

**INFLUENCIA DE LA INFORMACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS EN LA
UTILIZACION DE LA MAQUINARIA EN MOVIMIENTOS DE TIERRA**

POR

JUAN DAVID ARIAS SÁNCHEZ
OSCAR ALONSO MANCO GUZMAN
PAULA ANDREA GIRALDO GIRALDO
LUIS FERNANDO CARVAJAL QUIROS

Trabajo de Grado como requisito para optar al
Título de especialista en Gerencia de Construcciones

Asesor Temático
Ingeniero Civil Jhon Mario García

Asesor Metodológico
Ingeniero Civil Jhon Mario García



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES
MEDELLÍN
2010

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que nos apoyan y nos fortalecen día a día, a nuestros padres, conyugues e hijos.

Juan David Arias Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al Ingeniero Jhon Mario García, por su disponibilidad en la elaboración del estudio y además por brindarnos una excelente asesoría metodológica.

A cada uno de los profesores, por compartirnos sus experiencias y estar siempre dispuestos a resolver nuestras dudas.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1. RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.1. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	6
2. PROCEDIMIENTO INICIAL PARA OPTIMIZAR EL MOVIMIENTO DE TIERRA.....	8
2.1. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL TERRENO	8
2.2. DISEÑOS.....	9
2.3. CONCENTRACIÓN DE TRABAJO EN EL LOTE	10
2.4. DISEÑO DE TERRACEO Y RASANTES DE VIAS.....	12
2.5. ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	15
2.6. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL MOVIMIENTO DE TIERRAS CON EL PROGRAMA VTOPO.....	17
3. EQUIPOS Y MOVIMIENTO DE TIERRA.....	21
3.1. GENERALIDADES.....	21
3.2. OPERACIONES BÁSICAS EN MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	21
3.3. MATERIALES	22
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	22
3.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOTÉCNICAS	22

3.4.	MAQUINARIA DE EXCAVACION	25
3.4.1.	BULLDOZER	25
3.4.1.1.	TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON EL BULLDOZER	28
3.4.2.	CARGADOR	28
3.4.2.1.	TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON EL CARGADOR.....	29
3.4.3.	RETROEXCAVADORAS	31
3.4.3.1.	TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON RETROEXCAVADORA	32
3.4.4.	RETROEXCAVADORA – CARGADORA	33
3.5.	MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN	33
3.5.1.	COMPACTADORES	34
3.5.1.1.	COMPACTADORES DE FUERZA ESTÁTICA.....	35
3.5.1.2.	COMPACTADORES DE IMPACTO O PERCUCIÓN	36
3.5.1.3.	COMPACTADORES DE VIBRACIÓN	36
3.6.	MOTONIVELADORAS.....	36
3.7.	INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRA.....	37
4.	SELECCIÓN DE TIPO DE RODADURA ADECUADA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE TIERRA.....	40
4.1.	RESISTENCIA A LA RODADURA. RR.....	40
4.2.	RESISTENCIA A LA PENDIENTE. RP.....	41
4.3.	RESISTENCIA TOTAL.....	42
4.4.	TRACCIÓN	42
5.	RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA	45
5.1.	CONCEPTO.....	45

5.2. FACTORES.....	45
5.2.1. CONDICIONES DE TRABAJO DE LA OBRA EN CUESTIÓN	45
5.2.2. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.....	46
5.2.3. HABILIDAD Y EXPERIENCIA DEL OPERADOR.	46
5.3. RENDIMIENTO DEL BULLDOZER.....	46
5.4. RENDIMIENTO DE LA RETROEXCAVADORA	53
6. COSTO DE LOS TRABAJOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Plano topográfico del lote (Figura en Autocad 2004).....	10
FIGURA 2	Plano de pendientes del lote (Figura en Autocad 2004).....	11
FIGURA 3	Diseño urbanístico (Figura en Autocad 2004).	11
FIGURA 4	3D Topografía modificada del proyecto (Figura en Autocad 2004). ...	13
FIGURA 5	Plano de volúmenes (Figura en Autocad 2004).....	14
FIGURA 6	Plano de análisis del movimiento de tierras (Figura en Autocad 2004).	16
FIGURA 7	Plataforma Vtopo.....	17
FIGURA 8	Datos del levantamiento leídos por el programa Vtopo.	18
FIGURA 9	Curvas de nivel generadas por el programa (Figura en Autocad 2004).	19
FIGURA 10	Malla 3D de topografía natural generada por el programa (Figura en Autocad 2004).....	19
FIGURA 11	Malla 3D de la topografía modificada (Figura en Autocad 2004).....	20
FIGURA 12	Ventana del menú topografía modificada.	20
FIGURA 13	Bulldozer con orugas (www.cat.com)	25
FIGURA 14	Hoja recta (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)	26
FIGURA 15	Hoja orientable y angulable (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)	26
FIGURA 16	Hoja orientable e inclinable (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)	27
FIGURA 17	Hoja universal (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).....	27
FIGURA 18	Bulldozer con ruedas (www.cat.com)	28

FIGURA 19	Cargador con orugas (www.cat.com)	28
FIGURA 20	Cargador con ruedas (www.cat.com)	29
FIGURA 21	Ubicación óptima en planta de la maquinaria y la pila (Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras, pg. 46, Canturin Ricardo; Lima, Perú).....	30
FIGURA 22	Retroexcavadora con orugas (www.cat.com)	31
FIGURA 23	Retroexcavadora con ruedas (www.cat.com)	32
FIGURA 24	Retroexcavadora – Cargadora (www.cat.com).....	33
FIGURA 25	Compactador (www.universalequipmentsales.com).....	34
FIGURA 26	Compactadora Neumática (www.cat.com)	35
FIGURA 27	Motoniveladora (www.cat.com)	36
FIGURA 28	Producción calculada para maquinaria con Hojas Universales	48
FIGURA 29	Producción calculada para maquinaria con Hojas Semiuniversales (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).....	49
FIGURA 30	Porcentaje de pendiente.....	51
FIGURA 31	Velocidades de los ciclos de la retroexcavadora (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)	54
FIGURA 32	Tabla para calcular tiempos de ciclo según el tamaño de la máquina. (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).....	56

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	Lista de chequeo a realizar en visita de campo.....	9
TABLA 2	Convenciones de movimiento de tierra.....	14
TABLA 3	Cantidades de movimiento de tierras del proyecto.....	14
TABLA 4	Factores de incidencia en el tiempo de ciclo del cargador (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).	31
TABLA 5	Factores de resistencia al rodamiento (tomada de Caterpillar)	41
TABLA 6	Coeficientes de tracción (tomada de Fiat y Caterpillar)	43
TABLA 7	Factor de corrección (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31) ...	50
TABLA 8	Cálculo de Factor de corrección para Bulldozer según condición de trabajo.....	51
TABLA 9	Cálculo de rendimiento del Bulldozer	52
TABLA 10	Tabla para calcular tiempos de ciclo.....	55
TABLA 11	Tarifa horaria para maquinaria comúnmente	58
TABLA 12	Cálculo del costo total del descapote.	58
TABLA 13	Cálculo del costo total de perfilación de taludes.....	59

INTRODUCCIÓN

En todo proyecto de construcción que contemple movimientos de tierra es importante que haya una excelente programación por parte de la gerencia, y una muy buena comunicación entre las diferentes partes que conforman el proyecto desde el momento en que dicho proyecto se concibe y comienza a tomar forma, para así, poder alcanzar una optimización de tiempos y costos que cumpla con todas las expectativas de los inversionistas.

El movimiento de tierras comprende el grupo de actividades necesarias para modificar el terreno desde su estado natural hasta obtener un terreno modificado según las necesidades del proyecto y lo planteado en los diseños urbanísticos. Para realizar dichas modificaciones es necesario emplear maquinaria pesada tales como: retroexcavadoras, cargadoras, volquetas, bulldozer, motoniveladoras, etc. Cuyas funciones y rendimientos analizaremos en este trabajo.

Con el fin de tener una mejor comprensión del tema, se tomo como ejemplo un proyecto localizado en el Municipio de Guarne en el departamento de Antioquia, en donde gran parte del presupuesto que se va a ejecutar en el proyecto contempla el movimiento de tierra.

OBJETIVO GENERAL

Esta tesis pretende mostrar la importancia de las propiedades geotécnicas de los materiales en la utilización de maquinaria para realizar los movimientos de tierra.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Detallar los procedimientos para determinar volúmenes de tierras y los equipos necesarios para ejecutar los trabajos, cuya clave es la correcta interpretación de las capacidades geológicas y mecánicas del suelo y el correcto manejo del diagrama de masas para proyectos de construcción de vías.
- Analizar el rendimiento de los equipos que comúnmente intervienen en los movimientos de tierra, tanto individualmente como en grupo.
- Definir el costo total de un movimiento de tierras, que incluya costos de corte y relleno.
- Describir de manera secuencial los pasos que se deben considerar para la ejecución de un proyecto óptimo de movimiento de tierra.
- Describir y estandarizar la maquinaria a emplear de acuerdo al tipo de suelo presente.
- Elaborar el manual propuesto.

1. RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

El problema en el movimiento de tierras radica básicamente en la falta de planificación a lo largo de todas las etapas del proyecto, comenzando desde el momento en que nace la idea, pasando por el diseño y terminando en la ejecución de este. Es por esto, que nace la idea de plasmar una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta en cada una de estas etapas con el fin de optimizar el movimiento de tierras en los proyectos de construcción.

1.1. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Se presenta en la siguiente lista la definición de algunos términos empleados en las especificaciones técnicas de las distintas máquinas que se van a mencionar:

Aguilón: Brazo de la grúa. Estructura articulada a la máquina por un extremo y con dispositivos de cables y poleas por el otro del que pende el gancho, pala o cucharón que levanta la carga.

Área de contacto: Se refiere a la superficie de contacto con el terreno de la oruga de un tractor, es el producto de la longitud apoyada en el suelo y el ancho de la zapata.

Caja de velocidad: Sistema de engranajes interpuesto entre el motor y las ruedas motrices, permite cambiar el sentido de la marcha y variar la velocidad (y la potencia) que se transmite. Se conoce también como caja de engranaje o de cambios.

Calibre: Diámetro del cilindro de un motor de explosión.

Capacidad colmada: Volumen a ras de un cucharón más la cantidad adicional que se acumula con una pendiente de reposo 2:1 y el nivel a ras paralelo al suelo.

Capacidad cucharón: Volumen que puede contener de un material, peso que puede soportar.

Capacidad rasa: Volumen contenido después de pasar un rasero que descansa sobre la cuchilla y la parte trasera del cucharón.

Cuchara: Mecanismo o recipiente de que están provistas las grúas, excavadoras, cargadores, etc. Se utiliza para excavar y sobre todo para llevar material sólido de un sitio a otro.

Eficiencia mecánica: Es la relación entre la potencia efectiva de una máquina y su potencia nominal, expresada en porcentaje.

Entrevía: Separación entre las orugas o entre las llantas de un tractor.

Fuerza de tracción: La ejercida por las orugas o llantas sobre el terreno. En caso de orugas depende del peso total del tractor, en el caso de llantas, del peso sobre las ruedas motrices.

Supercargador: Bomba de aire encargada de suministrar aire suplementario a la cámara de combustión del motor, lo que permite, al quemar el combustible, aumentar su potencia.

2. PROCEDIMIENTO INICIAL PARA OPTIMIZAR EL MOVIMIENTO DE TIERRA

Antes de hacer un enfoque en la selección de la maquinaria según las propiedades geológicas y mecánicas de los suelos, es indispensable comenzar por detallar el procedimiento que se debe realizar para optimizar el movimiento de tierras en un proyecto seleccionado por nosotros y el cual se encuentra localizado en el Municipio de Guarne más específicamente a 1100m. Del hipódromo los Comuneros en la vía que va de la autopista hacia el Aeropuerto José María Córdoba. Es por esto que a continuación se presentan los pasos que se deben seguir para adquirir, desde el momento en que nace la idea, una optimización en el movimiento de tierras.

2.1. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL TERRENO

El estudio de prefactibilidad del terreno se debe comenzar con una visita al lote con el acompañamiento de un asesor experto con el fin de obtener una impresión inicial en la cual nos podríamos basar para comenzar a estudiar la probabilidad de éxito del proyecto. En la tabla 1 que se muestra a continuación se presenta una lista de chequeo que se debe realizar en la visita de campo:

ACCESIBILIDAD	
Distancia desde carretera principal a sitio de trabajos	_____ metros
Tipo de rodadura	no existe __ trocha __ afirmado __ pavimentada __
Ancho de vía	_____ metros
Pendiente promedio de vía	0-5%__ 5-10%__ 10-15%__ 15-20%__ >20%__
Otro tipo de acceso	si __ no __ estado en que se encuentra _____
Observaciones sobre puntos críticos:	

IMPRESIÓN GENERAL DE LA TOPOGRAFIA DEL LOTE	
Pendiente predominante en el lote	0-10%__ 10-20%__ 20-30%__ >30%__
CERCOS Y LINDEROS	
Cercos construido __ quebrada __ arboles __ otro (cual) _____	
CAÑOS O QUEBRADAS QUE ATRAVIESAN EL LOTE	
Numero de quebradas o caños	_____

Quebrada o caño numero____ Localización dentro del lote_____	
longitud aproximado dentro del lote____ ancho aproximado del cauce_____	
profundidad promedio____ Observaciones:_____	
Quebrada o caño numero____ Localización dentro del lote_____	
longitud aproximado dentro del lote____ ancho aproximado del cauce_____	
profundidad promedio____ Observaciones:_____	
SERVIDUMBRES	
Acueducto__ energía__ alcantarillado__ vial__ gas__ otra(cual)_____	localización aprox. dentro del lote_____ longitud aproximada_____
Acueducto__ energía__ alcantarillado__ vial__ gas__ otra(cual)_____	localización aprox. dentro del lote_____ longitud aproximada_____
ZONAS DE PROTECCIÓN	
Posible humedal__ lagunas__ reserva forestal__ otra (cual)_____	localización aprox. dentro del lote_____ longitud o área aproximada_____
Observaciones generales de la topografía:	

TABLA 1 Lista de chequeo a realizar en visita de campo.

