UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE TECNOLOGIA
DE LA
CONSTRUCCIÓN

TRABAJO DE EXPLANACION EN OBRAS VIALES

CURSO DE ESPECIALIZACION "OBRAS HORIZONTALES"

INTRODUCCION

Los altos costo de la construcción de proyectos de obras horizontales, exigen que se tenga la mayor precisión en los cálculos de cantidades de obras, ya que el menor detalle puede afectar la aceptación o denegación de estos.

Según los constructores y consultores de obras viales, de acuerdo a la experiencia, la actividad de movimiento de tierra en los proyectos horizontales, oscila cerca del 50% del costo total del mismo. Por lo anterior, tanto el supervisor, que representa al dueño del proyecto en la obra, así como el contratista que ejecuta la misma, deben tener sumo cuidado al momento de determinar los diferentes volúmenes que serán excavados, removidos, acarreados, compactados y hasta retirados de la obra, según sea el caso.

La ciencia de la ingeniería, ha determinado varios métodos para el cálculo de los volúmenes de tierra, siendo uno de los más aplicados el del Diagrama de Masa, que presenta muchas ventajas, siempre y cuando sea bien interpretado (uno de los objetivos de este método es reducir al máximo los movimientos de tierra, mediante la realización de compensación de volúmenes).

Otro aspecto de gran importancia al momento de ejecutar un proyecto carretero es la selección del equipo adecuado para la realización de las diferentes actividades, ya que de no tomarse en cuenta, incrementa los costos (que afectan directamente la economía del constructor), además de provocar retrasos respecto al período de ejecución, no olvidemos que la mala distribución del equipo puede también, provocar una aceleración del deterioro del mismo.

El presente documento consiste en una investigación más a fondo de temas, referentes a la ejecución de proyectos de obras horizontales, tales como:

- **Investigación acerca de los diferentes tipos de maquinaria utilizadas en el desarrollo de las obras horizontales, como: caminos (apertura o rehabilitación), adoquinados, inclusive los grandes proyecto de la era moderna.**

- **Cotizar la renta horaria de los diferentes equipos usados en la construcción de obras viales.**

- **Conceptos, propiedades, utilidades del Diagrama de Masa, así como sus limitaciones, inclusive la realización de un ejercicio de aplicación.**

EQUIPO DE CONSTRUCCION PARA OBRAS VIALES

Las Máquinas de gran potencia sirven de apoyo en la ejecución de obra viales (carretera), mayormente en la preparación del terreno, excavación o terraza, estas actividades son: limpieza, corte, traslado de material, compactación, etc.

Se recurre a las máquinas o equipos para la ejecución de movimiento de tierra teniendo en cuenta todos los elementos del precio, recordemos que las labores de movimiento de tierra, constituyen el 50% del monto total de los proyectos, aproximadamente.

Las máquinas se imponen también prescindiendo de las cuestiones económicas, cuando los volúmenes de obra diaria a realizar para satisfacer los programas, son altos.

En los proyectos que se emprenden actualmente, las máquinas se imponen, teniendo en cuenta que el movimiento de tierra debe ser de una manera rápida y eficiente así como la calidad de la terraza donde irán los cimientos de la obra.

CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE CONSTRUCCION

Clasificación general de los equipos de construcción

Existen básicamente dos clases de equipos o maquinarias para la construcción:

- **Equipo o maquinaria estándar:** es aquel tipo de maquinaria especializada que se fabrica en serie, de la cual existe en el mercado variedad de modelos, tamaños y formas de trabajo, las que se adecuan a diversas labores, tienen la ventaja adicional de que para ellas normalmente existen repuestos y su operación es relativamente estándar.
- **Equipos o maquinaria especial:** son aquellos que se fabrican para ser usados en una sola obra de características especiales o para un tipo de operación específica, es decir, que su origen está en una necesidad puntual que es satisfecha mediante su diseño y construcción.

Otra forma de clasificar los equipos de construcción, es atendiendo a la actividad que desempeñan en el desarrollo de la obra, por lo que se dividen en:

Equipos de excavación y movimiento de tierras

Los equipos de excavación y movimiento de tierra en su mayoría componen la familia de palas y excavadoras, las que se desarrollaron a partir de la creación de una máquina mecánica (alrededor de 1836) que duplicó el movimiento y

efectividad del trabajo de un hombre cavando con una pala de mano. Entre ellos tenemos: **Tractor, Buldózer, Cargador frontal, Pala Mecánica, Draga, Retroexcavadora, Zanjadora.**

Equipos de transporte horizontal de materiales

Se considera dentro de este grupo a todos aquellos equipos destinados al acarreo de material dentro de una obra. Entre estos se cuentan: **Camiones, Vagones, Traillas, Cintas transportadoras, Trenes.**

Equipos de transporte vertical de materiales

El principal equipo de transporte vertical de materiales es la **grúa**, que se usa para alzar, bajar y transportar carga de un punto a otro dentro de la zona de trabajo, existen grúas fijas o móviles, hidráulicas, telescópicas y con pluma la que se conoce como de tipo de torre y es la que se usa más en construcción.

Equipos de compactación y terminación

La compactación es el proceso de incrementar la densidad de un suelo mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Las cuatro fuerzas que se usan para compactar son: carga estática, vibración, impacto y amasado.

