pérdida de dinero por el hecho de no haber ofertado incluyendo la variación volumétrica del material. Cabe recalcar que el esponjamiento compensa su costo en el análisis de precios unitarios y rendimiento de equipos y nunca debe considerarse como un volumen de obra adicional.

Recomendaciones

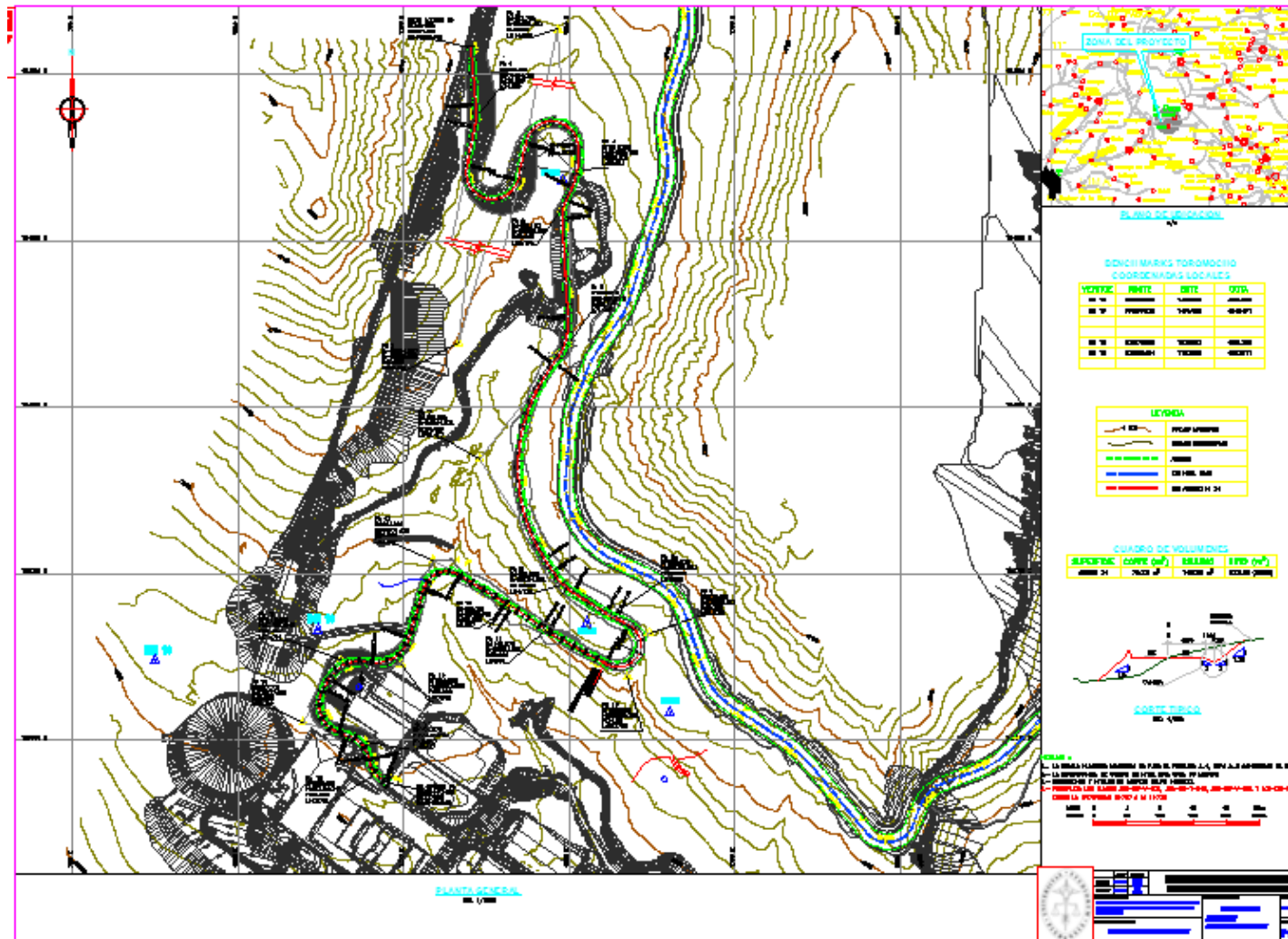
1. Para cualquier proyecto vial, previa ejecución de los trabajos, se recomienda definir todos los parámetros mencionados: proyecto horizontal, vertical, cálculo de áreas y volúmenes y lo más importante para el movimiento de tierras: el diagrama de curva masas.
2. Para determinar el factor de esponjamiento, se debe realizar una prueba de laboratorio para tener un valor real de este fenómeno que ocurre en el suelo. Con este factor se puede calcular el diagrama de masas. Aún así, se recomienda efectuar una prueba de reducción en campo, haciendo un muestreo, pues si el coeficiente de reducción excede del 30%, el material deberá ser desalojado y no podrá ser utilizado como relleno.
3. El ingeniero encargado del diseño de movimiento de tierras y su posterior construcción deberá tener experiencia, porque de no ser así podría cometer los errores y provocar una pérdida económica considerable.

Bibliografía

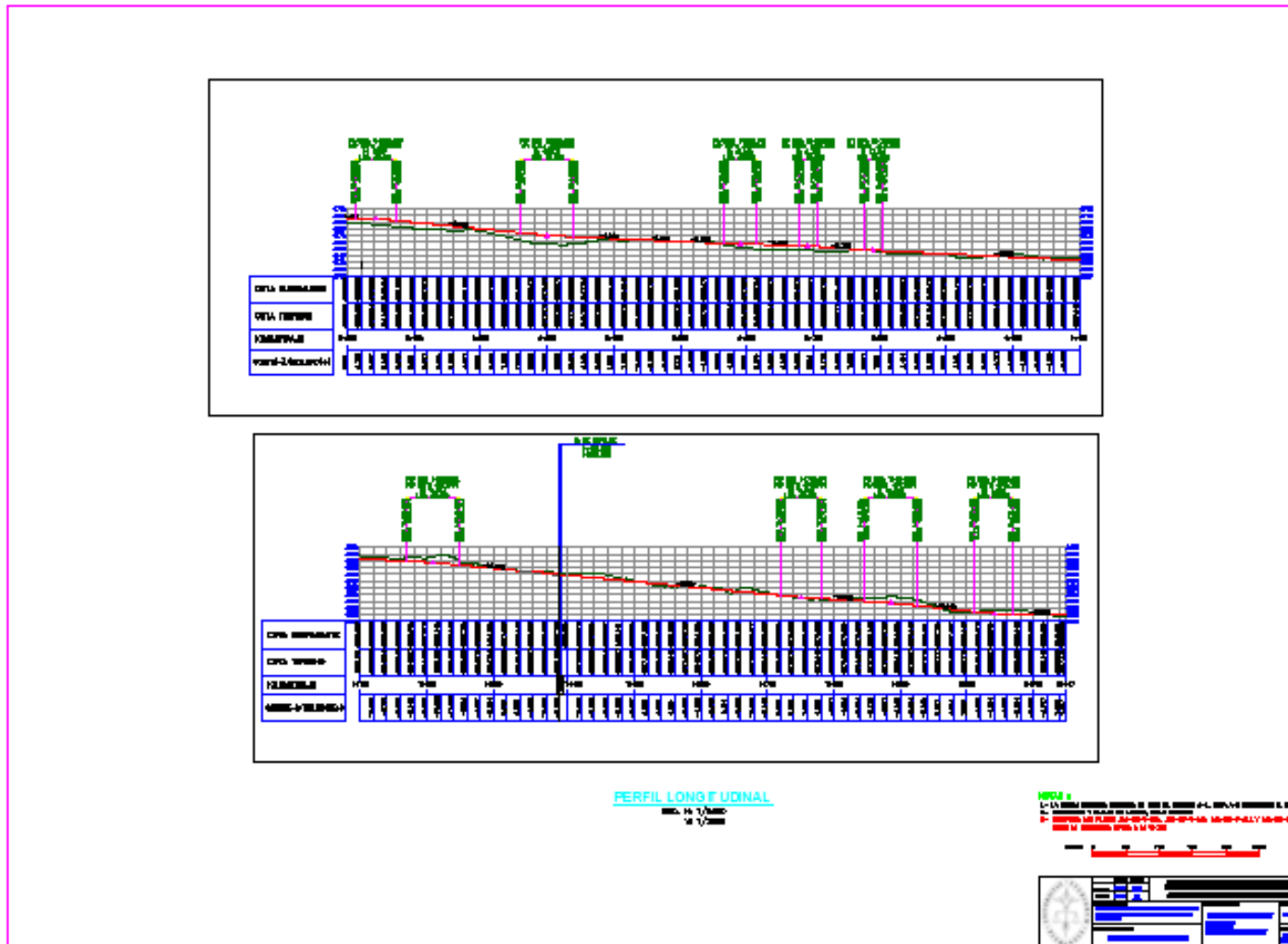
1. Robert L. Peurifoy, Clifford J Schexnayder and Aviad Shapira (2011). *Construction Planning, Equipment and Methods*. 8th Edition-InVENTORY.
2. Braja M. Das (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 1era Edición-Thomson Editores.
3. Caterpillar (2000). *Manual de Rendimiento*. 31ava Edición editada por Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, EE.UU.
4. Cherné Tarilonte Juan, González Aguilar Andrés. *Construcciones Industriales, Movimiento de tierras*. En línea Internet. 15 de octubre de 2010. Accesible en <http://www.scribd.com/doc/16562299/Movimiento-de-Tierras>
5. Esteve Pardal Rafael M.G., Esteve González Rafael. *Conceptos Generales sobre Movimiento de tierras*. En línea Internet. 15 de octubre de 2010. Accesible en http://www.dolmenintranet.es/gestion/files/files_cursos/11_1_4_movimiento%20de%20tierras-calculo.pdf
6. Zapata Edgard. *Conceptos Básicos sobre Movimiento de tierras*. 15 de octubre de 2010. Accesible en <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/CIV-CLASE%205.pdf>