2.2. DISEÑOS

La etapa de diseños de movimientos de tierra debe comenzar en el momento en que se tengan todos los elementos de entrada que permitan realizar un diseño adecuado, tales como estudios de suelos, disposiciones legales del sector y una topografía adecuada.

Es de anotar que debe haber una comunicación permanente entre el diseñador urbanístico y el diseñador de vías, terracedos y alcantarillados, pues todos estos diseños van interrelacionados entre si y por lo tanto, cualquier cambio que se genere en uno de estos va a repercutir en los otros.

A continuación presentaremos un modelo propuesto del procedimiento de diseño con el fin de optimizar el movimiento de tierras, pero antes, mostraremos una imagen que muestra la situación actual del lote (ver figura 1)

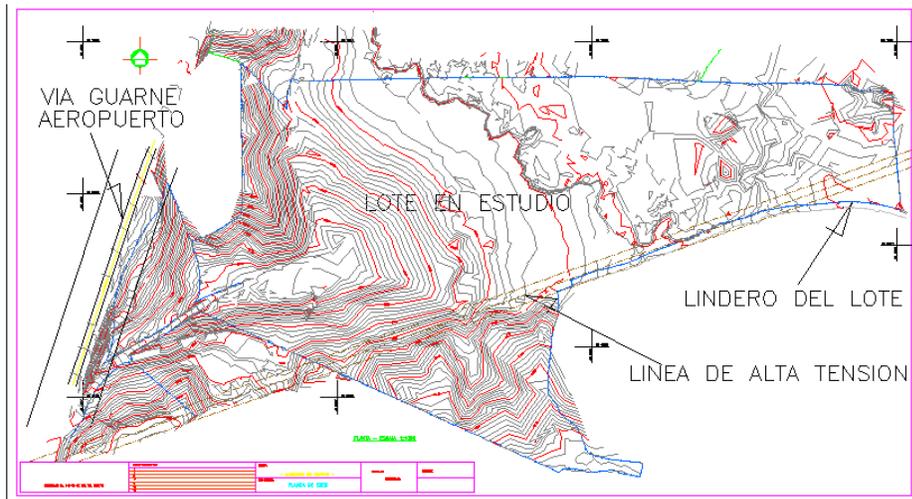


FIGURA 1 Plano topográfico del lote (Figura en Autocad 2004).

2.3. CONCENTRACIÓN DE TRABAJO EN EL LOTE

Con el fin de identificar cual es la zona óptima para realizar trabajos, inicialmente se busca que dicha zona no presente problemas de accesibilidad y que no sea muy agresiva topográficamente para permitir el acceso de la maquinaria, por lo tanto, se propone inicialmente obtener un plano en planta que nos indique la pendiente que tiene el terreno en cada sector, y así, y con ayuda de las curvas de nivel del terreno natural, identificar un posible acceso al lote y la zona donde la topografía es menos agresiva para proseguir a informarle al urbanista en que sector del lote es buena la localización del proyecto.

En la figura 2 cada color indica la pendiente que tiene cada sector.

2.4. DISEÑO DE TERRACEO Y RASANTES DE VIAS

Para el terreno donde se está trabajando en este ejemplo, un óptimo movimiento de tierra se da cuando la relación volumen cortes/volumen llenos = 1.3, este dato es un valor aproximado al factor de expansión del material, y quiere decir, que al compactar los llenos, estos reducen su volumen un 30% de más de lo obtenido en el corte, por lo tanto, el diseñador deberá buscar alcanzar dicha relación mediante un equilibrio entre los cortes y los llenos obtenidos del terraceo y las vías a ser ejecutadas, para lo cual se propone lo siguiente.

El diseñador después de recibir el diseño urbanístico deberá empezar por estudiar dicha propuesta, para lo cual se propone comenzar por saber cuál sería el terraceo promedio de cada uno de los lotes como si estos fueran a localizarse sobre el terreno natural sin todavía ser modificado, para proseguir a asignarle a cada uno de los lotes el terraceo mas apropiado, buscando que los cortes y los llenos a ser realizados en cada uno de los lotes no se salgan de los parámetros lógicos, y además, cuidando que la diferencia de terraceos entre un lote y el lote inmediatamente siguiente no tengan diferencias demasiado significativas, ya que esto haría necesario otro tipo de estructuras, tales como muros de contención, que garanticen la estabilidad del proyecto y que a su vez lo hacen más costoso.

Después de realizar el procedimiento anterior, se recomienda realizar un perfil natural longitudinal a cada una de las vías del proyecto, con el fin de comenzar a diseñar una rasante que permita dar acceso a cada uno de los lotes, y que además, tenga una elevación adecuada para poder extender las redes de acueducto, alcantarillado, gas, entre otros, ya que si la rasante está demasiado elevada, esto podría hacer que las redes de alcantarillado queden demasiado profundas o se puede dar el caso en que no sea posible diseñar un alcantarillado que no esté a cierta profundidad y por lo tanto, no se le podría dar servicio al lote. Además, uno de los factores importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar las vías es el análisis de taludes, ya que los taludes incrementan en gran cantidad los volúmenes tanto de corte como de lleno, y por lo tanto, entre más elevada o más profundo se realice el diseño de una vía respecto al terreno natural, los llenos o los cortes de los taludes se incrementan en gran manera.

Con el fin de obtener un óptimo movimiento de tierras, es necesario que después de tener una idea principal, se proceda a modificar el terraceo respecto a la rasante de la vía obtenida inicialmente, para posteriormente modificar la rasante de la vía según el nuevo terraceo, y seguir de esta forma hasta alcanzar un diseño parcial.

En el momento en que se considere tener un diseño parcial, es necesario proceder a calcular el volumen tanto de cortes como de llenos a partir de la

topografía modificada del proyecto con ayuda de un programa de computador que facilite estos cálculos.

Con los datos del volumen obtenidos, se comienza a estudiar la relación volumen de cortes/volumen de llenos, buscando que esta relación cumpla con el valor establecido, que en este caso en particular es de 1.3. Si observamos que el valor obtenido no se aproxima a este, es necesario modificar el terraceo y las vías según se requiera:

- Si la relación es mayor a 1.3, quiere decir que va a sobrar material, y por lo tanto se debería buscar elevar el proyecto según sea la diferencia.
- Si la relación es menor a 1.3, quiere decir que va a faltar material, y por lo tanto se necesario buscar bajar el proyecto según se la diferencia.

Es de anotar que en algunas ocasiones es imposible enterrar o elevar mas el proyecto, así que se podrían buscar otras alternativas tales como modificar el diseño horizontal de la vía, cambiar el loteo, etc. con el fin de buscar un valor que se aproxime mas a la relación requerida. Pero lo más común es que ningún proyecto cumpla exactamente con la relación volumen de corte/volumen de llenos y por lo tanto es necesario buscar un botadero si la relación es mayor que lo requerido o buscar el material necesario faltante si la relación es menor a la requerida.

En la figura 4 se observa el terraceo modificado con las vías diseñadas con sus respectivos taludes.

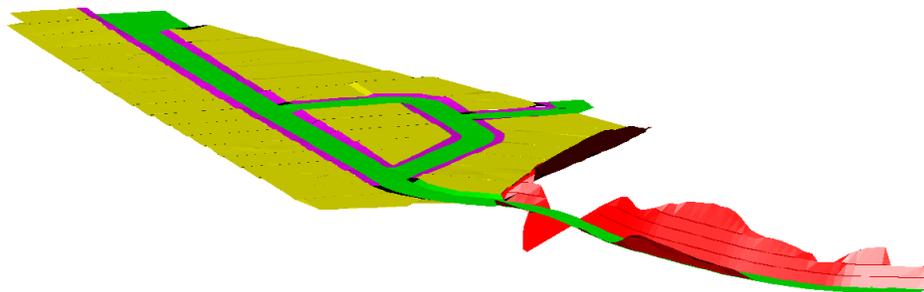


FIGURA 4 3D Topografía modificada del proyecto (Figura en Autocad 2004).

Al tener lista una topografía modificada, se puede proceder a hallar el volumen de cortes y de llenos como se muestra a continuación en la figura 5.

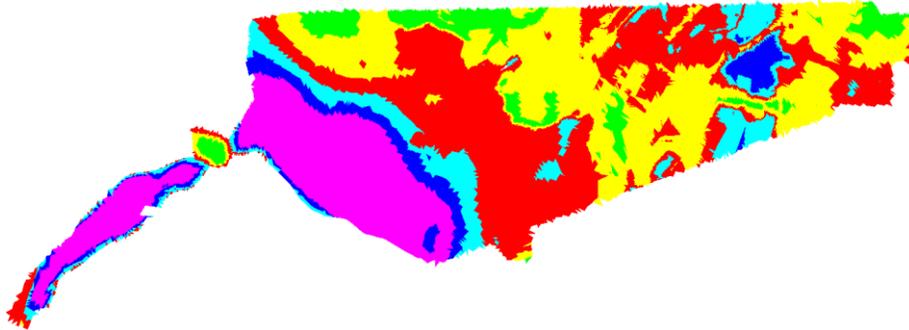


FIGURA 5 Plano de volúmenes (Figura en Autocad 2004).

En la tabla 2 se muestran las convenciones utilizadas para cada color:

COLOR	RANGO (m)	CORTE O LLENO
Rojo	0 a 2	Lleno
Amarillo	2 a 4	Lleno
Verde	mas de 4	Lleno
Cyan	0 a 2	Corte
Azul	2 a 4	Corte

TABLA 2 Convenciones de movimiento de tierra.

En la tabla 3 que se muestra a continuación se puede observar la cantidad de material de descapote, corte, y lleno que va a ser movilizado en este proyecto:

Área de lleno	63060,01 m ²
Volúmen de lleno	135510,4 m ³
Área de corte	32730,15 m ²
Volúmen de corte	179541,65 m ³
Volúmen descapote	43105,57 m ³
Total Excavación con descapote	233336 m ³
Relación V.C/V.LL = 179541,65/135510,40	1.32

TABLA 3 Cantidades de movimiento de tierras del proyecto.

El plano de volúmenes es una ayuda muy importante, ya que indica en dónde se presentan los llenos y los cortes (incluyendo un rango de profundidades), para comenzar a diseñar la estrategia de la forma en que va a ser realizado el movimiento de tierras con el fin de optimizarlo.

Hasta aquí llega el diseño del proyecto para optimizar el movimiento de tierras, y el plano de volúmenes es uno de los productos importantes que más adelante le permiten al dueño del proyecto comenzar por el análisis del movimiento de tierras basado en dicho plano.

2.5. ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

El análisis del movimiento de tierras es un paso muy importante que se debe hacer previo a la realización del presupuesto y se debe dejar establecido junto con el constructor previamente a comenzar los trabajos de construcción, con el fin de que no se presenten reclamos por parte de éste después de comenzar las actividades. Pero por costumbre este análisis se hace durante el proceso de construcción, dejando dicha responsabilidad al criterio del constructor, que por lo general no le da el valor que le debería dar, pues este no piensa en la economía y optimización del movimiento de tierras, sino que hace el análisis según se dé el avance de la obra.

Lo que se pretende con este análisis es el de reducir el transporte que se da dentro del proyecto por motivo de los trabajos que se están realizando, ya que por lo general, gran parte de los sobrecostos que se presentan en este tipo de proyectos se da por culpa de este transporte, y que si se realizara este análisis en todos los casos, dicho transporte se podría controlar con mayor facilidad.

Dos elementos de entrada importantes para poder realizar un buen análisis del movimiento de tierras son:

- Un presupuesto estimativo de los trabajos a ser realizados.
- El plano de movimiento de tierras que salió del diseño y ya se vio como se puede obtener.

Para comenzar a realizar el análisis del movimiento de tierras se debe empezar por definir los siguientes aspectos:

- Espesor de descapote (para el proyecto de ejemplo se adopto $e=0.45\text{m}$).
- Longitud de acarreo que se tiene en cuenta dentro de la excavación y por lo tanto no requiere transporte (para el proyecto de ejemplo se adopto $L=100\text{m}$).

En este proyecto se pretende extender el descapote sobre todo el terreno modificado después de que se hayan realizado los trabajos, y por lo tanto, el primer análisis que se debe realizar es el de estudiar el lugar de acopio provisional del descapote dentro del proyecto con el fin de acopiarlo en un lugar apropiado que permita realizar los trabajos de movimiento de tierras con toda comodidad sin tener que transportar el descapote de un lugar a otro con el fin de despejar la zona para que se puedan ejecutar los trabajos en esta. Por lo tanto, sería ideal encontrar un sector lo más grande posible donde no se realicen modificaciones del terreno, pero como sabemos que por lo general no se encuentra dicho sector, debemos proceder a buscar una zona donde se minimice el transporte del descapote. En el ejemplo que se está tratando se cuenta con un lote vecino que será utilizado para acopiar el descapote mientras los trabajos de modificación del terreno se realicen.

El segundo análisis que se debe realizar es el de estudiar el orden en que se deben ejecutar los trabajos, con el fin de disminuir al máximo el transporte del material de corte hacia los sitios de lleno, jugando con el acarreo que se tiene en cuenta dentro de la excavación.

En la figura 6 se muestra la forma en que fueron organizados los trabajos en el ejemplo que estamos trabajando.