Como equipos de compactación se incluyen los siguiente: **Placas compactadoras vibratorias y compactadores neumáticos**, **Rodillos lisos, Rodillos neumáticos, Rodillos pata de cabra.**

Equipos de producción de hormigón

Entre estos equipos podemos mencionar a: **Plantas mezcladoras, Betoneras, Camiones mixer, Bombas, Vibradores.**

Otros equipos y herramientas

Son los equipos que sirven como accesorios para los equipos, para que estos puedan desempeñar otras funciones, entre ellos tenemos: **Compresores de aire (*Estacionaria*, *Móvil o Portátil)*, Bombas de agua, Martinetes, Perforadores.**

Una empresa que tenga un módulo como el detallada anteriormente, sería ideal para ejecutar cualquier obra vial, sin embargo en Nicaragua no se cuenta con empresas que presten estas condiciones.

Detallaremos un poco más acerca de las máquinas que comúnmente son utilizadas en Nicaragua para la ejecución de obras viales, así sea para el movimiento de tierra, compactación, corte excavación u otra actividad, siendo los siguientes:

- **BULLDOZERS**
- **MOTONIVELADORA**
- **EXCAVADORAS**
- **RETROEXCAVADORA**
- **CARGADORES FRONTALES**
- **VIBROCOMPACTADORAS**
- **CAMIONES**

BULLDOZERS O TOPADORAS

Definición Máquina para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empuje con la hoja (transporte). En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además, debido a su gran potencia, tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten (Ej. una mototrailla).

Estas máquinas se utilizan durante el proyecto de construcción en operaciones tales como: limpieza del terreno de árboles y maleza, apertura de brechas en terrenos rocosos, movimientos de tierra en estanques, cortes carreteros u otros, esparcimiento de rellenos de tierra y limpieza de escombros en sitios de construcción. Algunos modelos poseen un rooter o diente escarificador, que permite la remoción de roca o terrenos duros.

Clasificación por su envergadura

- ✓ Pequeños
- ✓ Medianos
- ✓ Grandes

Por la forma en que mueve su hoja

- ✓ tildozer
- ✓ push dozer
- ✓ angledozer
- ✓ tipdozer

De acuerdo a la forma de rodamiento:

- ✓ Sobre cadena
- ✓ Sobre neumático (Bastidor rígido o articulado)

Especificaciones técnicas de modelos Caterpillar, Tractores de cadena pequeños

Potencia hp:	78 a 100
Cilindrada:	4,998 cm^3
Peso kg:	7,640 a 8,821

Tractores de cadena medianos

Potencia hp:	110 a 140
Peso kg:	13,100 a 27,776

Tractores de cadena grandes

Potencia hp:	305 a 850
Peso kg:	37,580 a 111,590

Tractores neumáticos medianos

Potencia hp:	220 a 440
Radio de giro:	9.91 m
Peso kg:	18,611 a 46,355

Tractores neumáticos grandes

Potencia hp:	625 a 850
Radio de giro:	12.5 a 17.

Algunas diferencias entre tractor de oruga y uno neumático

ORUGAS	***NEUMÁTICOS***
Mayor tracción (fuerza)	
En un río se deteriora la oruga	No deteriora el pavimento
Tiene que ser transportado en un camión	Se desestabiliza más rápido
Funciona bien en grandes volúmenes de tierra	Trabaja mejor en un río, suelos granulares, dunas
Trabaja bien en suelos arcillosos, mojados	Con fango patina
Distancia máxima económica=100mt.	Distancia máxima económica=150-180 mt.

Velocidades máximas de avance y retroceso de un tractor de cadena CATERPILLAR modelo D9N:

Velocidad máxima de avance: 12,1 km/h

Velocidad máxima de retroceso: 14,9 km/h

MOTONIVELADORA

Definición: Máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial. Su versatilidad esta dada por los diferentes movimientos de la hoja, como por la serie de accesorios que puede tener.

Puede imitar todo los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisición.

La motoniveladora permite:

- Extender y nivelar materiales sueltos
- Excavar las cunetas de una carretera, llevando los materiales extraídos hacia el eje de la carretera después de nivelarlos.
- Regularizar los taludes de una excavación, nivelando los materiales extraídos sobre el fondo.
- Conservar las pistas seguidas por las máquinas de movimiento de tierra. En arrancar mediante escarificador y eliminar los elementos demasiados gruesos mediante rastrillos para rocas.

Especificaciones técnicas de modelos Caterpillar

MODELO	***Potencia neta al volante(KW)***	***Modelo Motor***	***Velocidad máxima de avance (km/h)***	***Velocidad máxima de retroceso (km/h)***	***Radio mínimo de giro(m)***
120G	93	3304	40,9	38,3	6,7
130G	101	3304	39,4	36,9	7,3
12G	101	3406	39,4	39,4	7,3
140G	112	3406	41,0	41,0	7,3
140G AWD	134	3406	41,0	41,0	7,8
14G	149	3406	43,0	50,1	7,9
16G	205	3406	43,6	43,6	8,2

EXCAVADORAS

Definición: Máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de 360°, que excava, carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y balance, sin que el chasis o la estructura portante se desplace.

La definición anterior, precisa que si la máquina descrita no es capaz de girar su superestructura una vuelta completa (360°), no es considerada como excavadora. La precisión de los planos de trabajo, tales como pluma, balance, estructura portante, etc.; fija y unifica los criterios clasificadores.

Clasificación de las Excavadoras

Por su accionamiento:

- ✓ Excavadoras de cable o mecánicas.
- ✓ Excavadoras Hidráulicas.

