



LA CURVA MASA

2022

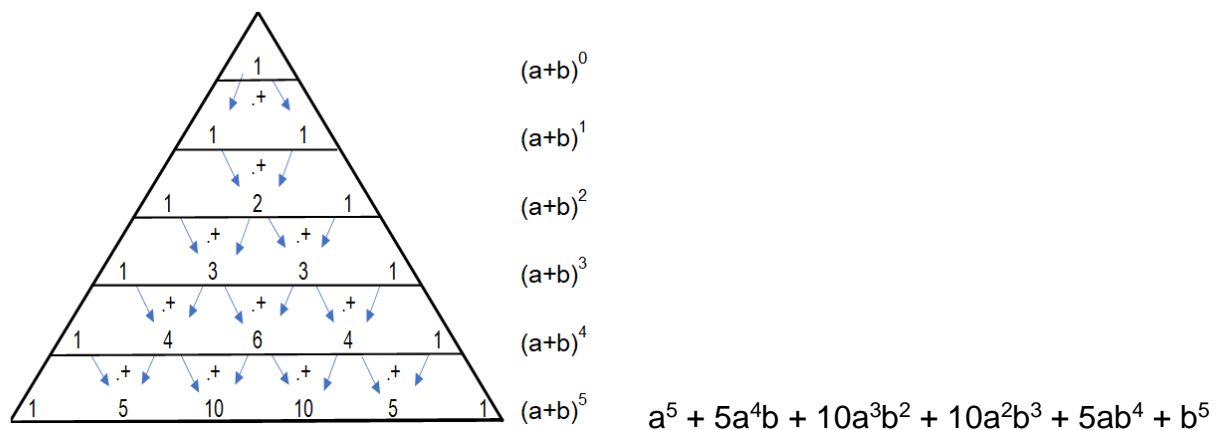
ING. FRANCISCO ÁLVAREZ LEDESMA

LA CURVA MASA

Escolio alusivo al tema.

El proceso de cálculo de las ordenadas de la curva masa se realiza siguiendo un algoritmo matemático.

Blas Pascal (1623 – 1662) matemático, físico, filósofo y escritor francés, en su Tratado del “Triángulo Aritmético“ incluyó esta notación de triángulo, que es una forma de presentar un algoritmo para el cálculo de los coeficientes binomiales, de la expresión $(a+b)^n$ de Newton.



Síntesis. Se desarrolla el cálculo de una curva masa y los acarreos. Se comentan algunas características generales de la curva; al final se plantean algunas preguntas.

Curva Masa.

- 1.- Definición.
- 2.- Objetivos.
- 3.- Elaboración de la curva masa.
- 4.- Análisis de la Curva Masa.
- 5.- Acarreos.
- 6.- Utilización de la Información de la curva masa.

7.- Programas electrónicos.

1. Definición.

La curva masa es una gráfica sobre un plano de ejes cartesianos en el cual se expresan en el eje de las abscisas, los cadenamientos de un proyecto lineal (carretera, canal, otro) y en el eje de las ordenadas, el valor del acumulado de cortes y terraplenes. Normalmente se considera signo más (+) a los cortes y menos (-) a los terraplenes.

2. Objetivos.

Objetivos de la curva masa.

Esta gráfica, denominada “Curva Masa,” constituye una herramienta de análisis que permite analizar movimientos de tierras, así como determinar volúmenes de acarreos, procurando el balance entre cortes y terraplenes, determinar volúmenes de material de préstamo o desperdicio. Y de esta manera, buscar el escenario más conveniente tanto desde el punto de vista de utilización de materiales como de la economía del proyecto.

Este objetivo lo procura el sistema de curva masa fundamentalmente:

Buscando el balance entre cortes y terraplenes,

Determinando los volúmenes de acarreo más convenientes para el proyecto.

Procurando disminuir lo más posible los volúmenes de desperdicio de cortes y la necesidad de material de préstamo de banco.

Al material generado de un corte y que no se puede aprovechar para la formación del terraplén se le denomina “Desperdicio”. El material puede ser de desperdicio porque es un sobrante de acuerdo a la compensadora de un movimiento analizado, pero también puede ser desperdicio y se deba retirar del proyecto por no tener la calidad para formar parte de la estructura de tierra.

3. Elaboración de la curva masa.

Es conveniente comentar algunos de los elementos que requeriremos para la construcción de la curva masa y su utilización.

Para la elaboración de la curva masa se realizan fundamentalmente dos acciones a saber 1 Cálculo de valores y 2 Trazo de la curva.

3.1 Cálculo de valores. Para el cálculo de la curva se procede de la siguiente manera:

3.1.1 Dibujo de Planta del trazo de la obra.

3.1.2 Dibujo de perfil longitudinal de la obra.

3.1.3 Obtención de secciones transversales.

3.1.4 Determinación de áreas de secciones y volúmenes de cortes y terraplenes.

3.1.5 Determinación de coeficientes de variación volumétrica.

3.1.6 Cálculo de ordenadas de la curva masa. Explicación y cálculo

3.2 Trazo

3.2.1 Trazo de la curva masa.

3.1 CÁLCULO

3.1.1 Dibujo en Planta del trazo de la obra. Se dibuja en planta el trazo del proyecto en un plano topográfico de configuración.

Es importante disponer del trazo de la obra en planta, sobre un plano de configuración topográfica, para poder tomar información como cadenamientos, longitudes del trazo, igualdades topográficas, así como información general. Los datos de configuración son útiles en el análisis de distancias de acarreo, especialmente para identificar rutas de acceso y salida al tramo en estudio, para los volúmenes de préstamos y desperdicios. Así mismo pueden obtenerse secciones transversales de ese plano si se requiere. Este dibujo es conocido también como larguillo.

3.1.2 Dibujo de perfil longitudinal de la obra.

Se traza el perfil longitudinal en un sistema de ejes cartesianos (x,y). En el que se grafican en el eje de las abscisas, los cadenamientos de la obra, y en el de las ordenadas las elevaciones en las secciones transversales definidas en el trazo del proyecto, indicando cotas del terreno natural y de la rasante del proyecto.

Por conveniencia práctica en el manejo de la información gráfica, es usual utilizar en estos planos dos escalas diferentes, una horizontal y otra vertical. Es común una relación de escalas de 1:10 (La horizontal 10 veces mayor) pero puede usarse la que se considere adecuada. (Escala = Magnitud Real / Magnitud Dibujada.)

Se presenta en la Fig1. El trazo de un kilómetro de un proyecto carretero sobre un plano de configuración topográfica.

Se presenta en la Fig2. un diagrama típico del perfil longitudinal con datos de cadenamiento, cota de la rasante y cota de terreno natural.

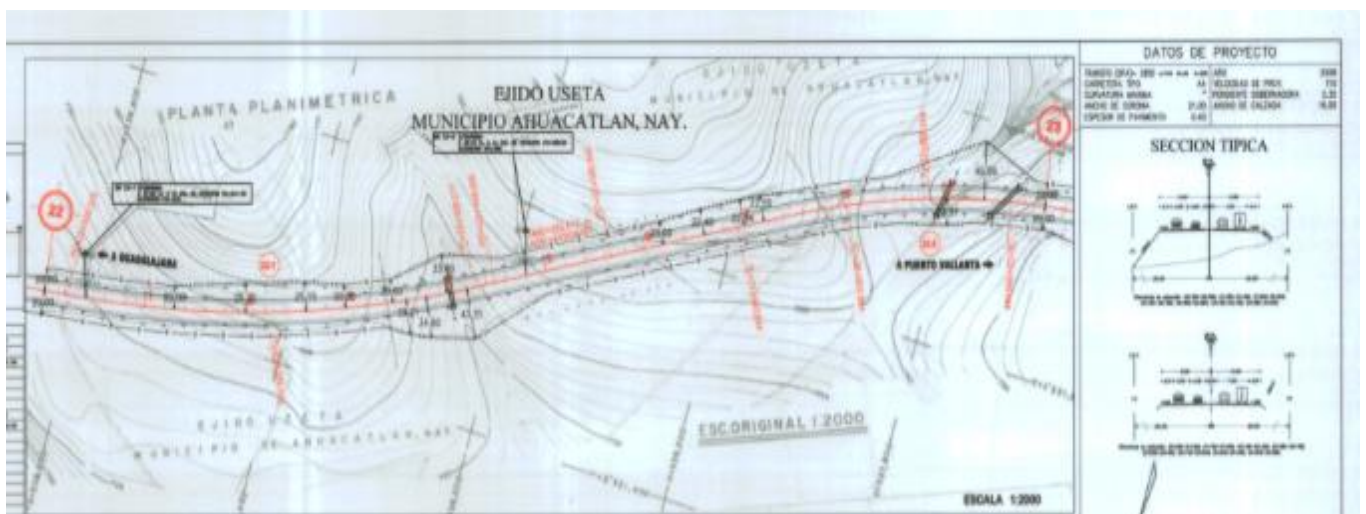


Fig1. Trazo de un kilómetro de un proyecto carretero sobre un plano de configuración topográfica. Tramo km 22+000 al 23+000