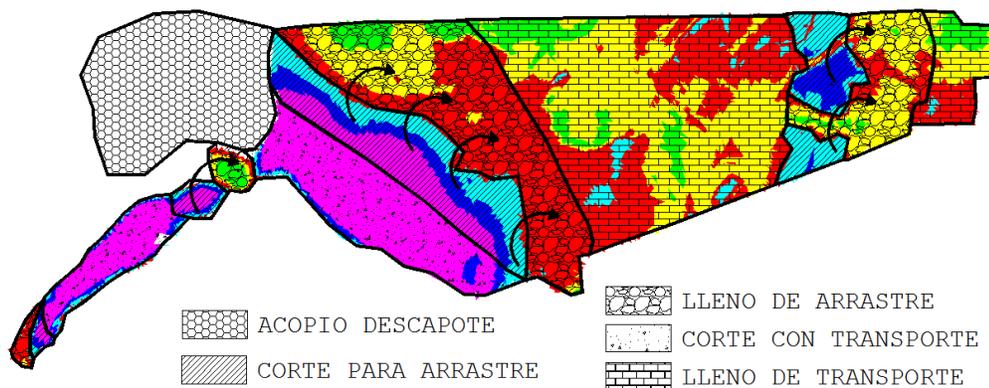


FIGURA 6 Plano de análisis del movimiento de tierras (Figura en Autocad 2004).

Después de realizar este análisis y de obtener el plano que se muestra en la figura 6, se debe proceder a realizar el presupuesto según el volumen de tierra que tenga que ser transportado con el fin de obtener la topografía modificada.

Seleccionado el constructor, y previamente al inicio de obras, se debe socializar entre la interventoría y el contratista, el plano de análisis del movimiento de tierras, y si por alguna razón es necesario modificar dicho procedimiento de trabajo, este debe ser aprobado por la interventoría previo estudio de la nueva propuesta presentada por el contratista, propuesta que es analizada en pro de la economía del proyecto.

2.6. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL MOVIMIENTO DE TIERRAS CON EL PROGRAMA VTOPO.

El programa utilizado para realizar todo el análisis anterior es un programa diseñado y creado por el Ing. Mario D'Amato Bassi, a este programa se le dio el nombre de Visual topo (Vtopo) ya que el programa inicialmente se había escrito para DOS pero en el momento en que inicio Windows, se vio en la necesidad de traducir toda esta información a esta plataforma, y el programa que se utilizo para traducir esta información fue visual basic. En la figura 7 se observa la plataforma que utiliza el programa para realizar todos los cálculos.



FIGURA 7 Plataforma Vtopo.

Este programa permite desde dibujar en planta los puntos tomados con la estación total, hasta sacar una malla tridimensional del levantamiento topográfico realizado, para esto, el procedimiento que se realiza es el siguiente:

- Inicialmente se tiene un archivo de datos de la topografía realizada; el archivo que se tiene de esta topografía se guarda en el computador en formato .prt.

- Con el programa Vtopo se procede a calcular las poligonales y las cadenas de los deltas que fueron tomados en el levantamiento, para esto nos vamos al icono "Entrada de Datos". Este programa permite observar que precisión se obtuvo en el levantamiento topográfico, siempre y cuando se haya realizado el cierre de las poligonales. Después de realizar este procedimiento, el programa genera un archivo en formato .dba el cual contiene datos (Detalle y coordenadas X, Y, Z) de todos los puntos que fueron levantados en la topografía. En la figura 8 se puede ver el archivo .prt leído por el programa.

Reg	Atras	Actual	Detalle	AngH	AngV	Slp	AI	AP	Dist	Difalt
1	E1	E2	E3	91.0044	130.4500	85.36	1.30	1.50	64.67	-55.92
2	E1	E2	ARBOL1	55.4410	25.3600	58.32	1.30	1.50	25.20	52.39
3	E1	E2	POSTE1	45.3600	24.1000	46.65	1.30	1.50	19.10	42.36
4	E2	E3	E2	0.0000	48.5100	85.36	1.30	1.50	64.28	55.97
5	E2	E3	VIA1	56.32	41.32	68.35	1.30	1.50	45.32	50.96

FIGURA 8 Datos del levantamiento leídos por el programa Vtopo.

- Con el archivo en formato .dba, se procede a dibujar los puntos del levantamiento dándole click al icono "Dxf de Dba", este dibujo lo realiza el programa Vtopo leyendo dicho archivo en el programa Autocad.
- Luego de tener el dibujo, se procede a calcular las secuencias de dicho dibujo, estas secuencias son los contornos que delimitan las vías, las quebradas, los andenes, los cercos, etc. El archivo que se crea de las secuencias es un archivo en formato .sec que genera el mismo programa.
- Después de tener los archivos en .dba y .sec, el programa genera unos archivos en formato .lad y .trc dándole click al icono "Malla 3D".
- Luego de tener los archivos .lad y .trc, se procede a dibujar las curvas de nivel y la malla 3D de la topografía natural, dándole click al icono "curvas de nivel" y "DXF 3D Face" respectivamente. En la figura 9 se observan las curvas de nivel para el proyecto y en la figura 10 se muestra la malla 3D face para el mismo, ambos archivos generados en el programa en Autocad.

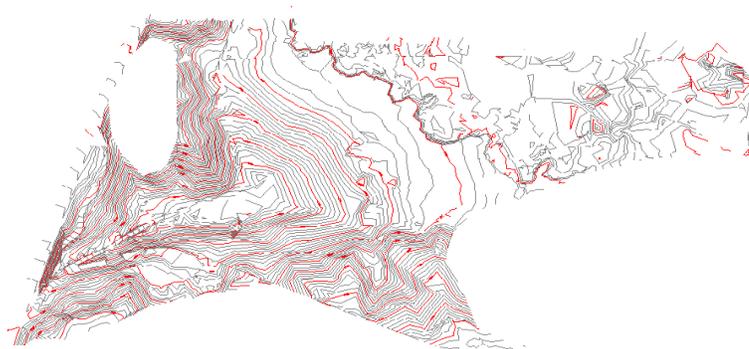


FIGURA 9 Curvas de nivel generadas por el programa (Figura en Autocad 2004).

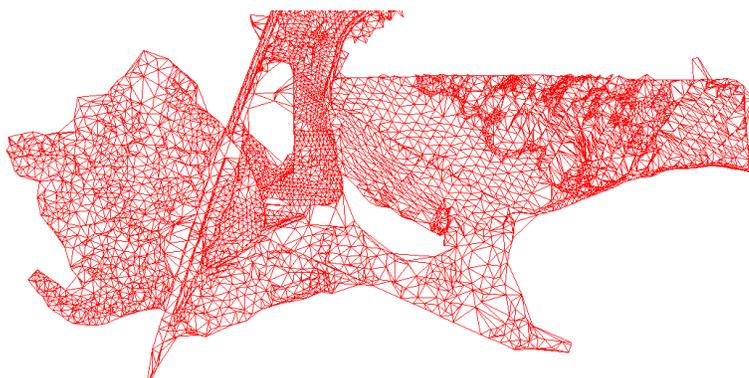


FIGURA 10 Malla 3D de topografía natural generada por el programa (Figura en Autocad 2004).

Este programa también nos permite generar la topografía modificada del proyecto, para esto, hacemos click en el icono “Topografía Modificada”, y allí insertamos la localización y las cotas de las vías que se van a construir y el terraceo que se quiere realizar. Al realizar este paso, el programa genera una carpeta llamada topomod dentro de la carpeta donde se están guardando todos los archivos que genera el programa, y dentro de la carpeta topomod, el programa crea unos nuevos archivos .lad y .trc de la topografía modificada, generando así una nueva malla 3D del terreno actualizado según el diseño. En la figura 11 se puede observar la malla 3D de la topografía modificada.

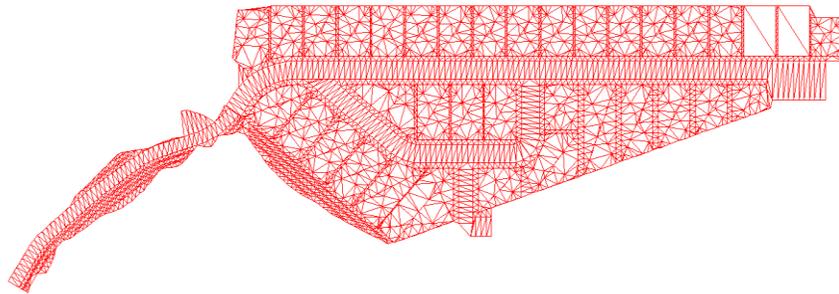


FIGURA 11 Malla 3D de la topografía modificada (Figura en Autocad 2004).

Como podemos ver, tenemos unos archivos .lad y .trc para la topografía natural y otros archivos .lad y .trc para la topografía modificada; con estos datos, se puede proceder a calcular el volumen de cortes y llenos para el proyecto, haciendo click en el icono “Topografía Modificada” y luego click en “Volumen entre Superficies”. Aquí lo que hace el programa es superponer las dos mallas que se tienen, y entre estas mallas, calcular los volúmenes. En la figura 12 se muestra la ventana que aparece después de darle click al icono “Topografía Modificada”.

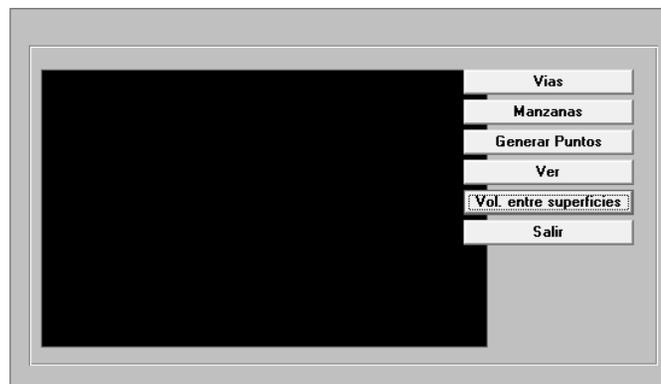


FIGURA 12 Ventana del menú topografía modificada.

El archivo que genera el icono “volumen entre superficies” es un archivo .doc donde se puede ver el volumen de cortes y de llenos que genera el proyecto.

3. EQUIPOS Y MOVIMIENTO DE TIERRA

3.1. GENERALIDADES

Se conoce como movimiento de tierra a las operaciones y trabajos realizados en los procesos de construcción en los cuales está involucrado el suelo o tierra en su forma natural; estos trabajos preceden la construcción de obras de cualquier índole.

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

La planeación y su control permiten ver (mejor, prever) posibles demoras en el sub-proyecto que afectan el desarrollo del cronograma general de la obra, aunque aparentemente lo relacionado con el movimiento de tierra sea una operación aislada.

3.2. OPERACIONES BÁSICAS EN MOVIMIENTO DE TIERRAS

Limpieza y desmonte: Consiste en la remoción de arbustos, matorrales, árboles, raíces y otros obstáculos similares localizados a poca profundidad y además remover la capa superficial de tierra (capa vegetal) en una zona específica.

Excavación o Corte: Es la remoción de tierra en sus varias formas de su sitio natural de reposo y su transporte a un lugar diferente de donde se extrajo; estas dos operaciones constituyen la excavación.

Nivelación: Consiste en igualar una superficie excavada o terraplenada hasta llevarla a un plano aproximadamente horizontal.

Relleno o terraplén: Es la ubicación, en el sitio específico, de tierra, piedra u otros materiales con el propósito de llenar un hueco del terreno, compensar un desnivel o conseguir una mayor elevación.

Compactación: Consiste en el aumento de la densidad del suelo expulsando el aire que contiene. Esto se logra empleando uno o más de los siguientes métodos: Amasando, esto se hace apretando las partículas de suelo con pisonos o rodillos provistos de patas o púas de distinto tipo y que se conocen como rodillos pata de cabra. Otro método es la presión o peso estático, por medio de rodillos lisos.

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 1, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).

3.3. MATERIALES

Los materiales que normalmente se cortan, transportan y colocan en el proceso de movimiento de tierra, están conformados por rocas y suelos. Como elementos importantes en la construcción de obras civiles, es necesario conocerlos, identificarlos y entender sus características y propiedades asociadas al proceso de extracción, acarreo y colocación para la preparación de las áreas de cimentación y urbanismo en general.

3.3.1. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

ROCAS

Definidas como un material sólido duro, que se presenta en grandes masas o en fragmentos de tamaño considerable, pueden clasificarse por su origen, en ígneas, metamórficas o sedimentarias. De manera general, se clasifican para su extracción en duras y blandas. Duras cuando es necesario recurrir a explosivos o perforadoras, y blandas si puede utilizarse equipo de extracción mecánica como bulldozer, retroexcavadora, etc.

Como rocas duras se conocen las masas de roca sana, es decir, que no han sido meteorizadas o descompuestas por efectos del medio ambiente (agua, viento, temperatura, reacciones químicas).

Rocas blandas son aquellas que están conformadas por rocas sedimentarias, homogéneas como arcillolitas, lodolitas, limolitas, o heterogéneas como conglomerados y areniscas pobremente descompuestas o erosionadas cualesquiera que sea su origen.

SUELOS

Estos pueden agruparse en gruesos y finos. Dentro de los primeros se encuentran las gravas y arenas, en los segundos están los limos y las arcillas. Por sus características son blandos desde el punto de vista de su extracción o excavación.

3.3.2. CARACTERISTICAS FÍSICAS Y GEOTÉCNICAS

Algunas características de las rocas son importantes para el estudio de la excavación y transporte, como el grado de fracturamiento, que generalmente

determina la forma de excavación. Si se presenta un alto grado de fracturamiento, se puede excavar con Bulldozer. El sentido de la excavación está orientado por las fracturas (o discontinuidades).

En el caso de bajo grado de fracturamiento, la dureza de la masa es un factor importante a tener en cuenta en el barrenado para la colocación de explosivos y en la trituración.