Por su sistema de traslación:

- ✓ Excavadoras montadas sobre cadenas (orugas)
- ✓ Excavadoras montadas sobre ruedas (neumáticos)

Se utiliza mucho también para el trabajo en zanjas en el que trabaja retrocediendo. Además a esta máquina se le pueden adaptar según la capacidad, otros accesorios para desempeñar otras labores, tal es el caso de los martinetes que se ubican en vez del cucharón, lo que permite al equipo, realizar labores de excavación en suelos rocosos.

Principales diferencias entre una excavadora montada sobre orugas y una sobre ruedas

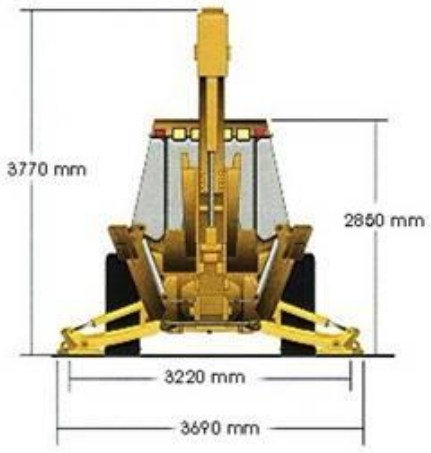
CADENAS (ORUGAS)	***RUEDAS***
	Mayor movilidad
Mayor flotación	No dañan el pavimento
Mayor tracción	Mejor estabilidad con estabilizadores
Mejor maniobrabilidad para terrenos muy difíciles	Nivelación de la máquina con estabilizadores
Reubicación más rápida de la máquina	Mayor capacidad de trabajo con la hoja

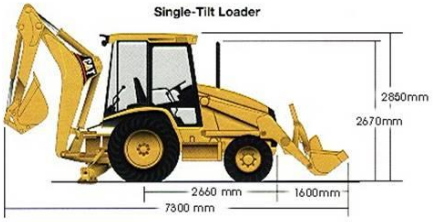
Especificaciones técnicas de una Excavadora 320L

Potencia al volante	96 KW
Modelo del motor	3066 T
Nº de cilindros	6
Calibre	102 mm
Carrera	130 mm
Cilindrada	6.4 L
Caudal máximo de la bomba hidráulica del implemento a las R.P.M. nominales	2x185 l/min
Ajuste de las válvulas de alivio • Circuitos del implemento • Circuitos de desplazamiento • Circuitos de giro • Circuitos auxiliares	• 31400 kpa • 34300 kpa • 23000 kpa • 3400 kpa
Velocidad máxima de desplazamiento	4455 mm/min.
Ancho de la zapata estándar	2380 mm
Capacidad del tanque de combustible	310 lt

RETROEXCAVADORAS

Definición: Máquina autopropulsada, la que se caracteriza por su versatilidad y la ventaja de trabajar en espacios reducidos. Esta máquina, se encuentra montada sobre ruedas con bastidor especialmente diseñado que porta a la vez, un equipo de carga frontal y otro de retroexcavación trasero, de forma que pueden ser utilizados para trabajos de excavación y carga de material.





Especificaciones técnicas de una retroexcavadora Caterpillar Modelo 426B

Potencia al volante	61 KW
Peso en orden de trabajo	6790 kg
Velocidad máxima de avance	33,2 km/h
Velocidad máxima de retroceso	33,5 km/h
Radio mínimo de giro	7,88 m
a) Profundidad máxima de excavación	4721 mm
b) Fondo plano de 61 mm.	4696 mm
c) Altura total de operación	5752 mm
d) Altura de carga	3815 mm
e) Alcance de carga	1711 mm
Arco de giro	180º

CARGADORES FRONTALES

Definición: El cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal.

Los cargadores son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavación en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas.

El uso de cargadores da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y aumentar la producción. En el caso de excavaciones con explosivos, la buena movilidad de éste le permite moverse fuera del lugar de voladura rápidamente y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosivo se disipe, el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material.

Originalmente los tractores cargadores sólo tenían movimiento de giro del cucharón y vertical a lo largo de un marco que le servía de guía al cucharón, que se colocaba en la parte delantera del tractor. Cuando el cucharón estaba a nivel de piso, el tractor avanzaba hacia adelante y este se introducía en el material para cargar; después se subía el a base de cables y poleas accionadas por una toma de fuerza del motor del tractor, y con el cucharón en esta posición, el tractor se movía hasta colocarlo en la parte superior del vehículo, que se deseaba cargar y se dejaba que el cucharón girara por el peso del material, y del mismo, aflojando uno de los cables de control.

Los cucharones del cargador frontal varía en tamaño desde 0.19 m^3 hasta modelos de 19.1 m^3 de capacidad, colmado. El tamaño del cucharón está estrictamente relacionado con el tamaño de la máquina.

Algunos modelos de pala pueden utilizar diversos accesorios que la conviertan en una máquina de trabajo de utilidad múltiple.

- Pala cargadora para trabajo normal
- Pala retroexcavadora para trabajo de zanjas y pozos
- Pala Niveladora para el trabajo de regularización o nivelación
- Como esta maquina también puede trabajar como grúa o utilizar un dispositivo especial de martinete para la inca de pilotes, el número de utilizaciones que se admiten son siete.