ANEXOS

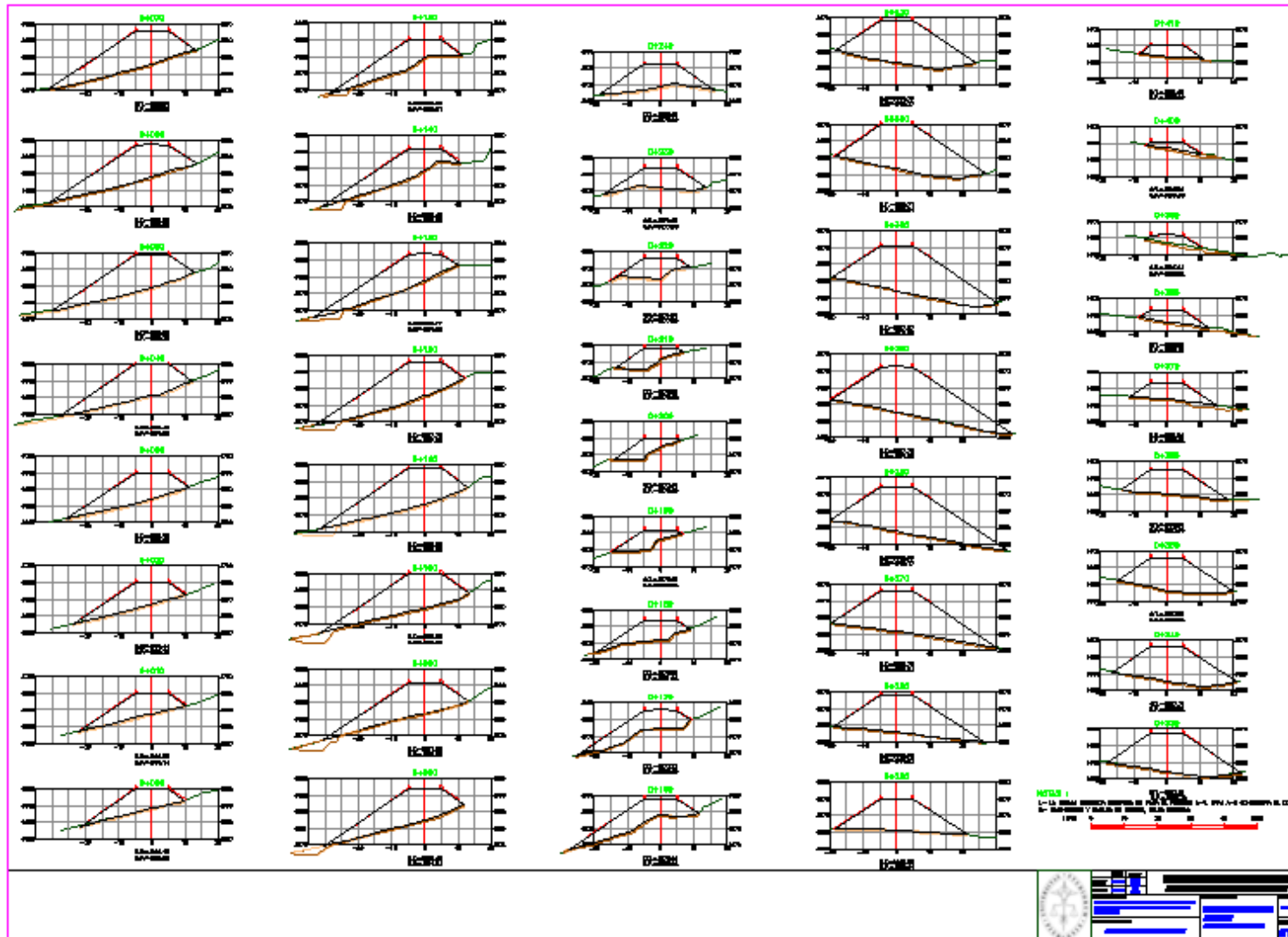
1.2. Plano de planta del proyecto

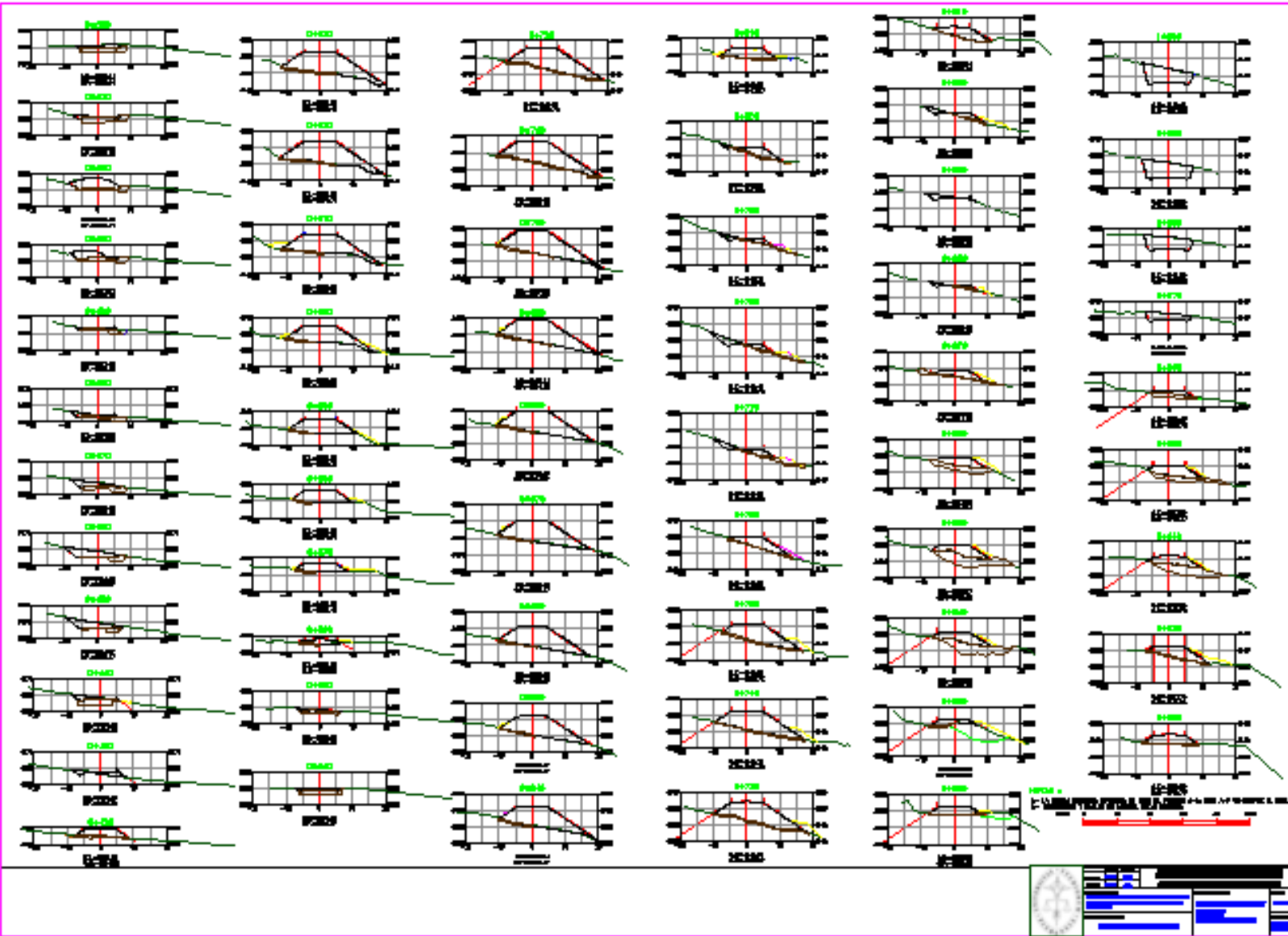


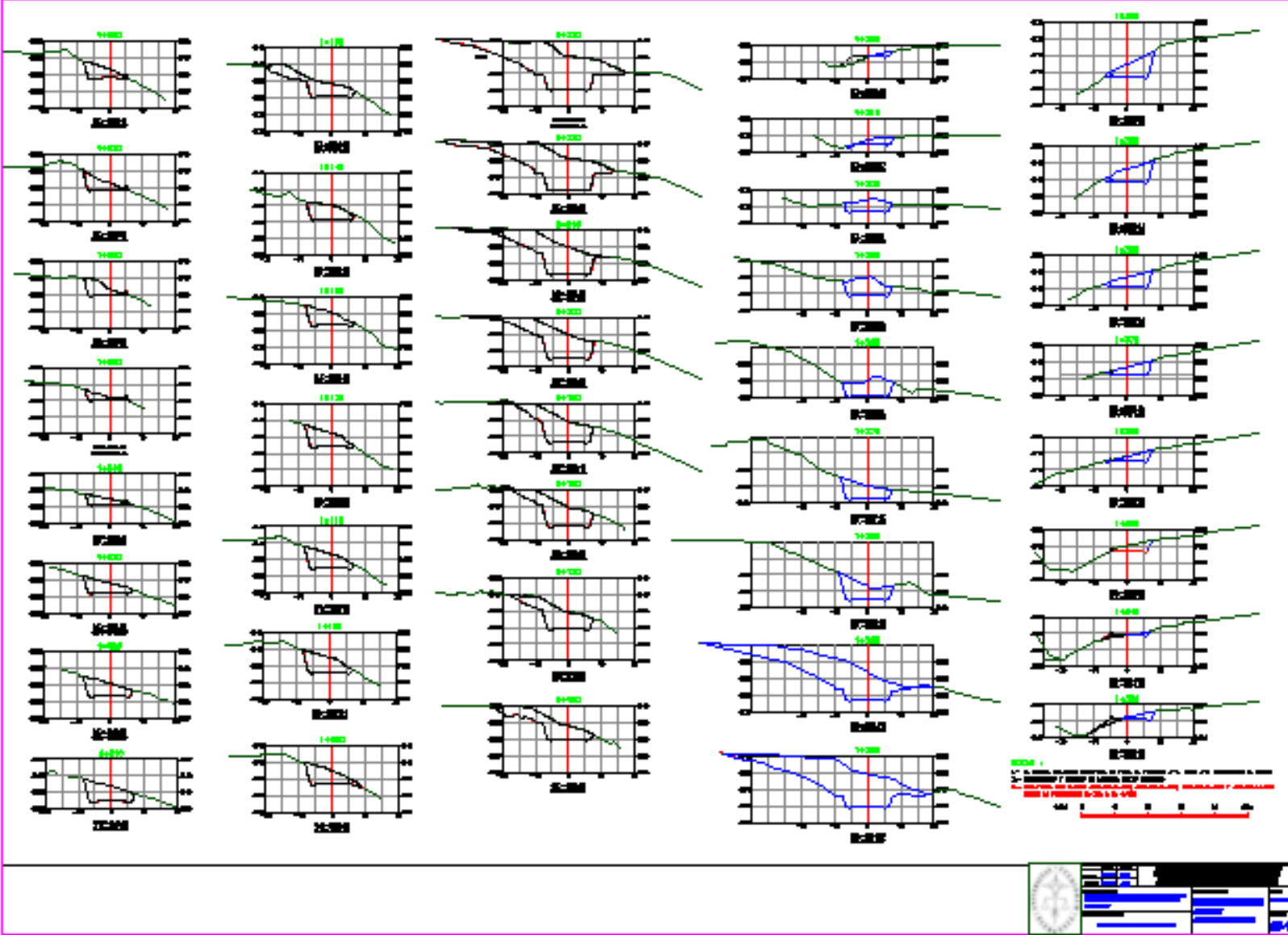
1.3. Plano de perfil longitudinal del proyecto