El grado de meteorización puede determinar el nivel de dificultad que tiene la excavación de una roca, que a su vez establece el equipo a utilizar. También determina el tipo de material que se obtendrá de la extracción (fragmentos, arena, suelo o mezcla de estos). Por lo general, rocas altamente descompuestas se pueden extraer con cargadores o bulldozer.

La densidad (relación entre la masa o peso de un cuerpo y el volumen que ocupa) tiene efecto importante en la carga y transporte de material, entre más denso un material, mayor la dificultad de cargar y transportar. Rocas como los basaltos son más densas que los granitos. La densidad está asociada a la porosidad de la roca, así entre más porosa menor será su densidad.

La resistencia de la roca es importante desde el punto de vista de la cimentación. Su capacidad de soporte por lo general es muy alta, pero puede ser afectada por el sistema de fracturamiento cuando la orientación de éste coincide con la de la obra.

En los suelos existen también características especiales desde el punto de vista del movimiento de tierras, como la cohesión, el coeficiente de fricción interna, la compresibilidad, el peso unitario, la humedad o contenido de agua, y los límites de consistencia.

La cohesión es la fuerza de unión entre las superficies de contacto de las partículas de un suelo. Es muy alta en las arcillas y nula en las arenas. La cohesión varía con el contenido de agua.

La fricción es la fuerza de rozamiento entre partículas de un suelo, su valor es constante para cada material, y es afectada por el contenido de agua. Es nula en las arcillas y alta en las arenas y gravas. Por esta razón se conoce a las arcillas y limos como suelos cohesivos y a las arenas y gravas como suelos friccionantes.

La compresibilidad es un fenómeno que se produce en los suelos finos cuando son sometidos a cargas o presiones estáticas y que se manifiesta por una reducción de volumen debido a la expulsión de aire de sus poros. Si el área se

hace constante, la compresibilidad estaría definida por la variación de la altura. Cuando esto sucede en los suelos naturales se conoce como consolidación. En este caso el suelo se comprime por una razón externa que produce unos esfuerzos dentro del suelo, causando la expulsión de aire y agua a zonas límites generando una reducción de volumen por acomodamiento de partículas.

El peso unitario es un término que se utiliza en el movimiento de tierras como sinónimo de densidad. La diferencia es que físicamente la densidad se refiere a un material sólido y el peso unitario a un material compuesto por tres elementos diferentes: Sólidos, agua y aire, los cuales conforman un suelo, de esta manera el peso unitario de un suelo es la densidad promedio de sus componentes.

Puesto que el suelo y la roca se originan de un proceso natural y permanecen en un estado de reposo denominado estado natural, el peso unitario en este caso se denomina natural (PUN) y se entiende como la cantidad de material en peso de sólidos y agua contenida en un volumen determinado.

Cuando el suelo o roca se extrae de su estado natural, su masa es fragmentada en muchas partículas, los espacios intergranulares aumentan, es decir, los vacíos son mayores causando un aumento de volumen de la masa. Si en este proceso la humedad no es alterada el peso húmedo del material permanece constante. (peso de sólidos + peso de agua). Y la relación de este peso y el volumen en estado suelto se denomina peso unitario suelto (PUS).

Por otro lado, si un suelo en estado natural o suelto es sometido a un proceso repartido de esfuerzos como en el caso de la compactación, este experimenta un fenómeno parecido al de la consolidación, el aire es obligado a salir del material reduciéndose los espacios intergranulares y acercándose más las partículas unas a otras. Se obtiene así, una compresión del material reduciéndose su volumen. Si el peso del suelo es constante la densidad o peso unitario aumentará y se tendrá entonces el peso unitario compactado (PUC).

La humedad es el contenido de agua que un suelo posee en estado natural, suelto o compactado, afecta el peso unitario del material y especialmente el comportamiento de los suelos cohesivos (arcillas y limos). La humedad de un suelo varía de cero a un valor que depende de la capacidad de retención de agua que posea el suelo (saturación). Las condiciones de humedad pueden variar de un momento a otro, dependiendo de la presencia de lluvias o temperaturas altas. Estas variaciones afectan más al peso unitario de un suelo, parámetro que debe tenerse en cuenta en el acarreo.

Los límites de consistencia son fronteras donde un suelo cohesivo cambia la modificarse su contenido de agua. Se entiende por consistencia el grado de

resistencia que tiene un suelo a deformarse o fluir. A medida que la cantidad de agua aumenta en un suelo fino, su consistencia cambia de dura a blanda, es decir, cambia de un estado sólido a plástico y de ahí a líquido.

El límite entre el estado sólido y el plástico se conoce como límite plástico (LP) y equivale al contenido de agua en el cual el suelo comienza a comportarse como un material plástico. El límite líquido (LL) es el contenido de agua por encima del cual, el suelo tiene características de un fluido.

(Documento de internet, Equipos y Movimiento de tierra, pg. 2-3, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).

Desde el punto de vista del contratista, el material tiene tres propiedades importantes:

Densidad: Peso del material (kg) por unidad de volumen (m^3)

Expansión: Aumento en el volumen por alteración de su estado natural.

Compactabilidad: Reducción del volumen cuando el material se somete a compactación.

Estas propiedades son fundamentales para decidir acerca de la estrategia a seguir para hacer el movimiento de tierras, debido a que un cambio significativo en una de ellas puede llevar a cambiar el equipo o el tiempo de excavación.

3.4. MAQUINARIA DE EXCAVACION

En este subcapítulo definiremos el tipo de maquinaria que comúnmente es utilizada para realizar movimientos de tierras.

3.4.1. BULLDOZER



FIGURA 13 Bulldozer con orugas (www.cat.com)

Tractor equipado con una hoja o pala frontal provista de un borde afilado. La hoja se asegura mediante dos soportes longitudinales colocados a ambos lados del tractor que la mueven verticalmente mediante controles (de cable o hidráulicos) accionados por el operador. Este equipo puede hacer su trabajo removiendo el material sobre el cual se desplaza, arrancando la tierra con el borde inferior de la hoja, la empuja por delante o la nivela a la altura deseada con el cuerpo de la herramienta.

De acuerdo al trabajo que se va a realizar, se escoge el tipo de hoja:

Recta (figura 14): De fácil adaptación y maniobrabilidad por ofrecer un buen balance del equipo ya que se monta muy cerca del extremo frontal, puede empujar gran variedad de materiales a mayor velocidad y es la que tiene mayor capacidad de penetración.

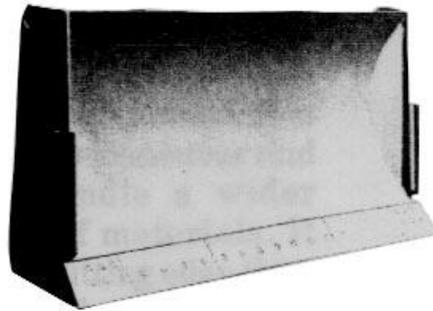


FIGURA 14 Hoja recta (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Orientable y angulable (figura 15): Se puede colocar perpendicular al eje del bulldozer o haciendo un ángulo de 25° con la perpendicular, hacia la derecha o izquierda, es más compleja de maniobrar ya que altera el balance del equipo debido a su posición asimétrica.



FIGURA 15 Hoja orientable y angulable (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Orientable e inclinable (figura 16): Adecuada para trabajos de empuje pesado, se levanta, orienta o inclina con un solo control.



FIGURA 16 Hoja orientable e inclinable (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Universal (en U) (figura 17): Los bordes laterales hacia adelante le proporcionan una gran capacidad de carga. No tiene buena penetración pero es la mejor para empujar material liviano.

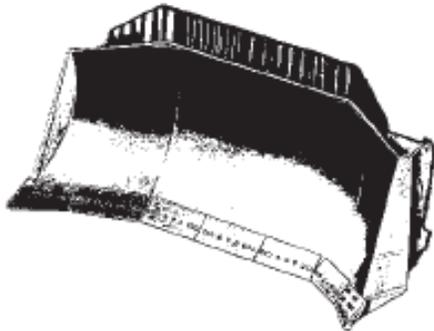


FIGURA 17 Hoja universal (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

El Bulldozer puede estar equipado con accesorios para trabajos especiales como el escarificador (ripper) que es una especie de arado colocado en la parte posterior, puede constar de uno, dos o más ganchos.

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 4-5, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).



FIGURA 18 Bulldozer con ruedas (www.cat.com)

3.4.1.1. TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON EL BULLDOZER

El trabajo que se realiza con Bulldozer es en general desmonte, descapote, limpieza, corte, explanación, nivelación, relleno, escarificar.

La producción de un Bulldozer tiene que ver principalmente con la capacidad de la hoja topadora (cantidad de material que puede mover) o la cantidad de material que fragmenta para el caso de trabajar con el escarificador.

3.4.2. CARGADOR



FIGURA 19 Cargador con orugas (www.cat.com)

Tractor provisto de un cucharón acoplado al frente del aparato mediante barras controladas hidráulicamente que tienen movimiento en un plano vertical y permiten la inclinación del cucharón hacia adelante o hacia un lado para descargar su contenido.

En movimiento de tierra es, en principio, un aparato destinado a recoger el material arrancado por otra máquina (bulldozer) y depositarlo en el equipo de transporte (volqueta).

Se usa especialmente para excavar en sitios en los cuales el cargador está ubicado por debajo del nivel en el cual actúa el cucharón.

Según la necesidad maneja distintos tipos de cuchara: normal para cargar, de descarga lateral, de alta capacidad para material liviano, para material suelto o con garras para levantar basura o escombros. También se le pueden acoplar hojas para trabajo liviano y escarificador.

El cargador carga el cucharón y lo levanta para descargarlo por el frente pero puede también descargarlo por la parte posterior pasando el cucharón por encima de la máquina.

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 5-6, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).



FIGURA 20 Cargador con ruedas (www.cat.com)

3.4.2.1. TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON EL CARGADOR

Aparato adecuado para excavación, cargue de volquetas, mantenimiento de arrumes de material, remoción de escombros, empujar, recoger y transportar material a distancias cortas, en nivelaciones para trabajos de acabado en sitios de construcción.

A causa de su poca presión sobre el piso, es apto para manejar materiales suaves haciendo arrumes o alimentando alguna máquina. El cargue de volquetas es el trabajo ideal, para este trabajo no debe tener recorridos mayores a 5m desde que recoge la carga hasta depositarla en el carro; el arco ideal para recorrido desde el sitio de recogida del material hasta depositarlo debe ser menor de 90°(figura 21).

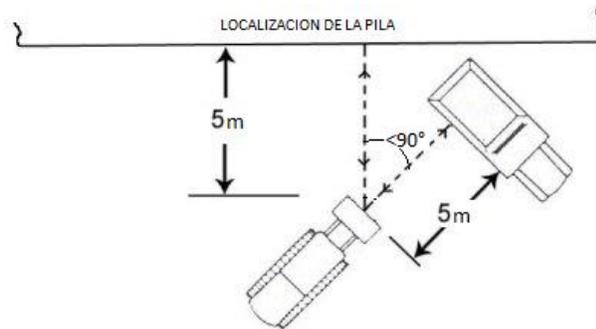


FIGURA 21 Ubicación óptima en planta de la maquinaria y la pila (Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras, pg. 46, Canturin Ricardo; Lima, Perú)

El ciclo de un cargador es:

Tiempo de carga – Tiempo de descarga – Tiempo de maniobra.

El promedio del tiempo de ciclo básico es de 0.45-0.55 minutos. En la tabla 4 se presentan valores de muchos elementos variables que inciden en el tiempo de ciclo de los cargadores sobre ruedas los cuales se basan en operaciones normales. Al sumar o restar los tiempos variables del ciclo básico, se obtendrá el tiempo total de ciclo.

FACTORES	TIEMPO
MÁQUINA	
Manipulador de materiales	-0.05
MATERIALES	
Mezclados	0.02
Hasta 3 mm	0.02
De 3 mm a 20 mm	-0.02
De 20 mm a 150 mm	0.00
Más de 150 mm	0.03
Banco o fracturado	0.04
PILA	
Apilado por transportador o topadora a mas de 3m	0.00
Apilado por transportador o topadora a menos de 3m	0.01
Descargado por camión	0.02
VARIOS	
Mismo propietario de camiones y cargadores	-0.04
Propietario independiente de camiones	0.04
Operación constante	-0.04

Operación intermitente	0.04
Punto de carga pequeño	0.04
Punto de carga frágil	0.05

TABLA 4 Factores de incidencia en el tiempo de ciclo del cargador (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).

3.4.3. RETROEXCAVADORAS

Máquina usada en excavación, tiene un dispositivo para cavar conectado a una extensión articulada (aguilón) que permite sacar la tierra hacia el operador. La retroexcavadora combina la acción de excavar de una pala con la acción de halar de una draga.

Para usar esta máquina el aguilón con brazo extendido se baja en el lugar a excavar, llena el cucharón en el proceso, lo levanta y lo descarga donde lo necesite.



FIGURA 22 Retroexcavadora con orugas (www.cat.com)

Esta máquina es la única que puede trabajar en todas las direcciones: levanta y baja, empuja y tira, se mueve a derecha e izquierda, además trabaja por encima, por debajo o al mismo nivel, y además, algunas retroexcavadoras en el mercado pueden dar un giro de 360° sin cambiar de posición tal como la retroexcavadora sobre cadenas marca LIEBHERR R954C. Su desempeño le permite realizar las actividades de un bulldozer o un cargador, aunque no con la misma eficiencia, si es necesario puede reemplazarlos.

En el tendido de tubería es la única máquina que hace la brecha, levanta y coloca la tubería, por último tapa la brecha, puede que no lo haga tan eficientemente como las máquinas de propósito especial, pero puede hacerlo.