Clasificación de los cargadores frontales:

De acuerdo a la forma de efectuar la descarga:

- ✓ Descarga Frontal
- ✓ Descarga Lateral
- ✓ Descarga Trasera

De acuerdo a la forma de rodamiento:

- ✓ De Neumáticos (Bastidor rígido o articulado)
- ✓ De Orugas

Especificaciones técnicas de modelos Caterpillar

Potencia en el volante	73,1 KW
Modelo de motor	3114 T
Velocidad máxima de avance	37 km/h
Velocidad máxima de retroceso	24,5 km/h
Capacidad combustible	157 L
a) Altura hasta el tubo de escape	3,08 m
b) Altura hasta el capo del motor	2,7 m
c) Altura hasta el techo ROPS	3,14 m
d) Altura total máxima	4,66 m
e) Profundidad máxima de excavación	90 mm
f) longitud total	6,42 m

COMPACTADORES Y VIBROCOMPACTADORAS

Las apisonadoras son máquinas autopropulsadas de 2 ó 3 rodillos, que se emplean en la compactación de tierras con espesores de 20 - 30 cm. Su peso varía de 5 a 15 t y la velocidad de trabajo entre 2 y 10 Km/h.

La maquinaria vibrante puede ser apisonadoras autopropulsadas o rodillos vibrantes remolcados por tractor, pisones manuales, planchas o bandejas vibrantes, etc. Puede compactar adecuadamente gravillas, arenas y, en general, terrenos con poco o ningún aglomerante, en espesores hasta 25 cm. No son aptos para terrenos arcillosos.

Compactadoras BITELLI TIFONE C120: de rulo, y de pata de cabra.

Los compactadores de neumáticos pueden ser autopropulsados o remolcados, con suspensión independiente en cada rueda, lo que asegura una buena compactación. Todos los neumáticos deben llevar la misma presión y su velocidad oscila entre 10 y 24 Km/h.

Los rodillos pata de cabra son máquinas remolcadas por tractores de pequeña o mediana potencia, que pueden ser normales o vibrantes, y que se utilizan para la compactación de terrenos con excepción de arenas, gravas y piedra partida. Disponen de depósitos para lastre, que pueden estar vacíos o llenos de agua o arena, lo que permite aumentar la presión que transmiten al terreno.

Otros equipos de compactación de uso manual y para actividades menores y obras de drenajes son como las siguientes:

Objetivos de la compactación

OBJETIVOS	EFECTO	CONTROL, ENSAYOS
Aumento de la resistencia	*- Capacidad portante* *- Estabilidad del terraplén*	*- De penetración ó índice CBR* *- Triaxiales* *- Corte* *- Compresión simple*
Disminución del volumen de Huecos	*Impermeabilidad*	*Permeabilidad*
Resistencia a la deformación	*Limitación de asientos y cambios de volumen*	*Módulo de Deformación Edométrico*

CAMIONES

El transporte de material excavado a vertedero o al lugar de empleo es muy usual en las obras. Esta operación comprende el transporte de tierras sobrantes de la excavación a vertedero, o bien el transporte de las tierras necesarias para efectuar un terraplén o un relleno. En otras situaciones, es necesario transportar agua para realizar la construcción de obras de drenaje o para el riego en terracería, para lo que se hace uso de los camiones cisterna (de estos últimos, existen autopropulsados y remolcados; los hay con equipo de bombeo y otros que funcionan por gravedad).

Tanto camiones (foto a la izquierda), como dúmper (derecha), son medios de transporte para largas distancias, con una serie de peculiaridades. Mientras los primeros no pasan de un peso de 13 toneladas por eje (pueden circular por carreteras convencionales), los segundos no. Los segundos, además de su gran

capacidad, tienen un diseño especial que los compatibilizan para soportar cargas bruscas, terrenos accidentados, etc.

Camiones: Vehículos de caja descubierta, destinados al transporte de cargas superiores a 500 Kg, siempre han de ser basculantes.

Dúmper: Vehículos de caja basculante muy reforzada (tara mayor o igual a la carga útil). Suelen tener varios ejes tractores y calzar neumáticos todo terreno. Se emplean para transportes cortos, fuera de carreteras o caminos y tienen capacidad de carga muy variable. Suelen tener una elevada capacidad de transporte, oscilando los pesos netos entre 30 y 40 toneladas con cargas útiles entre 40 y 60 toneladas.

En general los camiones también se pueden clasificar de acuerdo a la forma que realizan una determinada actividad, teniendo así la siguiente clasificación:

- ✓ Camiones de Volteo.
- ✓ Camiones fuera de caminos (Dúmper).
- ✓ Volquetes.
- ✓ Camiones Planchas.
- ✓ Camiones cisternas o pipas

Como se explicó al inicio, los equipos detallados anteriormente, son los que comúnmente son utilizados por los contratistas, para ejecutar las diferentes obras horizontales; pero cabe señalar que esto no cumple con lo que la ingeniería de transporte exige.

Para la selección de equipos de construcción, depende de varios factores, como la productividad, la renta horaria, entre otros.