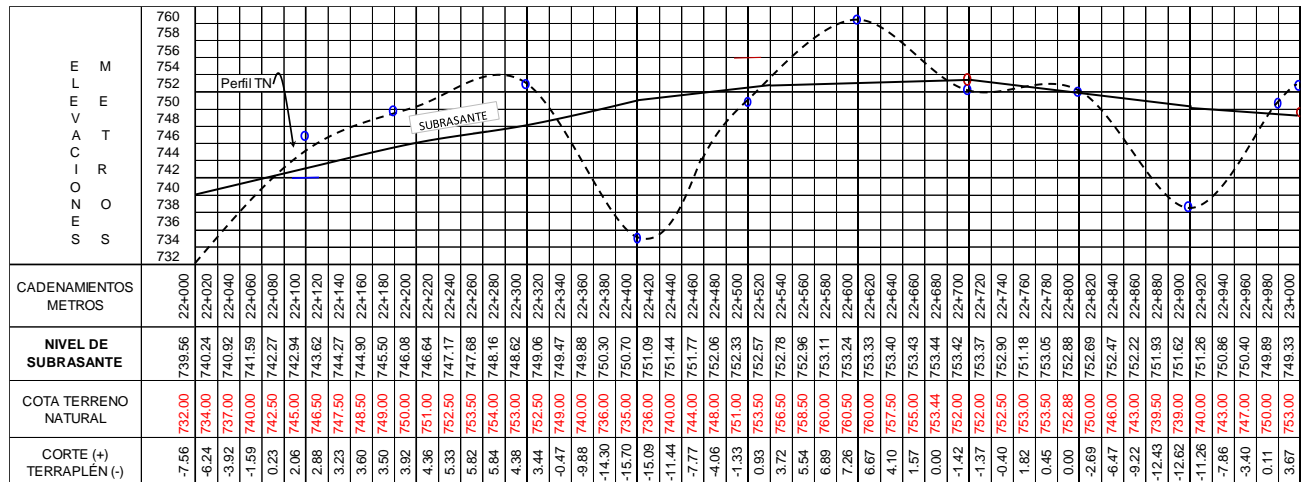


Fig2. Trazo típico del perfil longitudinal con datos de cadenamiento, cota de la rasante y cota de terreno natural.

3.1.3 Obtención de Secciones transversales.

Se obtienen secciones transversales del proyecto. Estas secciones se definen generalmente a distancia de una estación de veinte (20) metros, entre secciones. Si se considera por alguna causa, (variación importante en las características entre dos secciones consecutivas o cualquier otra razón) obtener secciones intermedias, así se procede.

En estos perfiles (secciones transversales) se debe identificar en cada sección, la elevación del nivel del terreno natural, así como la elevación de la rasante del proyecto.

Se trazan las secciones transversales obtenidas ya sea directamente de un levantamiento topográfico, o en su defecto de un plano de configuración en donde esté ubicado el trazo de la obra en planta. Se puede indicar en estas secciones datos que se consideren de importancia como espesor de despalme, espesores convenientes de los diferentes estratos de material (si se puede hacer,) por ejemplo, roca, material "B" (suelo.) y alguna otra particularidad.

3.1.4 Determinación de áreas de secciones y volúmenes de cortes y terraplenes.

Se determinan las áreas de las secciones transversales, del procesamiento de los datos del levantamiento topográfico diferenciando lo que es terraplén y lo que es corte. y si es el caso, se pueden obtener estas áreas, con la clasificación arriba mencionada. (despalme, roca, suelo. otro)

Es importante tener en consideración que en las secciones transversales se pueden presentar secciones de terraplén, secciones de corte y secciones en balcón o mixtas.

Se presentan en seguida algunas secciones típicas que se encuentran en los proyectos, en estas secciones se evidencia la opción de diferenciar estratos de material, condiciones de frontera de rellenos y diversas particularidades.

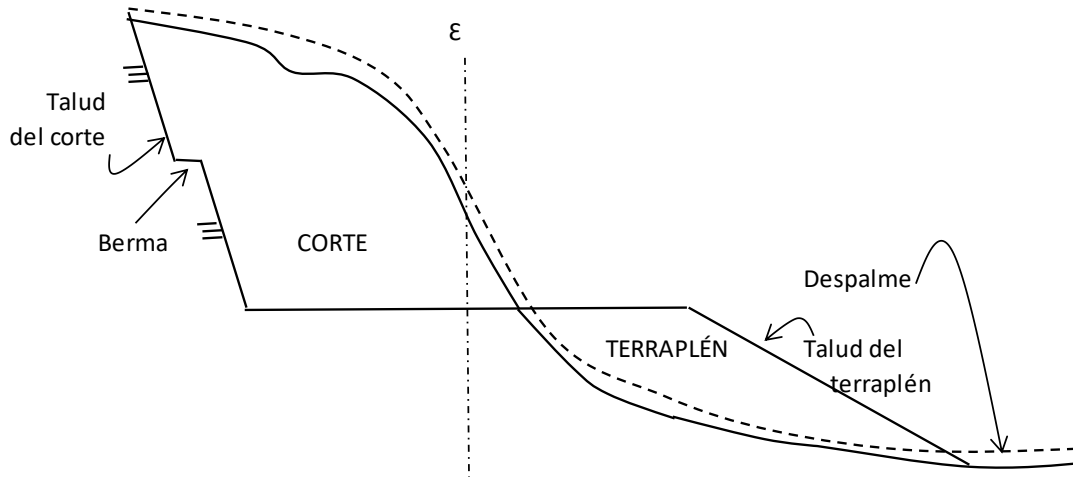


Fig3. Sección transversal típica en balcón o mixta con corte y terraplén.

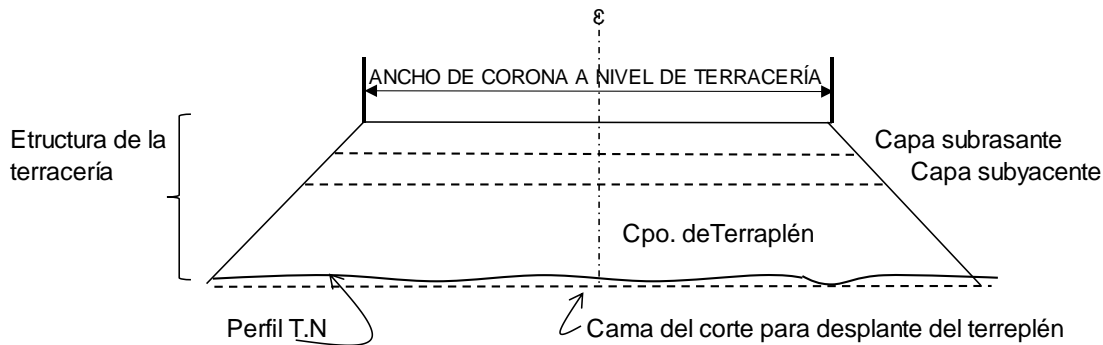


Fig4. Estructura típica una sección de terracería en terraplén de una carretera..

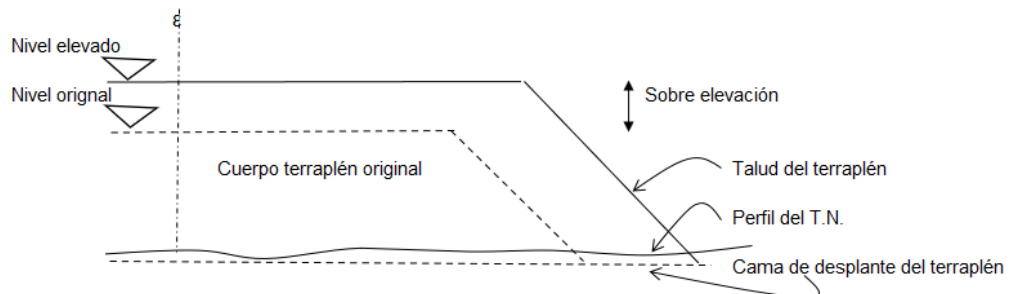


Fig5. Sección de terraplén mostrando sobre elevación de la rasante de proyecto. Al elevarse el nivel de la rasante, se corre el "cero" del terraplén original. El área de la sección se ve aumentada.

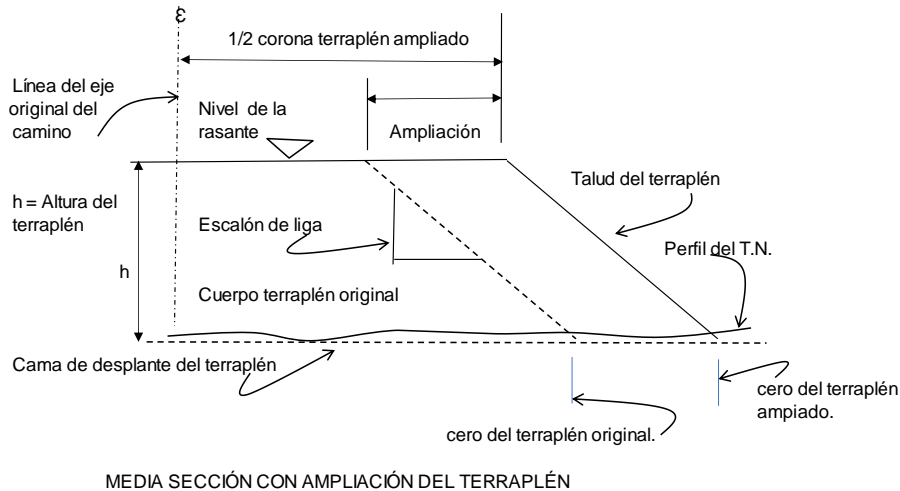


Fig6. Sección de terraplén ampliado. En la sección se muestra la ampliación del ancho de la corona. La altura del terraplén (h) puede ser a nivel de terracería o puede incluir las capas de sub base y base. Al ampliar la corona, se corre el cero del talud. En algunas ocasiones se forman uno o varios de los llamados escalones de liga, que proporcionan un cierto efecto de empotramiento de la terracería nueva con la existente. El área de la sección se ve aumentada.