3.4.3.1. TRABAJOS QUE SE REALIZAN CON RETROEXCAVADORA

La retroexcavadora tiene múltiples aplicaciones en el trabajo de movimiento de tierras, especialmente en espacios reducidos, ubicada en un sitio estratégico tiene la capacidad de cubrir la zona de trabajo sin cambiar de posición y desde allí hacer las veces de bulldozer y de cargador para alimentar las volquetas.



FIGURA 23 Retroexcavadora con ruedas (www.cat.com)

En obras de construcción en general, equipada con accesorios especiales, maneja compactadores de percusión, martillos y taladros hidráulicos, además una amplia gama de cucharones.

Para el caso de las excavadoras de oruga, su baja presión sobre el suelo les permite trabajar en sitios fangosos.

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 6, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).

El ciclo de una retroexcavadora es:

Carga del cucharón – Giro de la carga – Descarga del cucharón – Giro sin carga

El ciclo total de la excavadora depende principalmente del tamaño de la máquina pero también está influenciado por las condiciones de trabajo con factores tales como tipo de material, profundidad, forma de descargue, etc. En el Capítulo 5 de la presente tesis se amplía más sobre los tiempos de ciclo de este tipo de maquinaria, donde se muestra una tabla de rendimientos, basado en los tiempos de ciclos, para las diferentes tipos de retroexcavadoras que se encuentran en el mercado.

3.4.4. RETROEXCAVADORA – CARGADORA



FIGURA 24 Retroexcavadora – Cargadora (www.cat.com)

Es un cargador de ruedas con una retroexcavadora acoplada en su parte posterior.

A diferencia de una excavadora, su capacidad de giro está limitada a 180°, si hace el trabajo sin cambiar de posición.

Se utiliza en trabajos como:

Excavación y lleno de brechas – Construcción de terrazas - Construcción de drenajes.

3.5. MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN

El objetivo primario que se busca al compactar un suelo es lograr obtener una densidad específica que le permita soportar cargas sin asentarse, esto se consigue utilizando un compactador, de los cuales existen cuatro tipos: Rodillos, pata de cabra, rodillos lisos, unidades de llantas neumáticas y planchas apisonadoras.

Existen diferentes métodos con los cuales opera cada uno.

Fuerza estática: Se utiliza una máquina de mucho peso que comprime las partículas de suelo por presión (compactador de rodillos lisos).

Fuerza de impacto: La compactación se produce por una vibrocompactadora de placa que golpea el suelo repetidamente a gran velocidad.

Vibración: La compactación se logra aplicando vibraciones de alta frecuencia con un dispositivo de movimiento (compactador de rodillo vibratorio).

La compactación con rodillos vibratorios es el método más utilizado. La primera aplicación práctica (fuerza centrífuga) se realizó en Alemania por los años 30, antes de eso todos los trabajos de compactación se hacían utilizando el método de presión (peso estático) o el de apisonamiento (tamping); originalmente se trabajó en máquinas para compactación de suelos y hacia el final de los años 60 se inició su uso para pavimentos asfálticos.

Antes de aparecer los vibradores, el procedimiento común para pavimentos asfálticos era pasar una máquina de tres cilindros o de dos en tándem, luego una compactadora de llantas neumática y para acabado de nuevo una máquina tándem. El compactador de vibración realiza tres funciones por su capacidad de penetración: mientras la acción de los cilindros llega a unos 100mm, los vibradores pueden llegar hasta 250mm. En los ensayos realizados se ha podido comprobar que se logran mayores densidades con menor permeabilidad y acabados superficiales más suaves.

El desarrollo posterior en estas máquinas es el compactador con dos rodillos vibratorios que actúan como dos máquinas sencillas y por lo tanto requieren la mitad de las pasadas.

La vibración es la clave para obtener el grado de compactación deseado más rápidamente, pero se debe cuidar la velocidad y la temperatura a la que se hace el cilindrado. A menor velocidad de la máquina, menor distancia entre puntos de impacto, esto quiere decir que una pasada a 2.5km/hora suministra el mismo esfuerzo de compactación que dos pasadas de 4.8km/hora para la misma amplitud de vibración. El efecto de compactación se logra a la menor velocidad de paso. En general se considera que no se debe sobrepasar 4km/hora.

3.5.1. COMPACTADORES



FIGURA 25 Compactador (www.universalequipmentsales.com)

3.5.1.1. COMPACTADORES DE FUERZA ESTÁTICA

Tambores, rodillos o cilindros, son de tres clases:

- **Apisonador pata de cabra (figura 25):** Consiste en un cilindro de acero, de aproximadamente 1m de diámetro y 1.5m de ancho, al cual se fijan púas o patas de acero de diferente forma y tamaño. Pesa entre 1.5 y 5 toneladas vacío (se puede lastrar con agua o arena para aumentar su peso muerto). Existen máquinas de uno, dos o tres rodillos. En el caso de dos tambores, estos hacen el mismo recorrido de manera que hay doble eficiencia, y la disposición de las salientes (diferente atrás y adelante) evitan que coincidan las huellas. El mecanismo que conecta los rodillos al tractor permite que oscilen libremente cuando se mueven sobre terreno irregular.

Para casos especiales existen rodillos pata de cabra provistos de mecanismos vibradores.

- **Cilindros lisos:** Vehículo automóvil o de tracción mecánica o manual provisto de uno o más cilindros lisos de acero. Pueden ser:

De un eje: un cilindro autopulsado o de tracción

De dos ejes: con un cilindro y un eje de llantas neumáticas, ambos motrices

- **Compactadores de llantas neumáticas (figura 26):** Vehículo automóvil o de tracción. Consiste en un bastidor que aloja dos ejes (el posterior motriz) de llantas neumáticas oscilantes; las ruedas están alternadas de manera que su huella es lisa y no dejan ningún espacio lateral entre ellas. Estos compactadores tienen un recipiente para añadir carga y así aumentar el peso bruto de la máquina. Los que se emplean en carreteras pueden pesar hasta 20 toneladas y tener unos 2 metros de ancho. El número de pasadas necesarias para consolidar el suelo depende de la naturaleza de éste.



FIGURA 26 Compactadora Neumática (www.cat.com)

3.5.1.2. COMPACTADORES DE IMPACTO O PERCUSIÓN

- **Martillo neumático:** Herramienta de percusión que funciona con aire comprimido (suministrado por un compresor). El aire hace que el émbolo que se desliza con movimiento alternativo en el interior del cilindro mueva la plancha de compactación (pisón) de forma brusca y repetidamente (percusión) lo que permite hacer la compactación.

3.5.1.3. COMPACTADORES DE VIBRACIÓN

El cilindro vibrador es una de las más importantes máquinas del equipo de construcción. Dispone en su interior de un sistema que le permite transferir energía al suelo mediante una serie de pequeños y rápidos impactos verticales. Entrega esfuerzo de compactación varias veces más poderoso que una máquina de peso muerto del mismo tamaño. Puede lograr un grado de compactación no alcanzable por un compactador de gravedad aún después de varias pasadas; compacta capas más gruesas y a mayor velocidad, es decir, hace la misma cantidad de trabajo, con menos maquinaria, lo que significa ahorro de tiempo, combustible y costos.

La densidad del material es el factor más importante cuando se habla de compactar rellenos y estructuras a pavimentar y sólo con vibradores es posible lograr las especificaciones requeridas.

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 7, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).

3.6. MOTONIVELADORAS



FIGURA 27 Motoniveladora (www.cat.com)

Es una máquina constituida por un bastidor automóvil rígido o articulado, montada sobre una hoja o cuchilla con la que arranca y empuja la tierra, tiene tres ejes con llantas neumáticas, dos posteriores motrices y uno delantero direccional (en algunos casos motrices). La hoja o cuchilla puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo, girar en un plano vertical hasta aproximadamente 90° a cada lado, girar en un plano horizontal 360° y desplazarse lateralmente hacia ambos lados del eje longitudinal de la máquina.

Es una herramienta indispensable en la construcción de vías para regar material, perfilar y nivelar, es usada preferiblemente para hacer el acabado.

Se pueden clasificar como: Pequeñas, con peso hasta 10 toneladas; medianas, entre 10 y 20 toneladas; grandes con peso superior a 20 toneladas.

La potencia se suministra a un sistema de ruedas traseras en tándem y las ruedas delanteras pueden inclinarse lateralmente para facilitar el manejo de la dirección.

Se utilizan varios accesorios para las motoniveladoras: escarificadores, cuchillas topadoras, cilindros compactadores y cilindros vibradores. Pueden equiparse con un control automático que mantenga fija la posición de la hoja sin importar las irregularidades del terreno, el operador puede subir o bajar la hoja para variar la profundidad del corte conservando una pendiente constante.

3.7. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRA

Las características mencionadas anteriormente son importantes para el análisis del movimiento de tierra, especialmente en la selección del equipo y el método de trabajo.

Cuando se trata de excavar para obtener material de construcción las excavaciones se hacen a través de planos. En rocas duras se escarifica o barrena hasta obtener la profundidad adecuada y luego se dinamita, para aflojar el material y sacarlo con equipo mecánico.

Para el proceso de voladura se debe tener en cuenta: características de la roca, homogeneidad, cantidad que se va a extraer, inclinación, grietas existentes y cantidad de explosivo.

En el caso de las arenas, las excavaciones son fáciles, pero la falta de cohesión provoca el deslizamiento o desplome de los taludes. Sólo se estabiliza en un ángulo de inclinación que se conoce como ángulo de fricción interna.

Puede suceder que la arena tenga un contenido de agua crítico (humedad equivalente) en estado natural, lo que proporciona una cohesión aparente y el talud puede sostenerse, pero al secarse o saturarse, la arena pierde la cohesión y fluye.

Las arcillas o limos permiten excavaciones hasta cierta altura con ciertos grados de inclinación.

En suelos finos o cohesivos la humedad es factor importante, pues pueden cambiar de consistencia. Una arcilla con baja humedad es dura y difícil de excavar pero con alto contenido de agua se vuelve blanda, al punto de adherirse al equipo dificultando la labor tanto en excavación como en el área de trabajo.

Las características de los suelos que influyen en la selección o la utilización de un equipo son:

- Dureza
- Cohesión
- Cantidad de agua
- Consistencia

(Equipos y Movimiento de tierra, pg. 8-9, www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1, 2009).

Es importante anotar que las excavaciones están limitadas por la presencia de aguas subterráneas (nivel freático). Por todo lo anterior, las excavaciones deben ser planeadas con base en una suficiente y buena información topográfica y geotécnica teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto, además de la seguridad y la economía.

Casos como la acumulación de material o cargas pesadas en la parte superior de las excavaciones son peligrosas.

En la fase del transporte del material, el peso unitario suelto y el contenido de agua son factores que definen la cantidad de material que puede transportar un vehículo en función de su capacidad de carga.

Si las zonas de acceso para las volquetas o cualquier otro tipo de transporte de material, están conformadas sobre suelos finos, es necesario hacer mantenimiento permanente, sobre todo si la humedad es muy alta, el paso de los vehículos deteriora la superficie de rodadura.

Para evitar la saturación de material suelto, es conveniente cortar la cantidad de suelo que pueda transportarse en el día, para esto la retroexcavadora es el equipo más utilizado.

Cualquier suelo con un esfuerzo específico de compactación se puede compactar hasta diversos contenidos de humedad. Si se compactan varias muestras de suelo con diferentes contenidos de agua, la densidad de peso unitario será distinta. Cuando el material está seco por debajo de la humedad óptima, puede compactarse mediante el compactador pesado, sin embargo, los rellenos demasiado húmedos se deben compactar con equipo liviano.

4. SELECCIÓN DE TIPO DE RODADURA ADECUADA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE TIERRA

Para poder realizar una buena selección de la maquinaria que se va a emplear para la realización de los movimientos de tierra, se debe estudiar minuciosamente los rendimientos que cada una de estas presentan. Este rendimiento es un factor que varía según la actividad a ser realizada, el tipo de suelo sobre el cual se van a realizar los trabajos, los volúmenes de tierra a ser manejados, la habilidad del operador, entre muchos otros.

Esta tesis se enfoca en identificar la maquinaria necesaria para ejecutar los trabajos de movimiento de tierras según las propiedades geológicas y mecánicas del suelo, analizando el rendimiento que producen dichas maquinas en los diferentes suelos.

Es de aclarar que al mencionar las propiedades geológicas y mecánicas del suelo, la referencia más específicamente es a su granulometría y en algunas ocasiones a su peso específico o a su resistencia a la compresión en el caso en que se presenten rocas.

Algunos de los factores externos que influyen en el rendimiento y producción de una maquina son:

4.1. RESISTENCIA A LA RODADURA. RR.

La resistencia a la rodadura (RR) es una medida de la fuerza que hay que vencer para conseguir la rotación de una rueda en el suelo. El valor de esta resistencia está relacionado con las condiciones del terreno, el peso y la carga de la máquina.

En la tabla 5 se dan a conocer factores de resistencia al rodamiento en porcentaje, dependiendo del suelo sobre el cual se desplaza la máquina.

TIPO Y CONDICIONES DEL TERRENO	FACTOR (%)		
	LLANTAS		ORUGAS
	CORRIENTE	RADIAL	
Arena suelta	10.0	10.0	20.0
Camino en asfalto, duro, liso, conservado, que no cede	2.0	1.5	0.0
Concreto	2.0	1.5	0.0
Gravilla compactada seca, sin material suelto, no cede	2.5	1.7	0.0
Gravilla sin compactación pero seca	3.0	2.5	0.0
Gravilla suelta	10.0	10.0	2.0
Camino en tierra, que se hunde bajo carga, con poca conservación con flexión y penetración de las llantas hasta de 1"	4.0	4.0	0.0
Camino en tierra, que se hunde bajo carga, con mala conservación, sin riego con flexión y penetración de las llantas de 2"	5.0	5.0	0.0
Camino blando irregular con surcos o canales sin estabilizar con flexión y penetración de las llantas de 4"	8.0	8.0	0.0
Camino blando irregular con surcos o canales sin estabilizar con flexión y penetración de las llantas de 8"	14.0	14.0	5.0
Camino muy blando irregular con fango sin flexión pero con penetración de las llantas de 12"	20.0	20.0	8.0

TABLA 5 Factores de resistencia al rodamiento (tomada de Caterpillar)

Los datos anteriores deben usarse como estimativo de los rendimientos cuando no es conocido el comportamiento real en el terreno.