1.4. Plano de secciones transversales







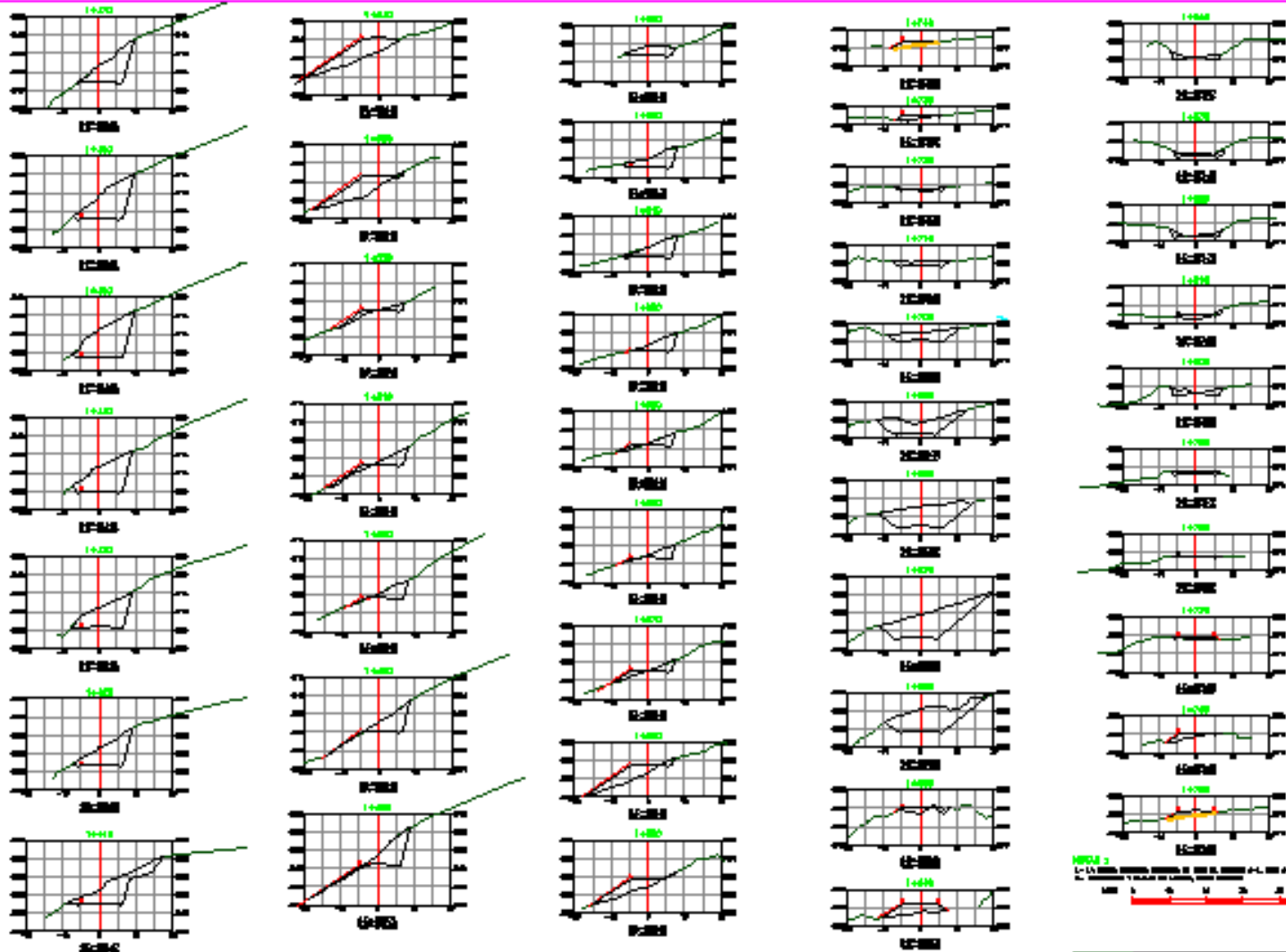
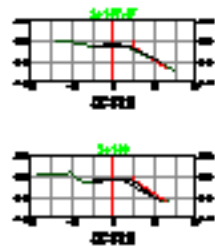
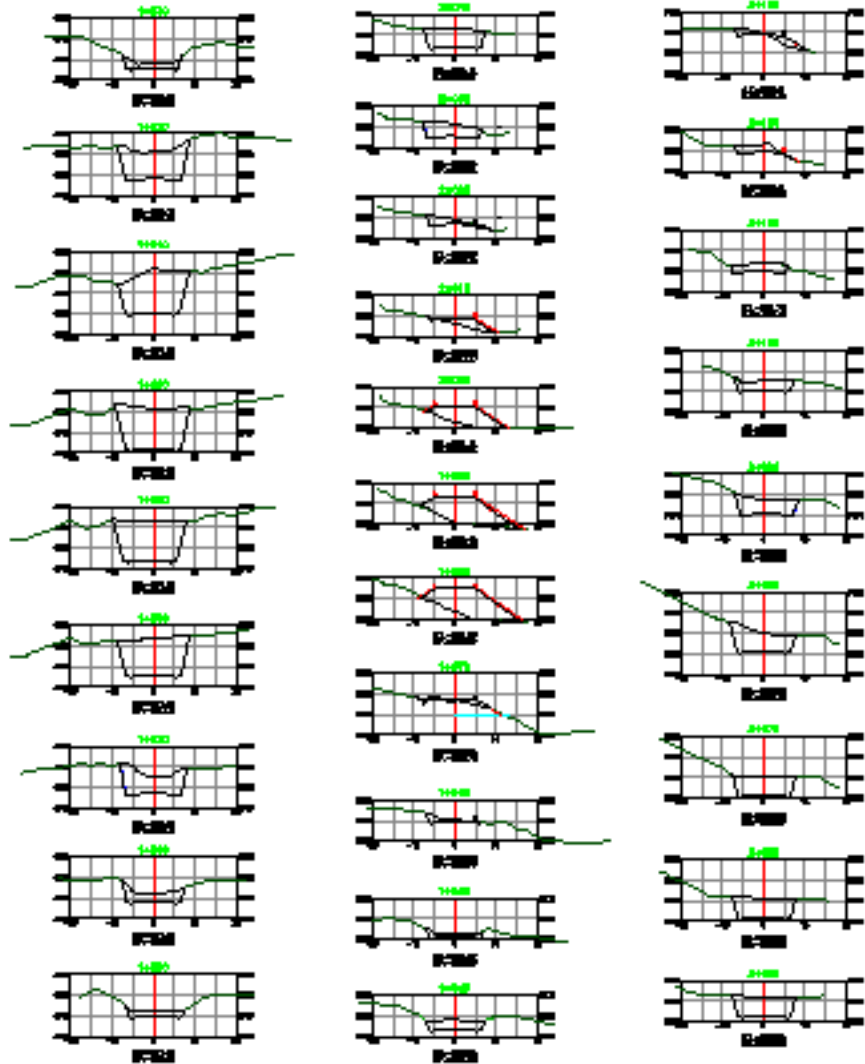


FIGURA 3
 C-1A DAMA DE CONCRETO DE GRADELAÇÃO DO TUPACATI, SÃO PAULO, SP, BRASIL
 1:1000

	Nome do Projeto:	Nome do Autor:
	Data:	Escala:
Descrição do Projeto:		Assinatura:
Observações:		Data:



	No. _____ Date _____ Page _____
	Name _____ Roll No. _____ Section _____ Branch _____ Institute _____ City _____

ANEXO II

2.1. Cálculo de ordenadas del diagrama de masas

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundancia de los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundancia los Cortes) (12)			
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte							
														83.51 %	11.56 %	4.93 %					133,564.75	0.90	0.90				
			65,809.57	119,737.90			1,649.70	13,826.85	65,035.47					54,310.52	7,519.26	3,205.70	1.10	1.30	1.40	74,004.57	133,564.75	148,405.27	-83,369.81	#####			
0+000	0.00	126.64	0.00	0.00	0.00	16.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+010	0.00	140.73	0.00	1,336.85	0.00	16.68	0.00	164.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,501.40	1,668.22	1,668.22	-	-1,668.22		
0+020	0.00	155.49	0.00	1,481.10	0.00	17.42	0.00	170.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,651.60	1,835.11	1,835.11	-	-3,503.33		
0+030	0.00	195.32	0.00	1,754.05	0.00	19.05	0.00	182.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,936.40	2,151.56	2,151.56	-	-5,654.89		
0+040	0.00	244.70	0.00	2,200.10	0.00	26.51	0.00	227.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,427.90	2,697.67	2,697.67	-	-8,352.56		
0+050	0.00	269.03	0.00	2,568.65	0.00	24.40	0.00	254.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,823.20	3,136.89	3,136.89	-	-11,489.44		
0+060	0.00	276.17	0.00	2,726.00	0.00	26.00	0.00	252.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,978.00	3,308.89	3,308.89	-	-14,798.33		
0+070	0.00	277.64	0.00	2,769.05	0.00	20.48	0.00	232.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,001.45	3,334.94	3,334.94	-	-18,133.28		
0+080	0.00	254.69	0.00	2,661.65	0.00	36.84	0.00	286.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,948.25	3,275.83	3,275.83	-	-21,409.11		