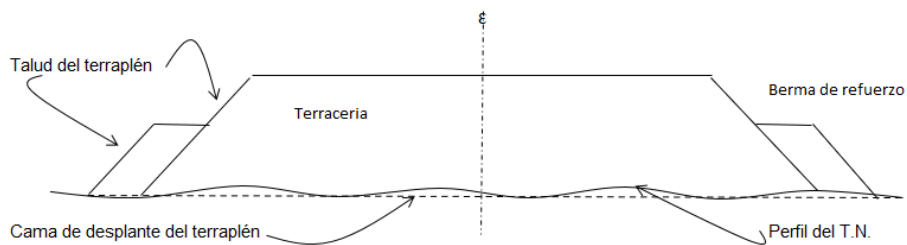


Fig7. Sección en terraplén con adición de bermas de estabilización. Esta condición se presenta normalmente en trabajos de reconstrucción y mantenimiento de terraplenes.

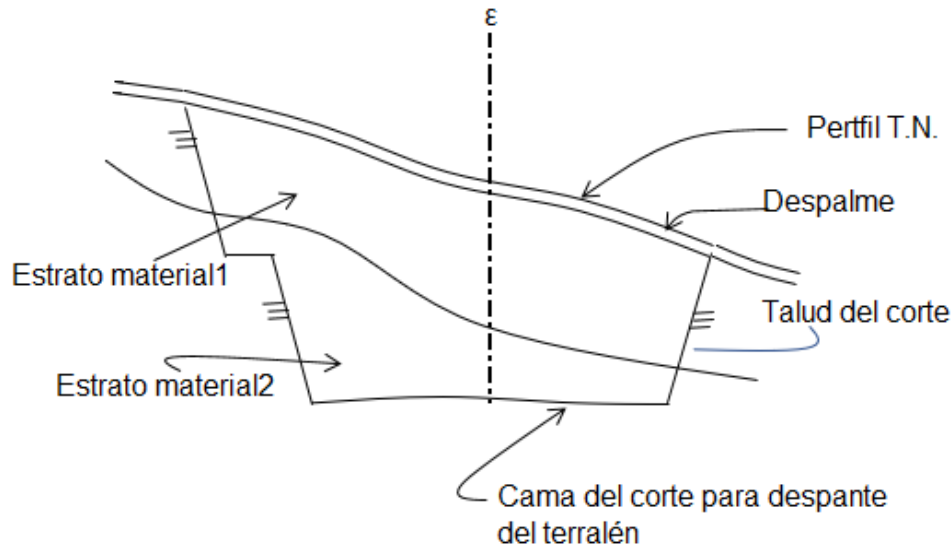


Fig8. Sección de corte en cajón. Se muestran algunas particularidades de la sección, que se consideran importantes para aspectos de cálculo, como estimación de volúmenes de diferentes tipos de material.

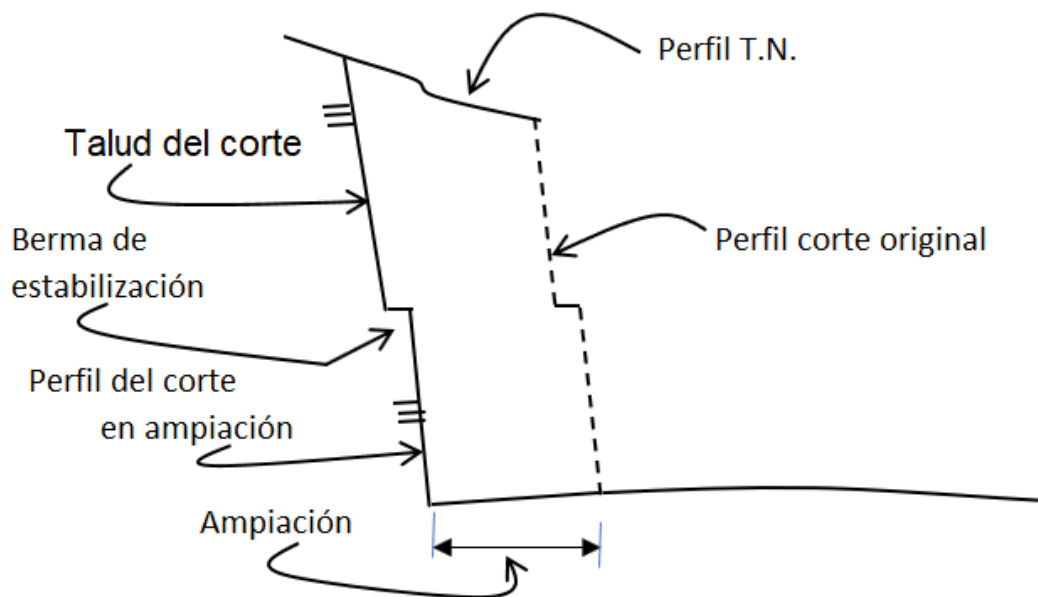


Fig9. Sección mostrando ampliación de corte. Se amplía el corte usualmente con el mismo talud que el original. La función de esta ampliación es aumentar el galibo horizontal del camino,

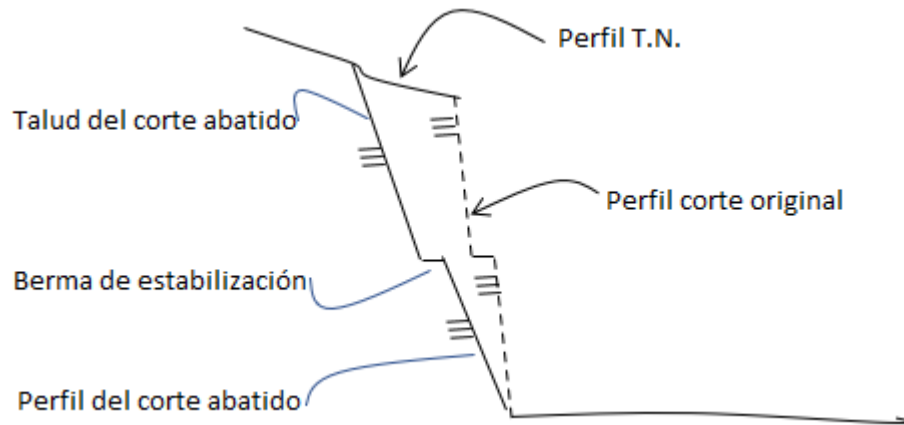


Fig10. Sección con abatimiento de talud. Esta condición se presenta generalmente en trabajos de estabilización de taludes. No se amplía el ancho del camino, la función de esta actividad es tender el talud para mejorar la estabilidad del corte.

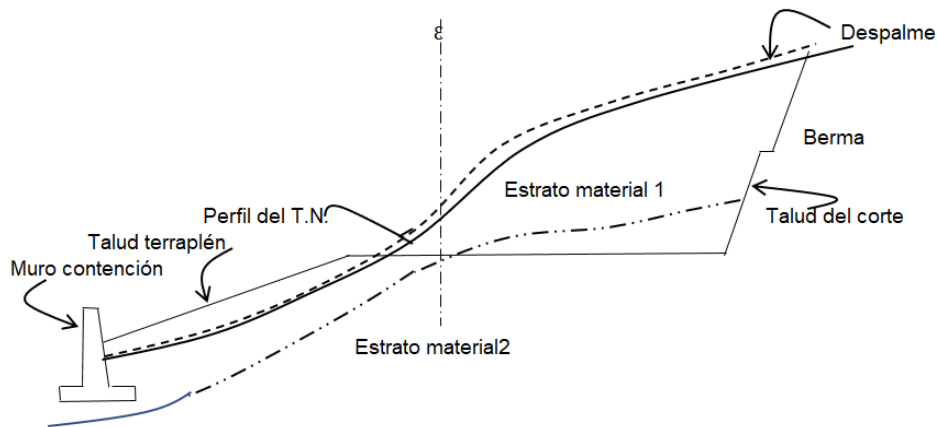


Fig11. Sección en balcón o mixta con muro de contención (condición de frontera)

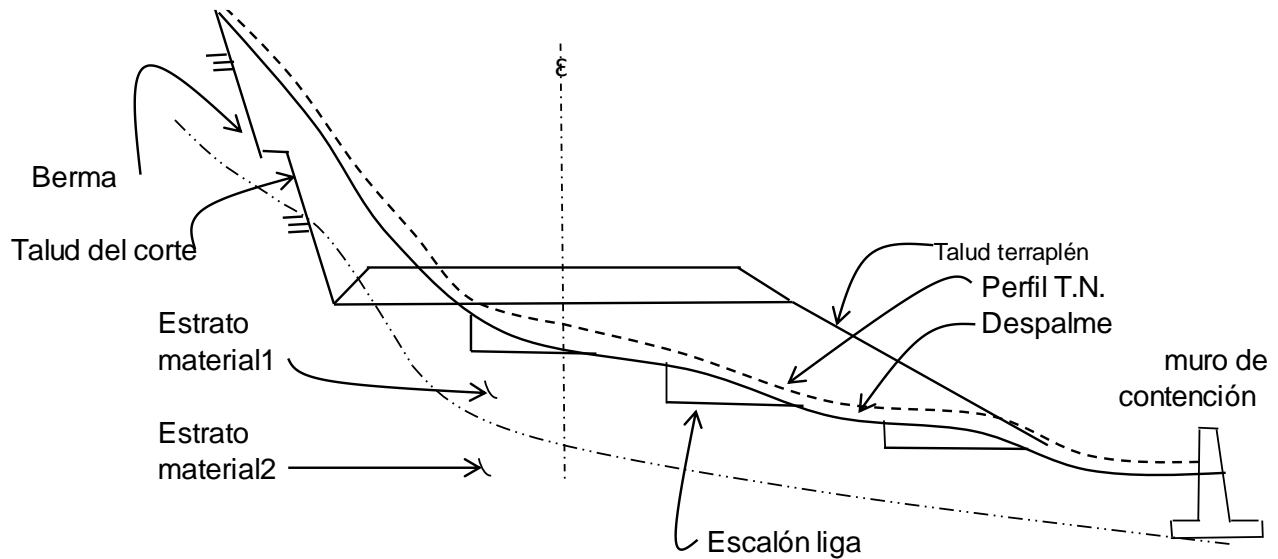


Fig12. Sección mixta, (en balcón) en que se muestran condiciones especiales de frontera en el terraplén y escalones de liga en el corte.