Se puede observar que los coeficientes que aparecen en la tabla 5 para los equipos con orugas, se dan sólo para cuando las condiciones del terreno son malas, ya sea porque es muy blando o muy suelto.

(Gerencia de equipos para obras civiles y minería, pg. 113,114 y 115, 2003).

4.2. RESISTENCIA A LA PENDIENTE. RP.

La resistencia a la pendiente está directamente relacionada con la inclinación y suele darse en porcentajes de inclinación.

Las pendientes cuesta arriba se denominan adversas y van precedidas por el signo (+), las descendentes se llaman favorables y van precedidas por el signo (-). En toda pendiente adversa cada tonelada del peso de la maquinaria genera una resistencia de 10 kg. por cada 1% de inclinación, por lo tanto el factor de resistencia en pendientes es:

Factor de resistencia en pendientes = $10\text{kg/ton} \times \text{inclinación (\%)}$.

La pendiente o la ayuda en pendientes está relacionada directamente por el factor de resistencia en pendientes y el peso bruto de la maquina (PBM), por lo tanto:

Resistencia en pendientes = factor de resistencia en pendientes x PBM (ton).

(Gerencia de equipos para obras civiles y minería, pg. 116 y 117, 2003).

4.3. RESISTENCIA TOTAL

Es el efecto total de sumar la resistencia a la rodadura y la resistencia a la pendiente

Resistencia Total = Resistencia a la rodadura (RR) + Resistencia a la pendiente

(Gerencia de equipos para obras civiles y minería, pg. 118 y 119, 2003).

4.4. TRACCIÓN

La tracción es la fuerza propulsora desarrollada en las llantas u orugas al actuar sobre una superficie, se expresa como la fuerza útil en la barra de tiro.

La relación en cualquier tipo de terreno entre la fuerza máxima de tiro de la máquina y el peso total en las llantas propulsoras u orugas, se llama Coeficiente de tracción.

En la tabla 6 que se presenta a continuación se dan a conocer coeficientes de tracción en porcentaje, dependiendo del suelo sobre el cual se desplaza la máquina.

MATERIAL DEL PISO	FACTORES DE TRACCIÓN	
	LLANTAS	ORUGAS
ARENA HÚMEDA	0.40	0.50
ARENA SECA	0.20	0.30
ARENA SUELTA	0.27	0.30
ASFALTO	0.90	
CAMINO EN GREDA HÚMEDA	0.45	0.70
CAMINO EN GREDA SECA	0.55	0.90
CANTERA	0.65	0.55
CARBÓN	0.45	0.60
CONCRETO	0.90	0.45
GRAVILLA SUELTA	0.35	0.50
TERRENO LODOSO	0.25	
TIERRA FIRME	0.55	0.90
TIERRA SUELTA	0.45	0.60
TIERRA SUELTA SECA	0.40	0.60

TABLA 6 Coeficientes de tracción (tomada de Fiat y Caterpillar)

(Gerencia de equipos para obras civiles y minería, pg. 119 y 122, 2003).

En la tabla 6, se observa que el coeficiente de tracción para las orugas es más alto en todos los materiales del piso exceptuando en las canteras y el concreto, sin contar con el asfalto y el terreno lodoso donde las maquinarias con orugas no se pueden utilizar.

Más adelante, en el Capítulo 5, realizaremos un ejemplo para hallar el rendimiento de la maquinaria utilizando los valores de la tabla 6 como factor de corrección para hallar dichos rendimientos.

De lo anterior podemos concluir que la maquinaria que trabaja sobre orugas es mucho más eficiente en terrenos de difícil acceso ya sea por pendientes pronunciadas o por suelos con características geomecánicas desfavorables para el proyecto, por este motivo la maquinaria sobre orugas es la más recomendable para iniciar con los trabajos en una obra, pues esta tiene acceso a lugares donde la maquinaria sobre llantas no lo tiene y por lo tanto le va abriendo espacio al resto de maquinaria y equipos que se van a utilizar en el proyecto.

Como es sabido, el primer trabajo que se realiza en una obra de explanación es la remoción del descapote, para este tipo de trabajos es ideal la utilización de

bulldozer ya que esta es una maquinaria que se moviliza sobre orugas y facilita el arrume de material de desecho o descapote que se encuentra superficialmente. Cuando el lugar de depósito de este material se encuentra a corta distancia (aproximadamente hasta 80 m.) del lugar de remoción no es necesario el empleo de ninguna otra maquinaria que permita el transporte de dicho material, pero si el lugar de depósito de material se encuentra a una larga distancia, la labor de arrume de material deberá ser lo más organizada posible pues es necesario el empleo de otro tipo de maquinaria como es el de el cargador el cual puede ser de llantas u orugas y el de volquetas las cuales se movilizan sobre llantas y por lo tanto, es necesario que el bulldozer haya abierto espacio para darle paso a esta maquinaria.

Con el fin de especificar de una mejor manera el tipo de bulldozer recomendado para ser utilizado en ciertas etapas de la obra, más adelante analizaremos el rendimiento que esta maquinaria presenta según sea el suelo sobre el cual se moviliza. Este mismo análisis se le hará a los diferentes tipos de excavadoras que se utilizan para realizar los trabajos de perfilación, excavación, cargue, etc.

5. RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA

5.1. CONCEPTO

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

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

Las unidades de trabajo o de obra más comúnmente empleadas en un movimiento de tierra son el m³ o la tonelada, pero en otras actividades de la construcción se usan otras más adecuadas. La unidad de tiempo más empleada es la hora, aunque a veces la producción se expresa por día.

5.2. FACTORES

Esta cifra no es una constante del modelo de máquina, sino que depende de una serie de factores particulares de cada aplicación:

5.2.1. CONDICIONES DE TRABAJO DE LA OBRA EN CUESTIÓN

- Naturaleza, disposición y grado de humedad del terreno: Los materiales en estado seco tienen un volumen aparente que es el que ocupa la capacidad de la máquina, pero en estado húmedo presentan una adherencia que hace aumentar la capacidad. Si la humedad es excesiva, entonces no aumenta.

En el caso de limos y arcillas húmedas el rendimiento de excavación puede bajar considerablemente por adherirse el material a las paredes.

- Accesos (pendiente, estado de firmeza): Repercusión de los accesos en el costo final de una obra. Tiene gran importancia el trazado y conservación de las carreteras y caminos interiores de la obra, porque repercuten en la potencia necesaria de los vehículos y por consiguiente, en el consumo de combustible. También en el tiempo de transporte, al conseguirse menores velocidades si están en mal estado. Además, en la capacidad de transporte al ser mayores las cargas si están bien conservadas. Por último, repercuten en la propia logística, si se producen averías y no hay zona de estacionamiento. Una falsa economía inicial o de proyecto puede ocasionar llevar mayor repercusión a lo largo de la obra, incluso en el plazo de ejecución si hay que variar el trazado de las pistas durante la obra.

- Climatología (visibilidad, pluviometría, heladas): Esta no sólo afecta a las interrupciones de trabajo sino al estado de la carretera pues el barro y la humedad reducen la tracción de las máquinas (tradicabilidad).
- Altitud: Este factor puede reducir la potencia de las maquina.

5.2.2. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA

La planificación es indispensable para el buen rendimiento de la obra, las esperas y maniobras afectan la producción de la máquina. Hay que cuidar el orden de los trabajos para reducir al mínimo el número de máquinas necesarias y evitar embotellamientos y retrasos.

5.2.3. HABILIDAD Y EXPERIENCIA DEL OPERADOR.

Estos factores no son de aplicación total y cada uno deberá emplearse sólo cuando lo requieran las circunstancias.

5.3. RENDIMIENTO DEL BULLDOZER

El rendimiento de esta maquinaria depende de una buena relación entre la hoja empujadora y el tractor, además, también influyen en el rendimiento las características del material que se va a mover tales como:

- Tamaño y forma de las partículas: Cuanto más grandes sean las partículas, más difícil es la penetración de la cuchilla. Y como las partículas de bordes cortantes se oponen a la acción natural de volteo que imparte la hoja empujadora, se necesita más potencia que para mover igual cantidad de tierra con partículas de bordes redondeados.
- Vacíos: Cuando no hay vacíos, o son muy pocos, la mayor parte de la superficie de cada partícula está en contacto con otras. Esto constituye una ligazón que debe romperse. Un material bien nivelado carece de vacíos y es generalmente muy denso, de modo que es difícil extraerlo del banco o tajo.
- Contenido de agua: En casi toda materia seca es mayor la ligazón entre las partículas, y es más difícil la extracción. Y si está muy húmeda, pesa más y se necesita más potencia para moverla. Con un grado óptimo de humedad, es muy bajo el contenido de polvo, resulta muy fácil empujar y el operador no se fatiga.

El efecto de congelamiento depende del grado de humedad. Se intensifica la ligazón entre las partículas en función del mayor contenido de humedad y del

descenso de temperatura. El enfriamiento de una materia completamente seca no altera sus características.

La penetración fácil de la hoja depende de la relación de kW por metro (o hp por pie) de la cuchilla. Cuanto más alta sea la relación de kW/m, mejor es la penetración. La relación de potencia por m³ de material suelto indica la capacidad de la hoja para empujar tierra. Cuanto mayor sea la relación kW/m³ suelto, más capacidad tiene la hoja para empujar la tierra con más velocidad.

El rendimiento de un bulldozer se halla según la siguiente ecuación:

Rendimiento (m³ sueltos/hora) = Producción máxima (m³/hora)*Factores de corrección

Es de anotar que la producción máxima es función de la distancia promedio de empuje y del tipo de combinación tractor-hoja que se utilice.

A continuación presentamos una serie de curvas (figuras 28 y 29) para diferentes tipos de tractores combinados con diferentes tipos de hojas.

(Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).

PRODUCCION CALCULADA • Hojas universales • D7G hasta D11R

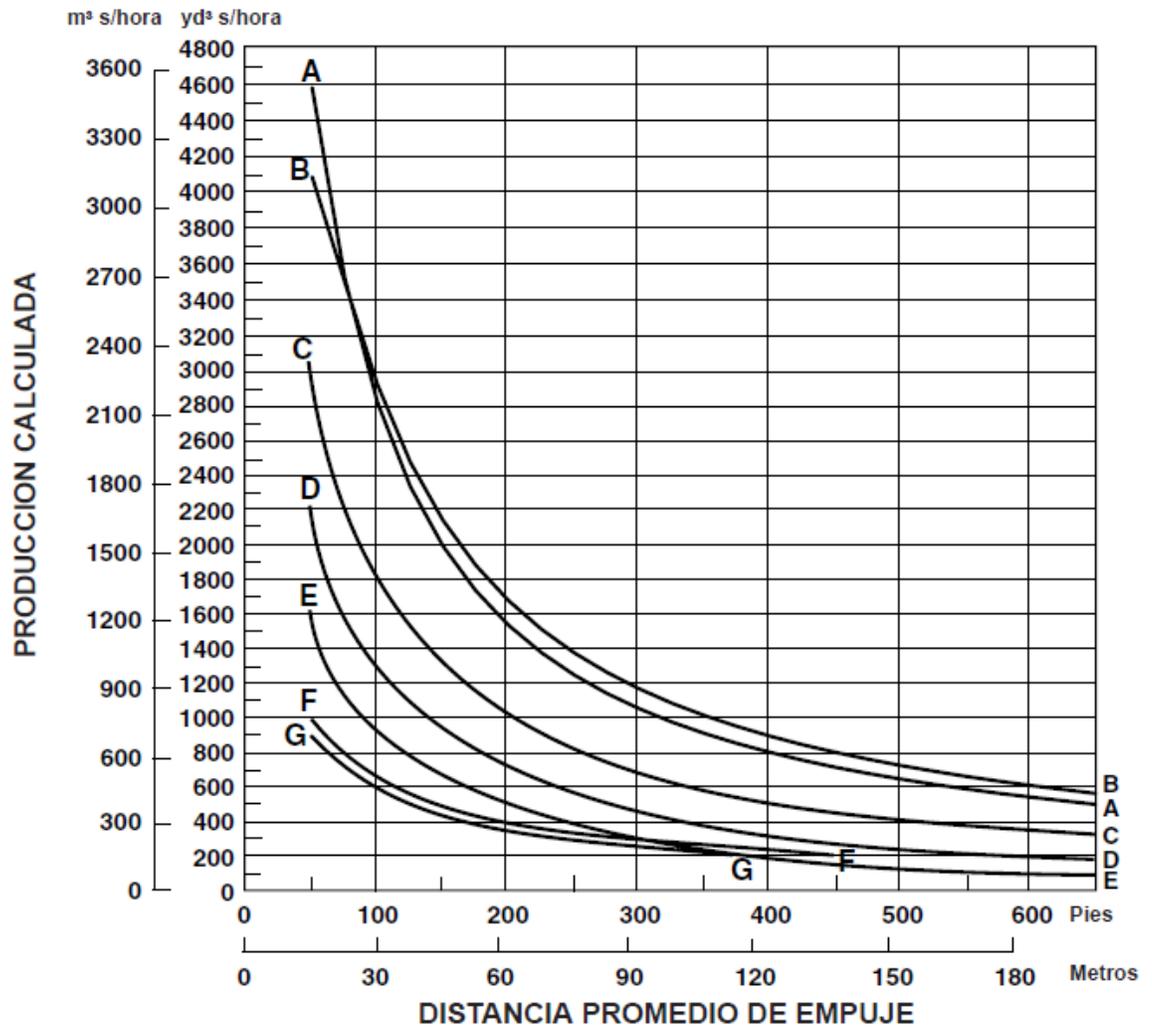


FIGURA 28 Producción calculada para maquinaria con Hojas Universales (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