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
0+090	0.00	252.04	0.00	2,533.65	0.00	42.68	0.00	397.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,931.25	3,256.94	-3,256.94	-24,666.06
0+100	0.00	285.59	0.00	2,688.15	0.00	47.00	0.00	448.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,136.55	3,485.06	-3,485.06	-28,151.11
0+110	0.00	308.36	0.00	2,969.75	0.00	37.70	0.00	423.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,393.25	3,770.28	-3,770.28	-31,921.39
0+120	0.00	305.86	0.00	3,071.10	0.00	35.87	0.00	367.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,438.95	3,821.06	-3,821.06	-35,742.44
0+130	0.00	246.71	0.00	2,762.85	0.00	33.55	0.00	347.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,109.95	3,455.50	-3,455.50	-39,197.94
0+140	0.00	196.17	0.00	2,214.40	0.00	30.88	0.00	322.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,536.55	2,818.39	-2,818.39	-42,016.33
0+150	0.00	178.82	0.00	1,874.95	0.00	24.99	0.00	279.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,154.30	2,393.67	-2,393.67	-44,410.00
0+160	0.00	166.19	0.00	1,725.05	0.00	20.70	0.00	228.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,953.50	2,170.56	-2,170.56	-46,580.56
0+170	0.00	147.32	0.00	1,567.55	0.00	16.94	0.00	188.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,755.75	1,950.83	-1,950.83	-48,531.39
0+180	0.00	104.02	0.00	1,256.70	0.00	13.90	0.00	154.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,410.90	1,567.67	-1,567.67	-50,099.06
0+190	0.00	64.25	0.00	841.35	0.00	10.35	0.00	121.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	962.60	1,069.56	-1,069.56	-51,168.61
0+200	0.00	55.23	0.00	597.40	0.00	10.20	0.00	102.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	700.15	777.94	-777.94	-51,946.56
0+210	0.00	63.04	0.00	591.35	0.00	10.08	0.00	101.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	692.75	769.72	-769.72	-52,716.28
0+220	0.00	81.36	0.00	722.00	0.00	12.63	0.00	113.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	835.55	928.39	-928.39	-53,644.67

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundancia de los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundancia los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
0+350	0.00	213.83	0.00	2,341.50	0.00	15.74	0.00	163.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,504.80	2,783.11	-	-99,953.56	
0+360	0.00	148.29	0.00	1,810.60	0.00	19.09	0.00	174.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,984.75	2,205.28	-	102,158.83	
0+370	0.00	92.07	0.00	1,201.80	0.00	21.66	0.00	203.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,405.55	1,561.72	-	103,720.56	
0+380	0.00	52.97	0.00	725.20	0.00	19.15	0.00	204.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	929.25	1,032.50	-	104,753.06	
0+390	0.00	31.56	0.00	422.65	0.00	18.07	0.00	186.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	608.75	676.39	-676.39	105,429.44	
0+400	0.00	26.68	0.00	291.20	0.00	14.80	0.00	164.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	455.55	506.17	-506.17	105,935.61	
0+410	0.00	46.60	0.00	366.40	0.00	9.76	0.00	122.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	489.20	543.56	-543.56	106,479.17	
0+420	0.00	25.29	0.00	359.45	0.00	9.04	0.00	94.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	453.45	503.83	-503.83	106,983.00	
0+430	2.82	9.68	14.10	174.85	0.00	0.00	0.00	45.20	14.10	0.10	0.00	0.90	1.00	1.41	0.00	12.69	1.55	0.00	17.77	19.32	220.05	244.50	-230.40	107,213.40
0+440	9.31	0.60	60.65	51.40	19.00	0.00	95.00	0.00	60.65	0.10	0.00	0.90	1.00	6.07	0.00	54.59	6.67	0.00	76.42	83.09	51.40	57.11	3.54	107,209.86
0+450	23.17	0.00	162.40	3.00	8.60	0.00	138.00	0.00	24.40	0.10	0.00	0.90	1.00	2.44	0.00	21.96	2.68	0.00	30.74	33.43	3.00	3.33	21.07	107,188.79
0+460	24.42	0.00	237.95	0.00	10.87	0.00	97.35	0.00	140.60	0.10	0.00	0.90	1.00	14.06	0.00	126.54	15.47	0.00	177.16	192.62	0.00	0.00	140.60	107,048.19
0+470	16.70	0.00	205.60	0.00	12.47	0.00	116.70	0.00	88.90	0.10	0.00	0.90	1.00	8.89	0.00	80.01	9.78	0.00	112.01	121.79	0.00	0.00	88.90	106,959.2

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
0+600	0.00	85.77	0.00	747.00	0.00	3.62	0.00	31.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	778.95	865.50	-865.50	-	
0+610	0.00	105.34	0.00	955.55	0.00	5.68	0.00	46.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,002.05	1,113.39	-	-	
0+620	0.00	124.96	0.00	1,151.50	0.00	7.71	0.00	66.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,218.45	1,353.83	-	-	
0+630	0.00	126.67	0.00	1,258.15	0.00	7.40	0.00	75.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,333.70	1,481.89	-	-	
0+640	0.00	110.34	0.00	1,185.05	0.00	4.63	0.00	60.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,245.20	1,383.56	-	-	
0+650	0.00	102.70	0.00	1,065.20	0.00	4.96	0.00	47.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,113.15	1,236.83	-	-	
0+660	0.00	108.40	0.00	1,055.50	0.00	5.33	0.00	51.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,106.95	1,229.94	-	-	
0+670	0.00	117.76	0.00	1,130.80	0.00	4.88	0.00	51.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,181.85	1,313.17	-	-	
0+680	0.00	122.94	0.00	1,203.50	0.00	5.37	0.00	51.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,254.75	1,394.17	-	-	
0+690	0.00	129.81	0.00	1,263.75	0.00	7.54	0.00	64.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,328.30	1,475.89	-	-	
0+700	0.00	130.04	0.00	1,299.25	0.00	7.78	0.00	76.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,375.85	1,528.72	-	-	
0+710	0.00	123.46	0.00	1,267.50	0.00	14.34	0.00	110.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,378.10	1,531.22	-	-	
0+720	0.00	117.32	0.00	1,203.90	0.00	13.52	0.00	139.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,343.20	1,492.44	-	-	

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)		
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte						
																									4	8
0+730	0.00	106.55	0.00	1,119.35	0.00	13.19	0.00	133.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,252.90	1,392.11	1,392.11	-	126,702.19	
0+740	0.00	104.67	0.00	1,056.10	0.00	12.42	0.00	128.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,184.15	1,315.72	1,315.72	-	128,017.91	
0+750	0.00	79.27	0.00	919.70	0.00	11.08	0.00	117.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,037.20	1,152.44	1,152.44	-	129,170.36	
0+760	0.00	37.42	0.00	583.45	0.00	9.02	0.00	100.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	683.95	759.94	-759.94	-	129,930.30	
0+770	7.11	12.08	35.55	247.50	0.00	12.02	0.00	105.20	35.55	0.10	0.00	0.90	1.00	3.56	0.00	32.00	3.91	0.00	44.79	48.70	352.70	391.89	-356.34	-	130,286.64	
0+780	13.68	6.27	103.95	91.75	0.00	8.55	0.00	102.85	103.95	0.10	0.00	0.90	1.00	10.40	0.00	93.56	11.43	0.00	130.98	142.41	194.60	216.22	-112.27	-	130,398.91	
0+790	5.23	6.10	94.55	61.85	0.00	8.12	0.00	83.35	94.55	0.10	0.00	0.90	1.00	9.46	0.00	85.10	10.40	0.00	119.13	129.53	145.20	161.33	-66.78	-	130,465.69	
0+800	1.60	23.77	34.15	149.35	0.00	7.63	0.00	78.75	34.15	0.10	0.00	0.90	1.00	3.42	0.00	30.74	3.76	0.00	43.03	46.79	228.10	253.44	-219.29	-	130,684.99	
0+810	0.00	35.30	8.00	295.35	0.00	7.51	0.00	75.70	8.00	0.10	0.00	0.90	1.00	0.80	0.00	7.20	0.88	0.00	10.08	10.96	371.05	412.28	-404.28	-	131,089.27	
0+820	0.00	30.68	0.00	329.90	0.00	4.97	0.00	62.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	392.30	435.89	-435.89	-	131,525.16	
0+830	0.00	15.91	0.00	232.95	0.00	2.44	0.00	37.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00	300.00	-300.00	-	131,825.16	
0+840	0.00	35.06	0.00	254.85	0.00	51.93	0.00	271.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	526.70	585.22	-585.22	-	132,410.38	

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundancia de los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundancia los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
0+850	0.00	35.00	0.00	350.30	0.00	58.91	0.00	554.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	904.50	1,005.00	-	133,415.38
0+860	0.00	28.61	0.00	318.05	0.00	27.00	0.00	429.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	747.60	830.67	-830.67	134,246.04
0+870	0.00	19.33	0.00	239.70	0.00	15.16	0.00	210.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.50	500.56	-500.56	134,746.60
0+880	3.27	3.58	16.35	114.55	0.00	2.13	0.00	86.45	16.35	0.50	0.50	0.00	1.00	8.18	8.18	0.00	8.99	10.63	0.00	19.62	201.00	223.33	-206.98	134,953.58
0+890	9.11	0.95	61.90	22.65	0.00	0.00	0.00	10.65	61.90	0.50	0.50	0.00	1.00	30.95	30.95	0.00	34.05	40.24	0.00	74.28	33.30	37.00	24.90	134,928.68
0+900	5.44	10.22	72.75	55.85	0.00	3.55	0.00	17.75	72.75	0.50	0.50	0.00	1.00	36.38	36.38	0.00	40.01	47.29	0.00	87.30	73.60	81.78	-9.03	134,937.71
0+910	0.00	37.46	27.20	238.40	0.00	5.35	0.00	44.50	27.20	0.50	0.50	0.00	1.00	13.60	13.60	0.00	14.96	17.68	0.00	32.64	282.90	314.33	-287.13	135,224.84
0+920	0.00	33.04	0.00	352.50	0.00	5.00	0.00	51.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	404.25	449.17	-449.17	135,674.01
0+930	0.00	42.40	0.00	377.20	0.00	5.90	0.00	54.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	431.70	479.67	-479.67	136,153.68
0+940	0.00	29.80	0.00	361.00	0.00	44.54	0.00	252.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	613.20	681.33	-681.33	136,835.01
0+950		38.85	0.00	343.25	0.00	22.83	0.00	336.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	680.10	755.67	-755.67	137,590.68
0+960	0.00	10.70	0.00	247.75	0.00	12.42	0.00	176.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	424.00	471.11	-471.11	138,061.79
0+970	27.49	0.00	137.45	53.50	0.00	0.00	0.00	62.10	137.45	0.00	0.10	0.90	1.00	0.00	13.75	123.71	0.00	17.87	173.19	191.06	115.60	128.44	9.01	138,052.7