Productividad y eficiencia del equipo

La productividad del equipo de construcción es una base primordial para su selección al planear una operación. Es la expresión empleada para asignar el rendimiento del equipo en una unidad de tiempo (normalmente una hora), donde la cantidad de tiempo depende principalmente de las condiciones del trabajo y de la dirección del mismo, así como de la destreza del operador, y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción. En este sentido es necesario manejar los siguientes conceptos:

- **Productividad Optima (Qp)**: es la mejor productividad que puede esperarse de un equipo, está regida por las limitaciones de diseño del equipo y su determinación se basa en la situación ideal de que el equipo trabaje los 60min. de cada hora.
- **Productividad Normal (Qn)**: es la operación del equipo no automatizado con un régimen de producción un poco más bajo. Puede suponerse igual a la productividad óptima, durante 45 ó 50 min. de cada hora.
- **Qn = fw * Qp**
- **Productividad real (Qr)**: **Qr = fp * Qn = fw * fp * Qp = fa * Qp**
- **Factor de eficiencia del trabajo (fw)**: su promedio normal es 0.8 y su origen está en el porcentaje de trabajo de un equipo en una hora.
- **Factor de dirección del trabajo (fp)**: toma en cuenta las interrupciones de operación del equipo relacionados con la organización del trabajo y de la dirección del mismo.
- **Factor de productividad real (fa):** es un factor de eficiencia general de operación que es el producto de **fw*fp.**

El tiempo también se debe tomar en cuenta, al momento de realizar la selección del equipo, ya que esta depende directamente de las siguientes consideraciones de tiempo:

1. **El tiempo permitido por el contrato de construcción.**
2. **La sincronización de las operaciones secuenciales.**
3. **Las variaciones de las tarifas de renta del equipo, con el tiempo que toma a los equipos realizar la operación.**

Como parte del presente trabajo, se han investigado algunos valores de renta horaria (como ya se ha aclarado, generalmente los módulos son incompletos), por lo que los datos siguientes no encierran todos los equipos.

Detalle de Renta Horaria

Equipo	Renta A	Renta B	Observaciones
Buldózer D9	U$$ 100.00		B, no tiene este equipo
Buldózer D8	U$$ 85.00	U$$ 70.00	
Buldózer D6	U$$ 60.00		B, no tiene este equipo
Buldózer D5		U$$ 40.00	A, no tiene este equipo
Buldózer D4	U$$ 40.00		B, no tiene este equipo
Motoniveladora	U$$ 45.00	U$$ 45.00	
Cargador Frontal	U$$ 50.00	U$$ 35.00	Capacidad de pala A > B
Retroexcavadora		U$$ 70.00	A, no tiene este equipo
Vibrocompactador	U$$ 35.00	U$$ 40.00	De la misma capacidad
Camión de 10 M^3	U$$ 35.00		B, no posee este equipo
Camión de 8 M^3	U$$ 25.00	U$$ 25.00	

Cabe mencionar que las rentas investigadas corresponde a un módulo (A), que se encuentra ubicado en la ciudad de Sébaco, en el departamento de Matagalpa y el segundo módulo (B), se encuentra en la ciudad de Jinotega; como se puede observar, ambos se localizan en la zona norte del país.

DIAGRAMA DE MASA

MOVIMIENTO DE TIERRA

Las cotas de proyecto de rasante y subrasante de las obras de pavimentación establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros casos elevarlas. En el primer caso corresponde ejecutar un trabajo de "corte o excavación", y en el segundo, un trabajo de "relleno o de terraplén".

En ambos casos debe efectuarse lo que constituye propiamente un "*movimiento de tierras.*

Una operación completa del movimiento de tierra, exige de siete operaciones elementales:

1. Excavación de los materiales.
2. Extracción de los materiales.
3. La carga de los materiales para su transportación.
4. La transportación de los materiales.
5. La descarga o amontonamiento del material en terraplenes.
6. El esparcimiento o extensión del material en los terraplenes.
7. Eventualmente la compactación de los terraplenes.

Por lo antes expuesto se convierte en asunto de especial importancia en la construcción de proyecto viales, el cálculo de los volúmenes de tierra a mover, según las experiencias, el 50% del monto total de una obra vial, corresponde a la actividad de movimiento de tierra, por ello la mayor exactitud en la obra es de interés para el dueño de la obra como para el constructor de la misma.

DETERMINACION DE LOS VOLUMENES DE TIERRA ENTRE ESTACIONES.

Cálculo de volúmenes: Con el área de cada una de las secciones se integran los volúmenes por el método del promedio de áreas extremas sumando dos áreas de sección contiguas, promediándolas y multiplicándolas por la mitad de la distancia entre ambas.

Movimiento de terracerias.- Esta fundamentado en los volúmenes a mover en relación a las distancias de acarreo, para ello intervienen diferentes conceptos de los cuales dependerá la economía del proyecto.

a. **Acarreo libre.-** Es la distancia a la que se hace el movimiento de un volumen sin requerir de trabajos elaborados o en el caso de contratos sin llegar a un pago adicional, actualmente en Nicaragua está fijado para una longitud no mayor de 600 metros.
b. **Sobre acarreo.-** Es el transporte de los materiales a una distancia mayor a la del acarreo libre y 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 camión o maquinaria.
c. **Préstamo lateral.-** La diferencia que se necesite 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.
d. **Préstamo de banco.-** Se presenta en las mismas condiciones que el anterior solo que por la calidad del material o por no encontrarlo sobre el camino se utilizara de un lugar especial según convenga, por lo general este acarreo se realiza con camiones.

DIAGRAMA DE MASA

La curva masa 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.

Las ordenadas de la curva resultan de sumar algebraicamente a una cota arbitraria inicial el valor del volumen de un corte con signo positivo y el valor del terraplén con signo negativo; como ábsidas se toma el mismo cadenamiento utilizado en el perfil.

Los volúmenes se corrigen aplicando un coeficiente de abundamiento a los cortes o aplicando un coeficiente de reducción para el terraplén.