DONDE:

A= D11R-11U
 B= D11R-CD
 C= D10R-10U
 D= D9R-9U

E= D8R-8U
 G= D7R-7U
 H= D7G-7U

PRODUCCION CALCULADA • Hojas Semiuniversales • D6M hasta D11R

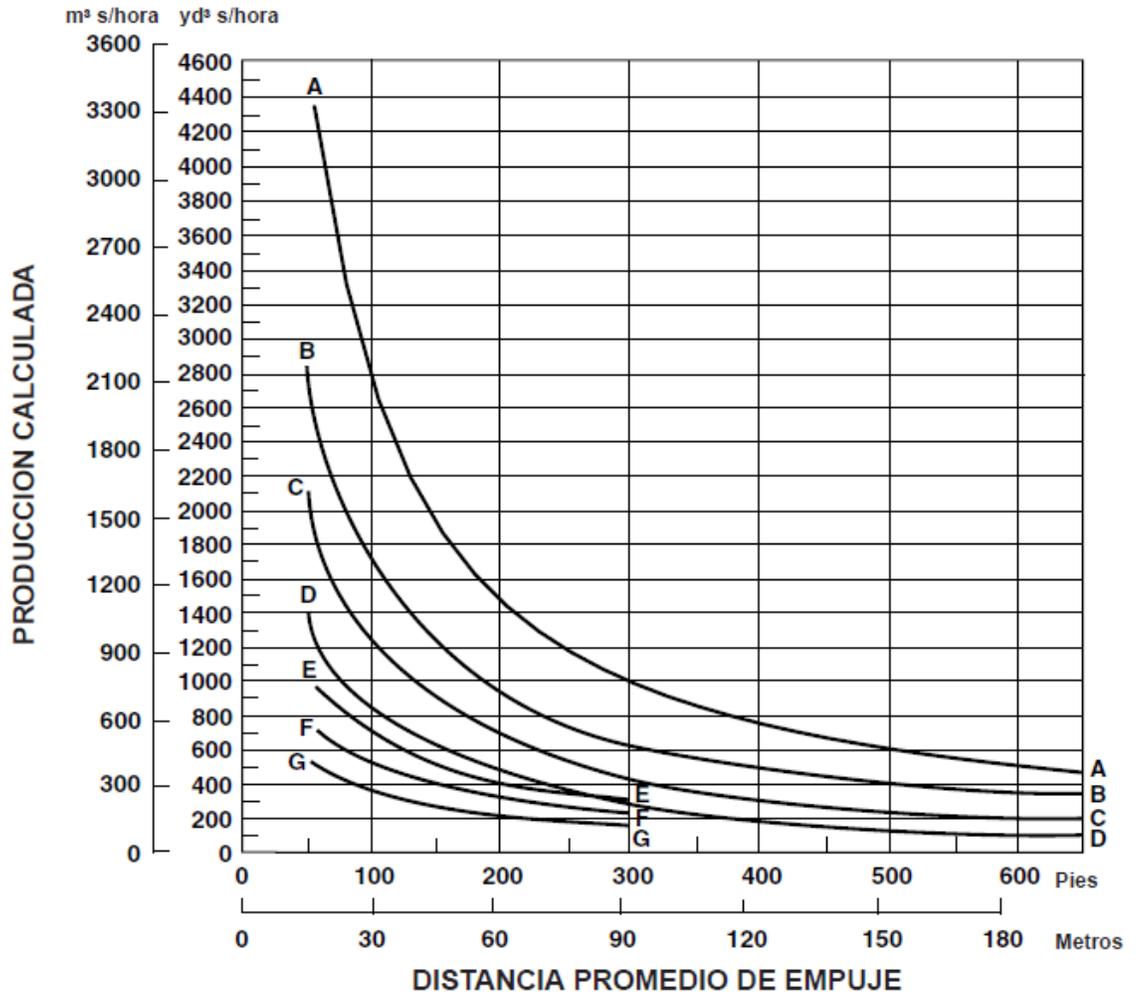


FIGURA 29 Producción calculada para maquinaria con Hojas Semiuniversales (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

DONDE:

A= D11R-11SU
 B= D10R-10SU
 C= D9R-9SU
 D= D8R-8SU

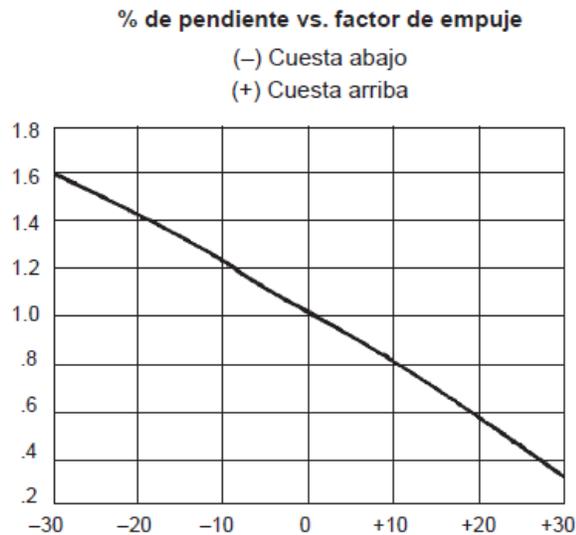
E= D7R-7SU
 F= D6R-6SU
 G= D6M-6SU

El factor de corrección se toma según las condiciones del trabajo y las condiciones del material que se va a mover. A continuación mostramos la tabla 7 donde se presentan diferentes factores de corrección según las condiciones de trabajo:

CONDICIÓN DE TRABAJO	TRACTOR DE ORUGA	TRACTOR DE RUEDAS
OPERADOR		
Excelente	1.00	1.00
Bueno	0.75	0.60
Deficiente	0.60	0.50
MATERIAL		
Arena húmeda	0.85	0.75
Arena seca	0.80	0.70
Arena suelta	0.90	0.85
Rocas desgarradas	0.6-0.80	
Terreno lodoso	0.80	0.80
Tierra firme (limo o arcilla)	0.85	0.80
Tierra suelta (limo o arcilla)	0.90	0.85
Tierra suelta seca (limo o arcilla)	0.95	0.95
EFICIENCIA DEL TRABAJO		
50 min/hora	0.83	0.83
40 min/hora	0.67	0.67

TABLA 7 Factor de corrección (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Además de la tabla 7, también se cuenta con la gráfica de porcentaje (%) de pendiente vs. Factor de empuje que se muestra a continuación.



**FIGURA 30 Porcentaje de pendiente.
 (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)**

Hasta ahora tenemos todos los datos que son necesarios para poder calcular el rendimiento de los bulldozer según las condiciones del terreno y las características del mismo, a modo de ejemplo procederemos a hallar los rendimientos de los bulldozer D6, D7, D8 y D9, los cuales son los más utilizados en las obras de construcción en nuestro territorio, para el proyecto que venimos realizando desde el inicio de la tesis, el cual presenta las siguientes condiciones iniciales:

CONDICIÓN DE TRABAJO	FACTOR DE CORRECCIÓN
PENDIENTE CUESTA ABAJO PROM. 20%	1.42
MATERIAL = DESCAPOTE (FÁCIL DE REMOVE)	0.95
OPERADOR BUENO	0.75
EFICIENCIA DE TRABAJO 50min/hora	0.83
FACTOR DE CORRECCIÓN TOTAL	0.84

TABLA 8 Cálculo de Factor de corrección para Bulldozer según condición de trabajo

Como inicialmente se comienza por realizar el descapote, y como vimos anteriormente, la maquinaria sobre orugas es la más adecuada para comenzar a realizar los trabajos pues tiene mayor facilidad de acceso a lugares difíciles de alcanzar, los factores de corrección se tomaron en todos los casos para bulldozer sobre orugas.

En la tabla 9 que se muestra a continuación podemos observar la producción máxima, el rendimiento calculado y el tiempo que se demora cada uno de los bulldozer en estudio para realizar el descapote del proyecto, que como habíamos visto es de 43105m³. Es de anotar que para todos los casos se calculara el rendimiento de la maquinaria con hojas semi-universales que son las que se utilizan más comúnmente en nuestro medio.

En el Capítulo 2.5 se había escogido una longitud de acarreo de 100m, por lo tanto, el rendimiento de la maquinaria es el siguiente:

MÁQUINA	PRODUCCIÓN MAXIMA (m³/hora)	FACTORES DE CORRECCIÓN	RENDIMIENTO (m³/hora)	TIEMPO NECESARIO PARA DESCAPOTAR (días)
D6R-6SU	170	0.84	142.8	38
D7R-7SU	220	0.84	184.8	29
D8R-8SU	190	0.84	159.6	34
D9R-9SU	300	0.84	252.0	21

TABLA 9 Cálculo de rendimiento del Bulldozer

De acuerdo a los resultados que se relacionan en la tabla 9, se deduce que es casi imposible recomendar una sola maquina dependiendo solamente de las propiedades geotécnicas del suelo, pues sobre el rendimiento de dicha maquina también influyen factores tales como el porcentaje de pendiente del terreno, la distancia de acarreo, la eficiencia del trabajo, la habilidad de operador, etc, y por lo tanto, lo más recomendable para en un proyecto de construcción es realizar un análisis de rendimiento para la diferente maquinaria que se tenga disponible en las diferentes etapas del proyecto ya que las condiciones de trabajo se van modificando a medida que este avanza.

En el Capítulo 6 procederemos a hallar el costo de los trabajos de descapote a modo de ejemplo, según el tipo de Bulldozer, y así, poder tener un mejor criterio de selección de la maquina.

5.4. RENDIMIENTO DE LA RETROEXCAVADORA

El rendimiento de las retroexcavadoras dependen de la capacidad del cucharón y del tiempo de ciclo.

El ciclo de excavación de la excavadora consta de cuatro partes:

- Carga del cucharón
- Giro con carga
- Descarga del cucharón
- Giro sin carga

El tiempo total del ciclo de la excavadora depende del tamaño de la máquina (las máquinas pequeñas tienen ciclos más rápidos que las máquinas grandes) y de las condiciones de la obra. A medida que éstas se hacen más difíciles (se dificulta más la excavación, la zanja es más profunda, hay más obstáculos, etc.), baja el rendimiento de la excavadora. A medida que se endurece el suelo y se dificulta su excavación, se tarda más en llenar el cucharón. A medida que la zanja se hace más profunda y la pila del material que se saca crece, el cucharón tiene que viajar más lejos y la superestructura tiene que hacer mayores giros con cada ciclo de trabajo.

La ubicación de la pila del material y del camión afectan también el ciclo de trabajo. Si el camión se estaciona en el área inmediata de excavación contiguo a la pila del material, son posibles ciclos de 10 a 17 segundos. El extremo opuesto sería con el camión o la pila de material por encima del nivel de la excavadora, a 180° del punto de excavación.

(Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).

En la tabla 9 se indican los tiempos típicos de ciclo conforme a la experiencia con excavadoras Caterpillar según las siguientes condiciones:

- sin obstáculos en la ruta de circulación
- condiciones de trabajo más que favorables
- un operador con habilidad normal
- ángulo de giro de 60° a 90°

Estos ciclos se reducen al mejorar las condiciones del trabajo o la habilidad del operador, y aumentan si las condiciones se tornan desfavorables.

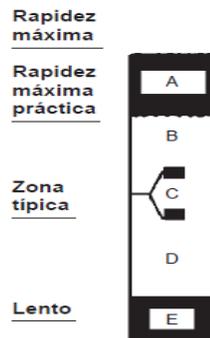


FIGURA 31 Velocidades de los ciclos de la retroexcavadora (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Para la figura anterior:

- A= Excelente rapidez
- B= Muy buena rapidez
- C= Buena rapidez
- D= Mala rapidez
- E= Pésima rapidez

La tabla 10, que sirve para calcular los tiempos de ciclo, dependen de la relación del tiempo de ciclo vs. Las condiciones de la obra que se muestra a continuación:

- Fácil de excavar (tierra suelta, arena, limpieza de zanjas, etc.). Excava a una profundidad menor del 40% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es menor de 30°. Descarga en la pila o en camión en el área de excavación. No hay obstáculos. Operador con buena habilidad.
- No tan fácil de excavar (tierra compactada, arcilla seca y dura, tierra con menos de 25% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 50% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es de hasta 60°. Pila de descarga grande. Pocos obstáculos.
- Excavación entre mediana y difícil (suelo duro compactado hasta con 50% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 70% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es de hasta 90°. Los camiones de acarreo se cargan cerca de la excavadora.
- Difícil de excavar (roca de voladura o suelo duro con hasta 75% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 90% de la capacidad máxima de la

máquina. El ángulo de giro es de hasta 120°. Zanjas reforzadas. Área de descarga pequeña. Hay que trabajar con cuidado por el personal en la zanja que tiende tubos.

- La excavación más difícil (arenisca, piedra caliza, caliche, pizarra bituminosa, suelo congelado). Excava a una profundidad de más del 90% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es mayor de 120°. Carga de cucharón en alcantarillas. Descarga en un área pequeña y alejada de la máquina lo que requiere el alcance máximo de ésta. Hay gente y obstáculos en el área de trabajo.

(Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31).