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
1+100	61.85	0.00	594.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	594.60	0.40	0.30	0.30	1.00	237.84	178.38	178.38	261.62	231.89	249.73	743.25	0.00	0.00	594.60	-132,328.07
1+110	59.76	0.00	608.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	608.05	0.90	0.10	0.00	1.00	547.25	60.81	0.00	601.97	79.05	0.00	681.02	0.00	0.00	608.05	-131,720.02
1+120	55.80	0.00	577.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	577.80	0.90	0.10	0.00	1.00	520.02	57.78	0.00	572.02	75.11	0.00	647.14	0.00	0.00	577.80	-131,142.22
1+130	50.09	0.00	529.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	529.45	0.90	0.10	0.00	1.00	476.51	52.95	0.00	524.16	68.83	0.00	592.98	0.00	0.00	529.45	-130,612.77
1+140	52.96	0.00	515.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	515.25	0.90	0.10	0.00	1.00	463.73	51.53	0.00	510.10	66.98	0.00	577.08	0.00	0.00	515.25	-130,097.52
1+150	81.78	0.00	673.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	673.70	0.90	0.10	0.00	1.00	606.33	67.37	0.00	666.96	87.58	0.00	754.54	0.00	0.00	673.70	-129,423.82
1+160	100.00	0.00	908.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	908.90	0.90	0.10	0.00	1.00	818.01	90.89	0.00	899.81	118.16	0.00	1,017.97	0.00	0.00	908.90	-128,514.92
1+170	102.80	0.00	1,014.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,014.00	0.90	0.10	0.00	1.00	912.60	101.40	0.00	1,003.86	131.82	0.00	1,135.68	0.00	0.00	1,014.00	-127,500.92
1+180	115.90	0.00	1,093.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,093.50	0.90	0.10	0.00	1.00	984.15	109.35	0.00	1,082.57	142.16	0.00	1,224.72	0.00	0.00	1,093.50	-126,407.42
1+190	124.74	0.00	1,203.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,203.20	0.90	0.10	0.00	1.00	1,082.88	120.32	0.00	1,191.17	156.42	0.00	1,347.58	0.00	0.00	1,203.20	-125,204.22
1+200	153.73	0.00	1,392.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,392.35	0.90	0.10	0.00	1.00	1,253.12	139.24	0.00	1,378.43	181.01	0.00	1,559.43	0.00	0.00	1,392.35	-123,811.87
1+210	186.86	0.00	1,702.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,702.95	0.90	0.10	0.00	1.00	1,532.66	170.30	0.00	1,685.92	221.38	0.00	1,907.30	0.00	0.00	1,702.95	-122,108.92
1+220	266.99	0.00	2,269.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,269.25	0.90	0.10	0.00	1.00	2,042.33	226.93	0.00	2,246.56	295.00	0.00	2,541.56	0.00	0.00	2,269.25	-119,839.6

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
1+350	0.68	19.84	22.65	112.60	0.00	0.00	0.00	0.00	22.65	0.90	0.10	0.00	1.00	20.39	2.27	0.00	22.42	2.94	0.00	25.37	112.60	125.11	-102.46	105,720.51
1+360	0.34	20.46	5.10	201.50	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.90	0.10	0.00	1.00	4.59	0.51	0.00	5.05	0.66	0.00	5.71	201.50	223.89	-218.79	105,939.30
1+370	0.14	26.08	2.40	232.70	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.90	0.10	0.00	1.00	2.16	0.24	0.00	2.38	0.31	0.00	2.69	232.70	258.56	-256.16	106,195.46
1+380	40.55	0.00	203.45	130.40	0.00	0.00	0.00	0.00	203.45	0.90	0.10	0.00	1.00	183.11	20.35	0.00	201.42	26.45	0.00	227.86	130.40	144.89	58.56	106,136.89
1+390	50.31	0.00	454.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	454.30	0.90	0.10	0.00	1.00	408.87	45.43	0.00	449.76	59.06	0.00	508.82	0.00	0.00	454.30	105,682.59
1+400	53.49	0.00	519.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	519.00	0.90	0.10	0.00	1.00	467.10	51.90	0.00	513.81	67.47	0.00	581.28	0.00	0.00	519.00	105,163.59
1+410	86.19	0.00	698.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	698.40	0.90	0.10	0.00	1.00	628.56	69.84	0.00	691.42	90.79	0.00	782.21	0.00	0.00	698.40	104,465.19
1+420	74.07	0.00	801.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	801.30	0.90	0.10	0.00	1.00	721.17	80.13	0.00	793.29	104.17	0.00	897.46	0.00	0.00	801.30	103,663.89
1+430	77.49	0.00	757.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	757.80	0.90	0.10	0.00	1.00	682.02	75.78	0.00	750.22	98.51	0.00	848.74	0.00	0.00	757.80	102,906.09
1+440	96.29	0.00	868.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	868.90	0.90	0.10	0.00	1.00	782.01	86.89	0.00	860.21	112.96	0.00	973.17	0.00	0.00	868.90	102,037.19
1+450	105.68	0.00	1,009.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,009.85	0.90	0.10	0.00	1.00	908.87	100.99	0.00	999.75	131.28	0.00	1,131.03	0.00	0.00	1,009.85	101,027.34
1+460	93.52	0.00	996.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	996.00	0.90	0.10	0.00	1.00	896.40	99.60	0.00	986.04	129.48	0.00	1,115.52	0.00	0.00	996.00	100,031.34
1+470	71.07	0.00	822.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	822.95	0.90	0.10	0.00	1.00	740.66	82.30	0.00	814.72	106.98	0.00	921.70	0.00	0.00	822.95	-99,208.39