EL PROCEDIMIENTO PARA EL PROYECTO DE LA CURVA MASA ES COMO SIGUE:

1. se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o terraplén.
3. se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción)
4. 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 dibujadas las secciones transversales del camino.
5. se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
6. se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
7. se dibuja la curva con los valores anteriores.

PROCEDIMIENTOS OPTATIVOS PARA EL CALCULO DEL DIAGRAMA DE MASAS

Otros autores presentan diferentes procedimientos para el cálculo del diagrama de masa, los que se detallan a continuación:

- **Cálculo del diagrama de masas por el procedimiento de abundar los cortes.**

Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponden al abundamiento que sufrirá el material. Los volúmenes de los terraplenes no sufrirán modificaciones.

Al calcular los sobreacarreos habrá que tomar los volúmenes sobreacarreados del material compacto. Para esto, se dividirá la ordenada del volumen sobreacarreado entre el coeficiente usado.

- **Cálculo de la curva masa para el procedimiento de corregir los volúmenes de los terraplenes.**

Los volúmenes de los cortes en este caso no sufrirán modificaciones. En cambio los volúmenes de los terraplenes se multiplicarán por coeficientes generalmente menores que la unidad para convertirlos en volúmenes compactos.

Con este procedimiento los volúmenes sobreacarreados quedan a base de material compacto.

En Nicaragua, el procedimiento de abundar los terraplenes es el que utilizan normalmente las empresas consultoras para calcular el diagrama de masas.

- **Cálculo de la curva masa por el procedimiento de abundar los terraplenes.**

Consiste en afectar los volúmenes de relleno por un coeficiente de abundamiento del material excavado este coeficiente generalmente es proporcionado por los laboratorios de suelo. Como resultado se obtiene que los volúmenes de relleno son mayores a los calculados inicialmente. Esto se debe a que el volumen necesario del lugar, donde se va a rellenar para luego ser compactado, es mayor que el volumen suelto.

DIBUJO DE LA CURVA MASA.

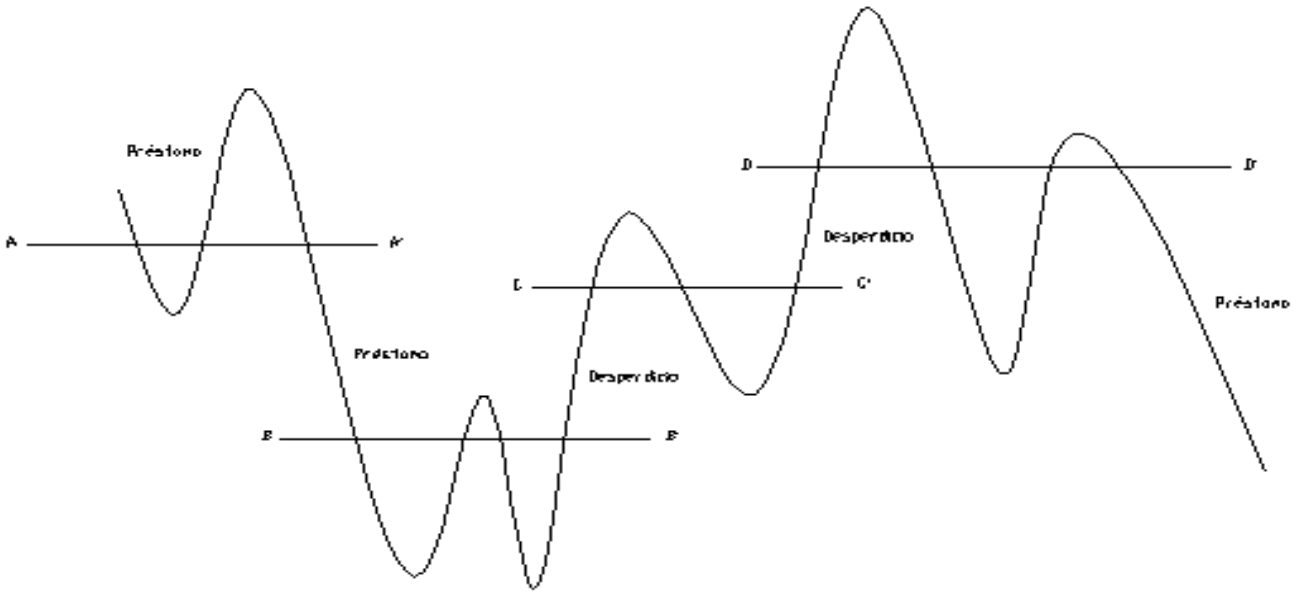
Se dibuja la curva masa con las ordenadas en el sentido vertical y las absisas en el sentido horizontal utilizando el mismo dibujo del perfil.