Para la utilización de los datos de áreas de las secciones transversales y cálculo de volúmenes se ingresan los datos en una tabla ordenada, de cálculo como la mostrada en la Fig13. Si se han obtenido los valores de los volúmenes directamente del proceso de los datos topográficos, se pueden ingresar a la tabla estos valores, sin necesidad de incluir los valores de las áreas. Fig16

3.1.5 Coeficientes de variación volumétrica.

En todas las actividades de movimiento de tierras es importante considerar que el material en estado natural, esto es en banco (in situ), tiene una densidad, es decir un peso volumétrico en banco (kg/m³) PVB ya sea material "B" o roca. Pero cuando se efectúa el disgregado de este material, al quedar en estado suelto cambia esta densidad y tendrá un Peso Volumétrico Suelto PVS. Cuando ese material suelto se coloca con alguna especificación de compactación tendrá un peso volumétrico colocado. PVC.

Se suele nombrar Coeficiente de variación volumétrica ó Factor de variación volumétrica a las relaciones de pesos volumétricos de un estado a otro del material.

Sea

PVB = Peso volumétrico del material en Banco.

PVS = Peso volumétrico del material Suelto.

PVC = Peso volumétrico de material Colocado.

Se define C_{vv} = Coeficiente de variación volumétrica.

Se puede utilizar C_{vv} según se requiera como.

$$C_{v \text{ Banco a suelto}} = PVB / PVS$$

$$C_{v \text{ Banco a colocado}} = PVB / PVC$$

$$C_{v \text{ Suelto a colocado}} = PVS / PVC$$

Así, resulta de gran importancia en el cálculo del balance de los volúmenes de corte y relleno la consideración del Cvv correspondiente.

3.1.6 Cálculo de los valores de la curva masa.

Para determinar los valores de la curva masa se utiliza la **mencionada tabla ordenada, de cálculo** como la mostrada en la fig13.

3.2 Trazo de la curva masa.

Se grafica en un par de ejes cartesianos, en el eje de las abscisas, se indican cadenamientos y en el eje de las ordenadas, los valores de volúmenes acumulados fig14.

4.-, Análisis de la Curva Masa. Las características de la curva masa proporcionan información importante. Fig15.

4.1.- La pendiente positiva (ascendente) de la curva masa, indica una zona de corte.

4.2.- La pendiente negativa (descendente) de la curva masa indica una zona de terraplén.

4.3.- Una pendiente cero, esto es, si la curva masa es horizontal en un tramo entre dos cadenamientos, significa que no es necesario realizar movimiento de tierra entre esos cadenamientos o puede haber movimientos de tierra, pero están compensados cortes y terraplenes.

4.4.- En zonas de secciones en balcón, normalmente en las laderas de las montañas, es posible colocar el producto del corte, en la zona de terraplén sin tener que mover volumen de material de una estación a otra, con lo cual la curva masa tiende a aplanarse.

4.5.- La pendiente de la curva masa aumenta, con el volumen entre estaciones.

4.6.- En el punto en que termina un tramo de cortes y se inicia uno de terraplén, se dice que se forma un máximo. De la misma manera donde termina un tramo de terraplén y se inicia uno de corte se dice que se forma un mínimo.

4.7.- La diferencia de las ordenadas entre dos puntos cualesquiera de la curva masa, es un volumen que es igual a la diferencia de la suma algebraica de todos los volúmenes de cortes y terraplenes en el tramo comprendido entre esos dos puntos.

4.8.- Si en un diagrama de masas se traza una horizontal que corta a la curva en dos puntos consecutivos, ambos puntos tendrán la misma ordenada, lo que significa que en el tramo comprendido entre esos dos puntos los volúmenes de corte y terraplén son iguales. Esto es, esos puntos definen un tramo compensado. Esa línea horizontal será una compensadora.

4.9.- La línea mencionada antes es una línea "compensadora," La distancia entre esos dos puntos se denomina "abertura" y es la distancia máxima de acarreo del corte al terraplén.

4.10.- Si el área cerrada entre la curva de masas y la compensadora queda arriba de esta, el acarreo del material se realizará hacia adelante; es decir hacia donde aumenta el

cadenamiento. Por el contrario, si el área cerrada queda debajo de la compensadora el movimiento se realizará hacia atrás.

4.11. Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama de masa y la compensadora, representan los acarreos, por lo tanto, si se tiene un contorno cerrado, formado por el diagrama de masas y una compensadora, bastará con determinar el área para que, considerando las escalas respectivas, se encuentre el valor del acarreo de ese tramo compensado. ⁽¹⁾

4.12.- La distancia media de acarreo se puede obtener dividiendo el valor del acarreo (el área) comprendida entre el diagrama de masa y una compensadora, entre el volumen movido.

4.13.- El acarreo es el producto del volumen movido por una distancia promedio.

4.14.- La diferencia de ordenadas entre dos puntos de la curva masa, indica la diferencia de volúmenes entre ellos.

4.15.- El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera, representa el volumen por la longitud media de acarreo. Es decir, es el acarreo.

4.16.- El área comprendida entre la curva masa y la compensadora, es el producto de un volumen por una distancia

4.17.- El centro de masa del corte y del relleno, se pueden obtener del diagrama de la curva masa.

4.18.- Si el diagrama de la curva masa termina debajo de la horizontal, significa que faltará material para un terraplén, se requerirá un **préstamo de banco**. Si termina arriba de la horizontal, sobrará material de corte, habrá un **desperdicio**.

4.19.- Se pueden trazar varias líneas compensadoras buscando optimizar los movimientos. Mientras la misma línea compensadora corte más veces la curva de masas. Se compensan más los volúmenes.

4.20 Desperdicio. Préstamo lateral. Préstamo de banco.

Cuando la línea compensadora no se puede continuar y existe la necesidad de iniciar otra, habrá una diferencia de ordenadas de la curva masa (volúmenes.)

Si la diferencia de ordenadas de la curva masa se presenta en el sentido de aumento, del crecimiento del cadenamiento en forma ascendente, la diferencia indicará un volumen sobrante que habrá que retirar (desperdicio) ya sea por un balconeo si hay espacio o habrá que cargarlo y retirarlo.

Pero si el caso es que la diferencia de ordenadas de la curva masa se presenta en el sentido de aumento del crecimiento del cadenamiento en forma descendente, la diferencia indicará

un volumen faltante (terraplén) que se podrá obtener de préstamo lateral si existe, o habrá que obtenerlo de préstamo de banco.

De acuerdo con la SCT ⁽⁸⁾ se definen los préstamos como: “Excavaciones ejecutadas en los lugares fijados en el proyecto y/o la Secretaría a fin de obtener los materiales para formar los terraplenes no compensados.”

Préstamos laterales. Son los ejecutados dentro de fajas ubicadas con un máximo de 100m en ambos lados del eje del proyecto.

Préstamo de banco son los ejecutados fuera de la faja de 100m a ambos lados del eje del proyecto

5.- Acarreos.

5.1- Acarreo. En la práctica de la actividad de movimiento de tierras, se entiende como acarreo el movimiento de un volumen de material de un sitio A otro y se mide en unidades de volumen – distancia. Como m³ - estación; m³ – hm; m³-km. otro.

El acarreo total es el producto del volumen total movido por la distancia media de acarreo.

La distancia promedio de acarreo es igual a la división del valor del área comprendida entre el diagrama de masas y una compensadora dividida entre el total de corte (ordenada máxima) entre los puntos de intersección. ⁽⁴⁾ de la curva masa y la compensadora.

Pero se distingue entre acarreo libre y sobre acarreo de la siguiente manera:

5.2- Acarreo libre. Es la distancia máxima que puede transportarse el material estando considerada en el precio de excavación. Es decir, el movimiento del material en esta distancia está incluido en el precio de la excavación. Esta distancia está influida por la distancia mínima que requiere el equipo que ejecuta la extracción del material. En México esta distancia es normalmente considerada de una estación de 20 m o lo que se estipule en el contrato ⁽⁵⁾. En Perú ⁽¹⁾ el ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG-200 ha adoptado una distancia de 120m. Para trabajos en Estados Unidos se comenta 300' (91.44m) ⁽⁴⁾

5.3- Sobre acarreo.

Se refiere a la distancia que se deba mover el material después del acarreo libre.

Para la cuantificación del movimiento de tierras es necesario determinar la distancia de sobre acarreo y el volumen de material por mover, después del acarreo libre.

Cálculo del sobre acarreo. El sobre acarreo se determina como el producto del volumen a mover después del acarreo libre multiplicado por la distancia existente entre el centro de gravedad del corte y el centro de gravedad del terraplén, menos la distancia de acarreo libre.

La curva masa es una herramienta muy útil para obtener estos valores, de una manera gráfica. Este procedimiento se explica detalladamente más adelante en el ejemplo numérico número2.