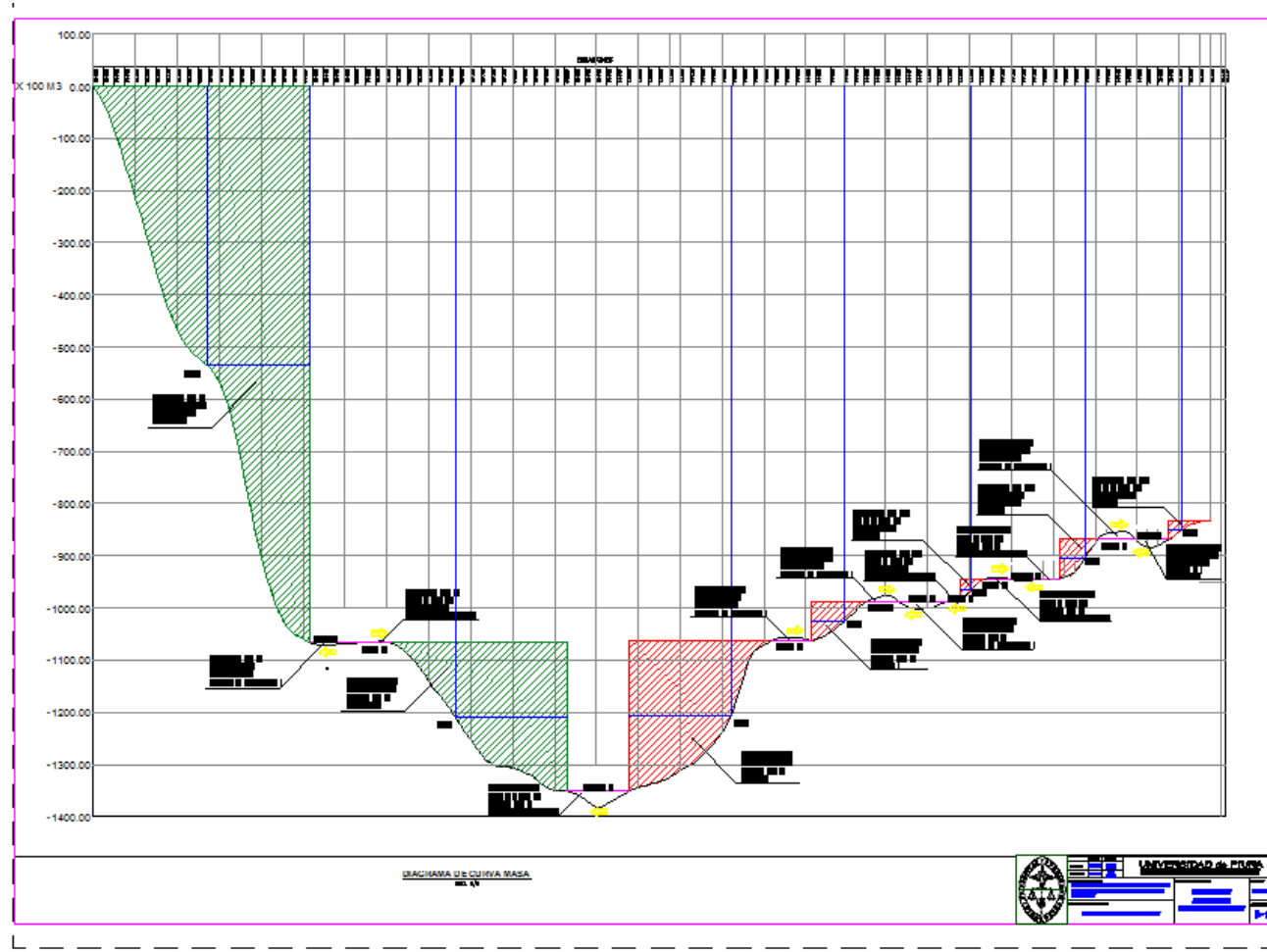
Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
1+480	53.36	9.84	622.15	49.20	0.00	0.00	0.00	0.00	622.15	0.90	0.10	0.00	1.00	559.94	62.22	0.00	615.93	80.88	0.00	696.81	49.20	54.67	567.48	-98,640.91
1+490	41.13	2.75	472.45	62.95	0.00	0.00	0.00	0.00	472.45	0.90	0.10	0.00	1.00	425.21	47.25	0.00	467.73	61.42	0.00	529.14	62.95	69.94	402.51	-98,238.41
1+500	23.06	2.56	320.95	26.55	0.00	0.00	0.00	0.00	320.95	0.90	0.10	0.00	1.00	288.86	32.10	0.00	317.74	41.72	0.00	359.46	26.55	29.50	291.45	-97,946.96
1+510	17.77	8.26	204.15	54.10	0.00	0.00	0.00	0.00	204.15	0.90	0.10	0.00	1.00	183.74	20.42	0.00	202.11	26.54	0.00	228.65	54.10	60.11	144.04	-97,802.92
1+520	6.63	9.55	122.00	89.03	0.00	0.00	0.00	0.00	122.00	0.90	0.10	0.00	1.00	109.80	12.20	0.00	120.78	15.86	0.00	136.64	89.03	98.92	23.08	-97,779.83
1+530	1.54	67.15	40.85	383.48	0.00	0.00	0.00	0.00	40.85	0.90	0.10	0.00	1.00	36.77	4.09	0.00	40.44	5.31	0.00	45.75	383.48	426.08	-385.23	-98,165.07
1+540	0.00	82.84	7.70	749.95	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	0.90	0.10	0.00	1.00	6.93	0.77	0.00	7.62	1.00	0.00	8.62	749.95	833.28	-825.58	-98,990.64
1+550	1.55	38.69	7.75	607.65	0.00	0.00	0.00	0.00	7.75	0.90	0.10	0.00	1.00	6.98	0.78	0.00	7.67	1.01	0.00	8.68	607.65	675.17	-667.42	-99,658.06
1+560	4.42	41.49	29.85	400.90	0.00	0.00	0.00	0.00	29.85	0.90	0.10	0.00	1.00	26.87	2.99	0.00	29.55	3.88	0.00	33.43	400.90	445.44	-415.59	100,073.66
1+570	9.66	6.96	70.40	242.25	0.00	0.00	0.00	0.00	70.40	0.90	0.10	0.00	1.00	63.36	7.04	0.00	69.70	9.15	0.00	78.85	242.25	269.17	-198.77	100,272.42
1+580	15.81	1.63	127.35	42.95	0.00	0.00	0.00	0.00	127.35	0.90	0.10	0.00	1.00	114.62	12.74	0.00	126.08	16.56	0.00	142.63	42.95	47.72	79.63	100,192.79
1+590	13.92	3.23	148.65	24.30	0.00	0.00	0.00	0.00	148.65	0.90	0.10	0.00	1.00	133.79	14.87	0.00	147.16	19.32	0.00	166.49	24.30	27.00	121.65	100,071.14
1+600	27.11	0.00	205.15	16.15	0.00	0.00	0.00	0.00	205.15	0.90	0.10	0.00	1.00	184.64	20.52	0.00	203.10	26.67	0.00	229.77	16.15	17.94	187.21	-99,883.94
1+610	40.95	0.00	340.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	340.30	0.90	0.10	0.00	1.00	306.27	34.03	0.00	336.90	44.24	0.00	381.14	0.00	0.00	340.30	-99,543.64
1+620	35.67	0.00	383.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	383.10	0.90	0.10	0.00	1.00	344.79	38.31	0.00	379.27	49.80	0.00	429.07	0.00	0.00	383.10	-99,160.54
1+630	25.49	0.00	305.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	305.80	0.90	0.10	0.00	1.00	275.22	30.58	0.00	302.74	39.75	0.00	342.50	0.00	0.00	305.80	-98,854.74
1+640	0.00	34.80	127.45	174.00	0.00	0.00	0.00	0.00	127.45	0.90	0.10	0.00	1.00	114.71	12.75	0.00	126.1	16.5	0.00	142.74	174.00	193.33	-65.88	-98,920.62

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundar los Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundar los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (2)	rf (3)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
1+830	9.17	0.00	86.90	0.00	0.00	0.00	0.00	86.90	0.90	0.10	0.00	1.00	78.21	8.69	0.00	86.03	11.30	0.00	97.33	0.00	0.00	86.90	-94,528.39	
1+840	10.29	0.00	97.30	0.00	0.00	0.00	0.00	97.30	0.90	0.10	0.00	1.00	87.57	9.73	0.00	96.33	12.65	0.00	108.98	0.00	0.00	97.30	-94,431.09	
1+850	19.36	0.00	148.25	0.00	0.00	0.00	0.00	148.25	0.90	0.10	0.00	1.00	133.43	14.83	0.00	146.77	19.27	0.00	166.04	0.00	0.00	148.25	-94,282.84	
1+860	35.10	0.00	272.30	0.00	0.00	0.00	0.00	272.30	0.90	0.10	0.00	1.00	245.07	27.23	0.00	269.58	35.40	0.00	304.98	0.00	0.00	272.30	-94,010.54	
1+870	75.37	0.00	552.35	0.00	0.00	0.00	0.00	552.35	0.90	0.10	0.00	1.00	497.12	55.24	0.00	546.83	71.81	0.00	618.63	0.00	0.00	552.35	-93,458.19	
1+880	141.90	0.00	1,086.35	0.00	0.00	0.00	0.00	1,086.35	0.90	0.10	0.00	1.00	977.72	108.64	0.00	1,075.49	141.23	0.00	1,216.71	0.00	0.00	1,086.35	-92,371.84	
1+890	149.41	0.00	1,456.55	0.00	0.00	0.00	0.00	1,456.55	0.90	0.10	0.00	1.00	1,310.90	145.66	0.00	1,441.98	189.35	0.00	1,631.34	0.00	0.00	1,456.55	-90,915.29	
1+900	159.05	0.00	1,542.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1,542.30	0.90	0.10	0.00	1.00	1,388.07	154.23	0.00	1,526.88	200.50	0.00	1,727.38	0.00	0.00	1,542.30	-89,372.99	
1+910	149.61	0.00	1,543.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1,543.30	0.90	0.10	0.00	1.00	1,388.97	154.33	0.00	1,527.87	200.63	0.00	1,728.50	0.00	0.00	1,543.30	-87,829.69	
1+920	108.15	0.00	1,288.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1,288.80	0.90	0.10	0.00	1.00	1,159.92	128.88	0.00	1,275.91	167.54	0.00	1,443.46	0.00	0.00	1,288.80	-86,540.89	
1+930	21.04	0.00	645.95	0.00	0.00	0.00	0.00	645.95	0.90	0.10	0.00	1.00	581.36	64.60	0.00	639.49	83.97	0.00	723.46	0.00	0.00	645.95	-85,894.94	
1+940	26.41	0.00	237.25	0.00	0.00	0.00	0.00	237.25	0.90	0.10	0.00	1.00	213.53	23.73	0.00	234.88	30.84	0.00	265.72	0.00	0.00	237.25	-85,657.69	
1+950	12.29	0.00	193.50	0.00	0.00	0.00	0.00	193.50	0.90	0.10	0.00	1.00	174.15	19.35	0.00	191.57	25.16	0.00	216.72	0.00	0.00	193.50	-85,464.19	
1+960	8.00	0.58	101.45	2.90	0.00	0.00	0.00	101.45	0.90	0.10	0.00	1.00	91.31	10.15	0.00	100.44	13.19	0.00	113.62	2.90	3.22	98.23	-85,365.97	
1+970	4.83	8.61	64.15	45.95	0.00	0.00	0.00	64.15	0.90	0.10	0.00	1.00	57.74	6.42	0.00	63.51	8.34	0.00	71.85	45.95	51.06	13.09	-85,352.87	
1+980	0.00	105.26	24.15	569.35	0.00	0.00	0.00	24.15	0.90	0.10	0.00	1.00	21.74	2.42	0.00	23.91	3.14	0.00	27.05	569.35	632.61	-608.46	-85,961.33	
1+990	0.00	99.87	0.00	1,025.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,025.65	1,139.61	-	-87,100.94	
2+000	0.00	58.96	0.00	794.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	794.15	882.39	-882.39	-87,983.33	