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

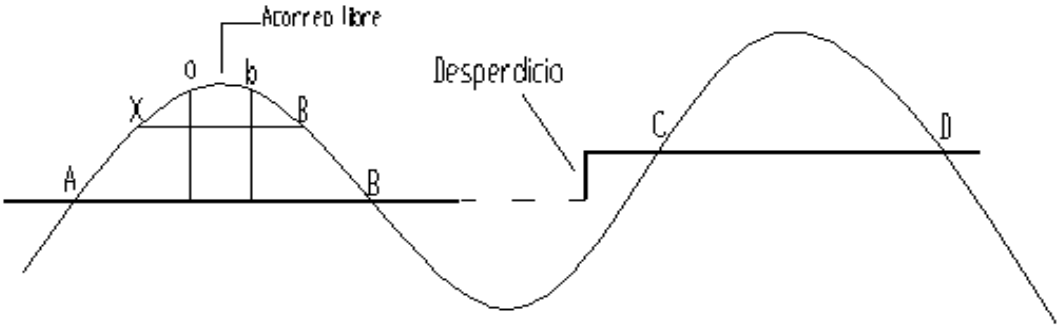
Podrán dibujarse diferentes alternativas de línea compensadora para mejorar los movimientos, teniendo en cuenta que se compensan más los volúmenes cuando la misma línea compensadora corta más veces la curva, pero algunas veces el querer compensar demasiado los volúmenes, provoca acarreos muy largos que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

En el dibujo del 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 botarse y tomarse como un desperdicio extra.
- En el caso de la curva se haya 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 efectúan 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.



Préstamos y desperdicios



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 del cadenamiento en forma ascendente la diferencia indicara el volumen de material que tendrá que desperdiciarse lateralmente al momento de la construcción, por lo regular resultan muy costosos.

Determinación del acarreo libre:

Se corre horizontalmente la distancia de acarreo libre 600 metros, de tal manera que toque dos puntos de la curva, la diferencia de la ordenada de la horizontal al punto más alto o mas bajo de la curva, es el volumen.

Determinación del sobre acarreo:

Se traza una línea en la parte media de la línea horizontal compensadora y la línea horizontal de acarreo libre.

La diferencia de absisas X – B será la distancia a la que hay que restarle el acarreo libre para obtener la distancia media de sobre acarreo convertida en estaciones y aproximada al décimo.

El volumen se obtendrá restando la ordenada de la línea compensadora A –B a la de la línea de acarreo libre a-b.

Subrasante económica: es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose como esto, la suma de las erogaciones ocasionadas durante la construcción y por la operación y conservación del camino una vez abierto al tránsito.

PROPIEDADES DE LA CURVA MASA:

1) La curva crece en el sentido del cadenamiento cuando se trata de cortes y decrece cuando predomina el terraplén.
2) En las estaciones donde se presenta un cambio de ascendente a descendente o viceversa se presentara un máximo y un mínimo respectivamente.
3) Cualquier línea horizontal que corta a la curva en dos extremos marcara dos puntos con la misma ordenada de corte y terraplén indicando así la compensación en este tramo por lo que serán iguales los volúmenes de corte y terraplén. Esta línea se denomina **compensadora** y es la distancia máxima para compensar un terraplén con un corte.
4) La diferencia de ordenada entre dos puntos indicara la diferencia de volumen entre ellos.
5) El área comprendida entre la curva y una horizontal cualquiera, representa el volumen por la longitud media de acarreo
6) Cuando la curva se encuentra arriba de la horizontal el sentido del acarreo de material es hacia delante, y cuando la curva se encuentra abajo el sentido es hacia atrás, teniendo cuidado que la pendiente del camino lo permita.

UTILIZACION 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 sobreacarreos y selección adecuada de los bancos de préstamo.

El contratista lo utiliza para:

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

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:

a) 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.
b) 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 las terracerías.
c) En terrenos en donde es necesario alojar la carretera en firme.
d) En aquellos tramos de la carretera con pendiente máxima sostenida; donde las excavaciones son excesivas y dificultosas.
e) En los accesos a los puentes.
f) 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 (oscila entre 5 y 10 centímetros), ya que esto representa grandes volúmenes de corte; que generalmente no se toma en cuenta, convirtiéndose en una desventaja del método.

FORMULAS A UTILIZAR PARA EL CALCULO DEL DIAGRAMA DE MASAS

1) **SD = $\frac{\text{Estación siguiente – Estación anterior}}{2}$**
2) **$V_c = (A_{c1} + A_{c2}) * SD$ estación.**
3) **$V_r = (A_{r1} + Ar2) * SD$ estación**
4) **% porcentaje de abundamiento o coeficiente de variabilidad volumétricca**
5) **Relleno Abundado : $V_r * \%$**
6) **Ordenada = $V_c – (V_r * \%) +$ ordenada de la estación anterior**
7) **Ordenada Masa Final = Ord.inicial + $\sum V_{corte} - \sum V_{rabundado}$**

A continuación se presenta un ejercicio de aplicación del diagrama de masa realizado a un proyecto de camino.

Proyecto: **Apertura de camino Finca San José**.
Municipio: **Bocana de Paiwas, R.A.A.S.**
Fecha de Levantamiento: **Enero/2004**