6.- Utilización de la Información de la curva masa. Con la información que proporciona la curva masa se dispone de elementos para la toma de decisiones informada. Se está en posibilidad de:

Realizar ejercicios con diferentes alternativas de rasante.

Determinación de volúmenes por mover.

Determinar las distancias de los acarreos.

Hacer una estimación del tipo de equipo tanto de excavación de carga así como de acarreo.

Definir bancos de préstamo y de desperdicio.

Se considera que se aclarará lo comentado con un ejemplo numérico.

Ejemplo numérico1. Realizar el cálculo de las ordenadas y el trazo de la curva masa en una obra lineal (carretera) con los siguientes datos.

Se analiza el cálculo de acarreos entre el km 0+000 y el cad. 0+180 de un tramo de una carretera Fig14.

3.1 Cálculo de valores de la curva masa.

3.1.1. Ej1. Dibujo en planta del trazo de la obra. Para efecto de este ejercicio (número1) se considera que se ha ubicado el trazo del camino en un plano de configuración.

3.1.2. Ej1 Dibujo de perfil longitudinal Para efecto de este ejercicio (número1) se considera que se ha dibujado el perfil longitudinal del proyecto.

3.1.3. Ej1 Obtención de secciones transversales. Se obtienen las secciones transversales en cadenamientos definidos con un levantamiento topográfico. En cada sección se conoce cadenamiento, cota del terreno natural y cota de la rasante.

3.1.4. Ej1 Determinación de las áreas de las secciones transversales y volúmenes de cortes y terraplenes. Del proceso de datos del levantamiento topográfico se determinan las áreas de las secciones, identificando cortes y terraplenes. Y se ingresan los valores en una tabla de cálculo, como la mostrada en la fig13.

En la columna (1) se anota el cadenamiento de la sección transversal que se analiza. En las columnas (2) y (3) se incluyen los valores de las áreas de las secciones correspondientes. Y se realiza el cálculo de volúmenes de corte y terraplén (relleno) columnas (4) y (5.) Los valores de estas columnas (4) y (5) de determinan como se indica en el encabezado. Suma de dos áreas consecutivas por la semi distancia entre ellas.

Normalmente se consideran las secciones a una distancia entre sección y sección, de una estación, pero si se considera necesario obtener alguna sección intermedia, (según se ha comentado antes) se procede a su obtención; como se ejemplifica en este ejercicio. Fig13

Volumen de corte entre los cadenamientos 0+010 Y 0+020

$$(10.00 + 25.00) \times \frac{(0+020 - 0+010)}{2} = 175 \text{ m}^3$$

Volumen de corte entre los cadenamientos 0+030 Y 0+040

$$(20.00 + 0.00) \times \frac{(0+040 - 0+030)}{2} = 100 \text{ m}^3$$

Volumen de terraplén entre los cadenamientos 0+000 Y 0+010

$$(0.00 + 20.00) \times \frac{(0+010 - 0+000)}{2} = 100 \text{ m}^3$$

Volumen de terraplén entre los cadenamientos 0+040 0+060

$$(10.00 + 5.00) \times \frac{(0+060 - 0+040)}{2} = 150 \text{ m}^3$$

Si como se ha mencionado antes, se dispone de los valores de volúmenes, estos se ingresan directamente a la tabla de cálculo y no será necesario incluir datos en las columnas (2) y (3) correspondientes a valores de áreas. En la tabla de cálculo de a Fig13, si se incluyen los valores de áreas de las secciones. En el caso de se disponga de la valorización de volúmenes pueden utilizarse estos, en la tabla de cálculo sin tener que incluir valores de áreas. (En la fig16, caso del ejercicio2, se considera que se han obtenido los valores de volúmenes en el procesamiento de los datos topográficos, por tanto se incluyen directamente los valores de volúmenes entre secciones, sin necesidad de incluir los de áreas.

3.1.5. Ej1 Coeficiente de variación volumétrica Se determina el valor del Cvv que se requiera. Para este ejercicio se consideró lo siguiente.

	kg/m ³		
PVb	1,750	PVb PVs	1.06
PVs	1,650	PVb /Pvc	0.90
PBc	1,950	PVc/PVb	1.11

3.1.6. Ej1 Cálculo de ordenadas de la curva masa. Se aplica el Cvv a los valores de terraplén y se calcula la columna (6) como se indica en el encabezado de la columna. (volumen de terraplén (columna (5) multiplicado por el Cvv. Esto es columna (5) por Cvv) Fig13.

Se determina la diferencia de volúmenes (corte – terraplén afectado por el Cvv correspondiente, columna (7.)

Los valores de esta columna se determinan como se indica en el encabezado. (Diferencia de volúmenes de corte y terraplén afectado por el Cvv.) fig13.

En la columna (8) se determina los acumulados de la columna (7) lo cual corresponde a las ordenadas de la Curva Masa. Fig13.

Estación	AREAS			VOLUMENES			DIFERENCIA DE VOLUMENES	ORDENADA DE MASAS
	CADENAMIENTO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	RELLENO ABUNDA DO		
	m	m ²	m ²	m ³	m ³	m ³		
	1)	2	3	4	5	$\delta = 5 \times C_v v$	7	8
		Dato	Dato	$(B+b) \times (h/2)$	$(B+b) \times (h/2)$	$C_v v = 1.11$	4 - 6	Acum
0.00	0+000	0	0					
	0+010	10.00	20.00	50.00	100.00	111.11	-61.11	-61.11
1.00	0+020	25.00	10.00	175.00	150.00	166.67	8.33	-52.78
	0+030	20.00	5.00	225.00	75.00	83.33	141.67	88.89
2.00	0+040	0.00	10.00	100.00	75.00	83.33	16.67	105.56
3.00	0+060	0.00	5.00	0.00	150.00	166.67	-166.67	-61.11
4.00	0+080	5.00	5.00	50.00	100.00	111.11	-61.11	-122.22
5.00	0+100	5.00	5.00	100.00	100.00	111.11	-11.11	-133.33
6.00	0+120	20.00	10.00	250.00	150.00	166.67	83.33	-50.00
7.00	0+140	10.00	5.00	300.00	150.00	166.67	133.33	83.33
8.00	0+160	10.00	10.00	200.00	150.00	166.67	33.33	116.67
9.00	0+180	20.00	15.00	300.00	250.00	277.78	22.22	138.89

Fig13. Tabla de cálculo de las ordenadas de la curva masa (ejemplo1)

3.2 Ej1 Trazo de la curva masa.

En la fig14. Se muestra la curva masa trazada con los datos de la tabla de la fig13.

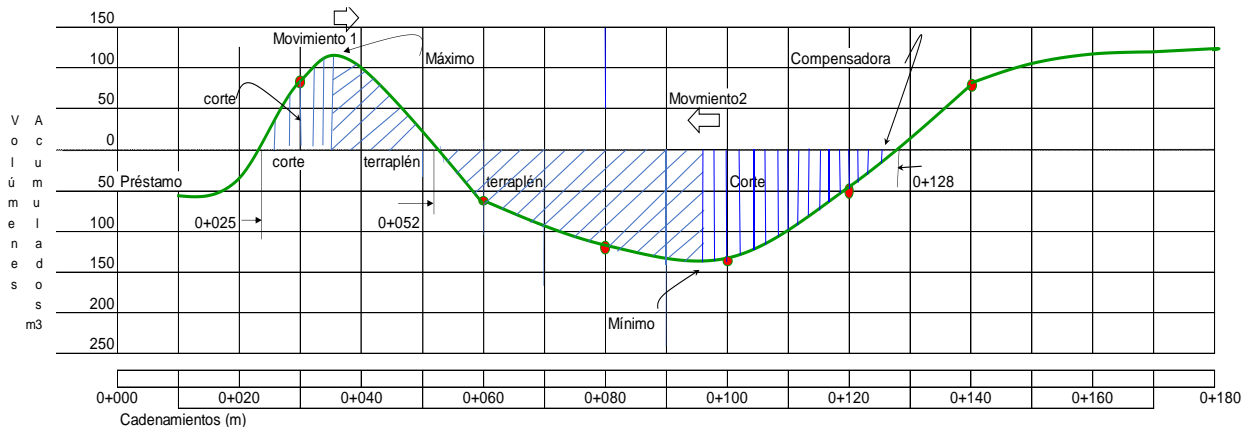


Fig14. Diagrama de la Curva Masa. (Ejemplo1 de trazo de curva masa)

4. Ej1 Análisis de la curva masa.

En la fig15. 14 Se aprecia que al inicio del tramo se requiere un préstamo entre los cadenamientos 0+000 y 0+025.

Entre los cadenamientos 0+025 y 0+052 se tiene un tramo compensado con un movimiento hacia adelante.

Entre los cadenamientos 0+052 y 0+128 se tiene un tramo compensado con un movimiento hacia atrás.

Entre los cadenamientos 0+128 y 0+180 se tiene un volumen de desperdicio.