Tabla para calcular tiempos de ciclo

Modelo	307B	311B	312B, 312B L	315B, 315B L	317B L, 317B LN	318B L, 318B LN	320B	322B	325B	330B	345B*	365B	375
Tamaño del cucharón L (yd ³)	280 0,37	450 0,59	520 0,68	520 0,68	520 0,68	800 1,05	800 1,05	1000 1,31	1100 1,44	1400 1,83		1900 2,5	2800 3,66
Tipo de suelo	← Tierra Compactada →						← Arcilla dura →						
Profund. de excavación (m) (pies)	1,5 5	1,5 5	1,8 6	3,0 10	3,0 10	3,0 10	2,3 8	3,2 10	3,2 10	3,4 11		4,2 14	5,2 17
Carga del cucharón (min)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		0,10	0,11
Giro con carga (min)	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07		0,09	0,10
Descarga del cucharón (min)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04		0,04	0,04
Giro sin carga (min)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07		0,07	0,09
Tiempo total de ciclo (min)	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,25	0,23	0,25	0,25	0,27		0,30	0,34

TABLA 10 Tabla para calcular tiempos de ciclo.
(Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

TABLA PARA CALCULAR TIEMPOS DE CICLO														
Tiempo de ciclo	TAMAÑO DE MAQUINA												Tiempo de ciclo	
	307	311B	312B	315B L 317B L	318B L	320C	322B	325B	330B	345B Serie II	365B L	375		
10 SEG.														0,17 min.
15														0,25 min.
20 SEG.														0,33 min.
25														0,42 min.
30 SEG.														0,50 min.
35														0,58 min.
40 SEG.														0,67 min.
45														0,75 min.
50 SEG.														0,83 min.
55														0,92 min.
60 SEG.														1,0 min.

FIGURA 32 Tabla para calcular tiempos de ciclo según el tamaño de la máquina. (Manual de rendimiento de Caterpillar, Ed. 31)

Se debe tener mucho cuidado a la hora de seleccionar el tipo de retroexcavadora a ser utilizada en la obra, pues como se ve en la tabla 10, en algunas de las retroexcavadoras, el riesgo de que el tiempo de ciclo sea menor es mucho mayor, lo que puede representar pérdidas mayores por tratar de ahorrarse algunos pesos en la selección de la maquinaria.

Al igual que para los bulldozer, en el Capítulo 6 procederemos a hallar el costo de los trabajos a ser realizados por las retroexcavadoras en estudio, para así poder tener un mejor criterio de selección de la máquina.

6. COSTO DE LOS TRABAJOS

El costo de los trabajos es el que nos determina en resumidas cuentas que tipo de maquinaria es la más adecuada para realizar los trabajos, pues como todos sabemos, el factor económico, si no es el más importante, representa uno de los factores más determinantes para poder tomar decisiones en cuanto al tipo de maquinaria que se va a emplear, lo que nos establece la duración de la obra y por lo tanto, el orden en el cual se realizaran las actividades sucesoras.

Para poder calcular el costo de los trabajos a ser realizados es necesario saber cuál es la tarifa horaria de cierta maquinaria. A continuación describiremos cómo hallar la tarifa horaria de una maquinaria cualquiera.

Tarifa Hora = Costo de propiedad + Costo de operación.

Costo de propiedad = Valor del equipo/# de horas a trabajar en la vida útil.

Costo de operación = Gasto de combustible/hora
(Operador + Ayudante)/hora
Mantenimiento preventivo/hora
Mantenimiento correctivo/hora

Mantenimiento preventivo = Filtros de aire
Filtros de aceite
Filtros de combustible
Engrases

Mantenimiento correctivo = Cambio de rodamientos
Cambio de dientes y cuchillas
Soldaduras varias

En la tabla 11 se presentan los valores de tarifa horaria para la maquinaria mas empleada en los movimientos de tierra que se ejecutan en nuestro país.

DESCRIPCIÓN MÁQUINA	TARIFA HORA
BULLDOZER	
D9R-9SU	\$ 350.000
D8R-8SU	\$ 200.000
D7R-7SU	\$ 150.000
D6R-6SU	\$ 110.000

DESCRIPCIÓN MÁQUINA	TARIFA HORA
RETROEXCAVADORAS	
375	\$ 300.000
325B	\$ 250.000
330B	\$ 200.000
311B	\$ 150.000

TABLA 11 Tarifa horaria para maquinaria comúnmente utilizada

A continuación procederemos a calcular el costo de los trabajos de descapote del proyecto con los diferentes tipos de Bulldozer para los cuales se tienen datos de rendimiento. Este análisis de costos es el último paso que se debe realizar en un proyecto de construcción que contemple movimiento de tierras. Es de anotar que este ejemplo se realizó con el fin de tener una mayor comprensión de la forma en que se deben realizar los análisis previos a la iniciación de trabajos en obra.

En la tabla 12 se muestra el costo total del descapote con los diferentes tipos de Bulldozer que se utilizan en nuestro medio. Es de anotar que el tiempo necesario para descapotar se calculó en el Capítulo 5 y dichos valores se encuentran en la tabla 8.

DESCRIPCIÓN MÁQUINA	TARIFA HORA	TIEMPO NECESARIO PARA DESCAPOTAR (horas)	COSTO TOTAL DESCAPOTE
BULLDOZER			
D9R-9SU	\$ 350.000	168	\$ 58.800.000
D8R-8SU	\$ 200.000	272	\$ 54.400.000
D7R-7SU	\$ 150.000	232	\$ 34.800.000
D6R-6SU	\$ 110.000	304	\$ 33.440.000

TABLA 12 Cálculo del costo total del descapote.

Podemos ver que la maquinaria que hace el trabajo más económicamente es el Bulldozer D6R-6SU, pero la diferencia con el Bulldozer D7R-7SU es tan solo de \$ 1'360.000, lo cual es una diferencia muy pequeña siendo que, como vimos en el Capítulo 5, el Bulldozer D6R-6SU realiza el trabajo en 38 días, mientras que el Bulldozer D7R-7SU lo realiza en 29 días, lo cual puede representar un ahorro mucho mayor en otras actividades realizando los trabajos con este último Bulldozer, ya que realiza los trabajos ahorrándose 9 días que son muy representativos en las obras de construcción.

Ahora procederemos a calcular el costo de los trabajos de excavación del proyecto con los diferentes tipos de retroexcavadoras para los cuales se tienen datos de rendimiento y capacidad por ciclo según la tabla 9. Es de anotar que en el proyecto para el cual estamos realizando el ejemplo, en el presupuesto del ítem perfilación de taludes, se tienen 24220 m² a perfilar, si tomamos un promedio de profundidad de excavación de 0.50 m, este ítem requeriría como mínimo una retroexcavadora para realizar una perfilación de 12110 m³, por lo tanto, en la tabla 13 que se muestra a continuación, calculamos el costo para realizar este trabajo.

DESCRIPCIÓN MÁQUINA	TARIFA HORA	TIEMPO DE CICLO ADOPTADO (ZONA C) (min)	CAPACIDAD POR CICLO (m ³)	TIEMPO NECESARIO PARA EXCAVAR 12110 m ³ (horas)	COSTO DE EXCAVACIÓN
375	\$ 300.000	0,44	2,80	32	\$ 9.515.000
330B	\$ 200.000	0,35	1,10	64	\$ 12.843.939
315B	\$ 170.000	0,30	0,52	116	\$ 19.795.192
311B	\$ 150.000	0,27	0,45	121	\$ 18.165.000

TABLA 13 Cálculo del costo total de perfilación de taludes.

Como podemos ver en la tabla 13, el costo de los trabajos de perfilación de taludes es menor para la retroexcavadora Cat 375, además que con esta retroexcavadora el tiempo necesario para realizar los trabajos es mucho menor que con el resto de maquinas, pero recordemos que el rango del tiempo de ciclo es mucho mayor y por lo tanto se tiene que analizar dicha situación, ya que si tomáramos una velocidad pésima, el tiempo de ciclo de esta máquina duraría aproximadamente 0.67 min, por lo tanto el tiempo requerido para realizar los trabajos es de 48 horas, lo que incrementaría el costo de excavación a \$ 14'488.750. por lo tanto, lo más recomendable antes de seleccionar la retroexcavadora más adecuada para realizar los trabajos, es el de realizar un análisis riguroso de los tiempos necesarios para ejecutar los trabajos, tomando diferentes velocidades de ciclos para las diferentes maquinas, y así, tener un criterio más amplio para tomar una decisión de selección.

BIBLIOGRAFÍA

CANTURIN, Ricardo. Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras. Lima, Perú. 2010. Tesis (Ingeniero civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de ingeniería.

SOLANILLA, Jorge Hernando. Gerencia de equipos para obras civiles y minería. Bogotá. Bhandar editores. 2003.

TIKTIN, Juan. Movimiento de tierras. Madrid: E.T.S.Ing. Caminos de Madrid editores. 1997.

TAFUR SÁNCHEZ, Fabián. Producción y empleo del equipo de construcción, 1ª ed. Bogotá: Presencia Ltda. editores. 1984.

CATERPILLAR. Manual de rendimiento, edición 31. Peoria, Illinois,EEUU: Caterpillar Inc. editores. 2000.

CATERPILLAR. Página de internet de Caterpillar. (www.cat.com).

_____. Equipos y Movimiento de tierra. En: página de internet www.scribd.com/doc/39628411/Equipos-y-Movimiento-de-Tierra-1. 2009.

Página de internet de Universal importaciones y exportaciones (www.universalequipmentsales.com).

MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA ADECUADA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRA

A continuación se describe de manera detallada el procedimiento adecuado que debe realizarse para elegir la maquinaria más adecuada en los movimientos de tierra. Es de anotar que como se vio anteriormente, es imposible recomendar una sola máquina dependiendo únicamente de las propiedades geotécnicas del suelo, pues sobre el rendimiento de dicha máquina también influyen factores tales como el porcentaje de pendiente del terreno, la distancia de acarreo, la eficiencia del trabajo, la habilidad de operador, etc. Además, el director de obra debe conocer muy bien el procedimiento de diseño que se emplea desde el comienzo del proyecto con el fin de crear un criterio de selección de la maquinaria que va más allá del simple hecho de definir las condiciones de trabajo de la obra, ya que desde la concepción del proyecto, se va creando una idea clara de cómo se deben realizar los trabajos de movimiento de tierras, comenzando por el acceso al lugar de trabajo el cual debe ser identificado en la visita inicial con el asesor. El procedimiento es el siguiente:

1. Realizar un minucioso estudio de prefactibilidad del terreno sobre el cual se ejecutará el proyecto, identificando:
 - Accesibilidad al lugar de trabajo.
 - Tener una impresión general de la topografía del lote con el fin de reconocer los sectores más críticos para el trabajo con maquinaria, ya que uno de los factores que influyen en el tipo de maquinaria a emplearse es la resistencia a la pendiente y por lo tanto, esta impresión nos da una visión general del tipo de rodamiento que vamos a requerir por lo menos para comenzar los trabajos.
 - Identificar redes de servicios públicos que atraviesan el lote. Este punto es importante ya que el empleo de maquinaria pesada puede afectar dichas redes y por lo tanto, este tipo de problemas se tienen que tener bien identificados.
 - Con el fin de evitar bloqueos por trabajos en la obra es bueno identificar todas las servidumbres que atraviesan el lote.

2. El director del proyecto debe mantener un seguimiento del procedimiento que lleva el diseñador, tratando de identificar posibles inconvenientes que se podrían presentar en la ejecución del proyecto, para esto, es bueno que el director de obra, junto con el diseñador, identifiquen en conjunto los siguientes aspectos:

- Identificar el sector más adecuado para concentrar los trabajos, pues el diseñador tiene herramientas que le permiten observar cual es el sector más adecuado para concentrar los trabajos, pero el director del proyecto debe poner a disposición su conocimiento sobre los posibles problemas que tenga la maquinaria para realizar trabajos en este sector.
 - Identificar cuáles son los puntos más críticos para ejecutar después de tener listo el diseño de terraceo y vías. Esta identificación debe crearle una idea general al director del proyecto de la forma en la cual se deben ejecutar los trabajos a nivel global.
3. Después de tener un plano de volúmenes de corte y llenos, este plano debe socializarse en forma conjunta entre los entes que intervienen en la ejecución del proyecto. Los pasos a seguir dentro de la socialización de este plano son los siguientes.
- Identificar los centros de masa de cada uno de los cortes y los llenos que se presentan dentro del proyecto. El plano de volúmenes permite identificar dichos centros de masa de una forma didáctica y practica.
 - Definir longitud de acarreo y espesor de descapote. Con estos datos se puede determinar cual maquinaria es la más adecuada para realizar dicho acarreo y para excavar el descapote.
 - Decidir en qué orden se ejecutaran los trabajos en la obra con el fin de reducir al máximo el transporte de materiales y tratando de buscar la disposición más adecuada para el material procedente de excavación.
4. Seleccionar el tipo de rodadura adecuada para la realización del movimiento de tierras, para esto es necesario estudiar los siguientes aspectos:
- Resistencia a la rodadura que ejerce cierto material sobre los diferentes tipos de rodadura que existen (orugas o llantas (corrientes o radial)).
 - Resistencia a la pendiente. Este aspecto debe estarse evaluando a lo largo del proyecto, pues el proyecto a medida que va avanzando va modificándose, lo que hace que la resistencia a la pendiente varié a lo largo de este.
 - Tracción propulsora desarrollada por las llantas u orugas al actuar sobre la superficie.
5. Calcular el rendimiento de la maquinaria que se tenga disponible para ejecutar los trabajos, para lo cual es necesario conocer las capacidades y experiencia del operador, la climatología, la altitud, la situación de los accesos, entre otros.
6. Por último, se deben calcular los costos de realizar los trabajos con cada una de la maquinaria más adecuada y opcional para realizar los trabajos. Con los datos obtenidos de este cálculo de costos, se debe proceder a realizar un

análisis minucioso máquina por máquina hasta llegar a la conclusión de decidir, con argumentos validos, cual es la maquina más apropiada para realizar dicho trabajo.