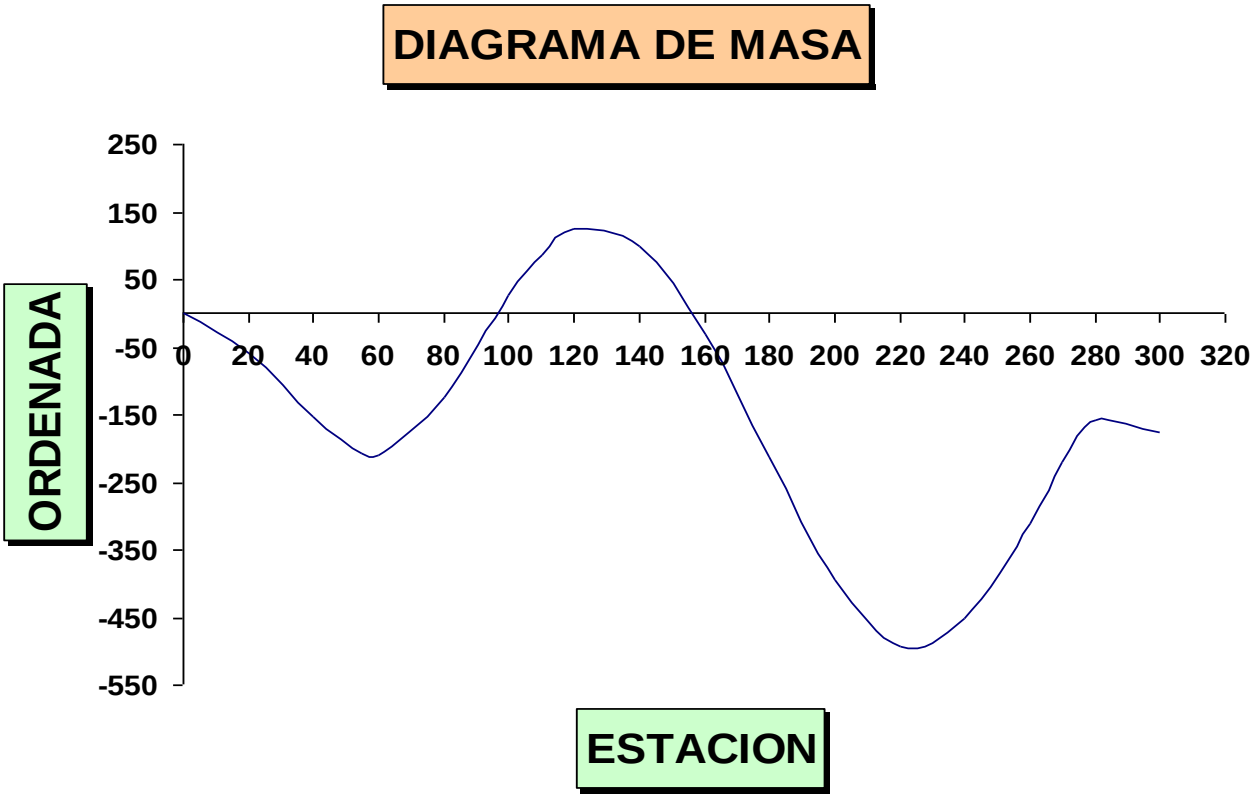
ESTACION	S.D. (M)	AREAS (M²)		VOLUMENES (M³)			ORDENADA
		CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	R. Abundado	
0 + 000		3.00	4.00				0.00
	10.0			70.00	100.00	130.00	
0 + 020		4.00	6.00				-60.00
	10.0			90.00	140.00	182.00	
0 + 040		5.00	8.00				-152.00
	7.5			82.50	105.00	136.50	
0 + 055		6.00	6.00				-206.00
	2.5			32.50	27.50	35.75	
0 + 060		7.00	5.00				-209.25
	10.0			150.00	50.00	65.00	
0 + 080		8.00	0.00				-124.25
	10.0			150.00	0.00	0.00	
0 + 100		7.00	0.00				25.75
	5.0			60.00	0.00	0.00	
0 + 110		5.00	0.00				85.75
	5.0			45.00	5.00	6.50	
0 + 120		4.00	1.00				124.25
	10.0			40.00	50.00	65.00	
0 + 140		0.00	4.00				99.25
	10.0			0.00	100.00	130.00	
0 + 160		0.00	6.00				-30.75
	10.0			0.00	140.00	182.00	
0 + 180		0.00	8.00				-212.75
	10.0			0.00	140.00	182.00	
0 + 200		0.00	6.00				-394.75
	10.0			20.00	90.00	117.00	
0 + 220		2.00	3.00				-491.75
	10.0			80.00	30.00	39.00	
0 + 240		6.00	0.00				-450.75
	10.0			140.00	0.00	0.00	
0 + 260		8.00	0.00				-310.75
	5.0			90.00	0.00	0.00	
0 + 270		10.00	0.00				-220.75
	5.0			75.00	10.00	13.00	
0 + 280		5.00	2.00				-158.75
	10.0			60.00	60.00	78.00	
0 + 300		1.00	4.00				-176.75

Como se puede observar el levantamiento no presenta detalles de material desechable, por lo que no se considera al momento de los cálculos respectivos.

Los datos en color negro son propios del levantamiento, mediante el uso de las fórmulas antes expuestas se ha realizado los cálculos correspondientes tabulados

en la tabla anterior; con el fin de obtener los valores de las ordenadas que permiten construir el Diagrama de Masas, que se presenta a continuación:

Se ha iniciado con una ordenada cero “0”, lo que no afecta los análisis que se realizan mediante el Diagrama de Masas, bien pudo ser otro valor (Por ejemplo 1000 u otro).



BIBLIOGRAFIA

- **Folleto de Explanación en Obras Horizontales. (Msc. Ing. Oscar Zamora)**
- **Apuntes de Diseño Geométrico Avanzado (Ing. Salvador Ayestas)**
- **www.icc.ucv.cl.htm**
- **www.unam.mx_archivos**
- **www.rincondelvago.com (trabajos publicados)**
- **www.grupos.unican.es**
- **www.aecarretera.com**
- **www.gmanow.com**
- **www.consnet.unican.es**
- **www.fagro.edu.uy**