5. **Ej1** Acarreos. En este ejercicio no se han calculado los acarrees. Su determinación se explica detalladamente en el ejercicio2

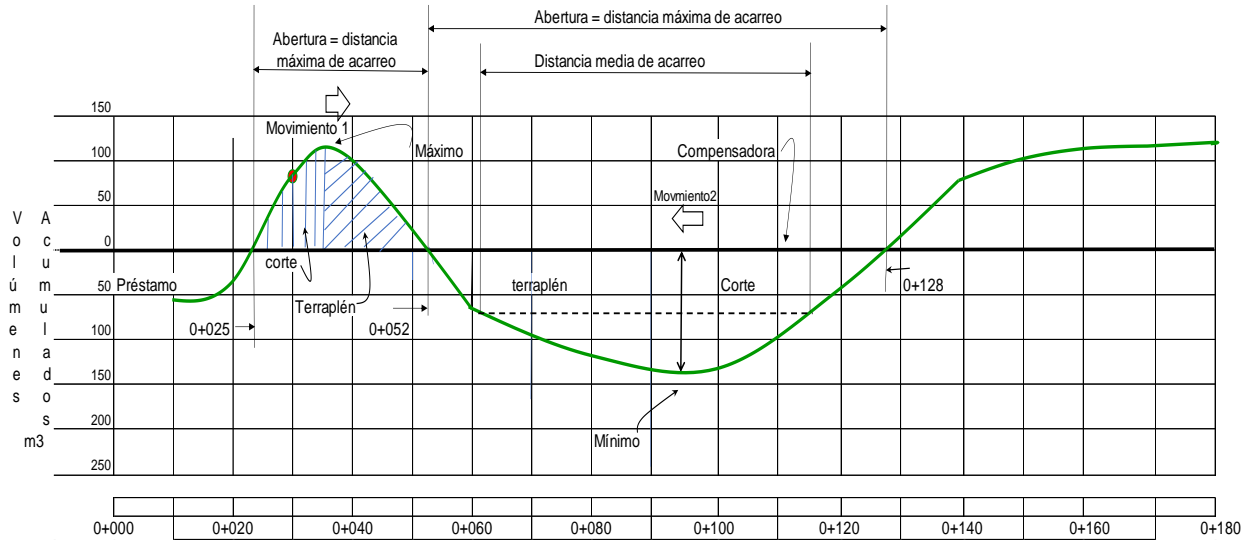


Fig15. Características de la curva masa ejemplo1

5. Acarreos. En este ejercicio no se han calculado los acarrees. Su determinación se explica detalladamente en el ejercicio2

6. Ej1 Utilización de la información de la curva masa.

Las aseveraciones obtenidas del análisis de la curva representan elementos útiles para realizar una selección de bancos de préstamo o desperdicio, definición de equipos de transporte y en general información de apoyo para la toma de decisiones.

Ejemplo numérico2.

En lo que sigue se presenta un ejercicio numérico en el que se considera la construcción de la curva masa de un tramo de camino de 400m. cad 0+000 al 400+000 Fig17

En el tramo del proyecto entre los cadenamientos 0+000 y 0+185, se calcula el acarreo total sin diferenciar acarreo libre y sobre acarreo.

En otro tramo de la obra, entre los cadenamientos 0+185 y 0+300 se calcula el sobre acarreo.

Se considera que se ha realizado el levantamiento topográfico correspondiente Y en el proceso de los datos de topografía se han calculado las áreas de las secciones y se ha identificado la parte en corte y terraplén, así mismo se determinaron los volúmenes (de corte y terraplén) entre secciones consecutivas.

3.1 Ej2 Cálculo de valores. Como se mencionó antes se considera que se ha realizado un levantamiento topográfico de la obra y se han obtenido las secciones transversales del

proyecto, y calculado las áreas de las secciones transversales, en las que se tiene identificando lo que corresponde a corte y lo que corresponde a terraplén.

3.1.1 Ej2 Dibujo en planta del trazo de la obra. Para efecto de este ejercicio (número2) se considera que se ha ubicado el trazo del camino en un plano de configuración.

3.1.2. Ej2 Dibujo de perfil longitudinal. Para efecto de este ejercicio (número2) se considera que se ha dibujado el perfil longitudinal del proyecto.

3.1.3 Ej2 Obtención de secciones transversales. Se obtienen las secciones transversales en los cadenamamientos definidos con un levantamiento topográfico. En cada sección se conoce cadenamiento, nivel del terreno natural y nivel de rasante.

3.1.4. Ej2 Determinación de las áreas secciones y volúmenes de cortes y terraplenes. Del proceso de datos del levantamiento topográfico se determinan las áreas de las secciones identificando cortes y terraplenes. Y se ingresan los valores en la tabla de cálculo. Fig16

Para este ejercicio se considera que se han obtenido del proceso de datos topográficos los volúmenes de corte y terraplén. Por tanto, se ingresan directamente estos valores a la tabla de cálculo y así ya no será necesario incluir datos en las columnas (2) y (3) de áreas. Fig16

3.1.5 . Ej2 Coeficiente de variación volumétrica.

Se ha considerado un valor

De $C_{vv} = PVB/PVC = 1.20$

3.1.6 Ej2 Cálculo de ordenadas de la curva masa. Se muestra en la tabla ordenada de cálculo de la Curva Masa.fig16.

3.2 Ej2 Trazo.

Se traza la curva masa. Fig17. Es la Curva Masa trazada con la información de la tabla de la fig16. Se grafican los valores de cadenamiento en el eje de abscisas y volúmenes acumulados en las ordenadas.

CADENAMIENTO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	RELLENO ABUNDADO	DIFERENCIA DE VOLUMENES	ORDENADA DE MASAS
1	2	3	$4 = (B+b) \times h/2$	$5 = (B+b) \times h/2$	$6 = 5 \times C_v v$	$7 = 4 - 6$	8 = Acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
	dato	dato			$C_v v = 1.20$		
0+000							
0+020			228	0	0	228	228
0+040			570	0	0	570	798
0+060			570	0	0	570	1,368
0+080			684	0	0	684	2,052
0+100			114	63	75	39	2,091
0+120			0	412	494	-494	1,597
0+140			0	412	494	-494	1,102
0+160			0	412	494	-494	608
0+180			0	412	494	-494	114
0+200			0	412	494	-494	-381
0+220			0	412	494	-494	-875
0+240			380	412	494	-114	-989
0+260			304	0	0	304	-685
0+280			304	0	0	304	-381
0+300			304	0	0	304	-77
0+320			109	0	0	109	32
0+340			380	0	0	380	412
0+360			76	114	137	-61	352
0+380			30	304	365	-334	17
0+400			30	76	91	-61	-44

Fig16 Tabla de cálculo de las ordenadas de la curva masa. Ejercicio2.

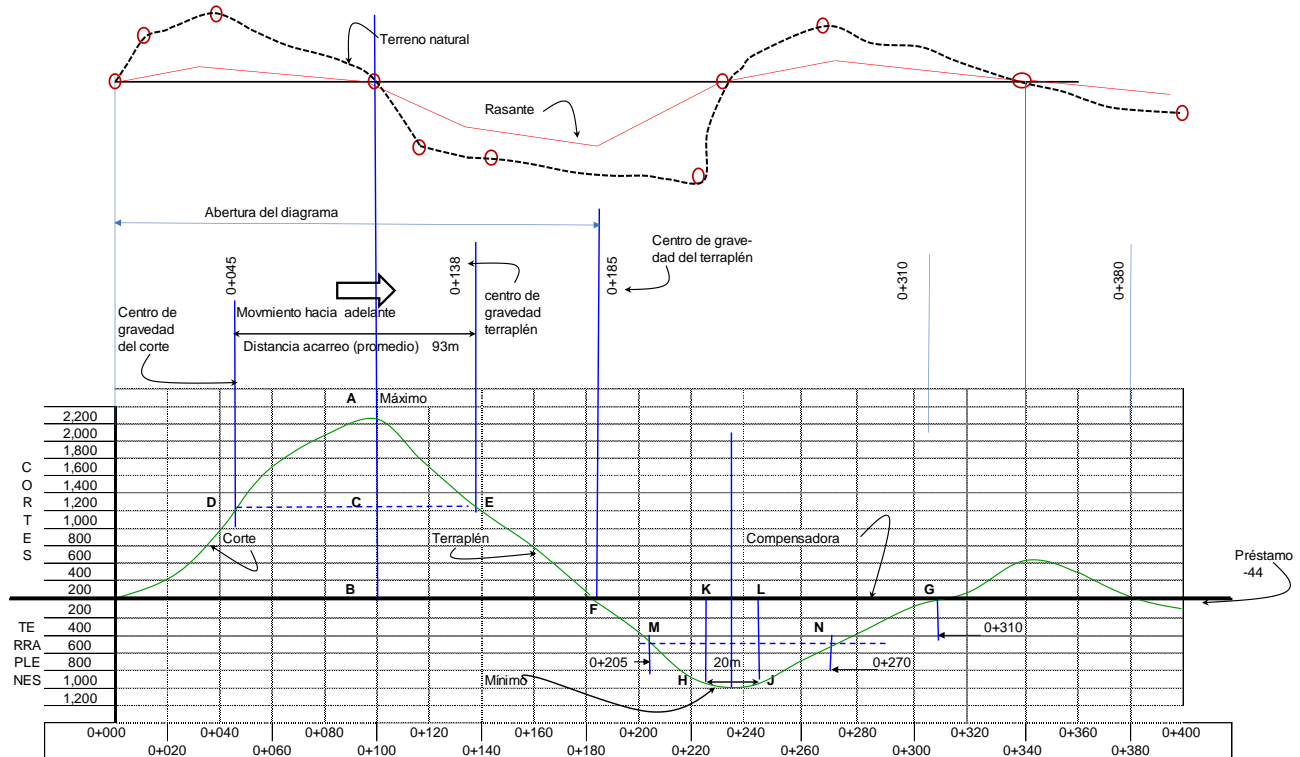


Fig17. Curva masa del ejercicio2.

4. Ej2 Análisis de la curva masa.

Se tiene un movimiento importante hacia adelante entre los **cademamientos** 0+000 y 0+185. Se tiene un movimiento importante hacia atrás entre los cademamientos 0+185 y 0+310

La compensadora del diagrama muestra que al fin del tramo en estudio se requiere un poco de préstamo.