Estación (1)	Área Corte (m2) (2)	Área Relleno (m2) (3)	Volumen en Corte (banco m3) (4)	Volumen Relleno (comp m3) (5)	Desbroce				Volumen Total Corte (banco m3) (10)	Factores de material				Clasificación de material Volumen Total Corte (banco m3)			Abundancia de Cortes Volumen de corte (banco m3)				Volumen Total Relleno (comp m3) (19)	Ajuste del Relleno (De comp. a banco m3) (20)	Suma algebraica (banco m3) (21)	Ordenada de la Curva Masa (banco m3) (Abundancia de los Cortes) (12)
					Área Corte (m2) (6)	Área Relleno (m2) (7)	Volumen Corte (banco m3) (8)	Volumen Relleno (comp m3) (9)		ms (1)	rs (1)	rf (1)	total (14)	Material Suelto (15)	Roca Suelta (16)	Roca Fija (17)	Corte Material Suelto	Corte Roca Suelta	Corte Roca Fija	Total Corte				
2+010	0.87	20.09	4.35	395.25	0.00	0.00	0.00	0.00	4.35	0.90	0.10	0.00	1.00	3.92	0.44	0.00	4.31	0.57	0.00	4.87	395.25	439.17	-434.82	-88,418.15
2+020	13.59	2.40	72.30	112.45	0.00	0.00	0.00	0.00	72.30	0.90	0.10	0.00	1.00	65.07	7.23	0.00	71.58	9.40	0.00	80.98	112.45	124.94	-52.64	-88,470.79
2+030	41.55	0.00	275.70	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.70	0.90	0.10	0.00	1.00	248.13	27.57	0.00	272.94	35.84	0.00	308.78	12.00	13.33	262.37	-88,208.43
2+040	63.57	0.00	525.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	525.60	0.90	0.10	0.00	1.00	473.04	52.56	0.00	520.34	68.33	0.00	588.67	0.00	0.00	525.60	-87,682.83
2+050	68.15	0.00	658.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	658.60	0.90	0.10	0.00	1.00	592.74	65.86	0.00	652.01	85.62	0.00	737.63	0.00	0.00	658.60	-87,024.23
2+060	69.45	0.00	688.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	688.00	0.90	0.10	0.00	1.00	619.20	68.80	0.00	681.12	89.44	0.00	770.56	0.00	0.00	688.00	-86,336.23
2+070	67.16	0.00	683.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	683.05	0.90	0.10	0.00	1.00	614.75	68.31	0.00	676.22	88.80	0.00	765.02	0.00	0.00	683.05	-85,653.18
2+080	74.20	0.00	706.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	706.80	0.90	0.10	0.00	1.00	636.12	70.68	0.00	699.73	91.88	0.00	791.62	0.00	0.00	706.80	-84,946.38
2+090	54.57	0.00	643.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	643.85	0.90	0.10	0.00	1.00	579.47	64.39	0.00	637.41	83.70	0.00	721.11	0.00	0.00	643.85	-84,302.53
2+100	37.32	0.00	459.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	459.45	0.90	0.10	0.00	1.00	413.51	45.95	0.00	454.86	59.73	0.00	514.58	0.00	0.00	459.45	-83,843.08
2+110	26.55	0.00	319.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	319.35	0.90	0.10	0.00	1.00	287.42	31.94	0.00	316.16	41.52	0.00	357.67	0.00	0.00	319.35	-83,523.73
2+120	17.32	0.54	219.35	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	219.35	0.90	0.10	0.00	1.00	197.42	21.94	0.00	217.16	28.52	0.00	245.67	2.70	3.00	216.35	-83,307.38
2+130	7.97	12.15	126.45	63.45	0.00	0.00	0.00	0.00	126.45	0.90	0.10	0.00	1.00	113.81	12.65	0.00	125.19	16.44	0.00	141.62	63.45	70.50	55.95	-83,251.43
2+147	0.00	7.22	69.62	169.20	0.00	0.00	0.00	0.00	69.62	0.90	0.10	0.00	1.00	62.66	6.96	0.00	68.92	9.05	0.00	77.97	169.20	188.00	-118.38	-83,369.81

ANEXO III

3.1 Gráfico del diagrama de curva masa



ANEXO IV

4.1 Análisis de precios unitarios

Partida: 201 CORTEEN MATERIAL SUELTO Costo Unitario por: m3 5.93
 Rend 900.00 M3/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	PEON	H-H	1.00	0.0089	19.76	0.18
						0.18
1.02	Materiales					
1.03	Equipos					
	HERRAMIENTA MANUAL	%		0.0500	0.18	0.01
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	9.70	0.0862	12.75	1.10
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - EXCAVADORA	H-H	1.00	0.0089	32.02	0.28
	EXCAVADORA S/ORUGAS 225 HP	H-M	1.00	0.0089	282.89	2.51
						3.90
1.04	Sub partidas					
	PEINADO Y DESQUINCHE DE TALUDES	M3		1.0000	1.85	1.85
						1.85
						TOTAL COSTO DIRECTO = 5.93

Partida: 202

CORTE EN ROCA SUELTA

Costo Unitario por: m3

15.19

Rend 420.00 M3/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	PEON	H-H	1.00	0.0190	19.76	0.38
						0.38
1.02	Materiales					
1.03	Equipos					
	HERRAMIENTA MANUAL	%		0.0500	0.38	0.02
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	10.00	0.1905	12.75	2.43
	RIPPER P300 HP XCV	H-M	1.00	0.0190	60.00	1.14
	TRACTOR S/ORUGA 300-330 HP	H-M	1.00	0.0190	345.70	6.58
						10.17
1.04	Sub partidas					
	PEINADO Y DESQUINCHE DE TALUDES EN ROCA SUELTA	M3		1.0000	4.64	4.64
						4.64
					TOTAL COSTO DIRECTO =	15.19

Partida: 203

CORTE EN ROCA FIJA

Costo Unitario por: m3

47.41

Rend 320.00 M3/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Sub partidas					
	PERFORACIÓN Y VOLADURA EN ROCA FIJA	M3		1.0000	23.31	23.31
	LIMPIEZA DE PLATAFORMA EN ROCA FIJA	M3		1.0000	11.73	11.73
	PEINADO Y DESQUINCHE DE TALUDES EN ROCA FIJA	M3		1.0000	47.41	47.41
						47.41
					TOTAL COSTO DIRECTO =	47.41

Partida: 204

RELLENO CON MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE

Costo Unitario por: m3

20.99

Rend 600.00 M3/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	PEON	H-H	4.00	0.0533	19.76	1.05
						1.05
1.02	Materiales					
1.03	Equipos					
	HERRAMIENTA MANUAL	%		0.0500	1.05	0.05
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	14.20	0.1893	12.75	2.41
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - MOTONIVELADORA	H-H	1.00	0.0133	34.84	0.46
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - TRACTOR S/ORUGAS	H-H	1.00	0.0133	28.63	0.38
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - RODILLOS	H-H	1.00	0.0133	24.11	0.32
	TRACTOR S/ORUGA 140-160 HP	H-M	1.00	0.0133	248.69	3.32
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUT. 7-9 TN	H-M	1.00	0.0133	91.58	1.22
	MOTONIVELADORA 140-150 HP	H-M	1.00	0.0133	234.54	3.13
						11.29
1.04	Sub partidas					
	AGUA PARA LA OBRA	M3		0.1250	16.29	2.04
	MATERIAL SELECCIONADO EXCEDENTE DE CORTE	M3		1.2500	5.29	6.61
						8.65
				TOTAL COSTO DIRECTO =		20.99

Partida: 205

RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO

Costo Unitario por: m3

31.34

Rend 600.00 M3/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	PEON	H-H	4.00	0.0533	19.76	1.05
						1.05
1.02	Materiales					
1.03	Equipos					
	HERRAMIENTA MANUAL	%		0.0500	1.05	0.05
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	14.20	0.1893	12.75	2.41
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - MOTONIVELADORA	H-H	1.00	0.0133	34.84	0.46
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - TRACTOR S/ORUGAS	H-H	1.00	0.0133	28.63	0.38
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - RODILLOS	H-H	1.00	0.0133	24.11	0.32
	TRACTOR S/ORUGA 140-160 HP	H-M	1.00	0.0133	248.69	3.32
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUT. 7-9 TN	H-M	1.00	0.0133	91.58	1.22
	MOTONIVELADORA 140-150 HP	H-M	1.00	0.0133	234.54	3.13
						11.29
1.04	Sub partidas					
	AGUA PARA LA OBRA	M3		0.1250	16.29	2.04
	MATERIAL SELECCIONADO PARA RELLENO	M3		1.2500	13.57	16.96
						19.00
				TOTAL COSTO DIRECTO =		31.34

Partida: 701

TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D =< 1 KM

Costo Unitario por: m3

5.06

Rend 900.00 M3-KM/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	OFICIAL	H-H	1.00	0.0089	22.72	0.20
						0.20
1.03	Equipos					
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	16.00	0.1422	12.75	1.81
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - CAMIÓN VOLQUETE	H-H	4.00	0.0356	25.24	0.90
	CAMIÓN VOLQUETE 15 M3	H-M	4.00	0.0356	60.60	2.15
						4.86
					TOTAL COSTO DIRECTO =	5.06

Partida: 702

TRANSPORTE DE MATERIAL SUELTO D > 1 KM

Costo Unitario por: m3

1.45

Rend 760.00 M3-KM/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Equipos					
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	4.00	0.0421	12.75	0.54
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - CAMIÓN VOLQUETE	H-H	1.00	0.0105	25.24	0.27
	CAMIÓN VOLQUETE 15 M3	H-M	1.00	0.0105	60.60	0.64
						1.45
					TOTAL COSTO DIRECTO =	1.45

Partida: 703

TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D =< 1 KM

Costo Unitario por: m3

7.60

Rend 600.00 M3-KM/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Mano de Obra					
	OFICIAL	H-H	1.00	0.0133	22.72	0.30
						0.30
1.03	Equipos					
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	16.00	0.2133	12.75	2.72
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - CAMIÓN VOLQUETE	H-H	4.00	0.0533	25.24	1.35
	CAMIÓN VOLQUETE 15 M3	H-M	4.00	0.0533	60.60	3.23
						7.30
					TOTAL COSTO DIRECTO =	7.60

Partida: 704

TRANSPORTE DE MATERIAL DE CORTE D > 1 KM

Costo Unitario por: m3

2.28

Rend 480.00 M3-KM/DIA

Item	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
1.00	COSTO DIRECTO					
1.01	Equipos					
	PETROLEO DIESEL #2 (EN GRIFO)	HM	4.00	0.0667	12.75	0.85
	OPERADOR(ES) DE EQUIPO MECÁNICO - CAMIÓN VOLQUETE	H-H	1.00	0.0167	25.24	0.42
	CAMIÓN VOLQUETE 15 M3	H-M	1.00	0.0167	60.60	1.01
						2.28
					TOTAL COSTO DIRECTO =	2.28

ANEXO V

5.1 Producción de una excavadora

Datos

Modelo de excavadora:	336DL	CAT
Capacidad de la pala :	3.50 cy	2.68 m ³
Tipo de material:	Roca	
Cantera:	Tunshuru co	
Distancia:	2 km	
Velocidad de los volquetes:	20 km/h	
Volumen de material:	120,000.00 m ³ B	
Peso específico del material:	1,565 kg/m ³	
Profundidad mediana excavación:	12.00 p	3.66 m
Angulo de columpio:	50°	
Habilidad de operador:	Promedio	
Eficiencia:	45 min/h	
Costos:		
	Excavadora H-M	S/. 270
	Volquete A H-M	S/. 119

Comentarios

1 m³ = 1.307951 yc

Roca bien fragmentada

Plano

TABLA 1.1: Propiedades representativas de tierra y roca.