5. Ej2 Acarreos. Se realiza el cálculo de los acarreo.

Para efecto de este ejercicio se determina el acarreo total en el tramo comprendido entre los cademamientos 0+000 y 0+185 definidos por la compensadora y la curva de masas. Así mismo, se determina el sobre acarreo en el tramo comprendido entre los cademamientos 0+185 y 0+310 definidos por la compensadora y la curva de masas. Fig17

Tramo 0+000 al 0+185 Acarreo total.

1. Se traza una línea compensadora.

Se determinan los centros de gravedad del corte y el del relleno de la siguiente manera.

a) Se traza la línea de ordenada máxima comprendida entre una línea compensadora y el trazo de la curva de masas. En la fig17 recta "B-A."

b) Por el punto medio de la ordenada BA, (punto "C") se traza una horizontal hasta cortar el trazo de la curva masa en los puntos "D" Cad 0+045 y "E" Cad. 0+138.

El punto "D" sobre la parte de pendiente ascendente de la curva es el centro de gravedad del corte.

El punto "E" sobre la parte descendente de la curva es el centro de gravedad del terraplén.

c) La distancia entre "D" y "E" es la distancia media de acarreo.

Distancia media de acarreo = "D-E" = 138 – 45 = 93m ; / 20m/Est = 4.65 Est

d) El acarreo es el Volumen x la distancia de acarreo:

2,100m³ (es la magnitud AB) x 4.65 Est. = 9,765 m³-Est.

CALCULO DEL ACARREO TOTAL		
DEL TRAMO DEL CAD	0+000	
AL CAD	0+185	
Acarreo		
Centro de gravedad de cortes y terraplenes		
Centro de gravedad de los terraplenes cadenamiento "E"	0+138	
Centro de gravedad del corte cadenamiento "D"	0+045	
Diferencia. Es la distancia media de acarreo	93 m	
	93 m X 2,100 m ³ =	195,300 m ³ -m
Estaciones de	20 m	4.65 Est
Acarreo = Vol X Dist. Media		
4.65 Est X 2,100 m ³ =	m ³ =	9,765 m ³ -Est

Acarreo Libre 1 Est x 160m³ = 160m³-Est

Sobre acarreo = Acarreo total – Acarreo Libre

S. A. = 9,765 – 160 0 = 9,605 m³ Est.

Tramo 0+185 al 0+310.

Sobre acarreo. Como se ha comentado el acarreo libre es la distancia de acarreo considerada en el precio de la excavación.

Sobre acarreo. El sobre acarreo es la distancia excedente a la de acarreo libre. El acarreo libre está considerado en el precio de la excavación.

Cálculo del sobre acarreo.

Considerando un acarreo libre de una estación de 20m. Se determinará el sobre acarreo.

a) Se traza una línea horizontal de longitud igual al acarreo libre (20m) la cual corta la curva masa en los puntos "H" y "J."

b) Se trazan las líneas verticales "K-H" y "L"- J" Estas líneas definen el límite del acarreo libre.

Ahora se deben encontrar los centros de gravedad del corte y del terraplén fuera de estos límites. Para esto:

Se traza una línea horizontal por los puntos medios de “K-H” y “L-J” que cortarán a la curva de masas en los puntos “M” cad. 0+205 y “N” 0+270.

El cadenamiento de “M” es el centro de gravedad de los terraplenes y el cadenamiento de “N” es el centro de gravedad de los cortes.

La distancia “M-N” cad.0+205 a cad 0+270 = 65m = 3.25 Est. Es el acarreo medio. Pero para calcular el sobre acarreo se debe restar el acarreo libre. Y se tiene:

3.25 Est acarreo medio – 1 Est. Acarreo libre = 2.25 Est. (Sobre acarreo)

El acarreo es el producto del volumen por la distancia. Así se tiene 2.25 Est x el volumen “K-H” que vale 950m³. El sobre acarreo será:

$$950\text{m}^3 \times 2.25 \text{ Est.} = 1,900 \text{ m}^3\text{-Est.}$$

6.- Ej2 Utilización de la información de la curva masa.

La curva masa proporciona datos de movimientos (acarreos,) volúmenes por mover, distancias por transitar, en el ejercicio muestra como distancia máxima a recorrer 125 m (310 – 185= 125) lo que nos da un elemento para seleccionar el tipo de equipo para el acarreo. De la revisión de la ubicación del tramo en una planta de configuración, se tendrán elementos para definir bancos de préstamo y desperdicio.

En los planos, se acostumbra indicar los movimientos de tierra con números arábigos; los préstamos con números romanos y los desperdicios con letras.

Referente al trazo de carretera presentado en la fig1. Se presenta en la fig18 la curva masa correspondiente. Se indican los movimientos con números arábigos, el préstamo requerido con numero romano. Y no hay desperdicios.

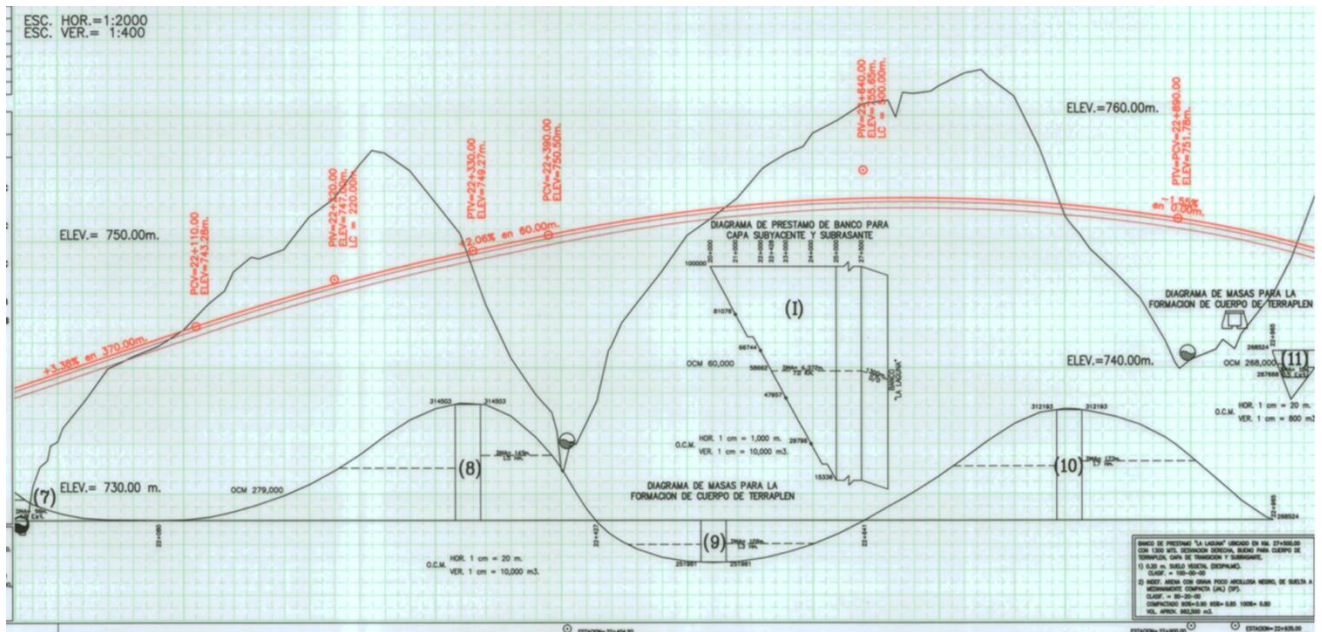


Fig18 Curva masa de 1.0 km de carretera. Tramo km22+00 al 23+000

Definición de equipo por utilizar.

Al analizar el movimiento de los materiales en una curva de masas con una compensadora en especial, es importante ubicar las zonas en que es conveniente el empleo de los equipos adecuados para esa distancia de acarreo.

Considerando que la longitud de las líneas compensadoras en un diagrama de masas nos indican distancias de acarreo convenientes para realizar el movimiento de tierras de una manera “balanceada” es importante ubicar las compensadoras considerando las distancias de acarreo adecuadas para los diferentes equipos utilizados en esta actividad (acarreo.)

En general en las gráficas de rendimiento de empuje de material con un tractor, estas indican que la mejor producción del equipo está comprendida hasta una distancia máxima aproximada de 100m. ⁽¹¹⁾ en distancias mayores disminuye importantemente la producción, por tal razón, es considerada generalmente esta distancia (100m) como la máxima distancia recomendable para el empleo del tractor en el movimiento del material.

Los equipos trailla son equipos para movimiento de tierras eficientes en distancias de acarreo mayores a los 100m, comentados para los tractores. Los manuales de rendimiento de las traillas consideran distancias de acarreo con estos equipos hasta de 2,200m. ⁽¹¹⁾ Rango en que se considera adecuado el empleo de estos equipos.

En la fig19 se presenta una porción de una curva de masas en donde se han localizado dentro de la abertura del diagrama de la curva masa, distancias máximas de acarreo recomendables para equipos de acarreo.

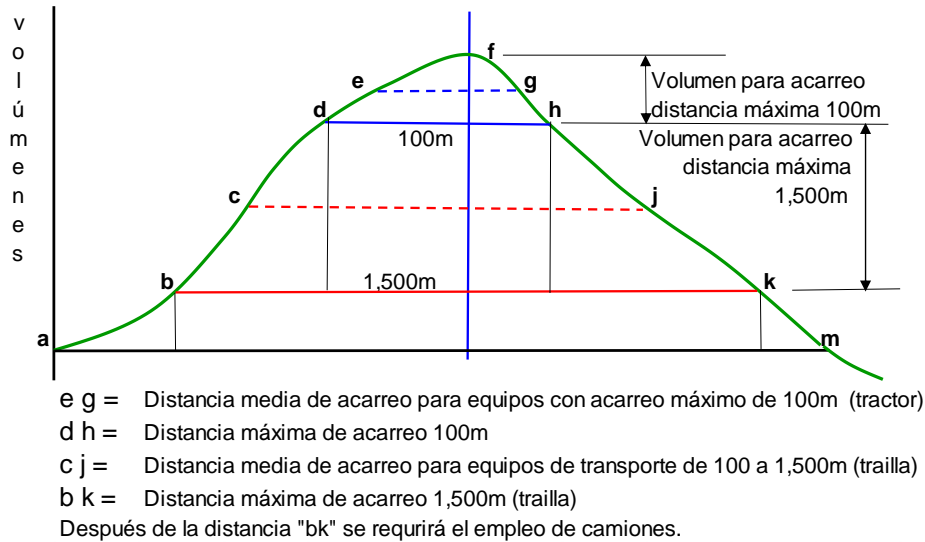


Fig19. Curva masa en donde se identifican distancias máximas "recomendables" de acarreo, para diferentes tipos de equipos de acarreo

Así, se ha marcado la distancia máxima considerada para movimiento con tractor (100m) y una línea de acarreo medio con este equipo. El volumen entre las estaciones "d" y "f" será colocado entre las estaciones "f" y "h". En este intervalo es conveniente usar el tractor para realizar el acarreo.

También se ha trazado una línea de acarreo máximo con trailla (se consideraron 1,500m) y una línea de acarreo medio. Para el intervalo entre la línea de 1,500m (distancia máxima con trailla) y la línea de 100m (distancia máxima tractor.) el volumen entre las estaciones "b" y "d" será colocado entre los cadenamientos "h" y "k". En este intervalo es conveniente usar la trailla para realizar el acarreo.

Para los acarreos después de la línea de 1,500 será necesario utilizar camiones

En el análisis de los acarreos en un proyecto, es posible localizar varias líneas compensadoras.

7. Programas electrónicos:

Se dispone en el mercado de diversos productos, programas de cálculo electrónico con los que se pueden realizar los cálculos propios de trabajos de movimiento de tierras incluido el cálculo de la curva masa. Con estos programas se realiza el cálculo de las ordenadas de la curva masa, y se obtiene su trazo.

El manejo de estos programas permite realizar el análisis de diferentes alternativas de movimientos, con distintas compensadoras, así mismo varias alternativas de rasante, realmente con gran rapidez.

De este tipo de programas se puede mencionar el CIVILCAD.

La SCT dispone de un programa denominado V23.⁽⁹⁾

El proceso de cálculo que realiza este programa V23 es propiamente el cálculo de la ordenada de la curva masa, según se ha visto, se calculan áreas de corte y terraplén, se calculan volúmenes de corte y terraplén y se calculan las ordenadas de la curva masa y calcula los acarreos.

En función de la forma (desglose) en que se proporcione la información al programa. Se puede obtener del proceso de cálculo los volúmenes de corte desglosados por ejemplo en estrato1 y estrato2, estrato despálme, etc.

Así mismo en lo referente a los terraplenes es posible calcular por separado lo referente a cuerpo de terraplén, subyacente, subrasante, compactación de la cama de los cortes.

Estos desgloses de información se definen según lo que se requiera.

En la referencia ⁽³⁾ se presenta un desglose de formas en que se puede obtener información de los volúmenes a lo largo del tramo estudiado. Este desglose corresponde prácticamente a los trabajos propios de movimientos de tierras.

El reporte del programa es una tabla de la forma que se presenta enseguida, y se incluyen algunos conceptos que se pueden obtener del reporteador. Fig20

Cadenamiento	Despálme Corte	Corte Estrato1	Corte Estrato2	Relleno en Caja	CTN	CC	CCC		Subyacente	Subrasante	Ex.Ac. Te.C	Ex.Ac. Te.C
						95%	100%				95%	100%

Fig20. Reporteador de un programa de computadora.

Los encabezados de la tabla corresponden a nombres de actividades de trabajos de terracerías.

Despálme. Retiro de la capa de material vegetal.

Corte. Los cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría

Corte Estrato1. Es estrato que se haya identificado con ese nombre en la sección transversal.

Corte Estrato2. Es estrato que se haya identificado con ese nombre en la sección transversal.

Relleno en caja: El relleno es la colocación de materiales seleccionados o no, en excavaciones hechas para estructuras, obras de drenaje y subdrenaje, cuñas de terraplenes contiguos a estructuras, así como en trincheras estabilizadoras. N-CTR-CAR-1-01-011-11

CTN: Compactación del terreno natural para desplante de un terraplén.

CCC Compactación de la cama de los cortes. Compactación de la zona de corte para desplante de terraplén.

Suby. Subyacente. Capa inmediatamente encima del cuerpo de terraplén #. N-CTR-CAR-1-01-009-TERR

Esta definición cuerpo de un terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente.

Subr. :Subrasante. Capa inmediatamente encima de la cama de los cortes, de la capa subyacente, o del cuerpo de un terraplén cuando esta última no se construya para servir de desplante a un pavimento. N-CMT-1-03-02

Ex.Ac.Te.Co: Excavación, acarreo, tendido y compactación. Actividad que se realiza cuando se utiliza el material de corte.

El empleo de los programas electrónicos proporciona la oportunidad de realizar variados análisis y obtener información muy desglosada sin que eso represente demasiado trabajo al analista; pero se requiere personal capacitado para el manejo de estos programas además de conocer el trabajo de movimiento de tierras y las propiedades de la propia curva masa.

.Preguntas:

1) ¿Qué es la curva masa?

La curva masa es una gráfica sobre un plano de ejes cartesianos en el cual se expresan en el eje de las abscisas, los cadenamientos de un proyecto lineal y en el eje de las ordenadas, el valor del acumulado de cortes y terraplenes

2) ¿Cuales son los objetivos de la curva masa?

Analizar movimientos de tierras, así como determinar volúmenes de acarreos Procurando el balance entre cortes y terraplenes, determinar volúmenes de material de préstamo o desperdicio. Y de esta manera, buscar el escenario más conveniente tanto desde el punto de vista de utilización de materiales como de la economía del proyecto

3) Enuncie las dos actividades generales fundamentales que se realizan para el cálculo de la curva masa y trazo de la misma

Cálculo de las ordenadas de la curva masa y Trazo de la misma.

3.1 Cálculo. Para el cálculo de la curva se procede de la siguiente manera:

3.1.1 Dibujo de Planta del trazo de la obra.

- 3.1.2 Dibujo de perfil longitudinal de la obra.
- 3.1.3 Obtención de secciones transversales.
- 3.1.4 Determinación de áreas de secciones y volúmenes cortes y terraplenes.
- 3.1.5 Coeficientes de variación volumétrica.
- 3.1.6 Cálculo de la curva masa. Explicación y cálculo

3.2 Trazo. Trazo en un plano de ejes cartesianos.

4) Para efectos de movimiento de tierras. ¿Que tipos de secciones (perfiles transversales) se presentan en el trazo de un camino?

1) Secciones en terraplén, 2) Secciones en corte y 3) Secciones mixtas (en balcón)

5) Mencione que elementos para el análisis del movimiento de tierras se pueden conocer a partir del estudio de la curva masa.

- A) Realizar ejercicios con diferentes alternativas de manejo de los materiales en cortes y rellenos.
- B) Determinar distancias de acarreos.
- C) Hacer una estimación del tipo de equipo tanto de excavación como de carga y acarreo.
- D) Definir bancos de préstamo y desperdicio.

Referencias.

(1) Tesis. Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de curva masa. Francisco Guevara Martínez. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Lima Perú.

<https://www.bing.com/videos/search?q=curva+masa&&view=detail&mid=F9B29C6DDB01F8D43516F9B29C6DDB01F8D>

(2) 2.6 Utilización de la curva masa en la selección de equipo. Movimiento de tierras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

https://www.ingenieria.unam.mx/luiscr/licenciatura_ic/1608_mt/1... · Archivo PDF

(3) V Cálculo de área, volúmenes, y curva masa.. Fabbian José Rodríguez Dorado. (PDF)

V. CALCULO DE AREA, VOLUMENES Y CURVA MASA | Fabbian Jose Rodriguez Dorado - Academia.edu

https://www.academia.edu/10103014/V_CALCULO_DE_AREA_VOLUMENES_Y_CURVA_MASA

(4) Standard Handbook for Civil Engineers. Third Edition. Frderick S Merritt, Editor.

(5) Especificaciones SCT. N-CTR-CAR-1-01-013-00 (Acarreos)

(6) Como Calcular el Diagrama de masas (CARRETERA) - Bing video

<https://www.bing.com/videos/search?q=curva+masa&&view=detail&mid=F9B29C6DDB01F8D43516F9B29C6DDB01F8D> (Ejercicio corto)

(7) Licitación Pública Internacional 00009001-002-08

(8) SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Normas de construcción e Instalaciones. Carreteras y Aeropistas. Terracerías. 3.01.01
<https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Libros-biblioteca-Normas/LIB000-3.pdf>

(9) SCT. Infraestructura DGC. Publicaciones. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-carreteras/publicaciones/programa-curva-masa-v23/>

(10) <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8693/Capitulo6.pdf>

(11) Manual de rendimientos Caterpillar Ed.40 (Español)