1 p = 0.3048 m

Dato

Dato

Dato del contratista

Dato del contratista

$$R = \frac{\text{Capacidad de la Pala} \times \text{Factor de llenado} \times \text{Eficiencia}}{\text{Tiempo del Ciclo}}$$

1.- Factor de llenado: 60 - 75 %
67.50%

Tabla 8.4 El factor de llenado

2.- El tiempo del ciclo (la carga, el columpio, descarga y columpio vacio): 22.00 seg

Tabla 8.5 Producción Calculada

Los tiempos del ciclo que son 3% más rápido: 21.34 seg

Debido al material que es arcilla cubierta con arena

3.- Verifique la profundidad del corte
Los tiempos del ciclo son para la profundidad del corte entre 40 - 60 %,

Tabla 8.3 Tiempo de ciclo para la profundidad de corte

de la profundidad de excavación máximo=	23.00 p		
	52.17%		OK
4.- Cálculo del rendimiento por hora	222 Lm3/h		Lm3 = material suelto
5.- Convierta la producción a toneladas por hora	347 ton/h		
6.- Carguío a volquetes	15.00		
	Volquetes A Lm3		Dato del contratista
10.- El tiempo que carga La capacidad de la carga útil de la unidad que acarrea La carga útil del cucharón de azada Azadone tiempo de ciclo			
7.- Carga útil de cucharón	1.81 m3		
8.- Número de palas por volquete	8.00		
	• Volquetes A palas		
9.- El tiempo total que carga cada volquete	170.72	2.85	
	• Volquetes A seg	min	
10.- El tiempo de acarreo de cada volquete		12.00	
		min	Dato de campo
11.- El tiempo de ciclo de cada volquete		14.85	
	• Volquetes A	min	
12.- Nro de volquetes que se requiere para la excavadora		6	
	• Volquetes A	Volquete s	5 Volquetes
13.- Cálculo de carga		Con las palas	Con las tolvas

	263	273
6 Volquetes A + 8 palas	lm3/h	lm3/h
	219	227
5 Volquetes A + 8 palas	lm3/h	lm3/h

14.- El costo por hora del *pull* de carga y acarreo

6 Volquetes A + 1 excavadora	S/. 986.57
5 Volquetes A + 1 excavadora	S/. 867.08

16.- Costo de producción por m3 de material

	Con las palas	Con las tolvas
6 Volquetes A + 1 excavadora	S/. 3.75 /lm3	S/. 3.62 /lm3
5 Volquetes A + 1 excavadora	S/. 3.96 /lm3	S/. 3.81 /lm3

17.- Conclusión:

La alternativa más rentable es:

6 Volquetes A + 1 excavadora	S/. 3.75 /lm3	S/. 3.62 /lm3
------------------------------	---------------	---------------

5.2 Producción de un tractor

Datos

Modelo de tractor:	D7G CAT	D7G con hoja recta @ 46 m.
Capacidad de la hoja	5.09 cy	3.89 m3
Tipo de material	Arcilla Seca	Arcilla seca
Peso específico del material	1,157 kg/m3	TABLA 1.1: Propiedades representativas de tierra y roca.
Cantera	Tunshur uco	
Distancia de movimiento de material	46.00 m	
Pendiente	-2 %	
Volumen de material	5,122.00 m3	Plano
Profundidad mediana excavación	1.00 p	0.30 m
Habilidad de operador	Promedio	1 p = 0.3048 m
Eficiencia	50 min/h	Dato
Costos		
Tractor D6T H-M	S/. 267	Dato del contratista
Tractor D7G H-M	S/. 300	Dato del contratista

Tractor D8T H-M	S/. 341			Dato del contratista
1.- Producción calculada				
Del abaco 1	150			
	m3S/h	D6T		
	245			
Del abaco 1	m3S/h	D7G		
2.- Corrección por pendiente				
Del abaco 2	1.07			
3.- Corrección por peso del material				
Los valores de producción ideal están basados en un suelo con densidad 1,370 kg/m3S				
	1.18			
4.- Habilidad del operador				
Empleando la tabla 1	0.75		Promedio	
5.- Corrección por tipo de material				
	1.00		Arcilla seca	
6.- Técnica de operación				
	1.00		No especificada	
7.- Visibilidad				
	1.00		No especificada, asumir buena	
8.- Factor de eficiencia				
	0.83			
9.- Cálculo de producción				
Producción en material suelto y en banco	119	88		
	m3S/h	m3B/h	D6T	
	194	144		
	m3S/h	m3B/h	D7G	
11.- Horas de operación				
	58.27	Turnos 8.00	Días 7 días	D6T
	35.68	8.00		
	horas	horas	4 días	D7G
12.- El costo por hora del pull de empuje de material				
		Por hora	Por Operación	
		S/.		
1 Tractor D6T		267.49		S/. 14,979.44

1 Tractor D7G	S/.	S/.
	300.00	9,600.00

13.- Costo de producción por m3 de material	Mat. Suelto	Mat. Banco
1 Tractor D6T	S/.	S/.
	2.25 /m3S	3.04 /m3B
1 Tractor D7G	S/.	S/.
	1.55 /m3S	2.09 /m3B

17.- Conclusión:
La alternativa mas rentable es:

1 Tractor D7G	S/.	S/.
	1.55 /lm3	2.09 /lm3

5.3 Producción de un cargador frontal

Datos		Comentarios
Modelo de cargador frontal:	962H CAT	
Capacidad de la pala	5.00 cy	3.82 m3
Tipo de material	Roca	1 m3 = 1.307951 yc
Cantera	Tunshuru co	Roca bien fragmentada
Granulometría del agregado	50.00 cm	19 2/3 in
Distancia	2 km	
Velocidad de los volquetes	20 km/h	
Volumen de material	28,349.00 m3B	Plano
Peso específico del material	1,565 kg/m3S	TABLA 1.1: Propiedades representativas de tierra y roca.
Habilidad de operador	Promedio	
Eficiencia	45 min/h	Dato
Costos		
Cargador frontal H-M	S/.	Dato del contratista
	205.74	

1.- Tamaño del cucharón, la capacidad colmada es la medida de interés para la estimación de la producción

Factor de llenado del cucharón de 60 a 75 %	60%
---	-----

Tabla 8.6 p 251

2.- Capacidad de cucharón colmada	2.29 m3
-----------------------------------	---------

3.- Conversión de material a kg	3590 kg
---------------------------------	---------

Tabla 4.3

4.- Chequeo volteadura

Cargadores de ruedas

Volumen por peso unitario del material

< 0.50 carga límite de equilibrio estático, a giro pleno de 40°

		12098	
		kg	Datos del equipo
3590 kg	<	6049.0	N
		0	O

5.- Tiempo de ciclo

Tiempo de ciclo básico de carga, maniobra con cuatro cambios de dirección y descarga

27 a 30

seg

Datos del equipo

Mejor producción	27 seg	Datos del equipo
Por lo tanto uso	0.45 min	

6.- Producción	138
	Lm3/h
	216 ton/h

5.4 Producción de los volquetes

Datos		Comentarios	
Modelo de volquetes:	440 FMX VOLV		
Cantidad de volquete	6	O	Dato
Capacidad de volquete	15.00 m3	24.00 ton	Dato
Peso neto del camión	33,000.00 kg		Dato
Presión neumáticos	baja		Dato
Capacidad de la pala	5.00 cy	3.82 m3	1 m3 = 1.307951 yc
Tipo de material	roca triturada		Roca bien fragmentada
Cantera	Tunshuruco		
Volumen de material	28,349.00 m3B		Plano
Peso específico del material	1,565 kg/m3S		TABLA 1.1: Propiedades representativas de tierra y roca.
Distancia	2 km		
Carretera	tierra sin mantenimiento		
Pendiente	1.25%		
Velocidad de los volquetes	20 km/h		

		6 palas	7 palas
		21.54	25.13
		ton	ton
		54.54	58.13
	Peso total	ton	ton
Tiempo de acarreo		6 palas	7 palas
		54.54	58.13
	Peso total	ton	ton
	Tracción en la	1,636.1	1,918.
	4 ruedas	3 kg	19 kg
	Tracción en la	14.46	16.96
	4 ruedas	kN	kN
Velocidad de acarreo		6 palas	7 palas
		20.00	20.00
		20.00 km/h	km/h
			6.00
Tiempo de acarreo		6.00 min	min

**Tiempo de regreso = distancia de regreso /
velocidad de transporte**

Peso neto del camión = 33.00 ton

Resistencia al rodaje de camino de tierra mal mantenida			4.25%
Resistencia de la pendiente			1.25%
Resistencia =	5.50%	o	55.00
Tracción en las ruedas			kg/ton
=	1,815.00 kg	o	16.05
			kN

Tiempo de regreso
Velocidad de regreso 25.00 km/h
Tiempo de regreso = 4.80 min

Tiempo de descarga
Camiones de descarga posterior (volquetes) deben
maniobrar antes de descargar:

El tiempo total de
descarga promedio: 2.00
min

4.- Duración del ciclo
del camión 6 palas 7 palas
Tiempo de carga 3.30 min 3.85

		min
		6.00
Tiempo de acarreo	6.00 min	min
		2.00
Tiempo de descarga	2.00 min	min
		4.80
Tiempo de regreso	4.80 min	min
		16.65
Duración del ciclo	16.10 min	min

Camiones requeridos	6 palas	7 palas
		5
		Volquet
	5 Volquetes	es
El cargador controlará la producción	229.37 Lm3/h	229.37 Lm3/h
		265.18
Producción (camión) =	235.06 Lm3/h	Lm3/h

Producción	6 palas	7 palas
		265.18
5 Volquetes	235.06 Lm3/h	Lm3/h
		318.22
6 Volquetes	282.08 Lm3/h	Lm3/h
		371.26
7 Volquetes	329.09 Lm3/h	Lm3/h

5.5 Producción de un rodillo

Datos

Modelo de rodillo:	CS-533E	CAT	
Ancho del rodillo	2.13 m		Dato
Velocidad del rodillo	8.00 km/h		Dato
Volumen de material	235.00 l m3/h		Dato
Tipo de material	Arena seca		
Espesor de capa	200.00 mm	0.20 m	
N° de pasadas requeridas	6		
Eficiencia	45 min/h		
Factor de material	0.80		
Cantera	Tunshuruco		
Distancia	2 km		
Volumen de material	120,000.00 m3B		Plano
Habilidad de operador	Promedio		
Costos			
	H-M	S/. 96.45	Dato del contratista

1.- Cálculo de producción	569.07 CCM	
	114.00 m2	
	426.80	
2.- Producción efectiva	CCM/hora	
	86.00 m2	
3.- Compactadores requeridos		compactador es 1 necesario